



Secretaría General  
Iberoamericana

Secretaria-Geral  
Ibero-Americana

ESTUDIO

# EL DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS EN IBEROAMÉRICA

CONSULTOR: LISANDRO RAMÓN LICARI  
COORDINADOR: GUSTAVO BELIZ

2026

CON EL APOYO DE



Cooperación  
Española



Secretaría General  
**Iberoamericana**

Secretaria-Geral  
**Ibero-Americana**

## **Estudio exploratorio sobre el desarrollo de las tecnologías cuánticas en Iberoamérica**

**Consultor:** Lisandro Ramón Licari

**Coordinador:** Gustavo Beliz

**Entidad contratante:** Secretaría General Iberoamericana (SEGIB)

**Fecha de entrega:** 23 de febrero de 2026

**Producto 3 -**

**Fragmentación y articulación estratégica del ecosistema cuántico iberoamericano. Riesgos estructurales y ventana de oportunidad**

## Resumen Ejecutivo

## 1. El momento estratégico global y la tesis regional

Las tecnologías cuánticas han dejado de ser un campo exclusivamente científico para convertirse en un componente emergente de la competencia tecnológica global, la productividad avanzada y la seguridad digital. Estas tecnologías, que incluyen la computación cuántica, las comunicaciones cuánticas seguras, la criptografía poscuántica y la sensórica de alta precisión, permiten procesar información, proteger infraestructuras digitales críticas y realizar mediciones con niveles de precisión inaccesibles para las tecnologías clásicas, con impactos potenciales en sectores como energía, finanzas, salud, defensa y ciberseguridad. En los últimos años, se ha acelerado la transición desde la experimentación académica hacia la construcción de infraestructuras estratégicas, la definición de estándares técnicos y el despliegue de políticas públicas explícitas orientadas al posicionamiento internacional.

Desde 2020 se observa una intensificación sostenida de esta dinámica a escala global. Las principales economías avanzadas han lanzado o actualizado estrategias nacionales específicas en tecnologías cuánticas, han incrementado el financiamiento público orientado a infraestructuras estratégicas y han avanzado en la definición de estándares técnicos, particularmente en materia de criptografía poscuántica. La publicación en 2024 de los primeros estándares formales de seguridad resistentes a la computación cuántica y la creciente incorporación de controles tecnológicos en cadenas de suministro críticas indican que el campo ha ingresado en una fase de institucionalización acelerada. El horizonte de decisión ya no es prospectivo de largo plazo, sino operativo en el presente.

Este desplazamiento del eje científico al eje estratégico modifica el contexto de decisión para los gobiernos. La discusión gira alrededor de la capacidad de cada sistema nacional para articular talento, infraestructura, regulación, financiamiento y cooperación internacional en un campo tecnológicamente complejo y de alto impacto transversal. La carrera por estándares, la transición hacia esquemas de ciberseguridad resistentes a la computación cuántica y la integración entre supercomputación clásica y simulación

cuántica introducen dinámicas que afectan directamente la competitividad industrial y la arquitectura digital de mediano plazo.

En este marco, la pregunta relevante para Iberoamérica no es si participa o no del desarrollo cuántico, sino cómo lo hace y con qué estructura. El análisis regional muestra que la región no parte de cero. Existen marcos normativos, actores estratégicos con mandato formal, nodos académicos consolidados, infraestructura de supercomputación institucionalizada y laboratorios experimentales en funcionamiento. Sin embargo, estos activos no se distribuyen homogéneamente ni operan bajo una arquitectura regional articulada.

La evidencia consolidada permite afirmar que Iberoamérica dispone de capacidades reales en tecnologías cuánticas, pero su estructura es heterogénea y fragmentada. La heterogeneidad se expresa en cinco aproximaciones normativas diferenciadas y en ecosistemas nacionales con distintos niveles de madurez institucional. La fragmentación se manifiesta en la dispersión sectorial de instrumentos, en la concentración de capacidades experimentales en pocos nodos y en la débil articulación entre formación, infraestructura y estrategia pública en una parte significativa de los sistemas analizados.

Esta doble condición (existencia de activos y ausencia de articulación sistémica) configura simultáneamente un riesgo y una oportunidad. El riesgo radica en que la falta de coordinación estructural limite la capacidad de absorción tecnológica y profundice dependencias externas en un campo de creciente relevancia estratégica. La oportunidad consiste en que la región cuenta con bases suficientes para construir mecanismos de integración y cooperación que permitan escalar capacidades, reducir asimetrías y posicionarse de manera más cohesionada en el escenario internacional.

En este contexto, el diferencial competitivo no radicará exclusivamente en la capacidad de desarrollar hardware cuántico propio, sino en la aptitud de cada sistema para absorber, adaptar y aplicar estas tecnologías en sectores productivos estratégicos. La integración efectiva entre talento especializado, infraestructura de supercomputación, marcos regulatorios anticipatorios y cooperación internacional será determinante para

traducir avances tecnológicos en ventajas concretas en energía, minería, logística, finanzas o gestión de riesgos naturales. La competencia no se limita a la carrera por el primer prototipo, sino a la capacidad de internalizar y escalar aplicaciones en estructuras económicas reales.

## **2. Un mapa regional no homogéneo: cinco aproximaciones a la política cuántica**

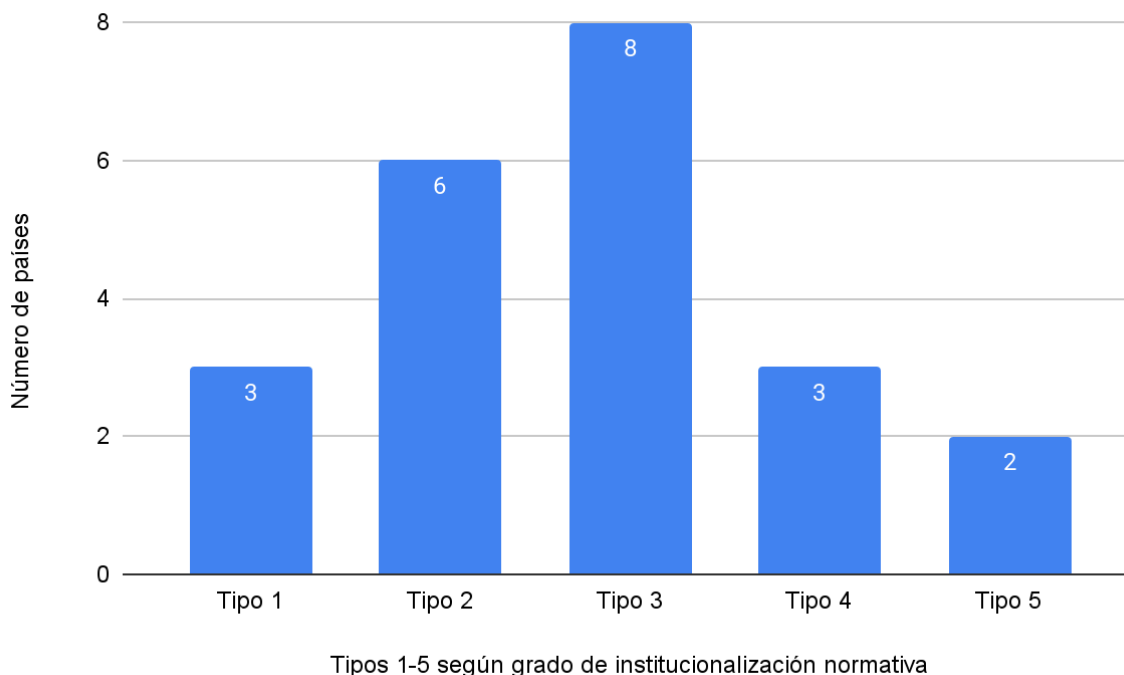
El análisis comparado de las políticas públicas y de los marcos normativos de los 22 países iberoamericanos permite identificar cinco aproximaciones diferenciadas al desarrollo de las tecnologías cuánticas. Esta tipología no establece jerarquías, sino que describe configuraciones institucionales según el grado de explicitud estratégica y coordinación intersectorial.

En un extremo se ubican los sistemas con enfoque estratégico integral (Tipo 5), donde las tecnologías cuánticas se incorporan explícitamente en estrategias nacionales que articulan investigación, infraestructura, formación y cooperación bajo una arquitectura definida. En un segundo grupo se encuentran los sistemas con políticas explícitas pero de alcance parcial (Tipo 4), en los que existen instrumentos o referencias directas, pero sin consolidar aún un marco integral de largo plazo.

La categoría más extendida corresponde a los sistemas con aproximación sectorial fragmentada (Tipo 3). En estos casos, las tecnologías cuánticas aparecen distribuidas en distintos instrumentos (planes de ciencia, digitalización, ciberseguridad) sin una estrategia dedicada que articule estos esfuerzos de manera unificada. La fragmentación no implica ausencia de acción, ya que los instrumentos existen pero operan de forma sectorial y con coordinación limitada.

Finalmente, se identifican sistemas con señales incipientes o marginales (Tipo 2), donde la presencia es exploratoria o puntual, y casos con ausencia de política pública cuántica identificable (Tipo 1), en los que no se registran referencias explícitas en documentos oficiales.

**Figura 1. Distribución de países iberoamericanos por tipo ideal (n=22).**



Este mapa normativo indica que el desafío regional no es la inexistencia de iniciativas, sino su articulación bajo marcos estratégicos más integrados.

### **3. Actores y centralidad: predominio estatal, densidad académica localizada y sector privado concentrado**

Más allá de los marcos normativos, el desarrollo cuántico depende de la existencia de un ecosistema capaz de diseñar políticas, financiar infraestructura, generar conocimiento, operar capacidades técnicas y articular cooperación internacional. El mapeo regional de actores estratégicamente relevantes permite identificar patrones estructurales consistentes.

#### **3.1 Predominio estatal en la centralidad estratégica**

El rasgo más extendido es la concentración de la centralidad estructural en actores públicos. En una proporción significativa de países, los actores con mayor relevancia estratégica se ubican en ministerios de ciencia y tecnología, agencias de innovación o entidades rectoras con competencia en política digital. Este patrón configura

ecosistemas predominantemente estado-céntricos, en los que el impulso inicial, la definición programática y la articulación institucional dependen de estructuras gubernamentales.

Este predominio estatal no implica ausencia de otros actores, pero sí indica que la sostenibilidad del campo cuántico suele estar vinculada a decisiones públicas explícitas.

### **3.2 Densidad académica significativa, pero geográficamente localizada**

El segundo rasgo estructural es la existencia de nodos académico-científicos con masa crítica consolidada en determinados países. Universidades y centros de investigación especializados en óptica cuántica, computación teórica, criptografía o sensorica avanzada actúan como pilares técnicos del ecosistema, concentrando capacidades experimentales, formación avanzada y cooperación internacional.

Sin embargo, esta densidad no se distribuye homogéneamente. Mientras algunos sistemas cuentan con comunidades científicas consolidadas, otros presentan capacidades incipientes o dependientes de colaboración externa. La consecuencia es una asimetría estructural en la capacidad de liderar agendas tecnológicas o atraer inversión especializada.

### **3.3 Sector privado: concentración temática y dependencia estructural**

La presencia de actores privados estratégicamente relevantes es más acotada y se concentra en áreas específicas, principalmente computación cuántica y criptografía poscuántica. En cambio, la participación empresarial en sensorica avanzada o comunicaciones cuánticas es significativamente menor.

En varios casos, además, las capacidades privadas se articulan con proveedores tecnológicos internacionales o plataformas externas, lo que introduce una dimensión de dependencia estructural en términos de hardware, equipamiento especializado o acceso a infraestructuras críticas. Esto no invalida la existencia de emprendimientos locales o startups emergentes, pero sí indica que la densidad empresarial aún no alcanza niveles que permitan sostener cadenas de valor plenamente autónomas.

## 4. Infraestructura, supercomputación y talento

El análisis de capacidades habilitantes (infraestructura experimental, acceso a supercomputación y oferta formativa) permite evaluar el grado de preparación de los ecosistemas cuánticos más allá del plano normativo y de la identificación de actores.

En materia de infraestructura de laboratorio, se identifican sistemas con instalaciones experimentales consolidadas en computación, comunicaciones y sensórica cuántica, generalmente alojadas en centros públicos de investigación. Sin embargo, más de la mitad de los países presentan niveles iniciales o ausencia de infraestructura física institucionalizada.

En relación con el acceso a infraestructura de supercomputación (HPC), la región dispone de centros nacionales y universitarios que permiten simulación y modelización avanzada. No obstante, en varios sistemas, el acceso a HPC no se integra aún en estrategias de investigación cuántica, lo que puede limitar la absorción tecnológica en fases de transición.

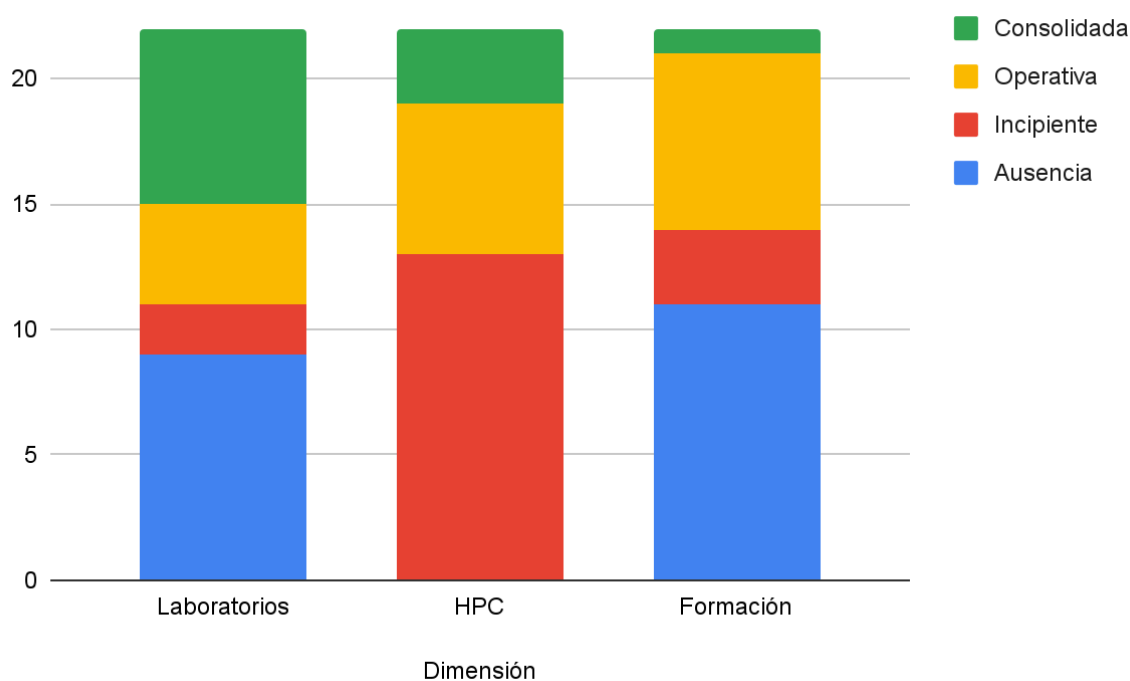
La integración efectiva entre infraestructura de supercomputación y agendas de investigación cuántica no constituye únicamente un desafío técnico, sino un factor con implicancias productivas directas. La simulación avanzada aplicada a redes eléctricas puede optimizar la integración de energías renovables y reducir pérdidas sistémicas; la modelización de materiales y procesos impacta en sectores intensivos en recursos naturales, como minería o energía; los algoritmos de optimización pueden mejorar la eficiencia logística en nodos portuarios y cadenas de suministro; y la sensórica de alta precisión amplía capacidades en monitoreo hídrico, gestión sísmica y protección de infraestructuras críticas. La ausencia de articulación en estas dimensiones no es neutra. Puede traducirse en brechas de competitividad frente a regiones que integren más tempranamente estas herramientas en sus sistemas productivos.

La dimensión más sensible se observa en la formación y generación de talento. Si bien existen países con programas de grado y posgrado explícitamente orientados a tecnologías cuánticas y comunidades científicas consolidadas, un número significativo de sistemas presenta ausencia de oferta formativa formal en el campo. Esta brecha

afecta la disponibilidad de capital humano especializado y genera desalineaciones entre ambición política y capacidad académica local.

El panorama confirma la tesis del estudio: la región cuenta con infraestructura y talento, pero su distribución es desigual y la integración es limitada.

**Figura 2. Distribución regional de capacidades habilitantes**



## 5. De la fragmentación a la articulación: riesgos y trayectorias plausibles

El diagnóstico normativo, institucional y de capacidades permite identificar un conjunto de riesgos estructurales que no derivan de la inexistencia de activos, sino de su integración parcial. La región dispone de políticas, actores estratégicos, infraestructura y talento en distintos niveles. Sin embargo, la combinación de heterogeneidad y fragmentación puede limitar la capacidad de escalar estos recursos en un entorno internacional crecientemente competitivo.

Un primer riesgo se vincula con la fragmentación normativa e institucional. Cuando las tecnologías cuánticas se distribuyen en instrumentos sectoriales sin un marco estratégico unificado, la coordinación interministerial tiende a depender de arreglos

coyunturales. Esta dispersión puede restringir la continuidad de políticas en el mediano plazo y dificultar la alineación entre objetivos científicos, prioridades industriales y necesidades de ciberseguridad.

Un segundo riesgo se relaciona con la concentración experimental y técnica. La infraestructura física de laboratorio y las capacidades avanzadas de supercomputación se encuentran focalizadas en un número reducido de sistemas. Si bien estos nodos constituyen activos regionales relevantes, su concentración puede generar asimetrías persistentes en la validación tecnológica y en la capacidad de absorción de conocimiento aplicado en el resto de la región.

En tercer lugar, emerge una desalineación entre ambición política y capacidad formativa. En los sistemas donde existe interés estratégico pero la oferta formativa especializada es limitada o inexistente, el desarrollo del campo depende en mayor medida de la formación externa o de la captación de talento internacional. Esta dinámica puede reforzar dependencias estructurales y ralentizar la consolidación de comunidades técnicas locales.

Finalmente, la dependencia tecnológica de proveedores internacionales, especialmente en hardware especializado y plataformas de computación, introduce una dimensión adicional de vulnerabilidad estratégica. Si bien la inserción en cadenas de valor globales es inevitable en un campo de alta complejidad, la ausencia de estrategias coordinadas puede ampliar brechas.

A partir de estos patrones, pueden identificarse dos trayectorias plausibles para la región.

La primera es una trayectoria de persistencia fragmentada, en la cual los avances continúan produciéndose de manera sectorial, impulsados por nodos individuales o por iniciativas puntuales, pero sin consolidar mecanismos regionales de articulación. En este escenario, la región mantiene presencia en el campo, aunque con capacidades desiguales y dependencia tecnológica significativa. La segunda es una trayectoria de articulación estructural progresiva, en la que los activos existentes se integran bajo esquemas de coordinación más explícitos que no suponen homogeneidad sino

interoperabilidad estratégica a través de mecanismos que permitan compartir infraestructura, escalar formación especializada y alinear agendas.

La diferencia entre ambas trayectorias reside en el grado de coordinación de los recursos disponibles. En un contexto global donde la ventana de posicionamiento tecnológico es temporalmente acotada, la capacidad de articular activos existentes resulta tan determinante como la inversión incremental en nuevas capacidades.

## **6. Una agenda implícita para la articulación regional**

El diagnóstico regional muestra que Iberoamérica dispone de activos suficientes para participar en el desarrollo de tecnologías cuánticas. Existen actores públicos con mandato formal, nodos académicos consolidados, infraestructura de supercomputación y experiencias de cooperación internacional. La cuestión radica en cómo articular esos recursos de forma coherente y escalable.

La ventana de oportunidad es doble. Por un lado, el campo cuántico aún se encuentra en fase de consolidación global, lo que permite a sistemas con capacidades intermedias posicionarse si logran integrar formación, infraestructura y política pública bajo esquemas coordinados. Por otro, la transición hacia estándares de seguridad poscuántica y la creciente integración entre HPC y simulación avanzada abren espacios de cooperación técnica que no requieren necesariamente grandes inversiones iniciales, sino interoperabilidad y coordinación.

En este contexto, el valor agregado de una instancia regional reside en facilitar articulaciones donde hoy existen activos dispersos. Ello puede traducirse en tres líneas de acción.

En primer lugar, la conexión de nodos consolidados con ecosistemas emergentes, permitiendo que laboratorios de nivel avanzado, centros de supercomputación y programas formativos especializados funcionen como hubs regionales abiertos.

En segundo lugar, la facilitación de marcos de interoperabilidad técnica y de intercambio de información estratégica, especialmente en áreas como transición poscuántica, estándares y buenas prácticas regulatorias. La coordinación temprana en

estos ámbitos puede evitar divergencias futuras y fortalecer la posición regional en foros internacionales.

En tercer lugar, la alineación entre formación, infraestructura y política pública, promoviendo espacios de diálogo estructurado entre autoridades rectoras y comunidades científicas para reducir desajustes entre ambición programática y capacidad instalada.

Estas líneas no implican uniformidad de modelos ni centralización decisional, sino construcción de mecanismos de cooperación flexible que permitan transformar heterogeneidad en complementariedad. En un escenario global marcado por la aceleración tecnológica y la competencia por estándares, la articulación regional puede constituir un multiplicador estratégico de capacidades existentes.

El desafío no es exclusivamente invertir más, sino coordinar mejor. La evidencia sugiere que Iberoamérica cuenta con las bases necesarias para avanzar en esa dirección si logra convertir activos subarticulados en una arquitectura de cooperación progresivamente integrada. La región enfrenta, así, una oportunidad estratégica: transformar heterogeneidad en complementariedad y fragmentación en coordinación efectiva.

Queda claro que las tecnologías cuánticas emergen como una infraestructura estratégica de nueva generación. No se trata únicamente de un campo científico avanzado, sino de una capa transversal que incidirá en la eficiencia energética, la optimización logística, la seguridad financiera y la resiliencia de infraestructuras críticas. La ventana de posicionamiento no es indefinida: su aprovechamiento dependerá de la velocidad y coherencia con la que los activos existentes logren transformarse en capacidades articuladas.

**Tabla: Arquitectura estratégica: riesgos, oportunidades y palancas de articulación**

Dimensión	Riesgo	Ventana	Palanca
Talento / formación	Distribución de oferta formativa en tecnologías cuánticas muy heterogénea.	Existen nodos académicos consolidados de gran relevancia.	Plataforma regional de formación cuántica que conecte países con masa crítica consolidada y países sin oferta estructurada.
Infraestructura de laboratorio cuántico	Concentración experimental que limita la validación tecnológica regional y amplía asimetrías.	Existencia de laboratorios que actúan como nodos de experimentación activos.	Red de laboratorios cuánticos con mecanismos de acceso compartido e interoperabilidad técnica.
Acceso e integración de HPC en el ecosistema cuántico	Fragmentación en la articulación HPC-cuántica que reduce la capacidad de simulación y absorción tecnológica.	Existencia de infraestructura de supercomputación con capacidad operativa técnica vinculable a procesos de simulación	Plataforma regional de acceso compartido a capacidades de supercomputación para simulación y facilitación de acuerdos de benchmarking para modelización.
Gobernanza y articulación intersectorial del ecosistema cuántico	Dispersión sectorial sin marco estratégico unificado que debilita la coherencia institucional.	Existencia de estrategias nacionales en los sistemas con máximo grado de institucionalización.	Foro técnico-político permanente o plataforma de diálogo estructurado.
Transición poscuántica	Carencia de hojas de ruta explícitas de transición criptográfica.	Existencia de infraestructuras terrestres y satelitales para la distribución cuántica de claves (QKD).	Marco regional orientativo de transición poscuántica, concebido como instrumento no vinculante y de carácter técnico-político.
Densidad y rol del sector privado en el ecosistema cuántico	Los actores privados se distribuyen de manera desigual y se concentran en subcampos específicos.	Existencia de actores con relevancia estratégica alta en computación cuántica y comunicaciones.	Red regional de empresas cuánticas, concebida como plataforma de visibilización, intercambio y articulación público-privada.

## Índice

Contenido		
<b>1</b>	<b>Momento estratégico de las tecnologías cuánticas</b>	<b>01</b>
1.1.	¿Qué son las tecnologías cuánticas?	01
1.1.1	Computación cuántica	02
1.1.2	Comunicaciones cuánticas	02
1.1.3	Criptografía poscuántica (PQC)	03
1.1.4	Sensórica cuántica	04
1.2	Relevancia estructural: productividad, seguridad y arquitectura del sistema digital	04
1.3	El momento estratégico: institucionalización y geopolitización del campo cuántico	06
1.3.1	Escalamiento presupuestario y consolidación plurianual	07
1.3.2	Formalización estratégica y consolidación normativa	07
1.3.3	Estandarización anticipatoria y transición post-cuántica	08
1.3.4	Controles de exportación y restricción de capacidades críticas	08
1.3.5	Madurez tecnológica diferenciada y transición pre-industrial	09
<b>2</b>	<b>Posicionamiento de Iberoamérica en el ecosistema cuántico</b>	<b>11</b>
2.1	Apertura conceptual: la región no parte de cero, pero no es homogénea	11
2.2	Estructura interna del ecosistema regional: concentración y asimetría	13
2.3	Los perfiles estructurales regionales	15
2.3.1.	Perfil I - Sistemas incipientes o estructuralmente débiles	15
2.3.2.	Perfil II - Activación normativa con base habilitante débil	16
2.3.3.	Perfil III - Ecosistemas en consolidación con masa crítica significativa	16
2.3.4.	Perfil IV - Núcleo estratégico consolidado	16
2.4	Lectura transversal: brechas estructurales regionales	18
<b>3</b>	<b>Fragmentación como mecanismo de riesgo estructural</b>	<b>20</b>
3.1	Marco conceptual del riesgo	20

3.2	Riesgos de capacidad	21
3.3	Riesgos de coordinación	22
3.4	Riesgos de posicionamiento estructural	24
3.5	Dinámicas acumulativas: cómo las brechas se refuerzan entre sí	25
3.6	Temporalidad del riesgo: cuándo la fragmentación se vuelve estructural	28
<b>4</b>	<b>Activos regionales y ventanas de oportunidad</b>	<b>30</b>
4.1	Los activos estructurales existentes	30
4.2	La arquitectura mínima viable: cómo pueden conectarse los activos	32
4.3	Condiciones de posibilidad	34
<b>5</b>	<b>Cooperación birregional ALC-Europa como multiplicador estratégico</b>	<b>36</b>
5.1	La cooperación como variable estructural: tipología y efectos diferenciados	37
5.2	Perfil actual de la cooperación UE-ALC y trayectorias posibles	39
5.3	Condiciones bajo las cuales la cooperación reduce asimetrías	43
<b>6</b>	<b>Escenarios posibles para la región (2026-2036)</b>	<b>46</b>
6.1	Marco metodológico y lógica de construcción	46
6.2	Escenario 1 - Inercia fragmentada	52
6.2.1	Implicancias estructurales	53
6.3	Escenario 2 - Coordinación técnica limitada	54
6.3.1	Implicancias estructurales	55
6.4	Escenario 3 - Arquitectura iberoamericana articulada	56
6.4.1	Implicancias estructurales	57
<b>7</b>	<b>Opciones estratégicas para una agenda iberoamericana cuántica</b>	<b>59</b>
7.1	Principios de intervención	59
7.2	Arquitectura mínima de coordinación regional	61
7.3	Marco regional orientativo de transición poscuántica	62
7.4	Densificación regional del talento	64
7.5	Integración progresiva de infraestructura experimental	65
7.6	Coordinación regional de capacidades HPC-cuántica	66

7.7	Articulación productiva y proyección empresarial regional	68
7.8	Condiciones de implementación y secuenciación estratégica	69
<b>8</b>	<b>Conclusiones de la investigación</b>	<b>72</b>
8.1	La región no parte de cero, pero no converge	72
8.2	¿Qué está en juego?	73
8.3	¿Qué se gana si se articula?	75
8.4	¿Qué se pierde si no se articula?	76
8.5	Implicancia institucional para la SEGIB	77
	Anexo I: Matriz estratégica regional	79
	Bibliografía	84
<b>Tablas</b>		
	Tabla 1: Tendencias estructurales del momento cuántico (2020-2026)	10
	Tabla 2: Perfiles estructurales del ecosistema cuántico iberoamericano	17
	Tabla 3: Tipología ideal de cooperación	37
	Tabla 4: Instrumentos de cooperación entre la UE y ALC	40
	Tabla 5: Mecanismos causales estructurales jerarquizados según drivers	47
	Tabla 6: Umbrales estructurales	48
	Tabla 7: Combinaciones posibles de escenarios	49
	Tabla 8: Síntesis comparativa de trayectorias regionales (2026-2036)	58
<b>Figuras</b>		
	Figura 1: Las asimetrías en el sistema cuántico iberoamericano	14
	Figura 2: Dinámica de retroalimentación de talento - infraestructura - HPC	26
	Figura 3: Dinámica de retroalimentación de la seguridad poscuántica	27
	Figura 4: Activos regionales y condiciones de posibilidad	35
	Figura 5: Condiciones de posibilidad	44

## 1. Momento estratégico de las tecnologías cuánticas

### 1.1. ¿Qué son las tecnologías cuánticas?

Las tecnologías cuánticas constituyen un conjunto de desarrollos científicos y tecnológicos que utilizan de manera directa fenómenos propios de la mecánica cuántica para procesar, transmitir o medir información. A diferencia de las tecnologías digitales clásicas, basadas en bits binarios y en leyes físicas macroscópicas, estas tecnologías explotan propiedades de los sistemas subatómicos, como la superposición, el entrelazamiento y la interferencia, para habilitar capacidades que no son alcanzables mediante arquitecturas clásicas convencionales (OECD, 2025, p. 8; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM], 2018, pp. 4-5; Allende López, 2019, p. 7).

Lo que las distingue estructuralmente no es simplemente un incremento de velocidad o eficiencia respecto de tecnologías digitales existentes, sino la posibilidad de operar bajo principios físicos distintos, generando nuevas modalidades de procesamiento, comunicación y medición. Diversas evaluaciones coinciden en que este cambio supone un desplazamiento de paradigma en el tratamiento de la información, al permitir representar y manipular estados simultáneamente mediante superposición, correlacionar sistemas distantes a través del entrelazamiento y explotar la sensibilidad extrema de los estados cuánticos a perturbaciones externas (NASEM, 2018, pp. 4-5; OECD, 2025, pp. 8, 11; DOE, 2024).

Esta base física común sustenta cuatro grandes familias tecnológicas (computación cuántica, comunicaciones cuánticas, criptografía poscuántica y sensorica cuántica) que comparten principios subyacentes, pero persiguen objetivos diferenciados (NASEM, 2018, p. 4; OECD, 2025, p. 8).

### **1.1.1 Computación cuántica**

La computación cuántica constituye un nuevo paradigma de procesamiento de información que, a diferencia de la computación clásica basada en bits binarios, emplea qubits y explota fenómenos como la superposición, la interferencia y el entrelazamiento para implementar algoritmos con propiedades computacionales distintas a las tradicionales (NASEM, 2018, p. 5; OECD, 2025, p. 11).

Su principal promesa radica en abordar problemas cuya complejidad excede las capacidades eficientes de los sistemas actuales. Las aplicaciones estructurales identificadas en la literatura incluyen la optimización de sistemas complejos (con potencial impacto en logística, energía, finanzas y defensa), la simulación de sistemas físicos y moleculares (incluyendo ciencia de materiales y descubrimiento de fármacos) y la eventual capacidad de comprometer ciertos esquemas criptográficos ampliamente utilizados (OECD, 2025, pp. 11-17, 43-44; European Commission, 2025, p. 5; Allende López, 2019, pp. 16, 25; Krelina, 2025, p. 6).

No obstante, el estado actual de desarrollo se caracteriza por una fase temprana, asociada a la denominada era NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum), en la que los dispositivos presentan limitaciones significativas en corrección de errores y escalabilidad. Diversas evaluaciones coinciden en que aún no se ha alcanzado una ventaja cuántica práctica generalizada, situando posibles aplicaciones transformadoras en la próxima década (OECD, 2025, pp. 12-14, 27; European Commission, 2025, pp. 5-6; Krelina, 2025, p. 6).

### **1.1.2 Comunicaciones cuánticas**

Las comunicaciones cuánticas comprenden tecnologías orientadas a la transmisión de información mediante el uso directo de propiedades cuánticas, como la superposición y el entrelazamiento, con el objetivo de habilitar nuevas modalidades de intercambio seguro y de interconexión entre sistemas cuánticos (NASEM, 2018, pp. 4-5; OECD, 2025, p. 13).

Dentro de este campo, la Distribución Cuántica de Claves (QKD) representa la aplicación más madura, permitiendo generar y distribuir claves criptográficas con seguridad basada en principios físicos y con capacidad de detectar intentos de interceptación (ITU, 2023, Supplement 79; Krelina, 2025, pp. 10-11).

Funcionalmente, estas tecnologías buscan proteger la transmisión de información sensible frente a amenazas actuales y futuras, incluyendo escenarios en los que actores dispongan de capacidades cuánticas avanzadas. Se vinculan con la protección de infraestructuras críticas, servicios financieros y comunicaciones gubernamentales, así como con la habilitación de futuras redes cuánticas distribuidas (European Commission, 2025, pp. 7, 9; NQIAC, 2024, p. 3; QuIC, 2024, p. 5).

En términos de madurez, los sistemas de QKD presentan niveles relativamente altos de preparación tecnológica, con despliegues piloto y productos comerciales disponibles en distintas regiones, aunque el desarrollo de redes cuánticas plenamente escalables continúa enfrentando desafíos técnicos (QuIC, 2024, p. 5; Krelina, 2025, p. 10).

### **1.1.3 Criptografía poscuántica (PQC)**

La criptografía poscuántica comprende algoritmos diseñados para mantener la seguridad de sistemas digitales frente a adversarios que dispongan de computadoras cuánticas escalables. A diferencia de otras tecnologías cuánticas, no requiere dispositivos cuánticos para su funcionamiento, sino que se implementa en infraestructuras clásicas existentes, sustituyendo algoritmos vulnerables (NASEM, 2018, p. 20; OECD, 2025, pp. 27-28; Krelina, 2025, p. 11).

El problema central que aborda es la preservación de la confidencialidad e integridad de la información ante la posibilidad de que esquemas actuales, como los basados en factorización o logaritmos discretos, sean vulnerables a ataques cuánticos. La literatura señala que el riesgo no es meramente prospectivo, dado el incentivo existente de capturar datos cifrados hoy para descifrarlos en el futuro (“harvest now, decrypt later”) (NIST, 2025; NIST IR 8547 ipd, 2024; European Commission, 2025, p. 9).

En términos de madurez, la PQC se encuentra en una fase avanzada de estandarización. El NIST ha publicado los primeros estándares formales de algoritmos poscuánticos, iniciando procesos de migración progresiva con horizontes regulatorios que se extienden hacia 2030-2035 (NIST, 2024; NIST IR 8547 ipd, 2024; Krelina, 2025, p. 11).

#### **1.1.4 Sensórica cuántica**

La sensórica cuántica, también denominada metrología cuántica, comprende tecnologías que utilizan propiedades cuánticas (como la superposición y el entrelazamiento) para medir magnitudes físicas con niveles de precisión superiores a los alcanzables mediante sensores clásicos (NASEM, 2018, p. 5; OECD, 2025, p. 13; Allende López, 2019, p. 52).

El problema central que aborda es la detección de señales extremadamente débiles o variaciones sutiles en campos magnéticos, gravedad, tiempo, aceleración o temperatura. Esta ventaja metrológica habilita aplicaciones en geociencias, monitoreo climático, exploración de recursos naturales, infraestructura crítica y diagnóstico biomédico (European Commission, 2025, pp. 10-15; DOE, 2024; Krelina, 2025, p. 11).

A diferencia de la computación cuántica, esta familia presenta un grado de madurez relativamente mayor, con prototipos funcionales y pruebas en entornos reales, aunque persisten desafíos en robustez, miniaturización e integración de sistemas (European Commission, 2025, p. 10; DOE, 2024; Krelina, 2025, p. 11).

### **1.2 Relevancia estructural: productividad, seguridad y arquitectura del sistema digital**

Más allá de su base científica, las tecnologías cuánticas deben entenderse como una frontera tecnológica con implicaciones estructurales para la productividad, la seguridad, la gobernanza de estándares y la arquitectura futura del sistema digital global (OECD, 2025, p. 21; European Commission, 2025, pp. 1, 7; Krelina, 2025, p. 6). Su relevancia no radica únicamente en el potencial técnico de cada familia por separado, sino en el hecho de que introducen un nuevo régimen de capacidades que interactúa con sectores críticos de la economía y con funciones centrales del Estado.

En el plano productivo, la posibilidad de simular sistemas físicos complejos, optimizar redes logísticas multivariables o diseñar nuevos materiales y compuestos químicos bajo esquemas computacionales no clásicos abre escenarios de transformación en sectores estratégicos como energía, transporte, finanzas, industria farmacéutica y manufactura avanzada (OECD, 2025, pp. 11-17; European Commission, 2025, p. 5). Aunque muchas de estas aplicaciones se encuentran en fases de desarrollo progresivo, el solo horizonte de una ventaja computacional estructural introduce incentivos tempranos para la inversión pública y privada, la captura de talento y la construcción de ecosistemas industriales especializados.

En el plano de la seguridad, la dimensión cuántica se vincula directamente con la protección de infraestructuras críticas y con la resiliencia del entorno digital. La posibilidad de que sistemas criptográficos ampliamente utilizados se vuelvan vulnerables ante capacidades cuánticas escalables ha dado lugar a procesos formales de transición hacia algoritmos resistentes, bajo el reconocimiento explícito del riesgo de captura y descifrado diferido de información estratégica (“harvest now, decrypt later”) (NIST, 2025; NIST IR 8547 ipd, 2024; European Commission, 2025, p. 9). En paralelo, el desarrollo de comunicaciones cuánticas y redes seguras basadas en principios físicos introduce una nueva capa de protección potencial para comunicaciones gubernamentales, financieras y de defensa (European Commission, 2025, pp. 1, 7; ITU, 2023, Supplement 79).

A ello se suma la dimensión estratégica asociada a la sensorica cuántica, cuyas aplicaciones en navegación autónoma, detección de estructuras subterráneas o submarinas y monitoreo ambiental presentan implicaciones directas tanto para la estabilidad estratégica como para políticas de gestión de recursos naturales e infraestructura crítica (European Commission, 2025, pp. 10-15; Krelina, 2025, p. 11). En este sentido, la cuántica no sólo impacta en la esfera digital, sino también en capacidades físicas vinculadas a defensa, clima y seguridad energética.

Finalmente, la relevancia estructural del campo se proyecta sobre la gobernanza de estándares y la configuración de cadenas de valor críticas. La definición de algoritmos criptográficos, protocolos de interoperabilidad, certificaciones de seguridad y

componentes habilitantes, incluyendo infraestructura criogénica y hardware especializado, se ha convertido en un ámbito donde convergen política industrial, regulación tecnológica y competencia estratégica (Krelina, 2025, p. 11; OECD, 2025, p. 21).

En consecuencia, las tecnologías cuánticas no deben ser interpretadas como un nicho científico, sino como un vector de poder estructural que incide sobre la autonomía tecnológica, la seguridad económica y la posición relativa de los Estados en el sistema internacional.

Desde esta perspectiva, la pregunta ya no es si la cuántica tendrá efectos económicos y estratégicos, sino bajo qué condiciones institucionales, regulatorias y presupuestarias dichos efectos se materializarán y en qué medida los distintos sistemas nacionales lograrán capturar sus beneficios o mitigar sus riesgos. Esta cuestión prepara el terreno para comprender por qué el período reciente ha sido caracterizado por una intensificación institucional y geopolítica del campo, aspecto que se desarrolla en la siguiente sección.

### **1.3 El momento estratégico: institucionalización y geopolitización del campo cuántico**

El período comprendido entre 2020 y 2026 puede caracterizarse como una fase de institucionalización estratégica del campo cuántico, en la que la investigación científica se integra de manera explícita en agendas de política industrial, seguridad nacional y autonomía tecnológica. La evidencia disponible muestra una convergencia entre escalamiento presupuestario (tanto público como privado), formalización normativa, transición anticipatoria en ciberseguridad y endurecimiento regulatorio en materia de exportaciones, configurando un entorno internacional en el que la cuántica deja de ser tratada como frontera académica y pasa a ser gobernada como capacidad estratégica sensible.

### **1.3.1 Escalamiento presupuestario y consolidación plurianual**

A partir de 2020, las principales jurisdicciones tecnológicas consolidaron y ampliaron de manera sostenida su inversión pública en tecnologías cuánticas. En Estados Unidos, los fondos federales destinados a ciencia de la información cuántica superaron el umbral de los mil millones de dólares anuales en el marco coordinado de la National Quantum Initiative (National Science and Technology Council, 2024); en la Unión Europea, la programación financiera 2021-2027 integró miles de millones de euros en instrumentos plurianuales orientados al desarrollo del ecosistema cuántico (McKinsey & Company, 2024); el Reino Unido lanzó una estrategia decenal con compromisos financieros explícitos; India aprobó su National Quantum Mission con horizonte 2030; Japón y Corea del Sur ampliaron sus esquemas presupuestarios hacia arquitecturas ecosistémicas más integradas.

Más allá de las cifras individuales, el rasgo estructural del período es la transición desde programas científicos puntuales hacia marcos de financiamiento interagenciales, plurianuales y estratégicamente coordinados. La agenda cuántica se incorpora a presupuestos consolidados asociados no sólo a investigación básica, sino también a desarrollo industrial, formación de talento e infraestructura crítica.

### **1.3.2 Formalización estratégica y consolidación normativa**

De manera convergente, múltiples jurisdicciones adoptaron o actualizaron estrategias nacionales explícitas en materia cuántica, vinculando esta agenda con objetivos de competitividad, seguridad y soberanía tecnológica. La arquitectura fundacional estadounidense fue complementada por memorandos orientados a la transición criptográfica y la seguridad nacional (como la Estrategia Nacional de Seguridad Cuántica y el Memorandum de Seguridad Nacional (NSM-10)); la Unión Europea evolucionó desde el Quantum Flagship hacia una integración más amplia en la agenda de soberanía tecnológica, publicando en 2025 la Quantum Europe Strategy; el Reino Unido aprobó una estrategia con horizonte decenal (National Quantum Strategy); Japón reforzó sus hojas de ruta ecosistémicas por medio de la Quantum Technology

Innovation Strategy; Corea del Sur estableció instancias estratégicas específicas; e India lanzó una misión nacional con metas tecnológicas concretas.

En conjunto, estos desarrollos evidencian que el período 2020-2026 se caracteriza por la formalización estratégica del campo con adopción de instrumentos dedicados, creación de arquitecturas institucionales específicas y articulación explícita entre agenda cuántica y objetivos de política económica y de seguridad.

### **1.3.3 Estandarización anticipatoria y transición post-cuántica**

Otro rasgo distintivo del período es el avance desde la investigación teórica en criptografía resistente a la computación cuántica hacia su estandarización formal y planificación de migración institucional. En 2024, el NIST publicó los primeros estándares definitivos de criptografía post-cuántica (FIPS 203, 204 y 205), acompañados de hojas de ruta que establecen la desactivación progresiva de esquemas vulnerables hacia 2035.

De manera convergente, el Reino Unido y la Unión Europea definieron cronogramas de transición integrados en marcos más amplios de ciberseguridad y protección de infraestructuras críticas, bajo la motivación explícita del riesgo de “harvest now, decrypt later”. Este proceso revela una institucionalización anticipatoria del riesgo, es decir, aun sin existir todavía un ordenador cuántico criptográficamente relevante, los principales Estados han comenzado a rediseñar la arquitectura de seguridad digital global.

### **1.3.4 Controles de exportación y restricción de capacidades críticas**

Paralelamente, durante el período 2020-2026 las tecnologías cuánticas comenzaron a incorporarse de manera explícita en marcos regulatorios asociados a seguridad nacional y competencia tecnológica. En Estados Unidos, medidas adoptadas en 2024 ampliaron controles no sólo sobre sistemas de computación cuántica, sino también sobre componentes habilitantes, incluyendo tecnologías criogénicas y equipamiento asociado (IHEID, 2024); China integró la dimensión cuántica en su marco ampliado de control tecnológico (Groenewegen-Lau y Hmaidí, 2024); mientras que otras jurisdicciones reforzaron instrumentos regulatorios convergentes.

En conjunto, estos desarrollos permiten caracterizar el período como una fase de endurecimiento regulatorio donde la cuántica pasa a ser tratada crecientemente como capacidad estratégica sujeta a licencias, restricciones y control sobre transferencia internacional.

### **1.3.5 Madurez tecnológica diferenciada y transición pre-industrial**

Finalmente, la evidencia sobre el estado de desarrollo de las distintas familias cuánticas muestra un panorama heterogéneo pero convergente hacia una fase de transición pre-industrial avanzada. La computación cuántica permanece en la era NISQ, con limitaciones técnicas significativas; las comunicaciones cuánticas presentan despliegues piloto y desarrollos satelitales; la criptografía post-cuántica ha entrado en fase de estandarización e implementación; la sensórica cuántica avanza desde prototipos hacia aplicaciones sectoriales específicas.

En conjunto, las tendencias observadas entre 2020 y 2026 permiten afirmar que las tecnologías cuánticas han dejado de ocupar un lugar marginal en la agenda científica para convertirse en objeto de planificación estratégica, inversión plurianual y regulación específica por parte de los principales actores tecnológicos. El campo se encuentra en una fase de transición pre-industrial en la que convergen madurez técnica parcial, estandarización anticipatoria y creciente sensibilidad geopolítica.

En este contexto, la cuestión relevante ya no se limita al potencial intrínseco de la tecnología, sino a las condiciones institucionales, presupuestarias y regulatorias que determinan la capacidad de los distintos ecosistemas para integrarse de manera efectiva en esta nueva arquitectura tecnológica. Sobre esta base se abre, entonces, el interrogante central que guía el presente informe: cómo se posicionan los sistemas iberoamericanos frente a esta dinámica de institucionalización acelerada y qué márgenes de acción estratégica se encuentran disponibles.

**Tabla 1: Tendencias estructurales del momento cuántico (2020–2026)**

Tendencia estructural	Evidencia observable (2020–2026)	Naturaleza del cambio
Escalamiento presupuestario público	EE.UU. supera el umbral de USD 1.000M anuales bajo la National Quantum Initiative; la UE integra aproximadamente €10.900M en su programación 2021–2027; Reino Unido lanza estrategia 2024–2034 con £2.5 mil millones; India aprueba la National Quantum Mission con horizonte 2030; Japón y Corea del Sur amplían marcos plurianuales.	Transición desde programas científicos puntuales hacia marcos presupuestarios plurianuales, interagenciales y estratégicamente coordinados.
Formalización estratégica nacional	Actualización de la arquitectura estadounidense con memorandos vinculados a seguridad y transición criptográfica; evolución del Quantum Flagship y EuroQCI hacia integración en agenda de soberanía tecnológica; aprobación de estrategias nacionales decenales (UK); establecimiento de comités estratégicos y misiones nacionales (Corea del Sur, India, Japón).	Paso de agendas científicas dispersas a estrategias estatales explícitas vinculadas a competitividad, seguridad y autonomía tecnológica.
Estandarización y transición post-cuántica	Publicación por NIST en 2024 de los estándares FIPS 203, 204 y 205; hojas de ruta oficiales hacia migración plena alrededor de 2035; adopción de cronogramas en UE y Reino Unido bajo el principio “harvest now, decrypt later”.	De riesgo teórico a migración anticipatoria y rediseño progresivo de la arquitectura criptográfica global.
Controles de exportación y restricciones geopolíticas	Incorporación explícita de tecnologías cuánticas y componentes habilitantes (incluyendo criogenia y hardware crítico) en marcos de control de exportaciones; ampliación de catálogos tecnológicos restringidos en potencias relevantes.	De frontera científica abierta a capacidad estratégica sensible sujeta a licencias, restricciones y control de transferencia internacional.
Madurez tecnológica diferenciada y transición pre-industrial	Computación cuántica en era NISQ; comunicaciones cuánticas con despliegues piloto (QKD, desarrollos satelitales); criptografía post-cuántica en fase de estandarización formal; sensorica avanzando hacia aplicaciones sectoriales.	Configuración de una fase pre-industrial avanzada: coexistencia de madurez técnica parcial con preparación normativa y estratégica.

Fuente: Elaborado en base a datos oficiales provenientes de National Science and Technology Council, 2024; McKinsey & Company, 2024; Department for Science, Innovation and Technology, 2023; Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2020; Expert Panel on Quantum Technology Innovation, 2025; Ministry of Science and ICT, 2025.

## **2. Posicionamiento de Iberoamérica en el ecosistema cuántico**

El análisis precedente ha mostrado que las tecnologías cuánticas constituyen hoy un vector emergente de reorganización de capacidades estratégicas en el sistema internacional. A partir de la evidencia normativa y ecosistémica relevada en los Productos 1 y 2, esta sección parte de una afirmación central: Iberoamérica no ingresa al campo cuántico desde un vacío tecnológico, pero tampoco lo hace como un bloque homogéneo o integrado. La región exhibe activaciones normativas, actores estratégicos y capacidades habilitantes reales, aunque distribuidas de manera desigual y con distintos grados de articulación.

Sobre esa base, la pregunta que orienta esta sección es precisa: ¿qué tipo de región somos hoy en el campo cuántico? Para responderla, se propone una lectura estructural integrada que examine la relación entre marcos normativos, densidad de actores estratégicos y masa crítica habilitante, con el fin de identificar patrones de concentración, asimetrías internas y configuraciones recurrentes. El objetivo no es evaluar desempeños nacionales, sino caracterizar la arquitectura regional existente y establecer el punto de partida sobre el cual se proyectarán las decisiones estratégicas posteriores.

### **2.1 Apertura conceptual: la región no parte de cero, pero no es homogénea**

El análisis integrado de los marcos normativos relevados en el Producto 1 y de los actores y capacidades sistematizados en el Producto 2 permite afirmar que Iberoamérica no parte desde cero en materia cuántica. En varios países se identifican instrumentos explícitos, agendas sectoriales activas, programas de investigación consolidados y, en algunos casos, ecosistemas habilitantes con infraestructura experimental, acceso a supercomputación y oferta formativa estructurada. Existe, por tanto, una base real sobre la cual pueden construirse trayectorias de especialización y cooperación.

Sin embargo, esa base no configura un ecosistema regional integrado, sino una estructura estratificada y fragmentada. La masa crítica científica y técnica se concentra en un subconjunto reducido de países, mientras que un número significativo combina

señales normativas incipientes con capacidades habilitantes limitadas o no identificadas. Entre ambos extremos emerge un grupo intermedio con densidad técnica relevante pero con arquitecturas estratégicas parciales o sectorializadas. El resultado no es una región atrasada en términos absolutos, sino una región con umbrales estructurales muy distintos en su interior.

Esta heterogeneidad constituye un mecanismo estructural que condiciona la trayectoria futura. En un contexto internacional en el que las tecnologías cuánticas transitan desde la investigación avanzada hacia fases de consolidación institucional, estándares técnicos y cadenas de suministro más definidas, la ausencia de articulación entre ecosistemas nacionales puede traducirse en dependencia de infraestructuras externas, proveedores de hardware y plataformas de simulación, así como en asimetrías crecientes en la capacidad de absorber estándares emergentes en criptografía, comunicaciones seguras o sensorica avanzada. El riesgo no radica en “quedar atrás” en términos retóricos, sino en ingresar a la fase de transición tecnológica desde posiciones estructuralmente desalineadas.

Al mismo tiempo, la región dispone de activos subestimados que alteran cualquier lectura determinista. Allí donde existen laboratorios consolidados, acceso institucionalizado a supercomputación, programas de posgrado especializados y actores públicos con capacidad de coordinación estratégica, se observan condiciones mínimas para superar el umbral de activación y avanzar hacia esquemas de integración más complejos. La cuestión central, por tanto, no es la existencia aislada de capacidades, sino su distribución desigual y la ausencia de una arquitectura cooperativa que reduzca las brechas internas.

Desde esta perspectiva, el posicionamiento actual de Iberoamérica puede describirse como el de una región en fase de bifurcación estructural. Algunos ecosistemas han alcanzado niveles de coherencia entre norma, capacidad y articulación institucional, mientras que otros permanecen en estadios incipientes o sectorializados. La ventana de oportunidad sigue abierta porque el campo cuántico aún no ha cristalizado en un régimen tecnológico plenamente consolidado.

En consecuencia, el diagnóstico preliminar no es binario (ni éxito ni rezago), sino estructural. Iberoamérica posee capacidades reales, pero distribuidas de manera asimétrica y con distintos grados de alineación entre política pública, infraestructura científica y actores estratégicos. La sección siguiente examina esa anatomía interna con mayor precisión, identificando los perfiles estructurales que hoy coexisten en el ecosistema cuántico regional.

## **2.2. Estructura interna del ecosistema regional: concentración y asimetría**

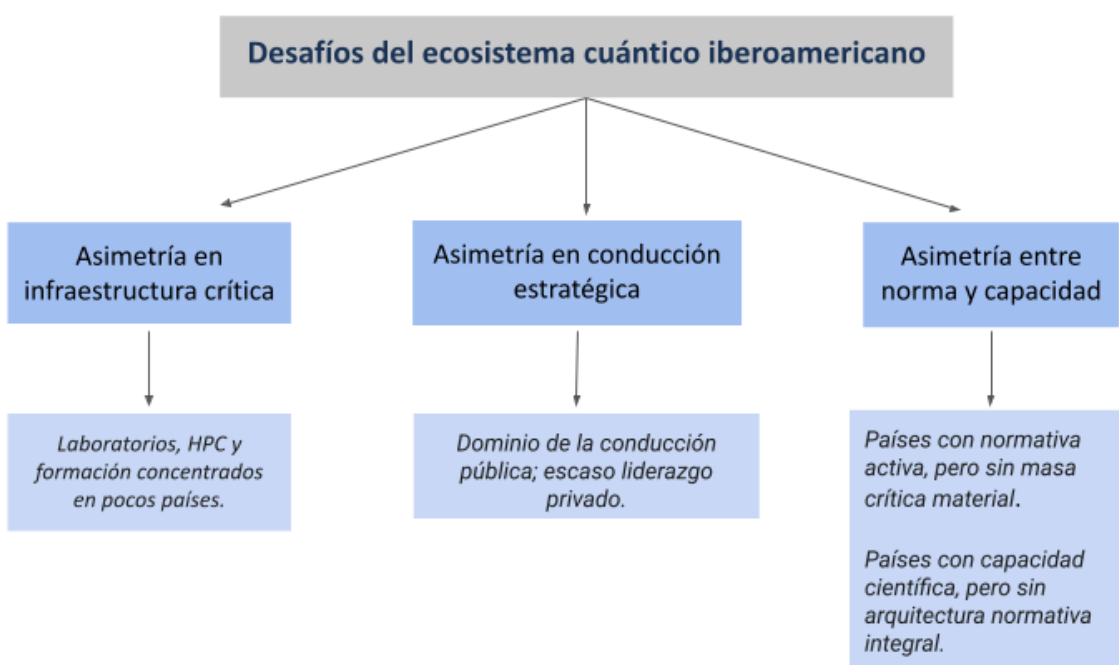
El cruce sistemático entre tipo normativo, perfil habilitante y patrón de conducción estratégica revela que el ecosistema cuántico iberoamericano no se distribuye de manera homogénea, sino que adopta una estructura fuertemente concentrada. La masa crítica habilitante, entendida como la combinación de infraestructura experimental consolidada, acceso institucionalizado a supercomputación, oferta formativa estructurada y densidad de actores con relevancia estratégica, se encuentra localizada en un subconjunto reducido de países, mientras que un número significativamente mayor presenta capacidades incipientes o fragmentadas.

En términos agregados, los ecosistemas consolidados se concentran en un grupo minoritario, integrado por países que combinan tipos normativos altos (4 y 5) con estructuras de conducción pública robusta o esquemas multiactor y una articulación relativamente coherente entre política, infraestructura y formación. En el extremo opuesto, el bloque cuantitativamente más amplio corresponde a sistemas con capacidades habilitantes incipientes o no identificadas, en los que la activación normativa no se traduce en infraestructura material o masa crítica científica consolidada. Entre ambos polos se ubica un conjunto intermedio de países con aproximaciones sectoriales fragmentadas (Tipo 3), en los que se observa activación normativa relevante pero con brechas estructurales en la base habilitante o en la articulación estratégica.

Esta distribución configura una asimetría interna que opera en al menos tres planos. En primer lugar, existe una asimetría en la disponibilidad de infraestructura crítica. Los laboratorios consolidados, el acceso avanzado a HPC y los ecosistemas formativos

completos están concentrados. En segundo lugar, se observa una asimetría en la densidad de conducción estratégica. La mayoría de los países presenta una conducción pública dominante con escasa presencia de liderazgo privado con relevancia 3, mientras que los casos de conducción multiactor o privada son excepcionales. En tercer lugar, emerge una asimetría entre norma y capacidad. Algunos países exhiben activación normativa sectorial sin masa crítica material equivalente, mientras que otros han desarrollado capacidades científicas significativas sin haber consolidado aún una arquitectura estratégica integral.

**Figura 1: Las asimetrías en el sistema cuántico iberoamericano**



Fuente: elaboración propia.

Estas asimetrías delimitan umbrales estructurales diferenciados. En el contexto de una transición tecnológica global, los países situados por debajo de ciertos umbrales de masa crítica habilitante tenderán a depender de infraestructuras externas y de marcos regulatorios definidos por terceros. Del mismo modo, aquellos que cuentan con capacidad científica pero sin arquitectura estratégica integrada pueden enfrentar dificultades para traducir su base técnica en posicionamiento institucional y productivo.

En consecuencia, la región puede describirse como una estructura estratificada con distintos grados de densidad y coherencia interna. La concentración de capacidades en un núcleo reducido, la existencia de un grupo intermedio en consolidación y la presencia mayoritaria de sistemas incipientes constituyen el patrón dominante del posicionamiento actual. Esta anatomía interna es la que da sentido a los perfiles estructurales que se desarrollan a continuación y que permiten comprender con mayor precisión la configuración regional del ecosistema cuántico.

### **2.3. Los perfiles estructurales regionales**

El análisis comparado de tipo normativo (grado de explicitud y estructuración de la política pública cuántica), perfil habilitante (densidad de capacidades científico-académicas, infraestructura y HPC) y patrón de conducción estratégica (actor o sector que concentra la centralidad estructural del ecosistema) permite identificar cuatro perfiles estructurales que hoy coexisten en el ecosistema cuántico iberoamericano. Estos perfiles no constituyen una jerarquía ni una secuencia evolutiva, sino configuraciones distintas de articulación entre política pública, infraestructura científica y actores estratégicos.

#### **2.3.1. Perfil I – Sistemas incipientes o estructuralmente débiles**

Este perfil agrupa a países que combinan tipos normativos bajos (1 y 2) con capacidades habilitantes incipientes o no identificadas y patrones de conducción predominantemente públicos o multiactor, pero sin masa crítica material consolidada. En estos casos, la señal normativa no se traduce en laboratorios institucionalizados, acceso estructurado a HPC o trayectorias formativas consolidadas.

La característica estructural dominante no es la ausencia absoluta de actividad, sino la inexistencia de un umbral mínimo de densidad técnica que permita sostener una agenda cuántica autónoma. En términos sistémicos, estos países enfrentan un riesgo de inserción dependiente en la fase de consolidación tecnológica global, en la medida en que la adopción de estándares o plataformas externas podría producirse sin capacidad local de adaptación o absorción.

### **2.3.2. Perfil II – Activación normativa con base habilitante débil**

El segundo perfil corresponde a países con aproximaciones sectoriales fragmentadas (Tipo 3), conducción pública dominante y capacidades habilitantes incipientes o fragmentadas. Aquí existe explicitud normativa relevante y, en algunos casos, incentivos legales o programas específicos. Sin embargo, la infraestructura experimental y la masa crítica científica no alcanzan aún niveles de consolidación.

La brecha estructural que define este perfil es la desalineación entre activación política y base técnica. El sistema ha superado el umbral de mención o señal incipiente, pero no ha consolidado aún el umbral de infraestructura crítica. En un escenario de transición tecnológica acelerada, esta brecha puede traducirse en políticas declarativas con baja capacidad de implementación efectiva.

### **2.3.3. Perfil III – Ecosistemas en consolidación con masa crítica significativa**

El tercer perfil incluye países que combinan tipos normativos medios o altos (3 y 4) con ecosistemas habilitantes integrales o en consolidación y una densidad significativa de actores con relevancia estratégica, generalmente bajo conducción pública dominante o esquemas multiactor. En estos casos, existen laboratorios institucionalizados, acceso estructurado a supercomputación y oferta formativa especializada, aunque no siempre se ha formalizado una estrategia nacional cuántica dedicada.

La brecha aquí no es de capacidad material, sino de arquitectura estratégica. La base técnica puede ser más avanzada que la integración normativa transversal o que la coordinación intersectorial. Este perfil representa la principal reserva estructural de la región, ya que demuestra que Iberoamérica no parte de cero y que existen nodos capaces de actuar como plataformas de cooperación y transferencia regional, siempre que se consoliden mecanismos de articulación y planificación conjunta.

### **2.3.4. Perfil IV – Núcleo estratégico consolidado**

El cuarto perfil, cuantitativamente reducido, corresponde a países que combinan tipos normativos máximos (Tipo 5), ecosistemas habilitantes integrales consolidados y patrones de conducción multiactor o con liderazgo privado relevante. Aquí se observa

alineación entre estrategia explícita, infraestructura crítica, oferta formativa estructurada y articulación institucional.

En este perfil no se identifica una brecha significativa entre norma, capacidad y gobernanza. El sistema ha superado simultáneamente el umbral de activación estratégica y el umbral de masa crítica habilitante. En términos regionales, este núcleo concentra capacidades que podrían desempeñar un papel articulador en esquemas de cooperación birregional o en iniciativas de integración operativa.

**Tabla 2: Perfiles estructurales del ecosistema cuántico iberoamericano**

Dimensión estructural	Perfil 1 – Sistemas incipientes o estructuralmente débiles	Perfil 2 – Activación normativa con base habilitante débil	Perfil 3 – Ecosistemas en consolidación con masa crítica significativa	Perfil 4 – Núcleo estratégico consolidado
Tipo normativo predominante	Ausencia de política pública cuántica identificable o señales marginales no estructuradas	Activación explícita en planes o agendas sectoriales, sin estrategia integral dedicada	Políticas explícitas de alcance parcial o aproximación sectorial estructurada	Enfoque estratégico integral con arquitectura de gobernanza definida
Densidad habilitante	Muy baja o fragmentaria; escasa masa crítica formal y ausencia de infraestructura especializada	Base académica existente pero limitada; infraestructura incipiente o localizada	Masa crítica académica significativa; infraestructura operativa en al menos un subcampo	Alta densidad académica e infraestructura distribuida; capacidades experimentales consolidadas
Patrón de conducción estratégica	Sin actor articulador claro o con conducción débilmente estructurada	Centralidad política formal sin correlato robusto en ejecución técnica	Conducción compartida entre sector público y nodos académicos estratégicos	Arquitectura multiactor institucionalizada con coordinación sistémica estable

## 2.4. Lectura transversal: brechas estructurales regionales

La identificación de cuatro perfiles estructurales permite ordenar la heterogeneidad regional. El rasgo más relevante, sin embargo, reside en las brechas que atraviesan el conjunto del ecosistema y que emergen de la relación entre arquitectura normativa, masa crítica habilitante y patrón de conducción estratégica.

Mientras que en el apartado 2.2 se analizaron las diferencias en la distribución de capacidades dentro de la región, es decir, dónde se concentra la infraestructura, quién lidera estratégicamente y en qué medida las normas se corresponden con capacidades reales, en esta sección el foco cambia. El objetivo es identificar desajustes que aparecen o se repiten en distintos contextos y/o perfiles y poner en evidencia tensiones comunes.

La primera brecha transversal es la brecha norma-capacidad. En varios casos se observa activación normativa del campo cuántico en instrumentos de política pública, sin que ello se traduzca en laboratorios institucionalizados, acceso avanzado a supercomputación o trayectorias formativas consolidadas. Esta desalineación implica que si bien el sistema ha superado el umbral de mención o señal estratégica, no ha superado el umbral de infraestructura crítica.

La segunda brecha es la brecha capacidad-arquitectura estratégica. Algunos países con ecosistemas habilitantes integrales o en consolidación no han formalizado aún una estrategia nacional cuántica dedicada o no han consolidado mecanismos transversales de coordinación interministerial. Aquí la infraestructura científica y la densidad de actores estratégicos pueden estar más avanzadas que la arquitectura normativa. El riesgo estructural es la dificultad para traducir capacidad técnica en posicionamiento institucional, articulación productiva o liderazgo regional en esquemas de cooperación.

Una tercera brecha relevante es la brecha de diversificación y liderazgo multisectorial. El patrón predominante en la región es la conducción pública dominante, con escasa presencia de liderazgo privado con relevancia estratégica máxima. Aunque la centralidad estatal puede facilitar coherencia en fases iniciales, la baja densidad de actores privados líderes limita la formación de cadenas de valor, la absorción tecnológica y la transición hacia aplicaciones productivas. En términos de umbrales, la

región ha avanzado en la construcción de capacidades científicas en ciertos nodos, pero aún no ha generalizado el umbral de diversificación ecosistémica que caracteriza a sistemas más maduros.

Finalmente, emerge una brecha de articulación regional. La concentración de ecosistemas integrales en un núcleo reducido contrasta con la amplitud del bloque de sistemas incipientes o normativamente activados sin base consolidada. En ausencia de mecanismos operativos de cooperación que conecten estos nodos con el resto de la región, la fragmentación puede traducirse en trayectorias divergentes: algunos países insertándose en cadenas internacionales de investigación y estándares, mientras otros permanecen como usuarios dependientes de infraestructura externa.

La lectura transversal, por tanto, anticipa que el desafío central no es exclusivamente tecnológico, sino organizacional y articulador. La arquitectura actual no impide el desarrollo, pero sí condiciona su dirección. Comprender estas brechas como mecanismos estructurales y no como déficits coyunturales es el paso previo indispensable para luego evaluar los márgenes estratégicos disponibles para la región.

### **3. Fragmentación como mecanismo de riesgo estructural**

Como se ha señalado, la región no parte de un vacío tecnológico. Por el contrario, dispone de nodos académicos consolidados, infraestructura experimental activa, acceso creciente a computación de alto rendimiento y experiencias de cooperación birregional en expansión. Sin embargo, la coexistencia de estos activos con brechas profundas en formación, infraestructura, coordinación institucional y densidad empresarial obligan a pensar si las capacidades iberoamericanas pueden articularse en una trayectoria acumulativa.

En este contexto, la fragmentación deja de ser un rasgo descriptivo de la región para convertirse en un mecanismo potencial de riesgo estructural. La pregunta que guía esta sección es, por tanto, la siguiente: ¿qué ocurre si la región no articula sus capacidades existentes bajo una arquitectura cooperativa mínima? La hipótesis que se examina a continuación es que, en ausencia de dicha articulación, las brechas actuales pueden consolidarse en dinámicas de dependencia tecnológica, fijando a la región en una posición estructural condicionada dentro del ecosistema cuántico global.

#### **3.1. Marco conceptual del riesgo**

La evidencia muestra que la región combina países con capacidad de reproducción cognitiva autónoma, infraestructura experimental avanzada y articulación institucional explícita, con un conjunto significativo de países que presentan brechas formativas, limitada validación física, integración computacional incipiente o ausencia de planificación estratégica dedicada. Esta heterogeneidad produce diferencias en la posibilidad de acumular capacidades de manera sostenida.

Desde una perspectiva causal, el riesgo no emerge exclusivamente de la escasez de activos tecnológicos, sino del desacople entre ellos. Cuando la formación académica no se conecta con infraestructura experimental, cuando el acceso a HPC no se integra en procesos sistemáticos de simulación y modelización, cuando la seguridad poscuántica se menciona sin hoja de ruta operativa o cuando la cooperación internacional se estructura mediante instrumentos ad hoc, se activa un mecanismo organizacional que

limita la acumulación sistémica. En ese escenario, las capacidades existentes no desaparecen, pero tampoco convergen; operan en paralelo, sin generar un ciclo coherente de reproducción, absorción y escalamiento.

El riesgo estructural, por tanto, no es inmediato ni uniforme, sino acumulativo. Si la fragmentación persiste, las brechas de capacidad pueden transformarse en asimetrías estables; las asimetrías en dependencia funcional; y la dependencia funcional en posicionamiento estructural. Este tránsito no es automático, pero tampoco neutral. Depende de si la región logra superar los umbrales organizacionales mínimos que permiten convertir una constelación dispersa de capacidades en una arquitectura cooperativa capaz de sostener trayectorias tecnológicas propias.

A continuación, identificamos tres tipos de riesgos (de capacidad, de coordinación y de posicionamiento) y explicamos cómo actúan de manera conjunta, reforzándose los unos a los otros.

### **3.2. Riesgos de capacidad**

Las capacidades tecnológicas se sostienen, además de por decisiones estratégicas y por acceso a infraestructura externa, por una base material y cognitiva capaz de reproducirse internamente. En el caso iberoamericano, la formación avanzada en tecnologías cuánticas y la infraestructura experimental para su validación física presentan una distribución asimétrica que condiciona su capacidad de acumulación autónoma.

En materia de talento, la concentración de programas explícitos de grado y posgrado en un número reducido de países genera una estructura dual. Por un lado, un núcleo con capacidad de reproducción cognitiva sostenida y, por el otro, una periferia cuya formación depende en gran medida de movilidad externa, convenios puntuales o contratación de expertos. Esta dinámica implica restricción en la reproducción endógena de masa crítica. Cuando la formación no se institucionaliza como trayectoria continua (grado, posgrado, dirección doctoral y equipos de investigación consolidados) se limita la capacidad de absorber tecnologías complejas, operar infraestructura avanzada o planificar transiciones regulatorias exigentes, como la criptografía

poscuántica. El riesgo, por tanto, no radica en la inexistencia absoluta de capital humano, sino en la dificultad para sostener su reproducción y retención en el tiempo.

De manera complementaria, la infraestructura experimental presenta una baja densidad agregada y una fuerte concentración en pocos sistemas con equipamiento nivel avanzado. Esta configuración no impide la investigación teórica ni la simulación, pero restringe la validación física recurrente, el aprendizaje experimental y la conexión con trayectorias industriales emergentes. La experimentación define quién puede aprender haciendo, acumular *know-how* operativo y formar técnicos especializados *in situ*. Cuando la validación depende de acuerdos externos o acceso episódico a instalaciones concentradas, la acumulación experimental tiende a polarizarse.

Ambas dimensiones (formación e infraestructura) están profundamente interrelacionadas. Sin masa crítica local es difícil operar y expandir laboratorios; sin infraestructura activa es difícil formar experimentalmente a nuevas cohortes. Si esta dinámica no se corrige, la región puede evolucionar hacia una geografía cognitiva y experimental rígida, donde un grupo reducido de sistemas consolida capacidades avanzadas mientras otros quedan estructuralmente limitados en su capacidad de convergencia tecnológica.

En este sentido, los riesgos de capacidad no deben interpretarse como simple escasez de recursos, sino como la posibilidad de que la base material necesaria para sostener trayectorias cuánticas propias no logre reproducirse de manera distribuida. La cuestión estratégica no es igualar capacidades en todos los sistemas, sino evitar que la asimetría actual se convierta en un patrón estructural difícil de revertir.

### **3.3. Riesgos de coordinación**

A diferencia de los riesgos de capacidad, que remiten a la densidad formativa o experimental, los riesgos de coordinación no se explican por ausencia de activos, sino por su desacople. La evidencia sistematizada muestra que en múltiples países iberoamericanos coexisten acceso a computación de alto rendimiento, nodos académicos activos, referencias normativas a tecnologías cuánticas e incluso

instrumentos de cooperación internacional. Sin embargo, estas piezas no siempre operan como parte de una arquitectura integrada.

Un primer ejemplo es la relación entre HPC y actividades cuánticas. Aunque el acceso a infraestructura de cómputo avanzado está relativamente extendido en la región, la articulación formal entre estos centros y los grupos cuánticos es heterogénea y, en muchos casos, débil o no identificada. En un campo donde la simulación, el benchmarking y la modelización avanzada son condiciones críticas para el desarrollo aplicado, la falta de un encadenamiento institucionalizado limita la capacidad de convertir acceso en acumulación. Se configura así un patrón de capacidad disponible pero no integrada, lo que restringe la absorción tecnológica y mantiene dependencia de nodos externos para etapas avanzadas de validación y prueba.

Este desacople se amplifica en la dimensión de gobernanza. La región presenta una arquitectura normativa dispersa, con activación del tema cuántico a través de planes de ciencia y tecnología, instrumentos sectoriales o menciones generales, pero sin que ello se traduzca sistemáticamente en marcos estratégicos integradores. Cuando proliferan instrumentos sin un marco común de priorización y seguimiento, se generan agendas paralelas, superposición de competencias y vacíos operativos. Las capacidades pueden existir, pero no escalan ni se conectan entre sí. La gobernanza fragmentada actúa entonces como multiplicador negativo, ya que impide que talento, infraestructura experimental, HPC y sector privado se integren en un ciclo coherente de acumulación.

La cooperación birregional con Europa reproduce una dinámica similar cuando se sostiene sobre instrumentos heterogéneos sin un marco operativo común. Aunque estos acuerdos amplían el acceso a capacidades avanzadas, su continuidad y trazabilidad dependen frecuentemente de convocatorias, proyectos puntuales o ciclos políticos. Sin institucionalización operativa, la cooperación mejora accesos episódicos, pero no necesariamente construye arquitectura regional ni garantiza transferencia sistemática de conocimiento. En ese contexto, los sistemas más capaces tienden a capturar mayores beneficios, mientras que aquellos con brechas estructurales enfrentan dificultades para convertir cooperación en acumulación endógena.

El elemento común a estas tres dimensiones es que el riesgo no radica en la escasez absoluta de recursos tecnológicos, sino en la ausencia de coordinación estructurada. Cuando las capacidades no se acoplan, la región no solo crece más lentamente, sino que lo hace de forma desigual y discontinua. La fragmentación organizacional transforma activos potencialmente complementarios en piezas aisladas, reduciendo la eficiencia sistémica y ampliando la brecha entre los sistemas que logran integrar sus capacidades y aquellos que operan en módulos desconectados.

### **3.4. Riesgos de posicionamiento estructural**

Si los riesgos de capacidad afectan la base material y los riesgos de coordinación impiden el acoplamiento sistémico, los riesgos de posicionamiento estructural definen el lugar que la región puede ocupar en el ecosistema tecnológico global si las dinámicas actuales se consolidan. No se trata únicamente de cuánto se invierte o cuántos laboratorios existen, sino de si la trayectoria acumulativa conduce hacia un rol de co-desarrollo y autonomía relativa, o hacia una posición predominantemente adoptante.

La transición hacia estándares resistentes a la computación cuántica constituye un caso paradigmático. Aunque una proporción significativa de sistemas incorpora referencias a seguridad cuántica en instrumentos de planificación, estas menciones no siempre se traducen en hojas de ruta explícitas, inventarios de infraestructuras críticas o cronogramas de migración definidos. Cuanto más se retrasa la transición, mayor es la probabilidad de migrar bajo presión, con menor capacidad de prueba y menor margen de negociación frente a proveedores. En este escenario, la dependencia surge de la externalización progresiva de decisiones críticas sobre estándares, certificaciones y cadenas de suministro.

De manera análoga, la estructura del sector privado cuántico regional revela una baja densidad estratégica agregada, con concentración geográfica de actores de alta relevancia y predominio en subcampos específicos como computación y criptografía, mientras que áreas con fuerte componente físico-industrial, como la sensórica, aparecen marginales. Cuando el ecosistema empresarial se organiza mayoritariamente

en torno a provisión de servicios, integración de plataformas o adopción de estándares importados, la región tiende a consolidarse como mercado de consumo tecnológico más que como espacio de generación de cadenas de valor diversificadas. Este patrón no es inmediato ni irreversible, pero puede volverse estructural si no se fortalece un núcleo empresarial capaz de co-desarrollar y escalar tecnologías propias en interacción con academia e infraestructura experimental.

En ambos casos (seguridad poscuántica y rol productivo) la fragmentación organizacional previa actúa como antecedente causal. Sin articulación entre formación, infraestructura, HPC y gobernanza, la región enfrenta mayores dificultades para planificar transiciones regulatorias complejas o para construir trayectorias industriales sostenidas. La consecuencia no es necesariamente una exclusión del ecosistema cuántico global, sino una inserción condicionada, es decir, participación como adoptante de soluciones desarrolladas externamente, con margen limitado para incidir en estándares, arquitectura de sistemas o segmentación de mercados.

### **3.5. Dinámicas acumulativas: cómo las brechas se refuerzan entre sí**

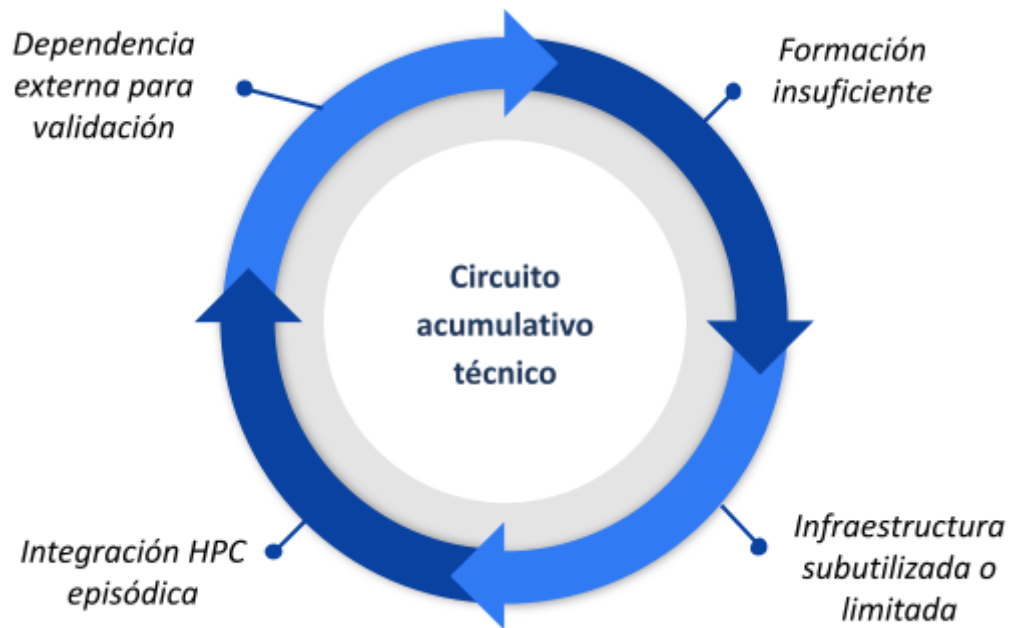
El análisis precedente ha distinguido riesgos de capacidad, de coordinación y de posicionamiento estructural con fines analíticos. Sin embargo, en la práctica, estas dimensiones no operan de manera aislada.

La formación avanzada constituye un ejemplo inicial. Sin masa crítica local, resulta difícil operar y expandir infraestructura experimental; sin infraestructura activa, la formación experimental se debilita y pierde capacidad de reproducirse in situ. Esta interacción entre talento e infraestructura configura un primer circuito acumulativo: cuando uno de los elementos es débil, el otro encuentra límites para escalar. Si, además, la articulación con HPC es incompleta, la simulación y el benchmarking se vuelven episódicos o dependientes de acuerdos externos. De este modo, una brecha en formación puede amplificar la brecha experimental, y ambas pueden restringir la integración computacional.

La gobernanza actúa como variable transversal en este entramado. Cuando no existe una arquitectura de coordinación que vincule formación, laboratorios, HPC, seguridad y

sector privado, las capacidades existentes tienden a operar en paralelo. La ausencia de priorización secuencial y de mecanismos de seguimiento impide que las inversiones generen efectos sinérgicos. Así, una región que dispone de piezas relevantes puede, sin embargo, experimentar baja eficiencia sistémica.

**Figura 2: Dinámica de retroalimentación de talento – infraestructura – HPC**



Fuente: elaboración propia.

La dimensión de seguridad poscuántica ilustra otra cadena de interdependencia. La planificación de la transición criptográfica requiere especialistas formados, capacidad de simulación y validación técnica, así como coordinación regulatoria. Cuando estas dimensiones presentan brechas o desacoples, la migración tiende a postergarse o externalizarse. El resultado no es inmediato, pero introduce una asimetría temporal que puede consolidarse en dependencia normativa y contractual. La fragmentación computacional y la debilidad en gobernanza, en este caso, condicionan directamente la autonomía regulatoria futura.

**Figura 3: Dinámica de retroalimentación de la seguridad poscuántica**



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la baja densidad estratégica del sector privado se retroalimenta con el resto del sistema. Si la infraestructura experimental es limitada y la articulación con academia es débil, las empresas enfrentan mayores dificultades para co-desarrollar soluciones avanzadas. A su vez, la ausencia de un núcleo empresarial robusto reduce la demanda interna sofisticada, limitando la presión por formación avanzada y expansión de infraestructura. Se configura así un ciclo donde la baja densidad privada refuerza el rol adoptante, y este rol reduce los incentivos para construir capacidades industriales endógenas.

En conjunto, estas interdependencias muestran que la fragmentación no es una suma de déficits sectoriales, sino una dinámica sistémica. Cada brecha puede amplificar a las otras si no se superan los umbrales organizacionales mínimos que permiten el acoplamiento entre dimensiones. La cuestión estratégica no es resolver todas las brechas simultáneamente, sino intervenir en aquellos nodos cuya articulación puede

generar efectos multiplicadores positivos y evitar que la trayectoria acumulativa derive en una posición estructural condicionada.

### **3.6. Temporalidad del riesgo: cuándo la fragmentación se vuelve estructural**

Los riesgos analizados no operan en un horizonte uniforme. Algunos presentan ventanas de intervención relativamente cortas; otros evolucionan de manera generacional; otros, finalmente, pueden consolidarse como patrones estructurales si no se modifican a tiempo. Incorporar la dimensión temporal permite distinguir entre brechas reversibles y trayectorias que, de prolongarse, tienden a fijar posiciones relativas en el ecosistema cuántico global.

En el corto plazo, los riesgos más sensibles se ubican en la esfera organizacional. La gobernanza fragmentada, la falta de integración entre HPC y actividades cuánticas, la ausencia de hojas de ruta explícitas para la transición poscuántica y la cooperación birregional no institucionalizada constituyen dimensiones donde la intervención depende más de arquitectura que de adquisición tecnológica adicional. La ausencia de coordinación puede corregirse relativamente rápido si se establecen mecanismos formales de priorización, seguimiento y articulación.

En un horizonte de mediano plazo, la infraestructura experimental y la densidad estratégica del sector privado adquieren centralidad. La construcción de capacidades experimentales estables y de núcleos empresariales capaces de co-desarrollar tecnologías requiere continuidad institucional, inversión sostenida y articulación público-privada. Si no se generan incentivos y mecanismos de integración, la región puede evolucionar hacia un patrón donde la validación física avanzada y la tracción industrial permanezcan concentradas en pocos sistemas, mientras el resto consolida un rol predominantemente adoptante.

En el largo plazo, la dimensión formativa adquiere un carácter generacional. La capacidad de reproducir masa crítica especializada no se construye en ciclos cortos. Por el contrario, depende de trayectorias continuas de formación avanzada, dirección doctoral y consolidación de equipos de investigación. Si la brecha en reproducción endógena persiste, la dependencia cognitiva puede arraigarse de manera estructural,

limitando la convergencia regional incluso si se realizan inversiones posteriores en infraestructura o cooperación.

La interacción entre estos horizontes es decisiva. Los riesgos organizacionales son los más inmediatos y, al mismo tiempo, los más reversibles. Si se interviene tempranamente en gobernanza, integración y planificación, es posible evitar que las brechas de capacidad se transformen en posicionamientos estructurales difíciles de modificar. Por el contrario, si la fragmentación persiste en el corto plazo, sus efectos tienden a proyectarse hacia el mediano y largo plazo, reduciendo progresivamente el margen de autonomía tecnológica y regulatoria.

Desde esta perspectiva, la fragmentación no constituye un destino inevitable, sino una trayectoria condicionada por decisiones organizacionales presentes. La cuestión estratégica para la región no es alcanzar niveles simétricos de inversión frente a las grandes potencias, sino definir si las capacidades ya existentes se articularán a tiempo para evitar que la heterogeneidad actual evolucione hacia una dependencia estructural consolidada.

## **4. Activos regionales y ventanas de oportunidad**

Si bien el ecosistema cuántico iberoamericano presenta asimetrías significativas en inversión, infraestructura y densidad institucional, el análisis integrado de actores, capacidades habilitantes y marcos normativos permite observar que la región dispone de activos reales, verificables y funcionales. Estos activos no configuran aún una arquitectura cooperativa consolidada, pero constituyen una base material e institucional sobre la cual podría construirse una estrategia regional diferenciada. La cuestión central, por tanto, no es si existen capacidades, sino si pueden articularse de manera deliberada para alterar la trayectoria estructural que hoy tiende a reproducir fragmentación y dependencia.

Desde esta perspectiva, el problema deja de ser estrictamente tecnológico y adquiere una dimensión organizacional. Identificar dónde se encuentran las bases reales sobre las que se puede construir implica distinguir entre capacidades dispersas y activos con potencial sistémico; entre fortalezas nacionales aisladas y nodos con capacidad de irradiación regional; entre infraestructura existente y arquitectura cooperativa posible. La ventana de oportunidad no reside en la aparición de nuevas capacidades, sino en la posibilidad de conectar estratégicamente las ya existentes. La pregunta que orienta esta sección es, entonces: ¿cuáles son esos activos y bajo qué condiciones podrían convertirse en el fundamento de una arquitectura regional mínima viable en tecnologías cuánticas?

### **4.1. Los activos estructurales existentes**

En primer lugar, la existencia de una masa crítica académica estructurada constituye uno de los pilares más sólidos del ecosistema regional. En un conjunto significativo de sistemas se identifican trayectos formativos formales en tecnologías cuánticas (principalmente a nivel de posgrado) junto con nodos académico-científicos con relevancia estratégica alta. Esta combinación habilita la posibilidad de funcionar como hubs de formación avanzada y de irradiación regional. La densidad académica observada indica que la región dispone de capacidades humanas especializadas que pueden sostener investigación aplicada, simulación avanzada y experimentación física, siempre que existan mecanismos de articulación adecuados.

En segundo lugar, la infraestructura de supercomputación institucionalizada, con niveles de acceso consolidados y articulación explícita con procesos de investigación cuántica, configura un activo técnico de alto valor estratégico. La presencia de centros nacionales de HPC plenamente integrados en dinámicas de simulación y modelización no solo fortalece la investigación doméstica, sino que abre la posibilidad de esquemas de acceso compartido a escala regional. A diferencia de la infraestructura experimental física, intrínsecamente localizada, la capacidad de cómputo de alto rendimiento presenta un potencial de integración transnacional inmediato, lo que la convierte en un componente clave para cualquier arquitectura cooperativa mínima viable.

En tercer lugar, la arquitectura pública con mandato formal en diseño de política y financiación constituye un activo institucional frecuentemente subestimado. En múltiples sistemas se observan actores públicos con centralidad estratégica en la definición de agendas, asignación de recursos y coordinación del ecosistema. Esta presencia estatal no es marginal ni simbólica. Por el contrario, configura marcos de gobernanza capaces de sostener políticas explícitas, articular actores académicos y habilitar infraestructura crítica. La cuestión no es, por tanto, la ausencia de rectoría pública, sino la falta de mecanismos de coordinación interestatal que transformen esa rectoría nacional en gobernanza regional.

Finalmente, la convergencia de estas dimensiones en un núcleo sistémico multidimensional, donde coexisten masa crítica académica, infraestructura experimental consolidada, acceso avanzado a HPC, arquitectura pública robusta y presencia privada relevante, demuestra que la región dispone de polos con capacidad de irradiación funcional. Estos nodos no constituyen enclaves aislados, sino plataformas potenciales de articulación, mentoría técnica y estandarización regional.

En conjunto, estos elementos permiten sostener que Iberoamérica no carece de capacidades cuánticas estructurales. Lo que carece es de una arquitectura sistémica que las integre, coordine y escale. La región no parte de cero; parte de una base fragmentada con densidad suficiente como para construir, si se articula deliberadamente, una plataforma cooperativa diferenciada en el ecosistema cuántico global.

## **4.2. La arquitectura mínima viable: cómo pueden conectarse los activos**

Pese a lo dicho en el apartado anterior, la existencia de activos estructurales no garantiza, por sí misma, una trayectoria de consolidación regional. Su potencial transformador depende de la forma en que puedan conectarse entre sí. Dicho de otro modo, el problema central no radica en la ausencia de capacidades, sino en la falta de una arquitectura organizacional que las integre funcionalmente. En este sentido, la ventana de oportunidad identificada reside en la posibilidad de transformar una constelación de activos dispersos en un circuito cooperativo mínimo capaz de generar sinergias acumulativas.

La interdependencia entre los principales activos regionales permite delinear los contornos de esa arquitectura mínima viable. La masa crítica académica estructurada, por ejemplo, requiere infraestructura de cómputo de alto rendimiento para escalar procesos de simulación avanzada, formación especializada y modelización compleja. Sin acceso sostenido a capacidades de HPC, el talento formado opera por debajo de su potencial. A su vez, la infraestructura de supercomputación sólo adquiere sentido estratégico si existe una comunidad académica y científica capaz de utilizarla de manera intensiva y sostenida. La relación entre ambos activos es, por tanto, mutuamente constitutiva.

La infraestructura experimental (laboratorios físicos con capacidad de investigación en óptica, comunicaciones o sensórica) introduce una tercera dimensión. Estos espacios permiten validar protocolos, probar desarrollos y generar conocimiento aplicado. Sin embargo, su impacto sistémico depende de marcos de coordinación que faciliten la interoperabilidad, el acceso compartido y la complementariedad temática. Aislados, los laboratorios refuerzan dinámicas nacionales; articulados, pueden configurar una red regional de experimentación.

En este esquema, la arquitectura pública con mandato formal cumple una función habilitante decisiva. Son los actores públicos con capacidad de diseño y financiación quienes pueden establecer mecanismos de acceso compartido a infraestructura, armonizar prioridades, facilitar acuerdos interinstitucionales y reducir costos de

transacción entre sistemas. Sin coordinación política, la interdependencia técnica no se traduce en integración efectiva. La arquitectura pública es, en consecuencia, el pivote que convierte capacidades coexistentes en capacidades cooperativas.

El sector privado emergente se inserta en esta cadena como resultado y multiplicador, más que como punto de partida. Su expansión depende de la disponibilidad de talento especializado, de infraestructura experimental y de entornos regulatorios previsibles. Cuando estas condiciones convergen, la innovación aplicada y la transferencia tecnológica adquieren escala. Cuando no, el mercado permanece fragmentado y de alcance limitado. La articulación público-académica constituye, por tanto, la condición estructural para una densificación privada sostenible.

De la interacción entre estos elementos emerge un modelo organizacional básico: coordinación pública regional que habilita acceso compartido a HPC; escalamiento formativo apoyado en esa infraestructura; red interoperable de laboratorios que valida y experimenta; y ecosistema privado que se inserta en ese circuito. Este encadenamiento no requiere una integración total ni la homogeneización de capacidades nacionales. Requiere, más bien, una arquitectura cooperativa mínima que reduzca la fragmentación funcional y permita aprovechar economías de escala regionales.

La ventana de oportunidad radica precisamente en que los componentes de esta arquitectura ya existen. No se trata de crear nuevas capacidades desde cero, sino de conectar estratégicamente las ya disponibles. Si esa conexión no se produce, la interdependencia seguirá operando en sentido inverso, reforzando dependencias externas y reproduciendo asimetrías internas. Si se articula deliberadamente, puede alterar la trayectoria estructural de la región en el ecosistema cuántico global.

### **4.3. Condiciones de posibilidad**

La ventana de oportunidad identificada es, sin embargo, contingente. Su apertura depende de decisiones organizacionales específicas y de la institucionalización de mecanismos operativos que permitan transformar interdependencias técnicas en cooperación efectiva. Sin estas condiciones, la fragmentación, desalineación y dependencia tenderán a prevalecer.

Una primera condición crítica es la coordinación política efectiva entre actores con mandato formal. La arquitectura pública existente constituye un activo estructural, pero su potencial regional solo se materializa si se activan espacios estables de interlocución intergubernamental, con agendas explícitas y mecanismos de seguimiento. Sin un nivel mínimo de concertación ministerial, las capacidades nacionales seguirán evolucionando en paralelo, sin convergencia funcional. La coordinación no implica uniformidad de estrategias, sino alineación en áreas clave como formación avanzada, acceso a infraestructura y planificación de seguridad tecnológica.

La segunda condición se refiere a la operacionalización del acceso compartido a infraestructura crítica. La infraestructura HPC y los laboratorios consolidados pueden convertirse en plataformas regionales únicamente si existen protocolos claros de interoperabilidad, reglas de acceso y esquemas de financiamiento cruzado. La mera existencia de infraestructura distribuida no garantiza integración. Sin mecanismos que reduzcan barreras administrativas, técnicas y presupuestarias, el potencial de economías de escala regionales permanecerá subutilizado.

En tercer lugar, la institucionalización de redes académicas y técnicas resulta fundamental para sostener la masa crítica en el tiempo. La formación avanzada y la investigación aplicada requieren continuidad, movilidad y estándares compartidos. La consolidación de una red regional estable de nodos académicos estratégicos constituye, por tanto, un umbral organizacional determinante.

Finalmente, la articulación con el sector privado emergente exige previsibilidad normativa y claridad estratégica. Sin marcos regulatorios estables y señales políticas coherentes, la densificación privada permanecerá concentrada y limitada a nichos

específicos. La ventana de oportunidad puede cerrarse si las capacidades públicas y académicas no se traducen en entornos habilitantes para la innovación aplicada.

En conjunto, estas condiciones delimitan un escenario claro en el cual la ventana se abre cuando los activos existentes se integran mediante mecanismos formales de coordinación, interoperabilidad y continuidad institucional. En cambio, esa ventana se cierra cuando las capacidades evolucionan de manera aislada, sin convergencia estratégica. La región dispone de los componentes necesarios para construir una arquitectura cooperativa mínima viable. Lo que está en juego no es la disponibilidad de recursos estructurales, sino la voluntad y la capacidad organizacional para conectarlos antes de que las asimetrías globales consoliden nuevas dependencias.

**Figura 4: Activos regionales y condiciones de posibilidad**



Fuente: elaboración propia.

## **5. Cooperación birregional ALC–Europa como multiplicador estratégico**

Aunque el presente informe analiza el ecosistema cuántico iberoamericano, en esta sección se utiliza la denominación Unión Europea–América Latina y el Caribe (UE–ALC) por corresponder al marco institucional bajo el cual hoy se estructuran los principales instrumentos de cooperación birregional. En este contexto, la cooperación no constituye un elemento neutro en el proceso de consolidación de capacidades en tecnologías cuánticas. En una región marcada por heterogeneidades estructurales profundas y frente a una arquitectura europea dotada de instrumentos financieros, infraestructurales y regulatorios consolidados, la cooperación puede operar de maneras divergentes: puede actuar como multiplicador estratégico, acelerando la densificación endógena de capacidades científicas, técnicas e institucionales; o puede consolidar esquemas de inserción dependiente, donde la relación adopta una lógica proveedor–usuario sin modificar las asimetrías estructurales de base.

Esta sección parte de una afirmación central: la cooperación no es intrínsecamente igualadora ni intrínsecamente dependiente. Su efecto depende de su diseño, su profundidad institucional y su articulación con la estructura regional existente. A partir de esta premisa, la pregunta que orienta el análisis es directa y estratégica: ¿puede la cooperación birregional reducir las asimetrías estructurales en el campo cuántico o, bajo determinadas condiciones, tiende a consolidarlas? Para responderla, se examina la interacción entre perfiles estructurales regionales y arquitectura de cooperación, el estado actual de los instrumentos disponibles y las condiciones bajo las cuales la cooperación puede transitar de un esquema habilitante a uno verdaderamente multiplicador.

## **5.1. La cooperación como variable estructural: tipología y efectos diferenciados**

Para analizar si la cooperación birregional reduce o consolida asimetrías en el campo cuántico, es necesario tratarla como una variable estructural y no como un principio normativo abstracto. La cooperación no produce efectos homogéneos. Por el contrario, su impacto depende simultáneamente de su profundidad interna (en términos de transferencia de conocimiento, grado de institucionalización y capacidad de densificación endógena) y del perfil estructural del ecosistema que la recibe.

A efectos analíticos, el presente informe propone una tipología de modalidades de cooperación ordenadas según su profundidad estructural y su capacidad de incidir en la acumulación endógena de capacidades. Esta clasificación dialoga con distinciones presentes en la literatura sobre cooperación para el desarrollo y fortalecimiento de capacidades, pero se adapta aquí específicamente al campo de las tecnologías cuánticas.

Desde esta perspectiva, es posible distinguir cuatro modalidades ideales de cooperación, ordenadas según su profundidad estructural. En un primer nivel, la cooperación instrumental-asimétrica, que se caracteriza por el acceso a tecnología o plataformas externas sin apropiación estratégica ni fortalecimiento institucional local, reproduciendo esquemas proveedor-usuario. En un segundo nivel, la cooperación formativa transicional, que amplía capital humano y redes académicas, aunque su impacto estructural depende de su anclaje en políticas nacionales y capacidades infraestructurales existentes. En un tercer nivel, la cooperación programática de fortalecimiento, que articula financiación estable, redes estructuradas e infraestructura compartida y puede cerrar brechas específicas. Finalmente, la cooperación estructural-multiplicadora, la cual implica co-diseño estratégico, participación en estándares y gobernanza birregional formal, configurando un escenario en el cual la cooperación no solo fortalece capacidades, sino que incide en la definición de agendas tecnológicas.

**Tabla 3: Tipología ideal de cooperación**

Variable	Definición operativa	Modalidades ideales de cooperación			
		Instrumental- asimétrica	Formativa transicional	Programática de fortalecimiento	Estructural- multiplicadora
Transferencia de conocimiento	Grado en que la cooperación implica apropiación estratégica del conocimiento	Acceso instrumental (uso de plataformas, compra de servicios)	Transferencia formativa individual (becas, cursos, movilidad aislada)	Co-desarrollo técnico (proyectos conjuntos de I+D, laboratorios colaborativos)	Producción conjunta estratégica (co-diseño de agendas, estándares, infraestructura compartida)
Institucionalización	Grado de estabilidad y formalización de la arquitectura cooperativa	Interacción episódica (seminarios, MoU no operativos)	Proyecto temporal (financiamiento puntual, piloto)	Programa estable (línea presupuestaria recurrente, gobernanza técnica definida)	Arquitectura estructural permanente (plataforma birregional con coordinación política formal)
Densificación endógena	Grado en que la cooperación fortalece capacidades locales estructurales	Dependencia funcional (relación proveedor-usuario)	Capacitación individual sin anclaje institucional	Fortalecimiento institucional (laboratorios, integración formativa, articulación HPC)	Expansión estructural del ecosistema (masa crítica sostenida, autonomía tecnológica relativa)

Sin embargo, esta tipología no opera en el vacío. Su efecto depende del perfil estructural del ecosistema receptor. En ecosistemas habilitantes integrales consolidados, incluso modalidades programáticas pueden generar posicionamiento estratégico y, si incorporan co-diseño, evolucionar hacia esquemas multiplicadores. En ecosistemas en consolidación con brechas específicas, la cooperación puede acelerar procesos de maduración siempre que se articule con una estrategia nacional clara. En cambio, en contextos de capacidades fragmentadas o incipientes, la cooperación, incluso cuando es ambiciosa en su diseño, enfrenta límites de absorción que pueden traducirse en

dependencia tecnológica indirecta o en formalismo institucional sin impacto estructural.

De este modo, la cooperación no es una variable dicotómica entre éxito y fracaso, sino una función del umbral estructural existente. Allí donde existen capacidades mínimas de absorción, coordinación institucional y articulación técnica, la cooperación puede operar como palanca de convergencia; donde estas condiciones no están presentes, la misma cooperación puede consolidar brechas. Este hallazgo permite afirmar que el desafío no es únicamente tratar de ampliar instrumentos o recursos, sino de calibrar su diseño según la heterogeneidad regional, evitando soluciones homogéneas en contextos estructuralmente disímiles.

## **5.2. Perfil actual de la cooperación UE–ALC y trayectorias posibles**

Si se observa la arquitectura vigente de cooperación entre la Unión Europea y América Latina y el Caribe en ámbitos relevantes para las tecnologías emergentes, el panorama no es de ausencia institucional, sino de orientación predominantemente habilitante. El inventario funcional de instrumentos existentes muestra una densidad significativa de mecanismos formativos e institucionales ligeros (movilidad académica, redes de puntos nacionales de contacto, diálogos regulatorios, marcos estratégicos birregionales) así como una base programática relevante en infraestructura científica y supercomputación. Sin embargo, la cooperación explícitamente estructurada en torno a tecnologías cuánticas, con co-diseño temático y gobernanza compartida en estándares o transición poscuántica, aún no aparece formalmente consolidada.

La clasificación de los instrumentos disponibles según la tipología operativa permite identificar un predominio de modalidades formativas transicionales y programáticas de fortalecimiento, mientras que las modalidades estructurales-multiplicadoras permanecen incipientes o latentes. La infraestructura de conectividad y HPC birregional, junto con programas de cooperación en infraestructuras de investigación, constituyen una base material significativa. No obstante, su integración explícita en una estrategia cuántica compartida aún no está plenamente tematizada. Esto sugiere que la

arquitectura cooperativa existente posee densidad institucional suficiente para sostener una agenda más ambiciosa, pero todavía opera mayoritariamente en clave habilitante.

**Tabla 4: Instrumentos de cooperación entre la UE y ALC**

Instrumento	Descripción	Lectura estructural	Tipo ideal de cooperación
BELLA (Building the Europe Link to Latin America)	Iniciativa conjunta de infraestructura de conectividad digital entre Europa y América Latina, cuyo objetivo es fortalecer la cooperación científica, tecnológica y educativa a través de una conexión de fibra óptica de alta velocidad	Infraestructura habilitante crítica, pero sin co-diseño cuántico ni gobernanza tecnológica compartida.	Instrumental-asimétrica
EURAXESS América Latina y el Caribe (LAC)	Iniciativa de la Comisión Europea que fomenta la colaboración científica y la movilidad de investigadores entre Europa y la región LAC. Ofrece herramientas gratuitas para encontrar empleo, financiación y oportunidades de investigación, facilitando la cooperación entre instituciones científicas y científicos de todas las áreas.	Servicio de movilidad informacional; reduce fricciones pero no densifica capacidades estructurales.	Formativa transicional
EU-LAC Digital Alliance	Marco de cooperación birregional lanzado en marzo de 2023 con el objetivo de fomentar una transformación digital inclusiva, sostenible y centrada en el ser humano en ambas regiones. Busca fortalecer el diálogo político, la gobernanza de datos, la ciberseguridad, la conectividad y la inversión en tecnologías digitales.	Arquitectura institucional con presupuesto; aún no incorpora línea cuántica explícita.	Programática de fortalecimiento
Diálogos de Política Digital UE-ALC	Plataforma de alto nivel que une a la Unión Europea y América Latina y el Caribe (ALC) para cooperar en transformación digital. Aabordan temas como ciberseguridad, IA, gobernanza de datos y conectividad.	Mecanismo de alineamiento regulatorio sin capa operativa cuántica.	Formativa transicional
Iniciativa Conjunta UE-CELAC sobre Investigación e Innovación (JIRI) + Reuniones de Altos Funcionarios (SOM)	Marco estratégico de cooperación en ciencia, tecnología e innovación entre la Unión Europea y la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños	Gobernanza institucional sin instrumentos financieros propios.	Formativa transicional

<p>EU-CELAC Strategic Roadmap (2021-2023)</p>	<p>Hoja de ruta estratégica adoptada para implementar la cooperación en investigación e innovación (I+D) entre la Unión Europea y la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños. Se enfoca en abordar desafíos globales, incluyendo la transformación digital, impulsando infraestructuras de investigación y la movilidad de investigadores.</p>	<p>Marco orientador, no estructural en sí mismo.</p>	<p>Formativa transicional</p>
<p>HORIZON-INFRA-2 023-DEV-01-06</p>	<p>Convocatoria de financiación de Horizonte Europa (2021-2027) diseñada para fortalecer la cooperación en infraestructuras de investigación entre la Unión Europea (UE) y América Latina y el Caribe (ALC).</p>	<p>Financiación concreta de cooperación en infraestructuras; habilita potencial cuántico si se prioriza.</p>	<p>Programática de fortalecimiento</p>
<p>EU-LAC ResInfra (Towards a new EU-LAC partnership in Research Infrastructures)</p>	<p>Proyecto financiado por la Unión Europea que busca fortalecer la colaboración birregional en infraestructuras de investigación (RIs) entre Europa y América Latina y el Caribe. Impulsa redes, buenas prácticas y el mapeo de instalaciones estratégicas para la investigación y la innovación.</p>	<p>Red estructurada de infraestructuras con reglas de acceso y cofinanciación.</p>	<p>Programática de fortalecimiento</p>
<p>RISC2 (Red Iberoamericana de Supercomputación / Latin American High-Performance Computing Network)</p>	<p>Proyecto financiado por la Unión Europea (UE) destinado a crear y fortalecer una red de cooperación en Computación de Alto Rendimiento (HPC) entre Europa y América Latina.</p>	<p>Construcción organizativa de cooperación en HPC; precursor estructural.</p>	<p>Programática de fortalecimiento</p>
<p>EU-LAC Supercomputing Network</p>	<p>Alianza estratégica que busca conectar infraestructuras de computación de alto rendimiento (HPC) existentes, desarrollar capacidades y promover la innovación conjunta, principalmente en el ámbito de la IA y la investigación.</p>	<p>Infraestructura HPC compartida con inversión identificable; aún sin integración cuántica explícita.</p>	<p>Programática de fortalecimiento</p>
<p>Acciones Marie Skłodowska-Curie (MSCA)</p>	<p>Programa principal de la Unión Europea para la financiación de la investigación, el doctorado y la formación postdoctoral, diseñado para impulsar carreras científicas internacionales e intersectoriales. Apoyan la movilidad y excelencia investigadora sin restricciones de edad o nacionalidad.</p>	<p>Movilidad y formación avanzada; impacto estructural depende de anclaje institucional.</p>	<p>Formativa transicional</p>

Erasmus+	Programa de la Unión Europea que financia proyectos de educación, formación, juventud y deporte (2021-2027), facilitando oportunidades de movilidad y aprendizaje en el extranjero para estudiantes, docentes y personal.	Instrumento formativo transversal; no específico de cuántica.	Formativa transicional
Red Latinoamericana y Caribeña de Puntos Nacionales de Contacto (Red LAC NCP)	Estructura compuesta por representantes oficiales de los países de América Latina y el Caribe (CELAC), reconocidos por la Comisión Europea, cuyo objetivo es promover la participación de instituciones e investigadores de la región en programas de ciencia, tecnología e innovación, principalmente Horizonte Europa.	Mejora absorción institucional para acceso a fondos UE; no crea infraestructura.	Formativa transicional
EU-LAC Interest Group (Grupo de Interés Unión Europea-América Latina y el Caribe)	Red de agencias financiadoras de ciencia, tecnología e innovación de ambos continentes que busca potenciar la cooperación birregional. Facilita convocatorias conjuntas para apoyar proyectos de investigación, generalmente en áreas estratégicas como bioeconomía, salud y desarrollo sostenible.	Interfaz institucional; requiere formalización operativa.	Formativa transicional
Centro de Cibercapacidades de América Latina y el Caribe (LAC4)	Iniciativa de la Unión Europea, establecida en 2022 en Santo Domingo, República Dominicana, destinada a fortalecer la ciberseguridad y combatir la ciberdelincuencia en la región. Funciona como un centro regional de formación, capacitación y cooperación que promueve la ciberresiliencia y la transformación digital segura.	Nodo institucional en ciberseguridad; podría alojar transición poscuántica si se prioriza.	Programática de fortalecimiento

Fuente: elaboración propia a partir de documentos oficiales

A partir de este diagnóstico pueden delinearse dos trayectorias contrastivas. En un primer escenario de continuidad habilitante, la cooperación mantiene su orientación actual, es decir, predominio de instrumentos formativos y programáticos generales, ausencia de línea temática cuántica formal y utilización de infraestructura existente sin integración estratégica específica. En este contexto, los ecosistemas consolidados pueden experimentar mejoras incrementales, pero los ecosistemas fragmentados o incipientes tenderán a reproducir esquemas proveedor-usuario, consolidando asimetrías tecnológicas indirectas.

En un segundo escenario de priorización estructural, la arquitectura vigente se reorienta mediante la incorporación explícita de la dimensión cuántica en los marcos birregionales existentes, la integración estratégica entre HPC y desarrollo cuántico, el diseño de hojas de ruta para transición poscuántica y la participación coordinada en estándares. Bajo esta trayectoria, la cooperación puede evolucionar desde modalidades programáticas hacia esquemas estructurales-multiplicadores, especialmente en aquellos ecosistemas que ya presentan capacidades de absorción intermedias o consolidadas. La diferencia entre ambos escenarios no radica en la creación ex nihilo de nuevos instrumentos, sino en la calibración estratégica de los existentes.

De este modo, el diagnóstico empírico no conduce a una conclusión de insuficiencia institucional, sino a una cuestión de orientación estratégica. La cooperación birregional dispone de infraestructura, financiación y espacios de gobernanza. Lo que está en juego es si estos elementos se articulan en torno a una agenda cuántica explícita y co-diseñada, o si continúan operando de manera transversal sin alterar las brechas estructurales identificadas previamente.

### **5.3. Condiciones bajo las cuales la cooperación reduce asimetrías**

Por lo dicho hasta acá, la cooperación birregional no reduce automáticamente las asimetrías estructurales. Su efecto depende de un conjunto de condiciones mínimas que operan en distintos planos simultáneamente. Cuando estas condiciones no se activan de manera coordinada, la cooperación tiende a permanecer en niveles instrumentales o formativos; cuando convergen, puede transitar hacia modalidades estructurales-multiplicadoras.

En el plano institucional, la existencia de un actor coordinador con mandato formal y capacidad de articulación interministerial constituye una condición decisiva. Sin un nodo que integre la cooperación en una estrategia nacional coherente, los instrumentos disponibles tienden a fragmentarse en proyectos aislados, perdiendo continuidad y densidad estructural. La cooperación, en este caso, no consolida capacidades, sino que se superpone a una arquitectura doméstica dispersa. En cambio, cuando existe

coordinación estratégica, incluso instrumentos programáticos pueden generar trayectorias acumulativas.

En el plano técnico–infraestructural, la presencia de una base mínima absorbente (laboratorios operativos, acceso estructurado a HPC, conectividad estable y capacidades experimentales) determina la posibilidad de apropiación tecnológica. La cooperación en ausencia de esta base se traduce en dependencia de servicios remotos o en acceso simbólico a infraestructura externa.

En el plano formativo, la diferencia entre movilidad individual y trayectorias institucionalizadas es crítica. Los programas de formación y movilidad amplían capital humano, pero solo densifican capacidades cuando se insertan en estructuras organizacionales estables y se articulan con infraestructura y financiamiento doméstico. Sin este anclaje, el efecto puede ser limitado o incluso generar fuga de talento.

Finalmente, en el plano de la gobernanza y los estándares, la participación en la definición de agendas técnicas y marcos regulatorios constituye un elemento diferenciador. Allí donde la región se limita a adoptar estándares definidos externamente, las asimetrías normativas pueden profundizarse. En cambio, cuando participa en su configuración, la cooperación adquiere dimensión estratégica.

**Figura 5: Condiciones de posibilidad**



Fuente: elaboración propia

La convergencia de estos cuatro planos define un umbral estructural. Por debajo de ese umbral, la cooperación tiende a operar como mecanismo habilitante o proveedor-usuario; por encima, puede funcionar como multiplicador sistémico. En este marco, el rol potencial de la Secretaría General Iberoamericana no reside en la creación de instrumentos financieros sustitutivos, sino en la articulación estratégica entre arquitectura europea existente y heterogeneidad regional. Como puente institucional, la SEGIB puede contribuir a calibrar instrumentos según perfiles estructurales diferenciados, promover alineamientos temáticos explícitos y facilitar la transición desde modalidades programáticas hacia esquemas de cooperación con mayor densidad estratégica.

De este modo, la pregunta que abrió esta sección encuentra una respuesta condicionada: la cooperación puede reducir asimetrías, pero solo cuando su diseño, su profundidad institucional y su articulación con las capacidades regionales alcanzan el umbral necesario para transformar acceso en apropiación y coordinación en estrategia compartida.

## 6. Escenarios posibles para la región (2026–2036)

La consolidación progresiva de estándares tecnológicos, cadenas de valor y arquitecturas de interoperabilidad en el campo cuántico reduce gradualmente el espacio de maniobra para inserciones tardías o descoordinadas. En este contexto, la cuestión estratégica para Iberoamérica es cómo evolucionará su posición estructural en la próxima década en función de su grado de articulación, integración técnica y reproducción de masa crítica.

A partir de esta premisa, la presente sección se orienta a responder una pregunta central: ¿qué trayectorias son plausibles para la región entre 2026 y 2036? No se trata de formular predicciones ni de prescribir una agenda, sino de modelar configuraciones estructurales alternativas derivadas del diagnóstico previo. El objetivo es exponer, con claridad comparativa, las consecuencias diferenciadas que se desprenden de la superación (o no) de ciertos umbrales críticos, en términos de riesgo estructural, autonomía estratégica e inserción internacional.

### 6.1. Marco metodológico y lógica de construcción

Los escenarios que se presentan a continuación derivan directamente del diagnóstico estructural desarrollado en las secciones anteriores. En particular, se construyeron a partir de tres premisas analíticas ya demostradas:

1. La fragmentación regional es un mecanismo estructural que condiciona la trayectoria futura.
2. Existen activos reales (nodos académicos, infraestructura HPC institucionalizada, actores públicos con mandato formal, marcos birregionales vigentes) que podrían alterar dicha trayectoria si se articulan estratégicamente.
3. El riesgo no radica en la ausencia de capacidades, sino en su dispersión y desalineación.

Sobre esa base, el ejercicio prospectivo se desarrolló mediante un procedimiento en cinco pasos.

Primero, se identificaron los mecanismos causales estructurales evidenciados en el análisis previo: brecha de masa crítica formativa, fragmentación computacional, concentración experimental, vulnerabilidad poscuántica, concentración productiva y cooperación birregional no institucionalizada.

Segundo, estos mecanismos fueron jerarquizados para distinguir entre *drivers* sistémicos y variables derivadas.

**Tabla 5: Mecanismos causales estructurales jerarquizados según drivers.**

Dimensión estructural	Mecanismo causal identificado	Tipo de driver	¿Afecta riesgo, autonomía e inserción?
Gobernanza y articulación intersectorial	Proliferación sectorial sin marco estratégico unificado → fragmentación institucional → incapacidad de coordinación sistémica	Primario (sistémico)	Sí
Integración HPC-cuántica	Fragmentación computacional → restricción en simulación avanzada → absorción tecnológica limitada	Primario (tecnológico-operativo)	Sí
Talento / formación	Concentración formativa → restricción en reproducción endógena → externalización formativa compensatoria	Primario (cognitivo-estructural)	Sí
Infraestructura de laboratorio	Baja densidad experimental → restricción en validación física → concentración técnica	Secundario (derivado)	Parcial
Densidad privada	Concentración productiva en subcampos específicos → diversificación limitada	Secundario (industrial)	Parcial
Seguridad / transición poscuántica	Referencias generales sin planificación explícita → vulnerabilidad futura	Secundario (riesgo crítico)	Impacta fuertemente riesgo, menos autonomía.
Cooperación birregional UE-ALC	Cooperación heterogénea ad hoc → baja institucionalización → vulnerabilidad estratégica	Secundario (inserción)	Principalmente inserción

Fuente: elaboración propia

El análisis anterior permitió identificar tres variables estructurales críticas que, al cambiar, modifican simultáneamente el nivel de riesgo estructural, el grado de autonomía estratégica y la calidad de la inserción internacional. Estas variables son:

- Nivel de articulación institucional regional.
- Nivel de integración HPC-cuántica regional.
- Capacidad de reproducción endógena de masa crítica.

Tercero, para cada variable se definieron umbrales estructurales (bajo, medio y alto) entendidos como puntos de inflexión cualitativos. Por ejemplo, la diferencia entre coordinación informal y arquitectura institucional formalizada; entre uso nacional de HPC e interoperabilidad regional; entre concentración formativa y red articulada de reproducción de talento.

**Tabla 6: Umbrales estructurales**

Variable estructural crítica	Definición operativa	Umbral bajo (persistencia de patrón actual)	Umbral medio (transición parcial)	Umbral alto (cambio estructural)	Punto de inflexión cualitativo
<b>Variable A -</b> Nivel de articulación institucional regional	Grado de coordinación estratégica regional en gobernanza cuántica.	Predominio de aproximaciones sectoriales fragmentadas; coordinación ad hoc sin arquitectura regional estable.	Existencia de mecanismos técnicos de coordinación periódica, pero sin marco político regional formal ni lineamientos comunes vinculantes.	Arquitectura regional formalizada con lineamientos estratégicos compartidos, foro técnico-político permanente y mecanismos institucionalizados de seguimiento.	Paso de coordinación informal a institucionalización formal y sostenida.
<b>Variable B -</b> Nivel de integración HPC-cuántica regional	Grado de interoperabilidad entre infraestructuras de supercomputación y ecosistemas cuánticos.	HPC utilizada de forma aislada o nacional, con articulación débil o no identificada con I+D cuántica.	Integración explícita en sistemas líderes; cooperación técnica bilateral o subregional, pero sin interoperabilidad regional sistémica.	Plataforma regional interoperable que articula centros HPC con ecosistemas cuánticos para simulación avanzada y modelización.	Paso de uso nacional a interoperabilidad regional estructurada.

<b>Variable C - Capacidad de reproducción endógena de masa crítica</b>	Capacidad regional de formar, retener y escalar talento cuántico mediante oferta estructurada y redes académicas articuladas.	Concentración formativa en pocos nodos; externalización formativa como mecanismo compensatorio dominante.	Expansión incipiente de oferta estructurada en sistemas emergentes; movilidad académica puntual sin red regional consolidada.	Red regional de formación articulada con movilidad estructurada, hubs académicos interconectados y expansión sostenida de oferta formativa.	Paso de concentración geográfica a red articulada de reproducción de masa crítica.
--	---	---	---	---	--

Fuente: elaboración propia

Cuarto, se modelaron las combinaciones posibles entre estas tres variables ( $3 \times 3 \times 3$ ), lo que permitió identificar veintisiete configuraciones teóricamente plausibles. A partir de ellas se seleccionaron tres arquetipos contrastivos que representan trayectorias estructuralmente diferenciadas.

**Tabla 7: Combinaciones posibles de escenarios**

ID	A - Articulación institucional regional	B - Integración HPC-cuántica regional	C - Reproducción endógena de masa crítica	Lectura estructural breve
1	1 = bajo	1 = bajo	1 = bajo	Inercia sistémica (fragmentación integral).
2	1 = bajo	1 = bajo	1 = bajo	Formación mejora marginal, sin coordinación ni HPC integrada.
3	1 = bajo	1 = bajo	3 = alto	Talento alto “en islas”; bajo escalamiento regional.
4	1 = bajo	2 = medio	1 = bajo	HPC mejora en líderes; sin gobernanza ni masa crítica sostenida.
5	1 = bajo	2 = medio	2 = medio	Avances parciales tecnocientíficos; persistencia de dispersión.
6	1 = bajo	2 = medio	3 = alto	Capacidad técnica crece, pero sin arquitectura regional.
7	1 = bajo	3 = alto	1 = bajo	HPC interoperable sin gobernanza/talento: cuello de botella humano-institucional.
8	1 = bajo	3 = alto	2 = medio	Plataforma HPC fuerte; formación parcial; coordinación regional ausente.

9	1 = bajo	3 = alto	3 = alto	“Infraestructura avanzada sin política regional”; inserción asimétrica.
10	2 = medio	1 = bajo	1 = bajo	Coordinación técnica incipiente, sin soporte computacional ni talento.
11	2 = medio	1 = bajo	2 = medio	Coordinación + formación parcial; HPC sigue fragmentada.
12	2 = medio	1 = bajo	3 = alto	Gobernanza parcial + talento alto; falta capacidad de simulación/escalamiento.
13	2 = medio	2 = medio	1 = bajo	Coordinación técnica limitada con baja reproducción de masa crítica.
14	2 = medio	2 = medio	2 = medio	“Consolidación gradual”: mejoras sincronizadas, aún no estructurales.
15	2 = medio	2 = medio	3 = alto	Buen talento + coordinación; HPC en transición: inserción selectiva.
16	2 = medio	3 = alto	1 = bajo	HPC interoperable + coordinación; déficit formativo: dependencia cognitiva persiste.
17	2 = medio	3 = alto	2 = medio	Arquitectura técnica fuerte; formación en expansión: salto plausible si se sostiene.
18	2 = medio	3 = alto	3 = alto	Alta capacidad operativa; gobernanza aún parcial: riesgo de asimetrías internas.
19	3 = alto	1 = bajo	1 = bajo	Arquitectura política formal, sin HPC ni talento: “institución sin capacidad”.
20	3 = alto	1 = bajo	2 = medio	Gobernanza fuerte + formación parcial; HPC rezagada limita absorción.
21	3 = alto	1 = bajo	3 = alto	Gobernanza + talento altos; falta HPC impide escalamiento tecnológico.
22	3 = alto	2 = medio	1 = bajo	Gobernanza fuerte; HPC en transición; talento bajo: fragilidad de largo plazo.
23	3 = alto	2 = medio	2 = medio	“Arquitectura en construcción”: coherencia alta, pero aún sin salto pleno.
24	3 = alto	2 = medio	3 = alto	Inserción estratégica posible; falta cerrar interoperabilidad HPC regional total.
25	3 = alto	3 = alto	1 = bajo	Gobernanza + HPC altas; talento bajo: riesgo de dependencia por recursos humanos.
26	3 = alto	3 = alto	2 = medio	Sistema casi articulado; formación aún en transición (umbral final pendiente).
27	3 = alto	3 = alto	3 = alto	Arquitectura iberoamericana articulada (cambio estructural pleno).

Quinto, cada arquetipo fue evaluado en función de sus consecuencias sobre tres variables dependientes comunes: nivel de riesgo estructural, nivel de autonomía estratégica e inserción internacional.

Este procedimiento garantiza que los escenarios no introduzcan información nueva ni hipótesis exógenas no trabajadas en los Productos 1 y 2. Se trata, por el contrario, de proyecciones coherentes de dinámicas ya observables en el presente. Asimismo, el nivel de análisis se mantiene deliberadamente regional. Los escenarios no clasifican países ni anticipan comportamientos individuales, sino que describen configuraciones sistémicas agregadas.

En consecuencia, los tres escenarios que se desarrollan a continuación deben leerse como trayectorias plausibles derivadas de la superación (o no) de umbrales estructurales críticos. No constituyen prescripciones normativas. Su función es exponer con claridad las consecuencias diferenciadas de cada configuración posible y, de ese modo, motivar una reflexión estratégica informada.

A partir de esta lógica, se presentan tres trayectorias para el período 2026-2036:

1. Inercia fragmentada.
2. Coordinación técnica limitada.
3. Arquitectura iberoamericana articulada.

Cada una describe una configuración estructural distinta y sus implicancias en términos de riesgo, autonomía e inserción internacional.

## 6.2. Escenario 1 – Inercia fragmentada

En este escenario, la región no logra superar los umbrales estructurales críticos identificados en el análisis previo. La articulación institucional regional permanece anclada en aproximaciones sectoriales fragmentadas, sin consolidar una arquitectura cooperativa mínima capaz de coordinar agendas, integrar capacidades y establecer lineamientos estratégicos compartidos. Los mecanismos de diálogo existentes continúan operando de forma ad hoc o temática, pero no evolucionan hacia un marco institucional estable que permita acumulación estratégica.

En paralelo, la integración entre infraestructuras de supercomputación y ecosistemas cuánticos se mantiene limitada a dinámicas nacionales o a iniciativas aisladas en sistemas más avanzados. La ausencia de interoperabilidad regional restringe la capacidad de simulación avanzada, modelización híbrida y experimentación colaborativa, lo que consolida un patrón de fragmentación computacional. La infraestructura existe, pero no se articula sistémicamente.

La reproducción endógena de masa crítica tampoco supera el umbral cualitativo necesario para alterar la trayectoria regional. La oferta formativa estructurada continúa concentrada en un número reducido de nodos académicos, mientras que un conjunto significativo de sistemas depende de mecanismos de externalización formativa como vía compensatoria. Esta concentración no implica estancamiento científico en los polos consolidados; por el contrario, estos pueden seguir avanzando. Sin embargo, la región en su conjunto no logra transformar esos polos en una red articulada de reproducción y circulación de talento.

Como consecuencia, las dimensiones derivadas refuerzan dinámicas ya observables. La infraestructura experimental continúa concentrándose en laboratorios de alta densidad ubicados en pocos sistemas, limitando la validación física y la absorción tecnológica en el resto de la región. El sector privado cuántico mantiene presencia en subcampos específicos, pero sin diversificación productiva regional ni escalamiento industrial coordinado. La transición poscuántica avanza de forma desigual, con referencias generales a seguridad cuántica pero sin planificación regional estructurada para la

migración criptográfica, lo que incrementa gradualmente la exposición temporal frente a capacidades de cómputo avanzado.

En este contexto, la cooperación birregional con Europa continúa desarrollándose a través de instrumentos existentes, pero sin un mecanismo regional de articulación que permita convertirla en un vector de densificación endógena. La relación tiende a estructurarse en torno a accesos puntuales a infraestructura o proyectos específicos, más que a procesos acumulativos de co-construcción de capacidades.

### **6.2.1. Implicancias estructurales**

Bajo esta configuración, el nivel de riesgo estructural se mantiene alto. No por ausencia de activos, sino por la consolidación progresiva de asimetrías internas que limitan la absorción científica y la capacidad de incidencia en estándares internacionales. La dependencia no se manifiesta necesariamente como rezago visible inmediato, sino como pérdida gradual de margen de negociación y de autonomía decisional.

El nivel de autonomía estratégica permanece bajo en términos regionales agregados. Si bien algunos sistemas conservan capacidades avanzadas, la región como conjunto no logra actuar como bloque articulado ni generar masa crítica distribuida que respalde decisiones tecnológicas soberanas.

Finalmente, la inserción internacional adopta un carácter periférico y dependiente. Iberoamérica participa en el ecosistema cuántico global principalmente como espacio de adopción tecnológica, mercado potencial o socio científico fragmentado, más que como actor con capacidad de co-diseño y negociación estructurada.

Este escenario no implica colapso ni estancamiento absoluto. Implica, más bien, la cristalización de la fragmentación actual como patrón estable de largo plazo. La trayectoria resultante no es dramática, pero sí acumulativa: a medida que estándares y cadenas de valor se consoliden globalmente, el margen de reconfiguración estratégica regional tenderá a reducirse.

### **6.3. Escenario 2 – Coordinación técnica limitada**

En este escenario, la región logra superar parcialmente algunos de los umbrales estructurales críticos, pero no alcanza a consolidar una arquitectura regional plenamente articulada. La fragmentación institucional no desaparece, pero evoluciona hacia mecanismos de coordinación técnica más estables. Se establecen espacios periódicos de intercambio entre autoridades, centros de investigación y actores estratégicos; se comparten lineamientos y se coordinan iniciativas específicas. Sin embargo, estos mecanismos no cristalizan en un marco político-regional formalizado ni en una arquitectura acumulativa con capacidad de planificación estratégica sostenida.

En el plano tecnológico-operativo, la integración entre infraestructuras de supercomputación y ecosistemas cuánticos avanza de manera selectiva. Los sistemas más consolidados fortalecen la articulación entre HPC e investigación cuántica, desarrollan capacidades de simulación avanzada y promueven proyectos colaborativos subregionales. No obstante, esta integración no alcanza el nivel de interoperabilidad regional sistémica. La cooperación se organiza en torno a nodos líderes y, aunque se amplía el acceso técnico en comparación con el escenario de inercia, la región no dispone todavía de una plataforma compartida que funcione como infraestructura común.

La principal tensión estructural de este escenario reside en la dimensión cognitiva. La reproducción endógena de masa crítica no supera el umbral cualitativo necesario para modificar la trayectoria de fondo. Si bien se registran expansiones incipientes de oferta formativa en sistemas emergentes y se desarrollan iniciativas de movilidad académica puntual, la concentración estructural del talento persiste. La externalización formativa continúa operando como mecanismo compensatorio dominante para un conjunto significativo de sistemas.

Las dimensiones derivadas reflejan esta configuración intermedia. La infraestructura experimental se densifica en algunos países y se consolida el acceso a laboratorios de mayor complejidad técnica, pero sin constituir todavía una red regional interoperable. El sector privado fortalece nichos tecnológicos en áreas específicas, especialmente en

computación y comunicaciones, aunque la diversificación productiva regional permanece limitada y concentrada geográficamente. En materia de transición poscuántica, algunos sistemas avanzan en planificación sectorial y fortalecen marcos regulatorios específicos, pero no se configura aún un esquema coordinado de migración criptográfica a escala regional.

La cooperación birregional con Europa adquiere mayor densidad técnica. Se desarrollan proyectos colaborativos más estructurados, se incrementa la circulación de conocimiento y se amplía el acceso a infraestructuras avanzadas. Sin embargo, en ausencia de una arquitectura regional interna plenamente articulada, esta cooperación tiende a beneficiar de manera asimétrica a los nodos más avanzados, reproduciendo diferencias intra-regionales.

### **6.3.1. Implicancias estructurales**

En esta configuración, el nivel de riesgo estructural se reduce respecto del escenario de inercia, pero no desaparece. Las vulnerabilidades técnicas disminuyen en los sistemas líderes gracias a la integración HPC-cuántica y a la mayor coordinación sectorial. Sin embargo, la persistencia de la brecha formativa mantiene un riesgo latente de dependencia cognitiva a mediano y largo plazo.

El nivel de autonomía estratégica es intermedio y heterogéneo. Algunos sistemas adquieren mayor capacidad operativa y capacidad de interlocución internacional, pero la región en su conjunto no logra consolidar una autonomía distribuida. La capacidad de planificación estratégica existe, aunque no está respaldada por una masa crítica regional amplia y articulada.

La inserción internacional adopta un carácter selectivo y asimétrico. Iberoamérica logra posicionarse en determinadas redes y proyectos estratégicos a través de sus nodos más avanzados, pero no actúa como bloque articulado con capacidad de negociación estructurada en estándares, gobernanza o propiedad intelectual.

Este escenario no reproduce la fragmentación plena del primero, pero tampoco altera de manera decisiva la trayectoria estructural. Configura una región funcionalmente activa y

técnicamente más integrada, aunque aún vulnerable a dinámicas de concentración interna y dependencia cognitiva. La mejora es real, pero su sostenibilidad depende de la superación del umbral formativo que permanece pendiente.

#### **6.4. Escenario 3 – Arquitectura iberoamericana articulada**

En este escenario, la región logra superar de manera simultánea los tres umbrales estructurales críticos identificados en el análisis previo. La articulación institucional regional evoluciona desde mecanismos de coordinación sectorial hacia una arquitectura cooperativa mínima pero estable, con lineamientos estratégicos compartidos, espacios permanentes de diálogo técnico-político y mecanismos formales de seguimiento. No se trata de una centralización supranacional ni de la creación de una agencia tecnológica regional, sino de la consolidación de un marco que permite acumulación estratégica y coherencia intersectorial.

En el plano tecnológico-operativo, la integración entre infraestructuras de supercomputación y ecosistemas cuánticos alcanza un nivel de interoperabilidad regional. Los centros HPC nacionales y universitarios articulan protocolos de acceso compartido, estándares técnicos comunes y proyectos colaborativos de simulación avanzada. Esta interoperabilidad no elimina las diferencias de escala entre sistemas, pero permite que la capacidad instalada funcione como red y no como archipiélago. La fragmentación computacional deja de ser un mecanismo estructural y se transforma en complementariedad operativa.

La dimensión formativa también experimenta un cambio cualitativo. La región consolida una red articulada de reproducción de masa crítica que conecta nodos académicos de alta relevancia con sistemas emergentes. Se institucionalizan programas de movilidad, trayectos formativos coordinados y mecanismos de reconocimiento mutuo que amplían la base de talento distribuido. La concentración geográfica no desaparece, pero deja de operar como barrera estructural para el acceso y la circulación del conocimiento. La externalización formativa deja de ser el mecanismo dominante y se convierte en complemento estratégico.

Como consecuencia, las dimensiones derivadas adquieren mayor coherencia sistémica. La infraestructura experimental se organiza en red, facilitando acceso compartido y validación colaborativa de protocolos. El sector privado encuentra un entorno más previsible y articulado, lo que favorece la diversificación productiva y la cooperación público-privada en múltiples subcampos tecnológicos. La transición poscuántica se aborda mediante lineamientos regionales que coordinan la planificación de migración criptográfica, reduciendo la exposición temporal y fortaleciendo la resiliencia institucional.

En este contexto, la cooperación birregional con Europa se transforma en un multiplicador estructural y no únicamente en un mecanismo de acceso puntual a capacidades externas. La articulación interna permite que los instrumentos existentes se orienten hacia la co-construcción de masa crítica, la interoperabilidad técnica y el desarrollo de proyectos demostradores compartidos, reduciendo asimetrías intra-regionales y fortaleciendo la posición negociadora de la región en foros internacionales.

#### **6.4.1. Implicancias estructurales**

Bajo esta configuración, el nivel de riesgo estructural disminuye de manera significativa en términos relativos. No desaparecen las asimetrías globales ni la brecha de escala frente a grandes potencias, pero la región mitiga vulnerabilidades asociadas a la dispersión, la dependencia cognitiva y la fragmentación técnica.

El nivel de autonomía estratégica aumenta en tanto la región dispone de capacidad de planificación coordinada, absorción tecnológica distribuida y articulación entre infraestructura, talento y gobernanza. La autonomía no se entiende como autosuficiencia, sino como capacidad de decisión informada y negociación desde una base articulada de capacidades.

La inserción internacional adquiere un carácter estratégico y negociador. Iberoamérica puede participar en el ecosistema cuántico global no solo como espacio de adopción o socio científico aislado, sino como región capaz de proponer agendas cooperativas,

influir en estándares emergentes y desarrollar proyectos conjuntos con mayor densidad institucional.

Este escenario no supone convergencia automática con las grandes potencias ni eliminación de asimetrías estructurales globales. Supone, en cambio, la transformación de una constelación dispersa de capacidades en una arquitectura cooperativa mínima que permite escalar formación, integrar infraestructura y coordinar planificación anticipatoria. En ese marco, la ventana de oportunidad identificada en las secciones previas se traduce en posicionamiento estratégico y no en dependencia acumulativa.

**Tabla 8: Síntesis comparativa de trayectorias regionales (2026–2036)**

Dimensión de resultado	Escenario 1 – Inercia fragmentada	Escenario 2 – Coordinación técnica limitada	Escenario 3 – Arquitectura articulada
Nivel de riesgo estructural	Alto. Consolidación progresiva de dependencia cognitiva y fragmentación computacional; vulnerabilidad acumulativa en transición poscuántica.	Medio. Reducción parcial de vulnerabilidades técnicas; persistencia de brecha formativa como riesgo latente.	Bajo (relativo). Mitigación estructural de riesgos mediante articulación institucional, interoperabilidad técnica y red formativa.
Nivel de autonomía estratégica	Bajo. Capacidad limitada de decisión tecnológica coordinada; autonomía concentrada en nodos aislados.	Intermedio y heterogéneo. Autonomía operativa en sistemas líderes; dependencia estructural en formación.	Alto (relativo). Capacidad regional de planificación, absorción tecnológica y negociación estratégica.
Inserción internacional	Periférica y dependiente. Participación fragmentada en redes globales; baja incidencia en estándares.	Selectiva y asimétrica. Inserción a través de nodos avanzados; limitada actuación como bloque regional.	Estratégica y negociadora. Participación articulada en redes y foros; mayor capacidad de incidencia y co-diseño.

Fuente: elaboración propia

## **7. Opciones estratégicas para una agenda iberoamericana cuántica**

Las secciones precedentes han mostrado que Iberoamérica no se encuentra ante una ausencia de capacidades cuánticas, sino ante una heterogeneidad estructural que, sin mecanismos de articulación adecuados, tiende a traducirse en fragmentación. El diagnóstico consolidado a lo largo del informe permite afirmar que la región dispone de activos reales, pero que estos activos operan mayormente en clave nacional y con niveles desiguales de coordinación intersistémica. En este contexto, el desafío principal no es la invención de nuevas tecnologías ni la replicación de modelos externos, sino la construcción de una arquitectura organizacional que permita que las capacidades existentes funcionen como un ecosistema regional.

Los escenarios prospectivos 2026-2036 desarrollados en la sección anterior mostraron que, en ausencia de articulación, la región podría derivar hacia trayectorias de cooperación superficial, dependencia tecnológica incremental o externalización formativa, aun cuando existan esfuerzos nacionales significativos. La pregunta que se impone, por tanto, es qué puede hacer la Secretaría General Iberoamericana para reducir los riesgos de fragmentación y activar las ventanas de oportunidad ya identificadas, actuando dentro de un mandato estrictamente organizacional.

Las opciones estratégicas que se presentan a continuación no constituyen un plan cerrado ni un programa prescriptivo. Por el contrario, configuran un menú de instrumentos posibles, condicionados y adaptables, cuyo propósito es habilitar trayectorias de consolidación sistémica sin duplicar esfuerzos ni desbordar el principio de subsidiariedad institucional que estructura la cooperación iberoamericana.

### **7.1 Principios de intervención**

Las opciones estratégicas que se presentan en esta sección se rigen por un conjunto explícito de principios que delimitan su alcance, su legitimidad institucional y su coherencia con el diagnóstico previo. Estos principios constituyen el marco que garantiza que la agenda propuesta no desborde el mandato de la Secretaría General Iberoamericana ni duplique instrumentos existentes, y que se mantenga alineada con la

tesis central del informe, según la cual el desafío regional es primordialmente organizacional y no tecnológico.

En primer lugar, rige el principio de subsidiariedad organizacional. Ninguna de las opciones propuestas sustituye las competencias soberanas de los Estados ni asume funciones regulatorias, presupuestarias o técnicas que corresponden a autoridades nacionales o a actores con mandato formal identificado en el mapeo estratégico. La SEGIB no crea infraestructura, no diseña estándares obligatorios ni financia laboratorios. En cambio, articula, facilita y coordina. Su intervención se justifica únicamente allí donde existe un vacío de articulación regional que no puede ser cubierto eficazmente por instrumentos nacionales aislados.

En segundo lugar, se adopta el principio de no duplicación funcional respecto de los instrumentos de cooperación birregional ya existentes. La cooperación Unión Europea-América Latina y el Caribe ofrece mecanismos consolidados de financiación, redes científicas e infraestructura, pero no sustituye la necesidad de una arquitectura iberoamericana de coordinación estratégica en tecnologías cuánticas. Las opciones aquí formuladas no replican programas europeos ni compiten con ellos; buscan, en su caso, articularlos, amplificarlos o integrarlos desde una perspectiva regional propia.

En tercer lugar, las propuestas se estructuran bajo un principio de activación condicional y gradual. Cada instrumento organizacional se concibe como una opción cuya puesta en marcha depende de la verificación de determinados umbrales (persistencia de fragmentación institucional, concentración de capacidades formativas, debilidad en la integración HPC-cuántica o ausencia de planificación poscuántica, entre otros) ya identificados en la matriz estratégica que orienta la totalidad de este informe (Anexo I). De este modo, la agenda no impone una secuencia uniforme ni simultánea para todos los sistemas, sino que reconoce la heterogeneidad tipológica de los ecosistemas nacionales y permite una implementación diferenciada.

Finalmente, las opciones se orientan por el principio de integración sistémica. La evidencia empírica muestra que la región dispone de capacidades parciales (académicas, técnicas, regulatorias y productivas) cuya eficacia depende de su conexión

funcional. El objetivo de la intervención regional no es agregar nuevas capas institucionales, sino reducir costos de transacción, densificar vínculos y facilitar la interoperabilidad entre actores ya existentes. Bajo esta lógica, la Secretaría General Iberoamericana actúa como catalizador de coherencia estructural, es decir, no crea el ecosistema cuántico iberoamericano sino que contribuye a que opere como tal.

## **7.2 Arquitectura mínima de coordinación regional**

El diagnóstico previo ha mostrado que la heterogeneidad estructural de los ecosistemas cuánticos iberoamericanos no constituye, en sí misma, un obstáculo insalvable. El riesgo emerge cuando esa heterogeneidad se traduce en fragmentación funcional sin mecanismos estables de alineamiento estratégico. La distribución tipológica presentada en el Producto 1, que abarca desde enfoques estratégicos integrales hasta aproximaciones sectoriales fragmentadas o señales incipientes, evidencia que la activación del campo cuántico ocurre predominantemente a través de instrumentos nacionales de ciencia, tecnología e innovación, pero sin un espacio regional permanente de coordinación técnica y política. En paralelo, el mapeo de actores confirma la existencia de interlocutores públicos con relevancia estratégica alta (R3) en múltiples sistemas, lo que indica que la región no carece de autoridad institucional, sino de un dispositivo de articulación intersistémica.

En este contexto, una arquitectura mínima de coordinación regional, materializada, por ejemplo, en un foro técnico-político permanente o en una plataforma de diálogo estructurado, constituye una opción estratégica de carácter transversal. Su función no sería producir normas vinculantes ni diseñar políticas nacionales, sino ofrecer un espacio regular de alineamiento entre ministerios competentes, agencias de innovación, nodos académicos estratégicos y, cuando corresponda, actores técnicos especializados. Este foro podría operar con una agenda anual acotada, orientada a intercambiar información sobre avances regulatorios, prioridades nacionales, integración HPC-cuántica, planificación poscuántica o cooperación birregional, reduciendo así la probabilidad de duplicaciones y divergencias innecesarias.

La activación de este instrumento se justifica particularmente en escenarios donde persiste una proliferación de iniciativas sectoriales sin marco unificado, riesgo identificado previamente como mecanismo causal de dependencia estructural. Su viabilidad política es elevada, dado que no exige transferencia de competencias ni compromisos presupuestarios obligatorios. Descansa, más bien, en la disposición de los interlocutores nacionales ya existentes a participar en un espacio de coordinación voluntaria. En términos institucionales, el rol legítimo de la SEGIB se circunscribe aquí a la facilitación y estructuración del diálogo, actuando como garante de continuidad y coherencia regional, sin sustituir las funciones sustantivas de los Estados.

Desde una perspectiva estratégica, esta arquitectura mínima cumple una función fundacional, ya que sin un dispositivo estable de coordinación, las demás opciones (formación, infraestructura, transición poscuántica o articulación privada) tienden a operar de manera dispersa. Por el contrario, la existencia de un foro permanente permite transformar la diversidad nacional en pluralidad articulada, habilitando condiciones para que la región avance hacia trayectorias de cooperación estructural antes que hacia escenarios de cooperación superficial o desalineada.

### **7.3 Marco regional orientativo de transición poscuántica**

La aceleración del desarrollo cuántico a nivel global introduce el riesgo de la vulnerabilidad progresiva de infraestructuras digitales y sistemas de información basados en criptografía clásica frente a capacidades futuras de cómputo avanzado. El relevamiento normativo evidencia que, si bien una proporción significativa de los sistemas nacionales incorpora referencias a criptografía o comunicaciones cuánticas en sus instrumentos de planificación tecnológica, dichas referencias no siempre se traducen en hojas de ruta explícitas de transición criptográfica ni en mecanismos coordinados de migración hacia estándares resistentes a ataques cuánticos. Esta brecha no implica ausencia de conciencia estratégica, sino una asimetría en el grado de institucionalización de la transición.

El riesgo estructural identificado no es inmediato ni uniforme, pero sí acumulativo. Una “seguridad sin transición” puede derivar, en un horizonte de mediano plazo, en dependencia tecnológica externa, adopción reactiva de estándares definidos fuera de la región o planificación fragmentada entre organismos nacionales. En términos prospectivos, ello se vincula con los escenarios de shock tecnológico no anticipado, en los cuales la región se ve obligada a adaptarse bajo presión, en lugar de hacerlo de manera planificada y coordinada.

Frente a este riesgo, una opción estratégica legítima para la SEGIB consiste en promover un marco regional orientativo de transición poscuántica, concebido como instrumento no vinculante y de carácter técnico-político. Este marco podría estructurarse en torno a tres componentes: 1) intercambio sistemático de información entre autoridades nacionales de ciberseguridad y organismos responsables de estándares; 2) identificación de buenas prácticas y cronogramas de migración progresiva; y 3) articulación con marcos internacionales ya existentes, evitando la creación de estándares paralelos o incompatibles.

La activación de esta opción no exige la creación de capacidades regulatorias regionales ni la imposición de obligaciones comunes. Su viabilidad política reside precisamente en su naturaleza orientativa y preventiva. Puede resultar particularmente valiosa tanto para los sistemas más consolidados, que buscan proyectar liderazgo y convergencia internacional, como para aquellos con menor densidad institucional, que podrían beneficiarse de lineamientos compartidos sin asumir costos iniciales elevados. En este sentido, el rol de la SEGIB se limita a la facilitación de convergencia estratégica y al aseguramiento de continuidad en el diálogo técnico, contribuyendo a que la región transite hacia un escenario de anticipación coordinada antes que hacia uno de reacción fragmentada.

Así concebido, el marco regional de transición poscuántica constituye un mecanismo de gobernanza preventiva que refuerza la resiliencia sistémica. En coherencia con la tesis del informe, la cuestión no es si la región desarrollará o no capacidades cuánticas propias en el corto plazo, sino si contará con una arquitectura organizacional que le permita adaptarse de manera estratégica a un entorno tecnológico en transformación.

## 7.4 Densificación regional del talento

El análisis estructural desarrollado en los productos anteriores ha evidenciado que la formación en tecnologías cuánticas constituye uno de los vectores de mayor heterogeneidad regional. Mientras algunos sistemas concentran programas de grado y posgrado explícitos, nodos académicos con relevancia estratégica 3 y trayectorias consolidadas de investigación avanzada, un número significativo de países presenta niveles incipientes o incluso ausencia formal de oferta estructurada. Esta asimetría no sólo refleja diferencias históricas en capacidad científica, sino que introduce un riesgo sistémico, la imposibilidad de reproducir masa crítica endógena en aquellos sistemas donde el diseño político no se acompaña de trayectorias formativas institucionalizadas.

El mecanismo causal identificado es claro: la concentración geográfica del talento conduce a procesos de externalización formativa, dependencia cognitiva y desalineación entre ambición estratégica y capacidad técnica local. En términos prospectivos, ello podría derivar en un escenario donde la región participe de dinámicas cuánticas globales como usuaria de tecnología o receptora de conocimiento, pero no como generadora sostenida de capacidades propias. La cuestión, por tanto, no es exclusivamente educativa, sino estructural.

Frente a este diagnóstico, una opción estratégica para la Secretaría General Iberoamericana consiste en promover una plataforma regional de formación cuántica, articulada en torno a nodos académicos con alta relevancia estratégica (R3) identificados en el mapeo regional. Esta plataforma no implicaría la creación de nuevas titulaciones regionales ni la armonización obligatoria de currículas, sino la estructuración de mecanismos de movilidad, intercambio docente, cursos intensivos compartidos y trayectos de especialización coordinados, particularmente orientados a sistemas con nivel 0 o 1 de oferta formativa.

La viabilidad política de esta opción descansa en su carácter asimétrico y gradual. Para los ecosistemas más consolidados, puede funcionar como instrumento de proyección regional y de internacionalización de su masa crítica. Para los sistemas intermedios, puede funcionar como mecanismo de articulación y fortalecimiento. Y, para los

incipientes, como puerta de entrada a circuitos de formación avanzada sin necesidad de inversiones iniciales elevadas. En todos los casos, el rol de SEGIB se limita a la facilitación y coordinación, apalancando instrumentos de cooperación ya existentes, incluidos los birregionales, sin duplicarlos.

Desde una perspectiva estratégica, la densificación del talento constituye una condición habilitante para el resto de las opciones contempladas en esta sección. Sin masa crítica formativa, la integración de infraestructura, la transición poscuántica o la articulación productiva carecen de base sostenible. Sin embargo, la solución no pasa por crear capacidades ex nihilo, sino por conectar, redistribuir y escalar aquellas que ya existen en determinados nodos del ecosistema iberoamericano. En este sentido, la formación no se concibe como política educativa aislada, sino como instrumento organizacional para reducir asimetrías estructurales y ampliar la ventana de oportunidad regional.

### **7.5 Integración progresiva de infraestructura experimental**

El relevamiento de capacidades habilitantes ha mostrado que la infraestructura experimental en tecnologías cuánticas se distribuye de manera altamente desigual en la región. Mientras algunos sistemas cuentan con laboratorios institucionalizados de nivel 2 o 3, alojados en centros públicos de investigación o consorcios híbridos con equipamiento específico en computación, comunicaciones u óptica cuántica, una proporción significativa presenta niveles 0 o 1, es decir, ausencia de infraestructura experimental verificable o presencia incipiente sin capacidad de validación técnica sostenida. Esta configuración no implica que la región carezca de capacidades, sino que estas se encuentran concentradas en pocos nodos con capacidad de operación técnica avanzada.

El riesgo estructural asociado a esta distribución es la baja densidad experimental regional. Sin acceso a entornos de prueba y validación física, los sistemas con menor infraestructura enfrentan dificultades para absorber conocimiento aplicado, testear protocolos o integrarse en cadenas de desarrollo tecnológico. En el horizonte prospectivo, ello puede consolidar un escenario de dependencia tecnológica, donde la

validación y experimentación se externalicen sistemáticamente hacia centros fuera de la región o hacia un reducido grupo de países.

En este contexto, una opción estratégica para la Secretaría General Iberoamericana consiste en promover una red regional de laboratorios cuánticos basada en instalaciones de nivel 2 y 3, orientada a facilitar mecanismos de acceso compartido e interoperabilidad técnica. Esta red no implicaría la creación de infraestructura nueva ni la centralización de capacidades, sino la estructuración de acuerdos voluntarios entre instituciones existentes para habilitar estancias de investigación, pruebas coordinadas, uso remoto de equipamiento o desarrollo conjunto de protocolos experimentales.

La activación de esta opción se justifica particularmente cuando persiste una concentración significativa de equipamiento en pocos sistemas y cuando los nodos con mayor capacidad manifiestan disposición a abrir espacios de cooperación técnica. Su viabilidad política depende de preservar la autonomía institucional de los laboratorios participantes y de evitar cualquier lógica de transferencia obligatoria de recursos. El rol de la SEGIB se circunscribe, por tanto, a la facilitación de acuerdos, la identificación de capacidades complementarias y la reducción de costos de transacción entre actores ya existentes, en coherencia con el principio de subsidiariedad organizacional.

Desde una perspectiva estratégica, la integración progresiva de infraestructura experimental cumple una función de equilibrio sistémico. No elimina las asimetrías, pero puede amortiguarlas al ampliar el acceso regional a capacidades de validación técnica. En combinación con la densificación del talento y la coordinación institucional, esta opción contribuye a que la región avance hacia un escenario de cooperación estructural, en el que los nodos experimentales operen como plataformas regionales antes que como islas nacionales desconectadas.

## **7.6 Coordinación regional de capacidades HPC–cuántica**

El análisis de capacidades habilitantes ha evidenciado que la infraestructura de supercomputación en la región presenta una distribución heterogénea, con un grupo reducido de sistemas que alcanzan niveles avanzados de acceso y operación, y una mayoría que se sitúa en niveles intermedios o iniciales. Más relevante aún, la

articulación explícita entre capacidades de alto rendimiento (HPC) y desarrollo cuántico aparece, en numerosos casos, como débil o no identificada. Esta brecha afecta directamente la posibilidad de realizar simulaciones avanzadas, modelización de algoritmos cuánticos y pruebas híbridas que constituyen hoy una fase crítica de la investigación aplicada.

El riesgo estructural asociado es la fragmentación computacional regional, que limita la capacidad de absorción tecnológica y consolida dependencias en procesos de simulación externa. En ausencia de integración, los sistemas con menor densidad computacional enfrentan dificultades para participar en proyectos avanzados, mientras que los más consolidados operan sin un marco regional que amplifique su impacto. En términos prospectivos, esta dinámica puede derivar en un escenario de absorción tecnológica limitada, donde la región se integre de manera desigual en cadenas globales de I+D.

Frente a este diagnóstico, una opción estratégica consiste en impulsar una coordinación regional HPC-cuántica, estructurada en torno a una mesa técnica especializada y mecanismos de benchmarking compartido. Esta coordinación no implicaría la creación de nueva infraestructura ni la gestión regional de centros de supercomputación. Se orientaría a promover interoperabilidad técnica, intercambio de buenas prácticas y alineamiento estratégico en la integración de flujos HPC-cuántica. Asimismo, podría facilitar acuerdos voluntarios de acceso compartido o cooperación en simulación, especialmente en aquellos sistemas donde la articulación actual es incipiente.

La viabilidad política de esta opción descansa en su carácter técnico y no invasivo. Los centros HPC nacionales conservarían plena autonomía operativa, mientras que SEGIB actuaría como facilitador de convergencia y articulador de diálogo especializado, reduciendo costos de coordinación y visibilizando sinergias potenciales. Para los ecosistemas más consolidados, esta plataforma podría funcionar como espacio de liderazgo regional y proyección estratégica; para los intermedios, como mecanismo de fortalecimiento; y para los incipientes, como instancia de diagnóstico y planificación gradual.

Desde una perspectiva sistémica, la coordinación HPC-cuántica cumple una función habilitante transversal. Sin integración computacional, la densificación del talento y la expansión experimental pierden capacidad de escalar hacia aplicaciones complejas. Por el contrario, una arquitectura mínima de articulación en este ámbito permite que la región transite hacia un escenario de cooperación estructural, donde la supercomputación opere como soporte regional del desarrollo cuántico y no como recurso nacional aislado.

### **7.7 Articulación productiva y proyección empresarial regional**

El mapeo de actores estratégicos ha identificado la existencia de un conjunto de empresas y proveedores tecnológicos con relevancia 2 y 3 en distintos sistemas nacionales, particularmente en áreas vinculadas a computación cuántica aplicada, comunicaciones seguras y criptografía poscuántica. No obstante, esta densidad privada se distribuye de manera desigual y tiende a concentrarse en subcampos específicos, con escasa articulación regional sistemática. En varios ecosistemas, la presencia empresarial es incipiente o inexistente, lo que introduce una brecha estructural entre generación de conocimiento y escalamiento productivo.

El riesgo asociado radica en la posibilidad de que la región quede relegada a una posición de consumo tecnológico, dependiendo de proveedores externos para soluciones críticas en ámbitos de seguridad, infraestructura digital o simulación avanzada. En términos prospectivos, este patrón podría consolidar un escenario de marginalidad productiva, incluso en presencia de capacidades académicas relevantes.

Ante este diagnóstico, una opción estratégica para la Secretaría General Iberoamericana consiste en promover una red regional de empresas cuánticas, concebida como plataforma de visibilización, intercambio y articulación público-privada. Esta red no implicaría financiación directa, ni diseño de políticas industriales, ni creación de instrumentos regulatorios. Su función, por el contrario, sería reducir la fragmentación empresarial regional, facilitar el intercambio de información sobre oportunidades de cooperación y fortalecer los vínculos entre nodos académicos, centros de investigación y actores productivos.

La activación de esta opción resulta particularmente pertinente allí donde ya existe una masa crítica mínima de empresas tecnológicas con capacidades verificables, y donde la articulación regional puede amplificar su proyección internacional. Para los ecosistemas más consolidados, puede operar como instrumento de consolidación y liderazgo regional; para los intermedios, como mecanismo de integración y aprendizaje; y para los incipientes, como instancia de sensibilización y conexión temprana con dinámicas productivas emergentes. En todos los casos, el rol de la SEGIB se limita a la facilitación de redes, la generación de visibilidad estratégica y la articulación con espacios birregionales, respetando el principio de subsidiariedad.

Desde una perspectiva sistémica, la articulación empresarial cumple una función complementaria a la coordinación institucional y a la densificación de capacidades científicas. Sin un entramado productivo capaz de absorber y traducir conocimiento en aplicaciones, la ventana de oportunidad regional permanece limitada. No obstante, la consolidación de dicho entramado no depende exclusivamente de incentivos financieros, sino también de la existencia de espacios de encuentro, reconocimiento mutuo y proyección estratégica compartida. En este sentido, la red regional de empresas cuánticas no constituye un instrumento industrial clásico, sino un dispositivo organizacional orientado a transformar capacidades dispersas en potencial económico articulado.

## **7.8 Condiciones de implementación y secuenciación estratégica**

Las opciones estratégicas presentadas en esta sección no constituyen un paquete indivisible ni requieren activación simultánea. Por el contrario, su eficacia depende de una secuenciación coherente con la heterogeneidad estructural regional previamente identificada. La experiencia comparada en gobernanza tecnológica muestra que la superposición prematura de instrumentos puede generar dispersión institucional; en cambio, una activación gradual, basada en umbrales verificables, tiende a producir mayor coherencia sistémica.

Desde esta perspectiva, es posible distinguir tres niveles de intervención complementarios:

### **Primer nivel: núcleo organizacional transversal.**

La arquitectura mínima de coordinación y el marco regional orientativo de transición poscuántica constituyen instrumentos de bajo costo político y alta aplicabilidad transversal. Su activación puede preceder al resto de las iniciativas, dado que no exige capacidades técnicas avanzadas ni inversiones significativas, sino voluntad de diálogo estructurado. En términos secuenciales, este nivel crea las condiciones institucionales para que las demás opciones operen con mayor coherencia.

### **Segundo nivel: densificación progresiva de capacidades.**

La plataforma regional de formación, la integración de infraestructura experimental y la coordinación HPC-cuántica requieren mayor grado de maduración técnica y compromiso interinstitucional. Su activación puede diferenciarse según tipologías nacionales. Los ecosistemas más consolidados pueden asumir roles de liderazgo y provisión de capacidades, mientras que los intermedios y emergentes pueden incorporarse gradualmente como receptores y participantes activos. La secuencia recomendada no es lineal, pero sí acumulativa. La coordinación institucional previa facilita la cooperación técnica posterior.

### **Tercer nivel: articulación productiva y proyección estratégica.**

La red regional de empresas cuánticas se apoya en la existencia de masa crítica mínima y en la consolidación de vínculos previos entre academia, sector público y capacidades técnicas. Su activación puede resultar más efectiva una vez que los instrumentos de coordinación y densificación han comenzado a operar, generando mayor claridad estratégica y visibilidad regional.

Esta secuenciación no responde a una jerarquía normativa rígida, sino a una lógica de acumulación organizacional. En todos los casos, la implementación debe regirse por criterios de voluntariedad, flexibilidad y adaptabilidad a contextos nacionales diferenciados. La activación de cada instrumento puede evaluarse periódicamente a partir de indicadores estructurales (persistencia de fragmentación institucional,

concentración formativa, debilidad en integración HPC-cuántica o ausencia de planificación poscuántica) ya identificados en la matriz estratégica (Anexo I)

De este modo, la agenda iberoamericana cuántica no se concibe como un salto institucional abrupto, sino como un proceso escalonado de articulación progresiva. La Secretaría General Iberoamericana no sustituye trayectorias nacionales ni impone ritmos homogéneos. En cambio, ofrece un marco de convergencia que permite que la diversidad estructural regional se transforme en pluralidad coordinada.

## 8. Conclusiones de la investigación

### 8.1. La región no parte de cero, pero no converge

El análisis realizado a lo largo de este informe permite afirmar, con base empírica consolidada, que el ecosistema cuántico iberoamericano no se encuentra en un punto de partida vacío ni marginal. El mapeo normativo evidenció la existencia de sistemas con enfoques estratégicos explícitos y marcos institucionales definidos, junto con un conjunto más amplio de países donde la activación del campo cuántico se manifiesta, al menos, en aproximaciones sectoriales o instrumentos parciales. A su vez, el relevamiento de actores confirmó la presencia de nodos con relevancia estratégica máxima (R3) en funciones de diseño de política, financiación e infraestructura crítica, lo que demuestra que, en múltiples contextos nacionales, existen estructuras capaces de sostener iniciativas cuánticas con continuidad institucional.

Este diagnóstico se refuerza al observar la distribución de capacidades habilitantes. En distintos sistemas se identifican laboratorios institucionalizados en niveles de consolidación intermedio y avanzado, acceso formalizado a infraestructura de supercomputación y trayectorias formativas estructuradas en grado y posgrado. Asimismo, el sector privado presenta nichos especializados y actores relevantes en determinadas áreas tecnológicas, lo que indica que la región no sólo produce conocimiento, sino que también comienza a participar en segmentos de aplicación y provisión estratégica. En conjunto, estas evidencias permiten descartar la hipótesis de una ausencia estructural regional en tecnologías cuánticas.

Sin embargo, el mismo corpus empírico revela un segundo rasgo igualmente significativo: la heterogeneidad funcional y la distribución asimétrica de dichas capacidades. La coexistencia de sistemas con arquitecturas estratégicas integrales junto a otros con aproximaciones fragmentadas o incipientes configura un panorama regional caracterizado por densidades institucionales y tecnológicas desiguales. En algunos contextos, la rectoría política se encuentra consolidada, pero no siempre acompañada por masa crítica formativa equivalente. En otros contextos, existen capacidades académicas robustas sin marcos normativos plenamente articulados. Y,

finalmente, en varios casos, la infraestructura de supercomputación y la investigación cuántica no presentan una integración técnica clara y sistemática.

La heterogeneidad, en sí misma, no constituye una anomalía. Es una característica estructural de un espacio regional compuesto por economías, sistemas científicos y trayectorias institucionales diversas. El punto crítico emerge cuando dicha diversidad no se traduce en convergencia ni en mecanismos de interoperabilidad regional. Allí donde las capacidades permanecen encapsuladas en lógicas nacionales, sectoriales o institucionales, la posibilidad de construir densidad sistémica compartida se reduce.

Por ello, el hallazgo estructural que cierra este estudio puede formularse de la siguiente manera: la región dispone de capacidades reales, de nodos estratégicos activos y de infraestructuras habilitantes verificables pero carece aún de una arquitectura de articulación regional capaz de integrar dichas capacidades en una trayectoria convergente. El desafío no reside en crear desde cero, sino en transformar heterogeneidad en coherencia sistémica. Sobre esa tensión se edifica la lectura estratégica que orienta las secciones siguientes.

## **8.2. ¿Qué está en juego?**

Si el diagnóstico previo permite descartar la hipótesis de ausencia estructural, la pregunta que se impone es de otro orden: ¿qué implica, en términos sistémicos, que las capacidades regionales permanezcan dispersas y débilmente articuladas? Lo que está en juego no es un programa específico, ni la posición relativa de un país en particular, sino la configuración estructural del espacio iberoamericano en el ciclo tecnológico cuántico emergente. En un contexto internacional donde la computación, las comunicaciones seguras, la sensórica avanzada y la transición poscuántica comienzan a incorporarse a estrategias nacionales de seguridad, productividad y soberanía tecnológica, la capacidad de coordinar recursos científicos, infraestructura y marcos normativos adquiere una dimensión estratégica transversal.

Desde esta perspectiva, el elemento central en juego es la capacidad regional de absorción tecnológica. La evidencia muestra que existen nodos académicos consolidados, infraestructuras experimentales institucionalizadas y acceso a capacidades de supercomputación en múltiples sistemas. Sin embargo, cuando estas capacidades no se integran en arquitecturas cooperativas, su potencial agregado se diluye. La dispersión reduce economías de escala, limita la interoperabilidad técnica y dificulta la circulación regional de talento especializado. El resultado es la utilización fragmentada de las capacidades y, por tanto, estructuralmente restringida.

Asimismo, está en juego la transición poscuántica ordenada en ámbitos críticos como la ciberseguridad y la protección de infraestructuras digitales. La matriz estratégica (Anexo I) identificó brechas en la articulación entre infraestructura HPC y ecosistemas cuánticos, así como heterogeneidades significativas en gobernanza y formación. Sin mecanismos de convergencia, la transición puede producirse de manera asimétrica, con concentraciones de capacidad en algunos sistemas y externalización tecnológica en otros, profundizando dependencias preexistentes.

Finalmente, lo que está en juego es la posibilidad de inserción regional coordinada en cadenas de valor emergentes. La presencia de actores privados relevantes y de nichos especializados indica que existen segmentos donde la región participa activamente. No obstante, sin articulación estratégica, dicha participación tiende a ser episódica o concentrada, sin generar densidad sistémica regional. En términos estructurales, la diferencia entre dispersión y convergencia determina si la región actúa como suma de capacidades aisladas o como espacio cooperativo con capacidad de negociación, absorción y proyección tecnológica.

Por lo tanto, lo que está en juego es la posibilidad de convertir los recursos científicos e institucionales en una trayectoria estratégica coherente. La tensión identificada a lo largo del estudio no opone presencia y ausencia, sino dispersión y articulación. Es en ese punto donde se define la capacidad regional de transformar heterogeneidad en arquitectura compartida.

### 8.3. ¿Qué se gana si se articula?

Si el riesgo estructural identificado no deriva de la inexistencia de capacidades, sino de su dispersión, la pregunta complementaria es qué transformación sistémica podría producirse a partir de su articulación. La evidencia acumulada en los Productos 1 y 2 muestra que la región cuenta con nodos académicos de relevancia estratégica máxima, infraestructuras experimentales en niveles intermedios y avanzados, acceso institucionalizado a supercomputación y marcos normativos explícitos en un conjunto significativo de sistemas. La articulación no implicaría, por tanto, crear capacidades inexistentes, sino conectar capacidades ya disponibles bajo una lógica de interoperabilidad estructural.

El primer efecto de dicha articulación sería el incremento de la densidad sistémica regional. Cuando laboratorios consolidados, centros HPC y programas formativos estructurados operan en red, la escala de experimentación, simulación y formación se amplía más allá de los límites nacionales. La posibilidad de acceso compartido a infraestructura experimental y de supercomputación, identificada como capacidad existente aunque heterogéneamente distribuida, permitiría reducir asimetrías y fortalecer la absorción tecnológica regional.

En segundo lugar, se incrementa la circulación de talento y conocimiento especializado. La matriz estratégica (Anexo I) evidenció concentraciones formativas en determinados sistemas y vacíos en otros. Una arquitectura cooperativa permitiría que los nodos académicos consolidados funcionen como hubs regionales, reduciendo la externalización formativa y fortaleciendo trayectorias endógenas de especialización. El resultado sería la convergencia progresiva de capacidades.

En tercer lugar, la articulación favorece una transición poscuántica más ordenada y coordinada. La integración entre gobernanza normativa, infraestructura técnica y capacidades científicas, hoy distribuida de manera desigual, podría estructurarse bajo estándares compartidos y mecanismos de cooperación intergubernamental. Esto no solo reduce riesgos de fragmentación regulatoria, sino que mejora la capacidad regional de interlocución birregional en materia de estándares, seguridad y cooperación tecnológica.

Finalmente, la articulación potencia la inserción coordinada en segmentos de cadena de valor emergentes. Allí donde existen nichos privados relevantes y capacidades académicas consolidadas, la coordinación intersistémica puede generar economías de escala, mejorar la transferencia tecnológica y fortalecer la posición negociadora del conjunto regional frente a socios externos. La ganancia no reside en la aspiración de liderazgo global, sino en la construcción de coherencia estructural que amplifique capacidades ya verificadas.

#### **8.4. ¿Qué se pierde si no se articula?**

La no articulación no implica la desaparición inmediata de capacidades existentes ni la reversión automática de los avances registrados. Los nodos académicos consolidados, las infraestructuras experimentales institucionalizadas y los marcos normativos explícitos continuarían operando en sus respectivos contextos nacionales. Sin embargo, la ausencia de mecanismos de convergencia regional activa la reproducción incremental de fragmentación estructural.

En primer lugar, se consolida la concentración geográfica e institucional de capacidades. Allí donde existen laboratorios en niveles intermedios y avanzados, o integración clara entre HPC y ecosistemas cuánticos, la densidad técnica tiende a reforzarse. En contraste, los sistemas con menor infraestructura o articulación limitada enfrentan mayores dificultades para escalar experimentalmente o simular desarrollos complejos. Sin mecanismos de acceso compartido o cooperación estructurada, la brecha no se corrige espontáneamente, sino que tiende a estabilizarse.

En segundo lugar, la fragmentación sostenida debilita la capacidad regional de absorción tecnológica. La matriz estratégica identificó desalineaciones entre ambición normativa y masa crítica formativa, así como articulaciones débiles entre infraestructura computacional y proyectos cuánticos. Si estas desalineaciones persisten, la consecuencia es la dependencia progresiva de capacidades externas para formación avanzada, validación experimental o adopción de estándares.

En tercer lugar, la transición poscuántica podría desarrollarse de manera asimétrica y no coordinada. Sistemas con mayor densidad normativa y técnica podrían avanzar

hacia esquemas de protección y adaptación tecnológica más robustos, mientras que otros permanecerían en fases incipientes o dependerían de soluciones importadas. La falta de convergencia no produce ruptura, pero sí reduce la posibilidad de definir posiciones comunes y estándares compartidos en ámbitos críticos.

Finalmente, la no articulación limita la construcción de escala regional en nichos donde ya existen capacidades privadas y académicas relevantes. Sin coordinación, estas capacidades operan como islas funcionales: generan valor local, pero no densidad sistémica regional. La consecuencia no es la pérdida absoluta de actividad, sino la restricción de su proyección agregada.

### **8.5. Implicancia institucional para la SEGIB**

El diagnóstico desarrollado a lo largo de esta consultoría no conduce a la formulación de una agenda normativa nacional ni a la sustitución de liderazgos estatales. Los Estados conservan la competencia primaria en materia de diseño de política científica, inversión en infraestructura y definición de estrategias de seguridad tecnológica. Sin embargo, el patrón estructural identificado, caracterizado por la coexistencia de capacidades reales y articulación insuficiente, delimita con claridad el tipo de función que puede agregar valor en el plano regional.

En un escenario donde el riesgo no es la ausencia, sino la dispersión, la contribución estratégica de la Secretaría General Iberoamericana reside en la facilitación de convergencia sistémica. El mapeo de actores permitió identificar interlocutores políticos, nodos académicos de alta relevancia estratégica y capacidades institucionales que, aunque consolidadas en el plano nacional, no siempre se encuentran interconectadas regionalmente. Del mismo modo, la matriz estratégica evidenció brechas de interoperabilidad y desalineaciones que no se corrigen de manera automática mediante dinámicas exclusivamente domésticas.

En este contexto, la SEGIB puede desempeñar un rol de plataforma intergubernamental de articulación, orientado a conectar capacidades existentes, facilitar la circulación de información estratégica, promover estándares compartidos y habilitar espacios de coordinación entre sistemas con distintos niveles de madurez. Esta función no sustituye

iniciativas nacionales ni impone uniformidad. Por el contrario, reconoce la heterogeneidad como punto de partida y busca traducirla en complementariedad funcional.

Asimismo, la dimensión birregional de la cooperación iberoamericana amplifica esta función. La articulación interna fortalece la interlocución externa, particularmente en ámbitos vinculados a estándares técnicos, transición poscuántica y cooperación científica avanzada. Una región con capacidades coordinadas posee mayor densidad negociadora y mayor capacidad de absorción tecnológica que un conjunto de capacidades aisladas.

La conclusión estratégica que emerge de este estudio es, por tanto, que allí donde el desafío estructural es la dispersión, la respuesta coherente es la convergencia. La SEGIB, en tanto espacio intergubernamental de coordinación política y técnica, se encuentra en posición de contribuir a esa convergencia, no mediante la creación ex nihilo de capacidades, sino mediante su articulación sistemática. En esa función, más conectiva que ejecutiva, más facilitadora que sustitutiva, reside el valor agregado regional identificado por este análisis.

## Anexo I - Matriz estratégica regional

La presente matriz estratégica sintetiza el cruce sistemático entre la evidencia consolidada en los Productos 1 y 2, los riesgos estructurales identificados en el Producto 3 y las posibles palancas de intervención regional. Su función es garantizar la trazabilidad metodológica entre diagnóstico, mecanismo causal y propuesta operativa. Cada dimensión estructural se organiza en cuatro niveles: evidencia empírica, riesgo si no se actúa, ventana de oportunidad y posibles palancas para SEGIB.

Dimensión estructural	Evidencia consolidada (P1 + P2)	Riesgo estructural si no se actúa (mecanismo causal)	Ventana de oportunidad	Palancas SEGIB
Talento y formación (masa crítica)	<p>La oferta formativa en tecnologías cuánticas presenta alta heterogeneidad regional. Un grupo reducido de países concentra programas formales de grado y posgrado, así como nodos académicos con relevancia estratégica 3. En contraste, un número significativo de sistemas registra nivel 0 en oferta estructurada.</p> <p>En los ecosistemas tipológicamente más consolidados (Tipos 3 y 4), la masa crítica académica se articula con políticas explícitas o infraestructura habilitante (Producto 1; Producto 2). En los Tipos 1 y 2, el diseño político no siempre se traduce en trayectorias formativas institucionalizadas.</p>	<p>La concentración geográfica e institucional de la formación limita la reproducción endógena y sostenida de masa crítica en los sistemas que carecen de oferta estructurada. Este desalineamiento entre ambición política y capacidad académica local favorece la externalización formativa como mecanismo compensatorio. En el mediano plazo, esta dinámica restringe la consolidación autónoma de capacidades científicas avanzadas.</p>	<p>Existen nodos académicos consolidados con relevancia estratégica 3 que pueden funcionar como hubs regionales de formación avanzada (Producto 2). Asimismo, se identifican iniciativas formativas incipientes en países emergentes que podrían escalar mediante mecanismos de articulación regional.</p> <p>La cooperación birregional ya activa en algunos ecosistemas ofrece una base institucional para programas estructurados de movilidad, especialización y formación técnica avanzada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Crear una plataforma regional de formación cuántica que articule países con masa crítica consolidada y sistemas sin oferta estructurada.</li> <li>● Establecer programas birregionales de movilidad académica y formación técnica avanzada en coordinación con universidades y ministerios competentes.</li> <li>● Facilitar espacios de alineación entre nodos académicos R3 y autoridades públicas para reducir desajustes entre política científica y capacidad formativa.</li> </ul>

<p>Infraestructura de laboratorio cuántico</p>	<p>La infraestructura experimental regional se distribuye de manera desigual. Nueve sistemas registran nivel 0, cuatro nivel 1, cuatro nivel 2 y cinco nivel 3. Las instalaciones de nivel 3 se localizan principalmente en centros públicos de investigación y consorcios híbridos, con equipamiento en computación, comunicaciones y sensorica cuántica. La operación técnica se concentra en actores con rol funcional operativo R3 en los sistemas de mayor madurez (Producto 2).</p>	<p>El predominio de sistemas con niveles iniciales de infraestructura restringe la validación física de protocolos y la ejecución de pruebas experimentales locales. La concentración del equipamiento en actores con rol técnico R3 en los sistemas más avanzados limita el acceso operativo en el resto de la región. Esta asimetría reduce la capacidad de absorción tecnológica y consolida una baja densidad experimental regional.</p>	<p>Se registran laboratorios de nivel 2 y 3 en sistemas con centros públicos de investigación y universidades que actúan como nodos de experimentación activa. La presencia de actores con rol técnico R3 especializados en operación de infraestructura física crea condiciones para esquemas de acceso compartido y fortalecimiento progresivo de capacidades experimentales en la región.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Impulsar una red regional de laboratorios cuánticos basada en instalaciones de niveles 2 y 3.</li> <li>● Establecer mecanismos de acceso compartido a infraestructura experimental para sistemas con baja densidad técnica.</li> <li>● Promover la interoperabilidad técnica entre laboratorios nacionales.</li> <li>● Facilitar coordinación ministerial para optimizar el uso compartido de equipamiento experimental avanzado.</li> </ul>
<p>Integración de HPC en el ecosistema cuántico</p>	<p>Se analizaron 22 sistemas. Tres registran nivel 3 de acceso a infraestructura de supercomputación, siete nivel 2 y doce nivel 1. En cuanto a la articulación HPC-cuántica, ocho sistemas presentan integración clara, ocho integración débil y seis no registran articulación identificada (Cruce capacidades habilitantes). La infraestructura institucionalizada incluye centros nacionales de supercomputación, clústeres universitarios y nodos de redes regionales de cómputo con capacidad operativa técnica.</p>	<p>La predominancia de niveles iniciales de acceso y articulación técnica configura un patrón de fragmentación computacional regional. La integración incompleta entre HPC y procesos cuánticos limita la simulación avanzada, la modelización y el benchmarking sistemático. Como resultado, la capacidad de I+D depende de infraestructura externa de alto rendimiento, lo que restringe la acumulación tecnológica.</p>	<p>La existencia de infraestructura de supercomputación con capacidad operativa técnica constituye una base concreta para la integración de procesos de simulación y modelización cuántica. En los sistemas donde la articulación HPC-cuántica ya es explícita, se observa un punto de apoyo para escalar mecanismos regionales de interoperabilidad y uso compartido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Articular una plataforma regional de acceso compartido a capacidades de supercomputación para simulación cuántica.</li> <li>● Coordinar centros nacionales de HPC para optimizar el uso regional de infraestructura de alto rendimiento.</li> <li>● Promover estándares de interoperabilidad para integrar procesos de modelización y simulación cuántica.</li> <li>● Facilitar acuerdos regionales de benchmarking en proyectos de I+D aplicada.</li> </ul>

<p>Gobernanza y articulación intersectorial</p>	<p>Se analizaron 22 sistemas. La distribución tipológica normativa es la siguiente: dos con enfoque estratégico integral, tres con políticas explícitas parciales, ocho con aproximación sectorial fragmentada, seis con señales incipientes y tres sin política pública identificable (Producto 1). La activación del campo en la agenda pública ocurre predominantemente a través de planes nacionales de ciencia, tecnología e innovación. En los sistemas más consolidados se identifican actores públicos con relevancia estratégica R3 y arquitecturas formales de coordinación intersectorial (Producto 2).</p>	<p>La proliferación de instrumentos sectoriales sin un marco estratégico unificado produce fragmentación funcional institucional. La ausencia de arquitecturas formales de coordinación reduce la capacidad de priorización secuencial y de integración sistémica del ecosistema cuántico. Esta fragmentación limita la eficiencia agregada de las inversiones públicas y tecnológicas.</p>	<p>En los sistemas con mayor grado de institucionalización existen estrategias nacionales dedicadas y actores públicos con mandato formal para la coordinación del ecosistema cuántico (Producto 1; Producto 2). Estas arquitecturas consolidadas pueden servir como referencia para el diseño de mecanismos regionales de coordinación que reduzcan la fragmentación institucional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Crear una instancia regional permanente de coordinación estratégica en tecnologías cuánticas.</li> <li>● Establecer un foro técnico-político estable para el intercambio de experiencias regulatorias y de política pública.</li> <li>● Elaborar lineamientos estratégicos comunes orientados a reducir la fragmentación institucional.</li> <li>● Facilitar mecanismos de diálogo interministerial para la priorización secuencial de inversiones.</li> </ul>
<p>Transición hacia la seguridad poscuántica</p>	<p>De los 22 sistemas analizados, 16 incorporan referencias a criptografía o comunicaciones cuánticas en instrumentos de planificación tecnológica (Producto 1). Nueve países incluyen menciones explícitas a la criptografía poscuántica en marcos de política pública o proyectos soberanos. Se identifican capacidades técnicas operativas en sistemas con infraestructura digital avanzada y marcos regulatorios específicos.</p>	<p>El predominio de referencias generales a la seguridad cuántica, sin planificación explícita de transición criptográfica institucional, restringe la resiliencia tecnológica frente a capacidades avanzadas de cómputo. La ausencia de cronogramas, inventarios críticos y mecanismos operativos puede derivar en migraciones reactivas bajo</p>	<p>Se identifican sistemas con infraestructura terrestre y satelital de distribución cuántica de claves integrada en estrategias nacionales, particularmente en la península ibérica. Asimismo, algunos países cuentan con mandatos públicos explícitos vinculados a la transición hacia estándares poscuánticos y marcos regulatorios que</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Establecer una plataforma regional de diálogo estratégico sobre transición hacia criptografía poscuántica.</li> <li>● Facilitar intercambio técnico entre autoridades nacionales de ciberseguridad sobre implementación de estándares resistentes a la cuántica.</li> <li>● Elaborar lineamientos regionales para la migración criptográfica en la administración pública.</li> <li>● Promover coordinación técnica</li> </ul>

	El sector privado especializado en seguridad poscuántica registra presencia relevante en seis países, con nodos de alta centralidad en España y Portugal	presión externa. Esta dinámica reduce el margen de planificación autónoma en la adopción de estándares resistentes a la computación cuántica.	habilitan la adopción de algoritmos resistentes a la cuántica (Producto 2). Estas capacidades constituyen puntos de apoyo para estructurar lineamientos regionales de transición criptográfica coordinada.	para fortalecer la resiliencia tecnológica frente a capacidades avanzadas de cómputo.
Densidad estratégica del sector privado	Se identificaron 36 actores privados con relevancia estratégica 2 o 3. Cuatro poseen relevancia 3 (tres en España y uno en Portugal) y 32 relevancia 2. La actividad empresarial se concentra en computación cuántica (18 actores), criptografía poscuántica (8), comunicaciones cuánticas (8), sensórica (1) y áreas híbridas (1). Los roles funcionales incluyen provisión tecnológica estratégica y participación como socios técnicos en el ecosistema (Producto 2).	La concentración empresarial en subcampos específicos y la recurrencia de proveedores internacionales limitan la diversificación productiva cuántica regional. La baja densidad industrial reduce el escalamiento tecnológico autónomo y refuerza un rol predominantemente adoptante. En ausencia de un núcleo empresarial robusto, disminuyen los incentivos para desarrollar capacidades industriales endógenas.	Existen actores privados con relevancia estratégica alta en computación y comunicaciones cuánticas. La presencia de empresas activas en múltiples subcampos tecnológicos dentro del ecosistema sugiere un potencial de diversificación y articulación productiva que podría ampliarse mediante mecanismos de cooperación regional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Impulsar una red regional de empresas cuánticas orientada a la articulación productiva.</li> <li>● Facilitar plataformas público-privadas de co-desarrollo tecnológico.</li> <li>● Crear un mecanismo regional de visibilidad y mapeo de actores empresariales estratégicos.</li> <li>● Promover cooperación birregional empresa-academia en subcampos cuánticos prioritarios.</li> </ul>
Cooperación birregional ALC-Europa en tecnologías cuánticas	Se identificaron ocho instrumentos de cooperación vinculados explícitamente a capacidades cuánticas o habilitantes. La distribución incluye: tres marcos birregionales UE-CELAC/UE-ALC, dos acuerdos vía CERN, dos acuerdos	La coexistencia de instrumentos heterogéneos no articulados bajo un marco operativo común restringe la institucionalización de la cooperación cuántica birregional. La dependencia	Se documentan marcos formales UE-CELAC/UE-ALC que vinculan infraestructura, conectividad y capacidades de supercomputación con aplicaciones avanzadas y	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Crear una instancia regional de seguimiento y articulación de instrumentos ALC-Europa en tecnologías cuánticas.</li> <li>● Establecer un mecanismo técnico para conectar proyectos birregionales con infraestructura</li> </ul>

	<p>bilaterales ALC-Europa y una red iberoamericana en el marco de CYTED.</p> <p>Los instrumentos documentados vinculan cooperación científica, infraestructura de supercomputación, conectividad birregional y acceso a capacidades europeas para aplicaciones avanzadas y cuánticas.</p>	<p>de acuerdos ad hoc dificulta la continuidad estratégica y la acumulación progresiva de capacidades compartidas. En ausencia de coordinación estructurada, la cooperación puede reproducir dinámicas de acceso dependiente en lugar de generar integración sistémica.</p>	<p>cuánticas.</p> <p>La existencia de redes y nodos birregionales explícitos (incluidas iniciativas en el marco de CYTED y cooperación con CERN) configura una base institucional ya operativa para densificar la cooperación en subcampos tecnológicos cuánticos.</p> <p>Estas plataformas pueden evolucionar hacia esquemas más estructurados de integración científica, técnica y regulatoria.</p>	<p>habilitante existente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Institucionalizar un foro birregional permanente sobre tecnologías cuánticas.</li> <li>● Facilitar redes académicas y empresariales tomando como base iniciativas ya documentadas (UE-CELAC/UE-ALC, CYTED, CERN).</li> </ul>
--	---	---	---	---

## Bibliografía

Allende López, M. (2019). TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS: Una oportunidad transversal e interdisciplinaria para la transformación digital y el impacto social. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

European Commission. (2025). Quantum Europe Strategy: Quantum Europe in a Changing World. Brussels.

European Quantum Industry Consortium (QuIC). (2024). A Portrait of the Global Patent Landscape in Quantum Technologies. <https://www.euroquic.org/>

International Telecommunication Union. (2023). ITU-T Y-series Recommendations: Supplement 79. Quantum key distribution networks - Role in end-to-end cryptographic services with non-quantum cryptography.

Krelina, M. (2025). Military and security dimensions of quantum technologies: A primer. Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI). <https://doi.org/10.55163/ZVTL1529>

Moody, D., Perlner, R., Regenscheid, A., Robinson, A., & Cooper, D. (2024). Transition to Post-Quantum Cryptography Standards (NIST IR 8547 ipd). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8547.ipd>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). Quantum Computing: Progress and Prospects. (E. Grumbling & M. Horowitz, Eds.). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25196>

National Institute of Standards and Technology. (2024, 13 de agosto). El NIST publica los tres primeros estándares de cifrado postcuántico finalizados. Departamento de Comercio de Estados Unidos.

National Institute of Standards and Technology. (2025, 11 de junio). ¿Qué es la criptografía postcuántica? U.S. Department of Commerce. <https://www.nist.gov/cybersecurity/what-post-quantum-cryptography>

National Quantum Initiative Advisory Committee. (2024). Quantum Networking: Findings and Recommendations for Growing American Leadership. National Quantum Coordination Office.

OECD. (2025). A quantum technologies policy primer. OECD Digital Economy Papers, No. 371. OECD Publishing.

U.S. Department of Energy (DOE). (2024). 2024 Quantum Information Science Applications Roadmap. Office of Science. Washington, DC.

