

Introducción a la computación cuántica y tecnologías cuánticas

FEDERICO HERNÁN HOLIK



Objetivos del curso

- Entender qué son las tecnologías cuánticas.
- Aprender algunos protocolos de información cuántica y algoritmos cuánticos.
- Aprender a usar plataformas de desarrollo de software orientado a computación cuántica (Qiskit, Braket SDK).
- Aprender a usar computadoras cuánticas en la nube.
- Tener una idea de las iniciativas cuánticas a nivel global y local: impacto económico y social.

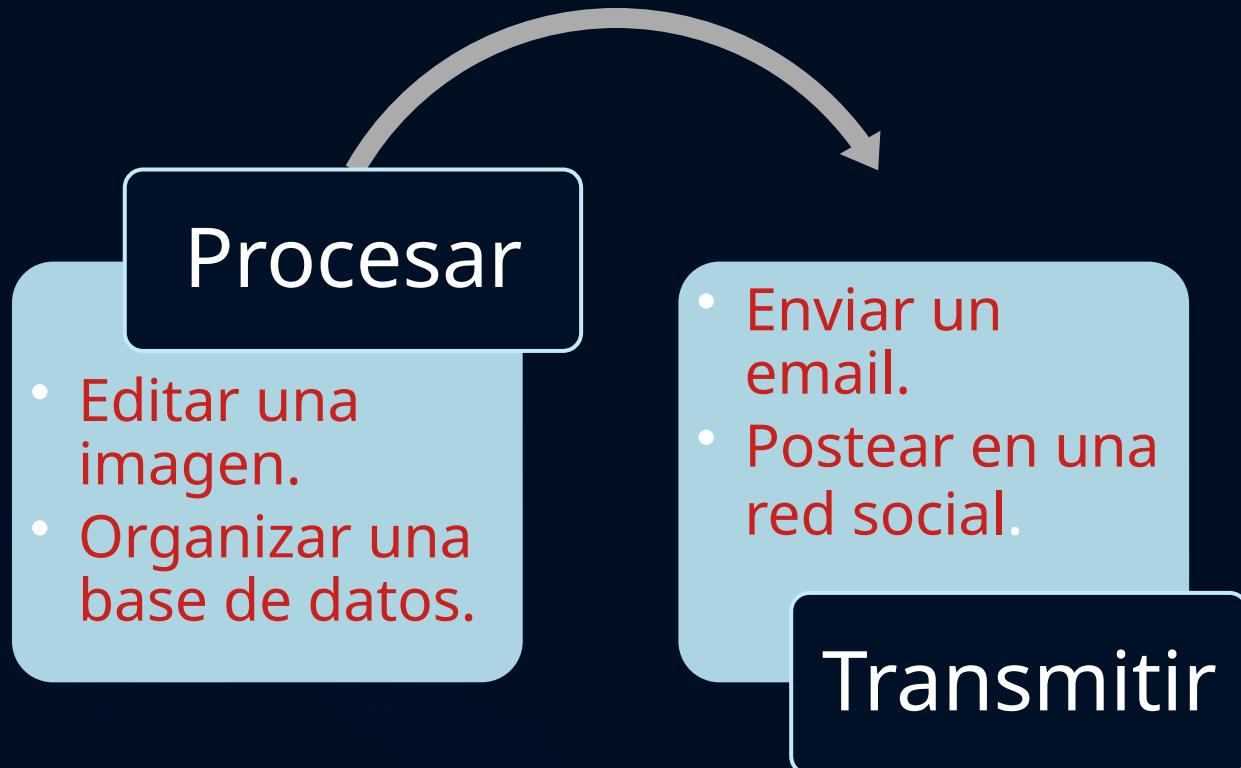
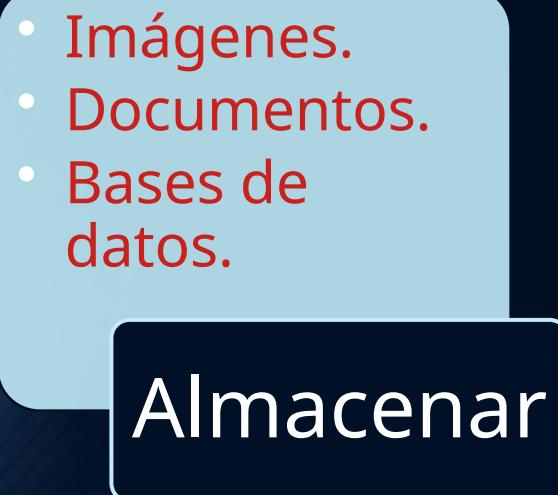
Desafíos del curso

- Aprender (un poco de) física cuántica.
- Aprender (un poco de) álgebra lineal.
- Aprender (un poco de) python.

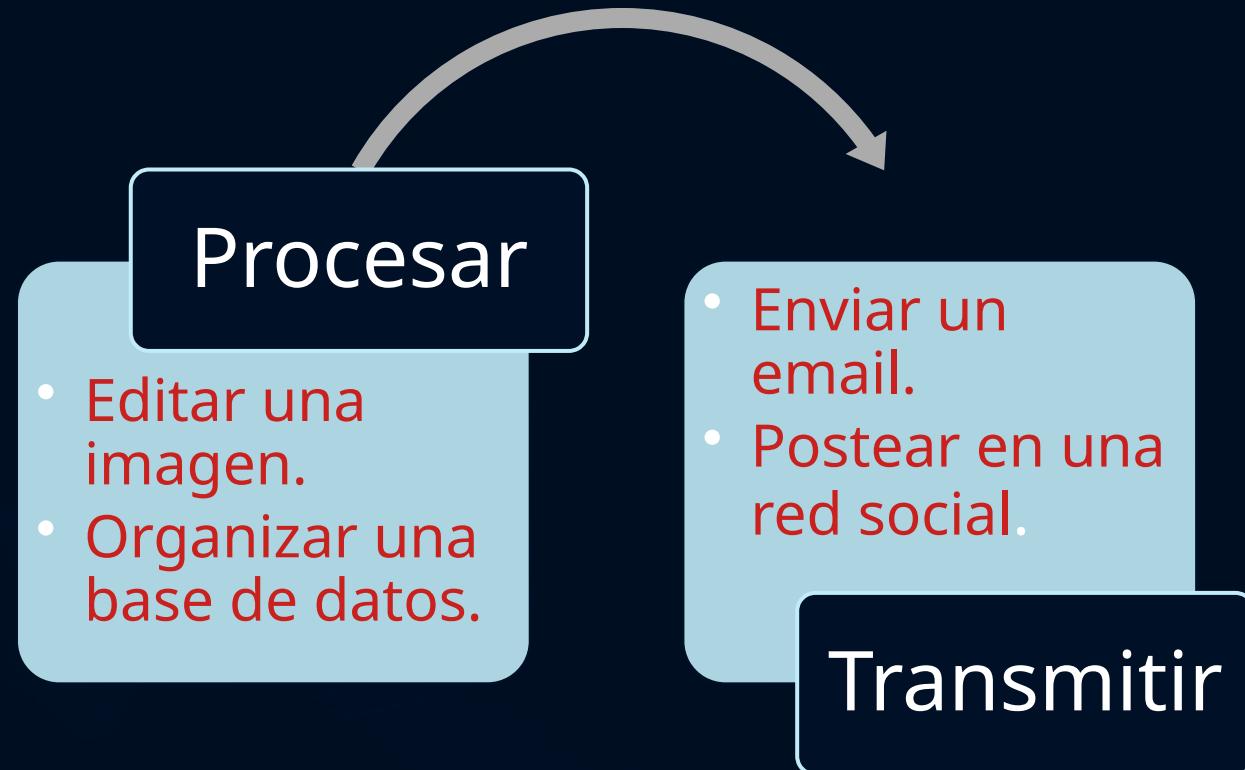
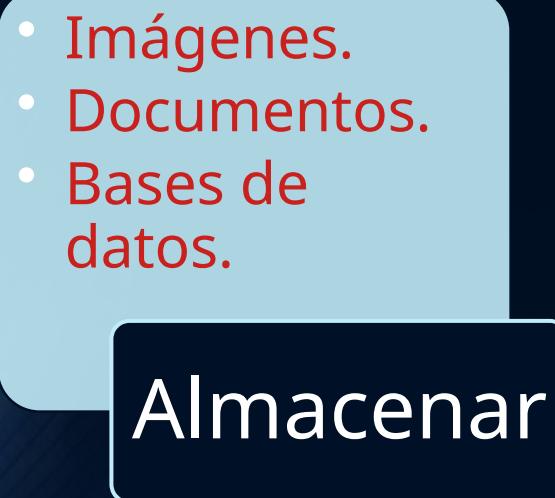
Modalidad del curso

- Ir haciendo los ejercicios semanalmente.
- Leer la bibliografía del curso semanalmente.
- Rendir los exámenes (dos parciales y un final).
- Las clases combinarán teoría y práctica.

Tres Tareas Fundamentales



Tres Tareas Fundamentales



Proteger

Tres Tareas Fundamentales

- Imágenes.
- Documentos.
- Bases de datos.

Almacenar

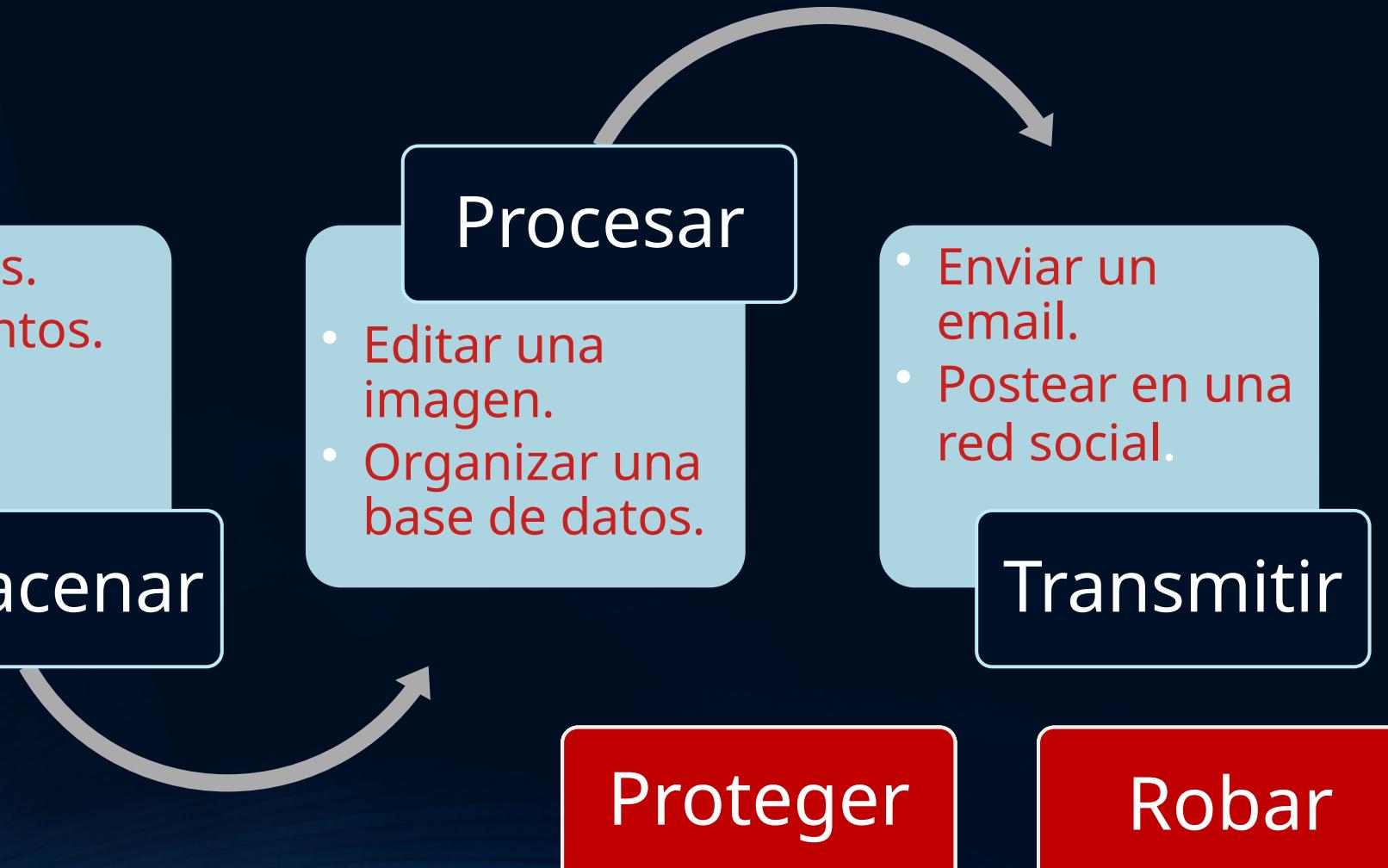
Procesar

- Editar una imagen.
- Organizar una base de datos.

Transmitir

Proteger

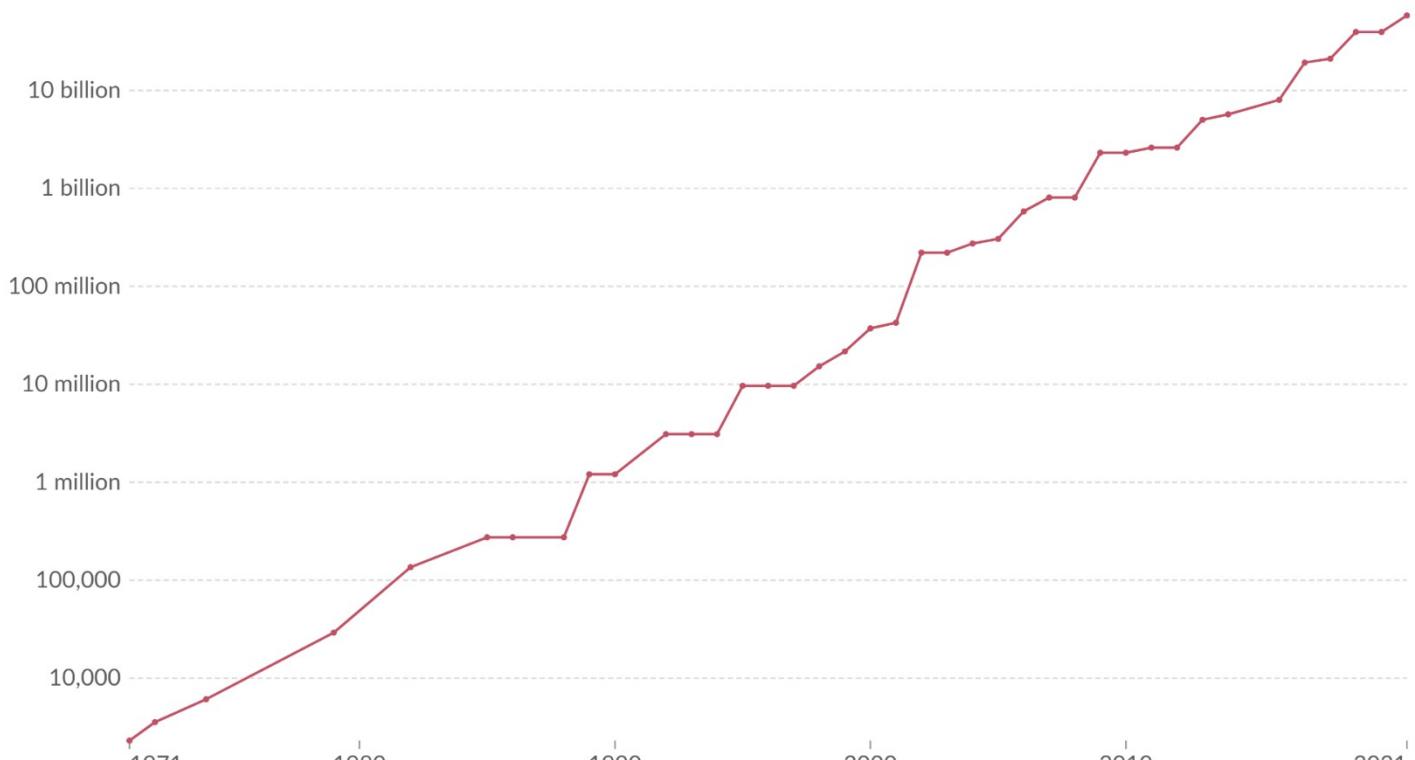
Robar



Moore's law: The number of transistors per microprocessor

Our World
in Data

The number of transistors that fit into a microprocessor. The observation that the number of transistors on an integrated circuit doubles approximately every two years is called Moore's law¹.



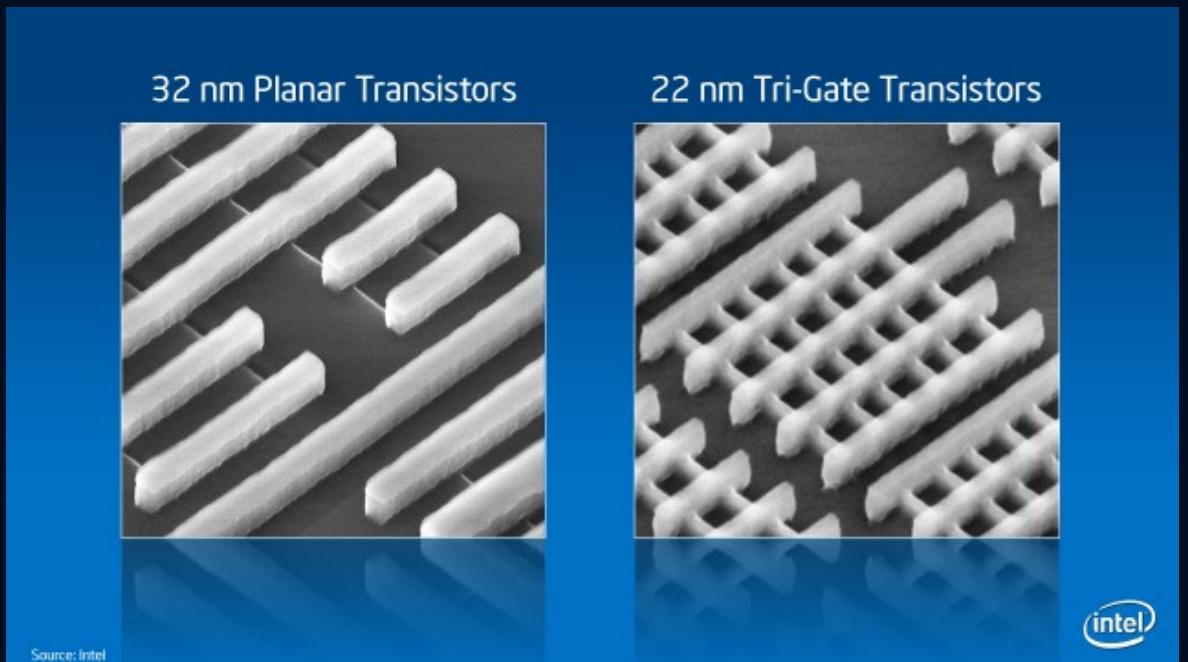
Data source: Karl Rupp, Microprocessor Trend Data (2022)

OurWorldInData.org/technological-change | CC BY

1. Moore's law: Moore's law is the observation that the number of transistors in a dense integrated circuit doubles about every two years, because of improvements in production. Read more: [What is Moore's Law?](#)

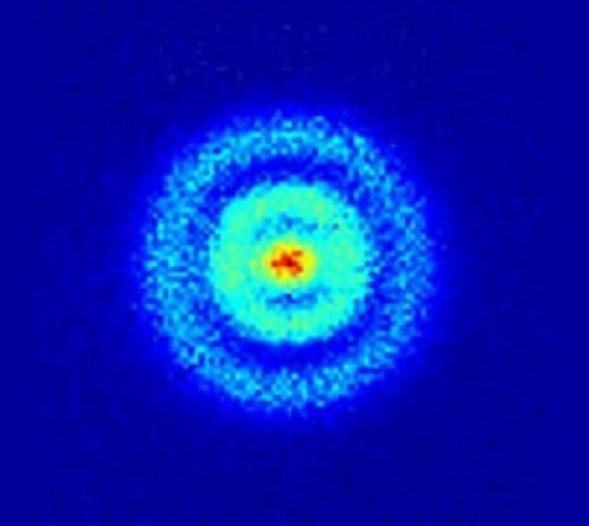
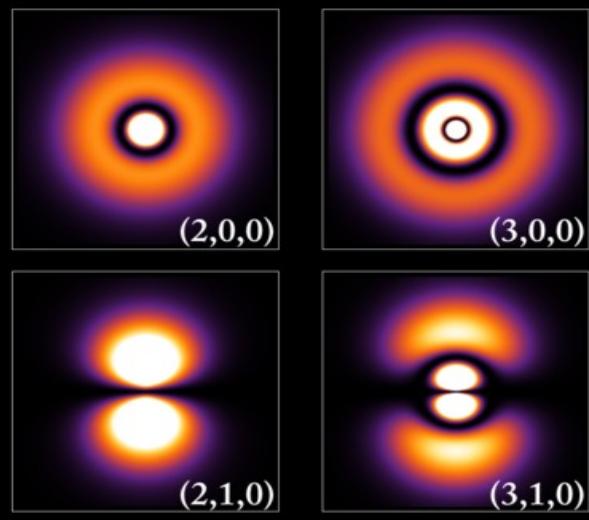
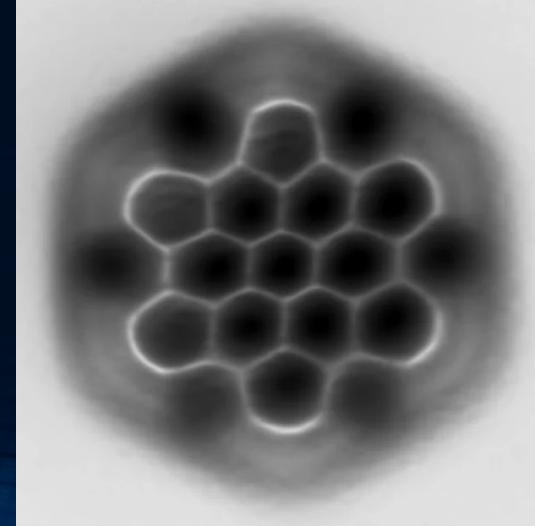
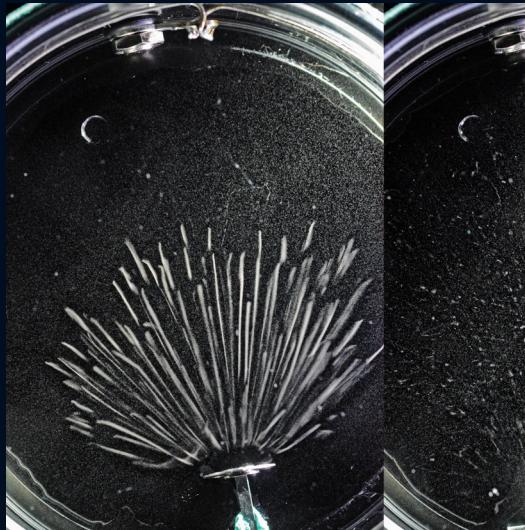
Los componentes se achican

- Los transistores ya están en el orden de los nanómetros.
- $1\text{nm} = 0.00000001\text{m}$
- COVID = 100nm
- ¿Y si los componentes fueran átomos?



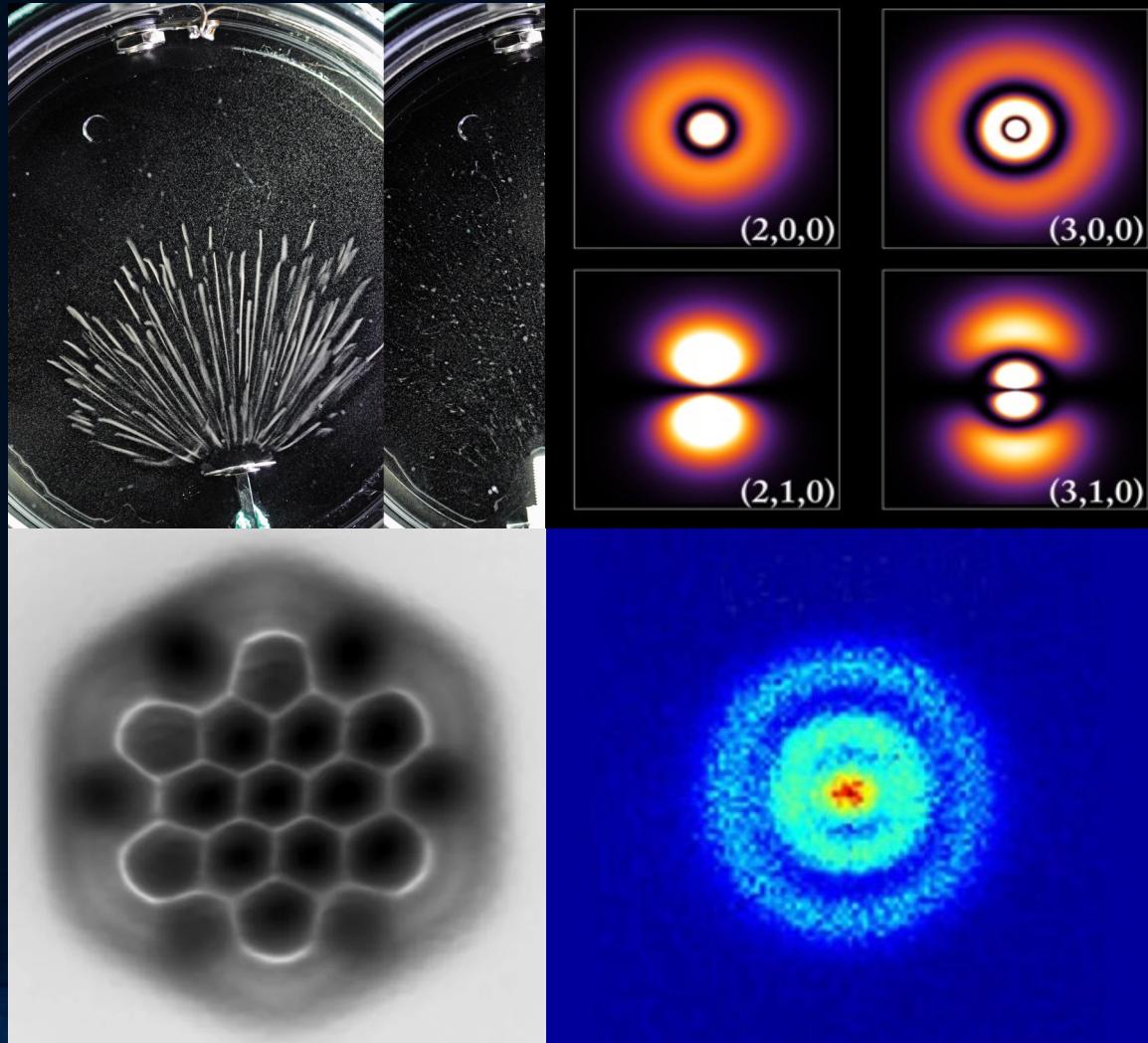
¿Qué ocurre a escalas muy pequeñas?

- Humanos: 2 metros.
- Hormiga: 3 milímetros.
- COVID = 100nm (0.1 micrones).
- 1 nanómetro: mil millonésima parte de un metro. Nanotecnología.
- Átomos: 1 amstrong (diez mil millonésima parte de un metro).



¿Qué ocurre a escalas muy pequeñas?

- Cambian las leyes de la física: física cuántica.
- Comportamiento probabilístico.
- Niveles de energía discretos.
- Correlaciones que no se pueden obtener clásicamente.
- Principio de incertidumbre de Heisenberg.



¿Qué ocurre a escalas muy pequeñas?

- Cambian las leyes de la física: física cuántica.
- Comportamiento probabilístico.
- Niveles de energía discretos.
- Correlaciones que no se pueden obtener clásicamente.
- Principio de incertidumbre de Heisenberg.

Nobel Prize in Physics 2025



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach
John Clarke

Prize share: 1/3



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach
Michel H. Devoret

Prize share: 1/3



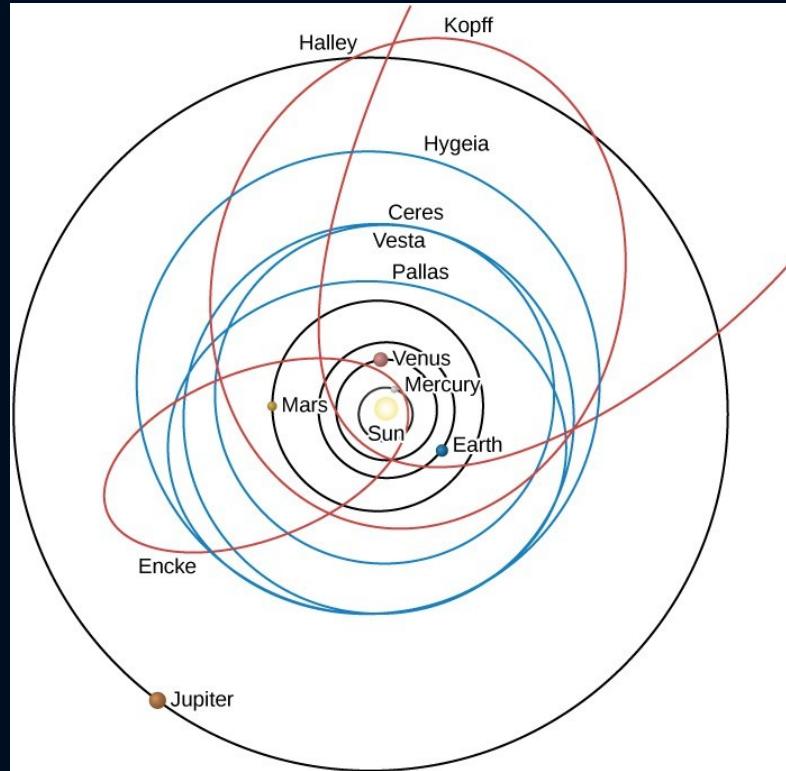
Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach
John M. Martinis

Prize share: 1/3

The Nobel Prize in Physics 2025 was awarded to John Clarke, Michel H. Devoret and John M. Martinis "for the discovery of macroscopic quantum mechanical tunnelling and energy quantisation in an electric circuit."

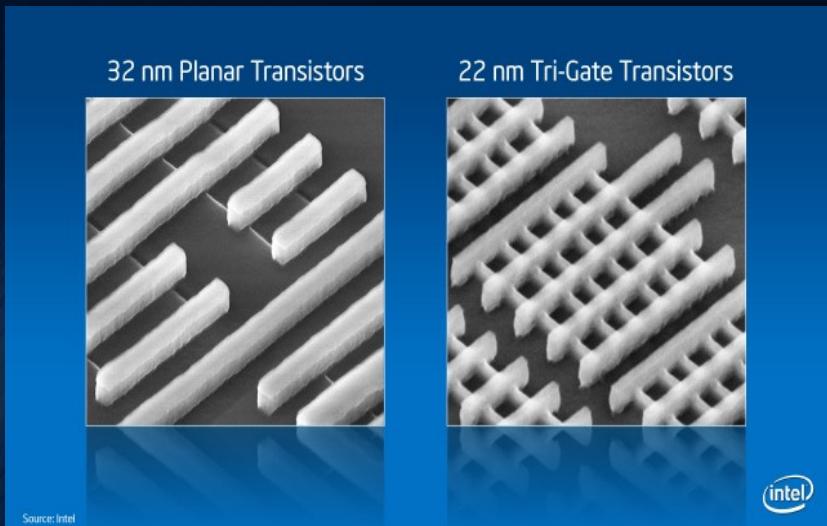
Contraste: mundo clásico

- Predictibilidad: podemos predecir lo que va a pasar con precisión.
- Podemos medir la posición y la velocidad al mismo tiempo (trayectorias bien definidas).
- Niveles de energía continuos.

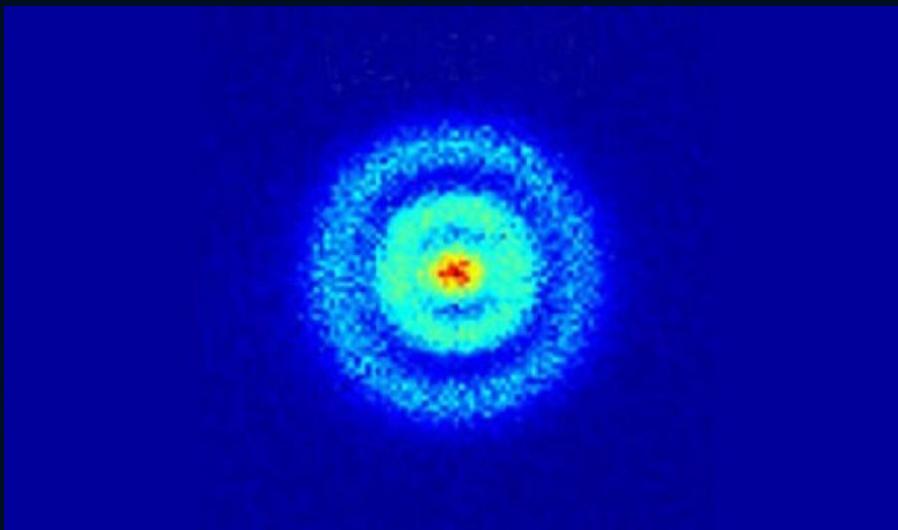


Reemplazo

INFORMACIÓN CLÁSICA



INFORMACIÓN CUÁNTICA



Definiciones

- **Teoría de la Información Cuántica:** Teoría de la información que corresponde a utilizar sistemas cuánticos como componentes de los dispositivos que utilizamos para almacenar, procesar y transmitir información.
- **Computación Cuántica:** El chip tiene como componentes a sistemas cuánticos.
- **Tecnologías Cuánticas:** Tecnologías que sacan algún tipo de ventaja de las propiedades peculiares de los sistemas cuánticos.

Comparación

Computación Clásica

Comparación

Computación Clásica

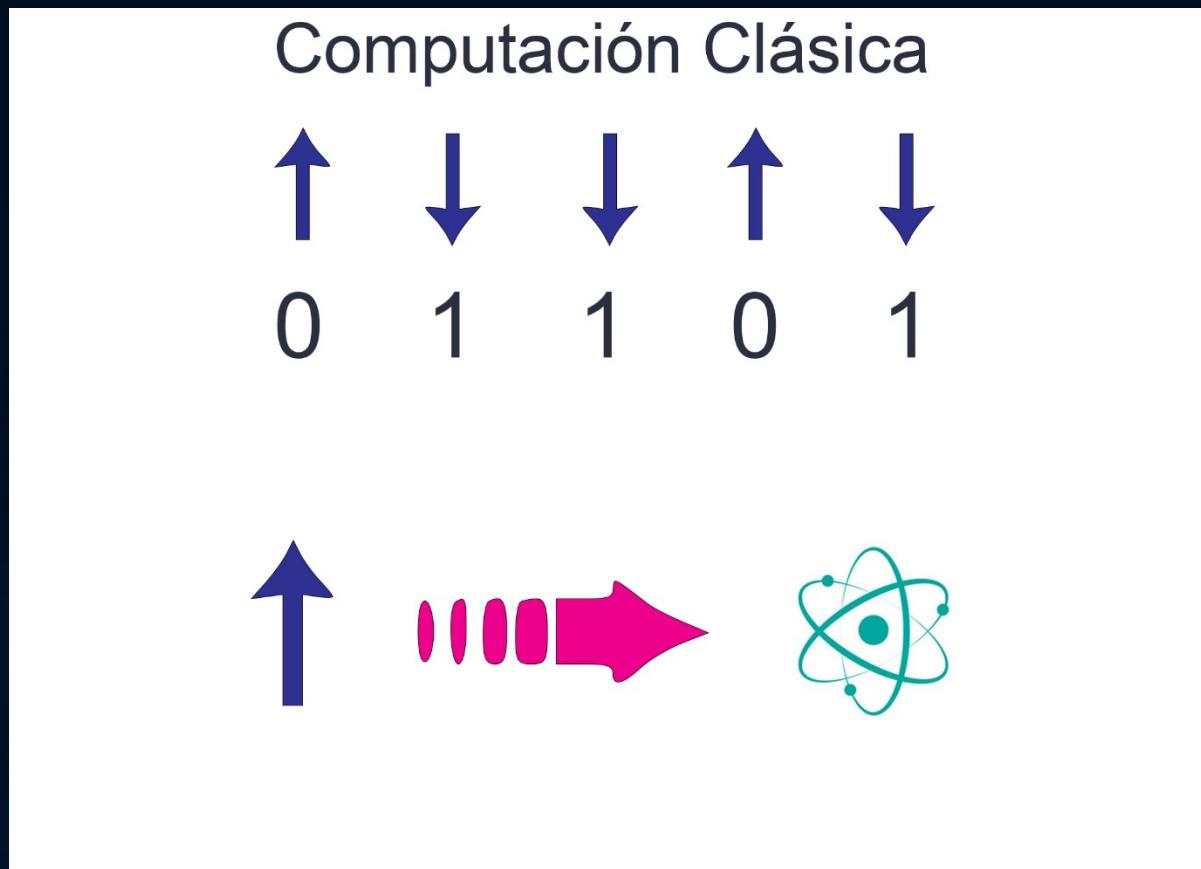
0 1 1 0 1

Comparación

Computación Clásica

↑	↓	↓	↑	↓
0	1	1	0	1

Comparación



Comparación

Computación Clásica

↑	↓	↓	↑	↓
0	1	1	0	1

Computación Cuántica



Comparación

Computación Clásica

↑	↓	↓	↑	↓
0	1	1	0	1

Computación Cuántica

				
?	?	?	?	?

Comparación

Computación Clásica

\uparrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow
0	1	1	0	1

Computación Cuántica

				
$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_3 \\ \beta_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_4 \\ \beta_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_5 \\ \beta_5 \end{pmatrix}$

Comparación

Computación Clásica

\uparrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow
0	1	1	0	1

Computación Cuántica



ρ_1

ρ_2

ρ_3

ρ_4

ρ_5

Comparación

Computación Clásica

↑	↓	↓	↑	↓
0	1	1	0	1

Computación Cuántica

					 ρ
ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	

Comparación

Computación Clásica

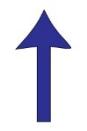
↑	↓	↓	↑	↓
0	1	1	0	1

Computación Cuántica

					 ρ
ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	

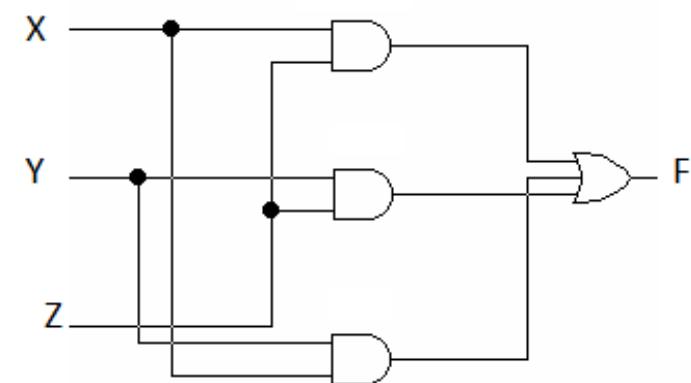
Comparación

Computación Clásica

    
0 1 1 0 1

Computación Cuántica

      ρ
 ρ_1 ρ_2 ρ_3 ρ_4 ρ_5



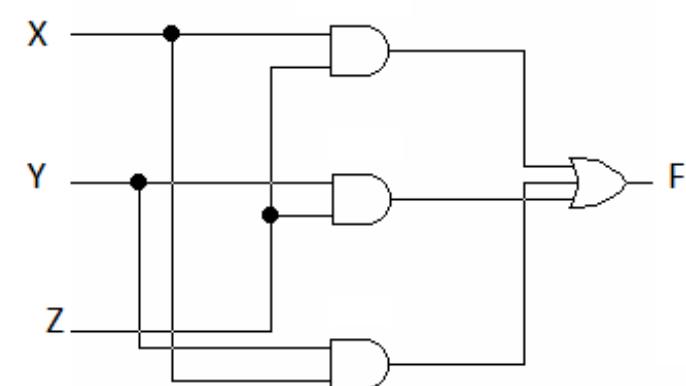
Comparación

Computación Clásica

    
0 1 1 0 1

Computación Cuántica

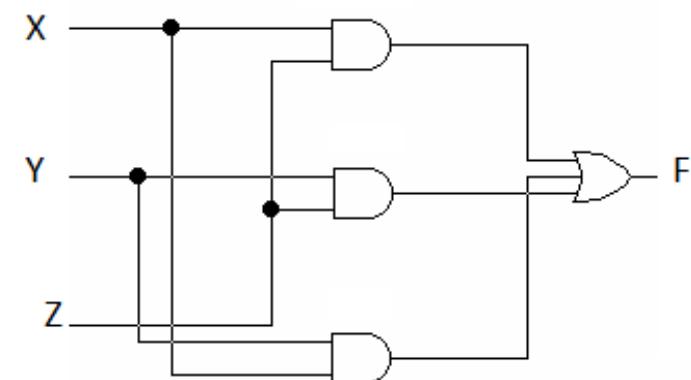
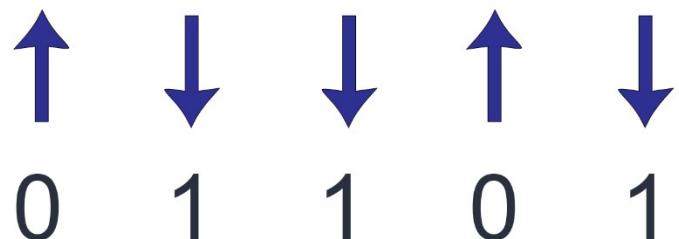
      ρ
 ρ_1 ρ_2 ρ_3 ρ_4 ρ_5



$$\rho \xrightarrow{\text{Circuit}} U\rho U^{-1}$$

Comparación

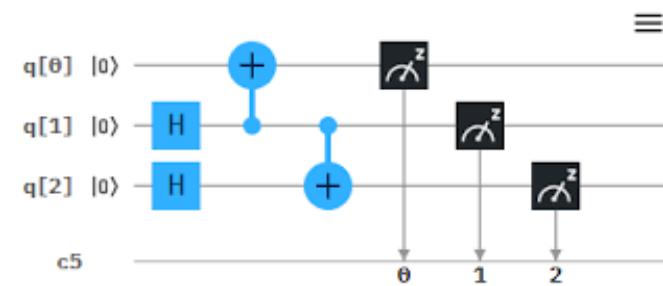
Computación Clásica



Computación Cuántica



$$\rho \xrightarrow{\text{Quantum Circuit}} U\rho U^{-1}$$



Comparación

COMPUTACIÓN CLÁSICA

Name	NOT	AND	NAND	OR	NOR	XOR	XNOR																																																																																																
Alg. Expr.	\bar{A}	AB	$\bar{A}\bar{B}$	$A+B$	$\bar{A}+\bar{B}$	$A \oplus B$	$\bar{A} \oplus \bar{B}$																																																																																																
Symbol																																																																																																							
Truth Table	<table border="1"><thead><tr><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	A	X	0	1	1	0	<table border="1"><thead><tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	B	A	X	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"><thead><tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	B	A	X	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"><thead><tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	B	A	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"><thead><tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	B	A	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1"><thead><tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	B	A	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"><thead><tr><th>B</th><th>A</th><th>X</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></tbody></table>	B	A	X	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	X																																																																																																						
0	1																																																																																																						
1	0																																																																																																						
B	A	X																																																																																																					
0	0	0																																																																																																					
0	1	0																																																																																																					
1	0	0																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	1																																																																																																					
0	1	1																																																																																																					
1	0	1																																																																																																					
1	1	0																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	0																																																																																																					
0	1	1																																																																																																					
1	0	1																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	1																																																																																																					
0	1	0																																																																																																					
1	0	0																																																																																																					
1	1	0																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	0																																																																																																					
0	1	1																																																																																																					
1	0	1																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					
B	A	X																																																																																																					
0	0	1																																																																																																					
0	1	0																																																																																																					
1	0	0																																																																																																					
1	1	1																																																																																																					

COMPUTACIÓN CUÁNTICA

Gate	Notation	Matrix
NOT (Pauli-X)		$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Z		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Hadamard		$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
CNOT (Controlled NOT)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

Circuitos Cuánticos

EJEMPLOS

T : $|0| \quad 1 \quad |2|3|4|$

q_0 : -H-Rz(0.40)-C-H---

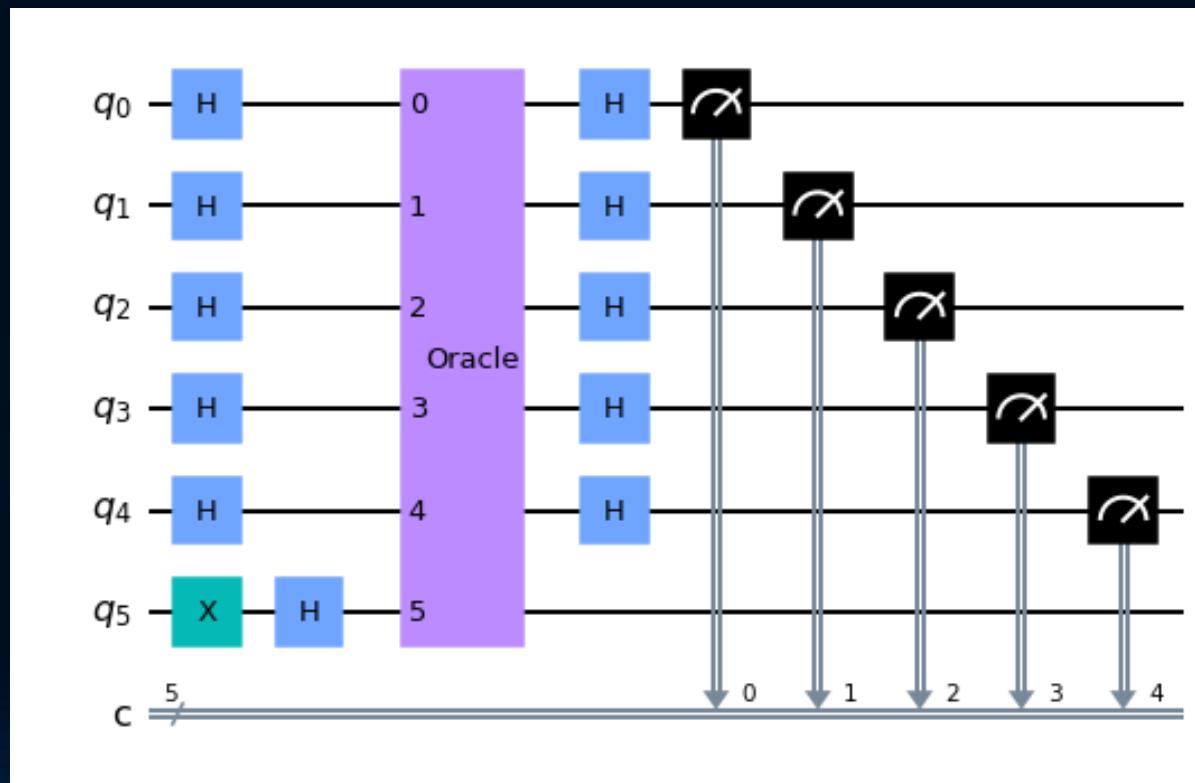
|

q_1 : -----X-C-H-

|

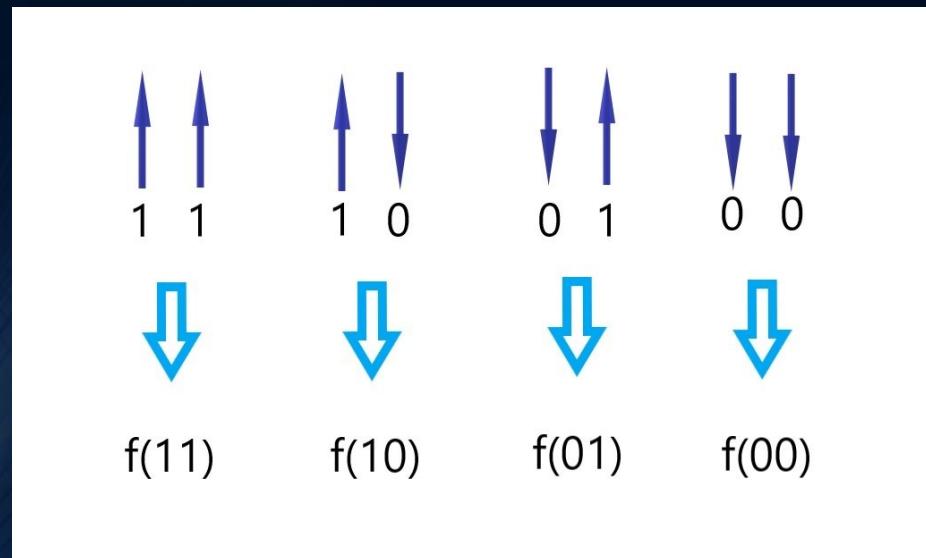
q_2 : -----X-H-

T : $|0| \quad 1 \quad |2|3|4|$

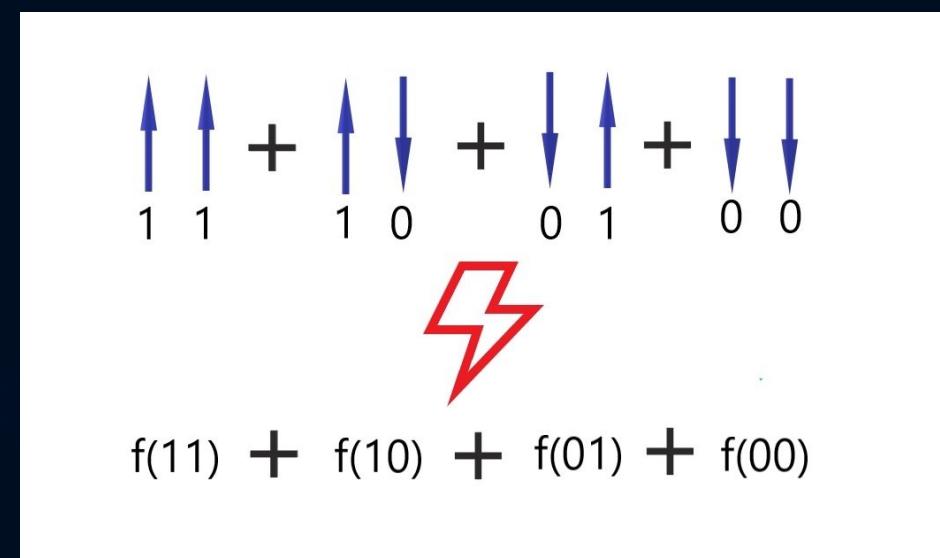


Comparación

COMPUTACIÓN CLÁSICA

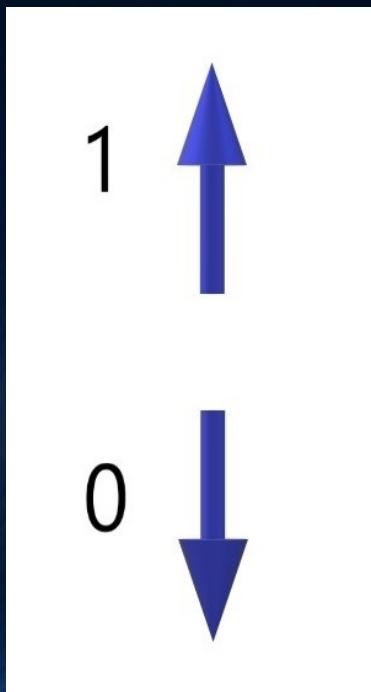


COMPUTACIÓN CUÁNTICA

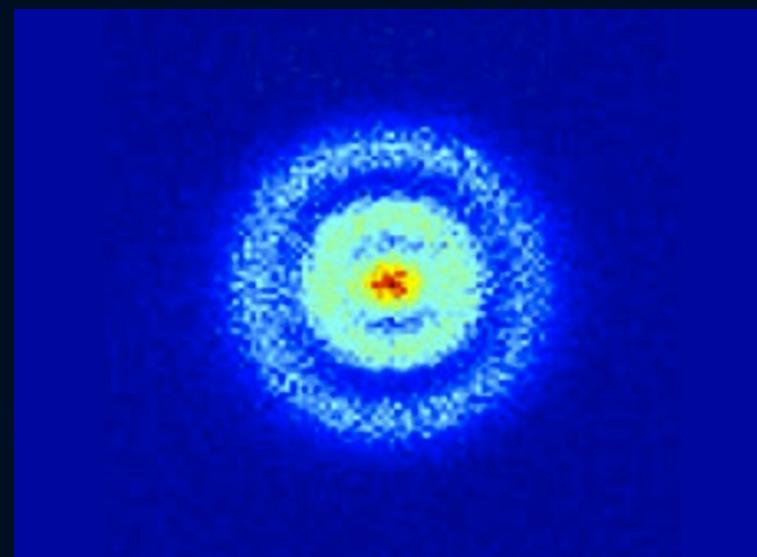


Comparación

COMPUTACIÓN CLÁSICA

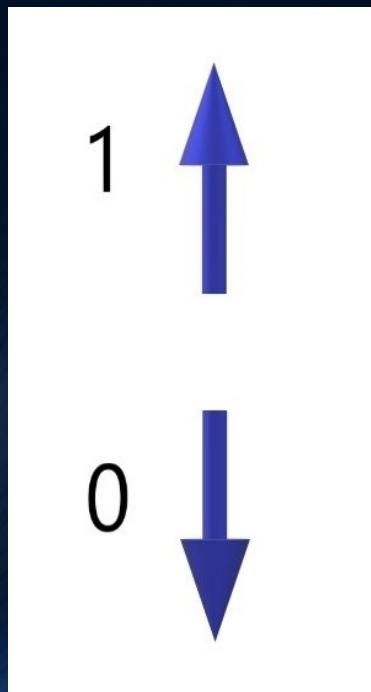


COMPUTACIÓN CUÁNTICA

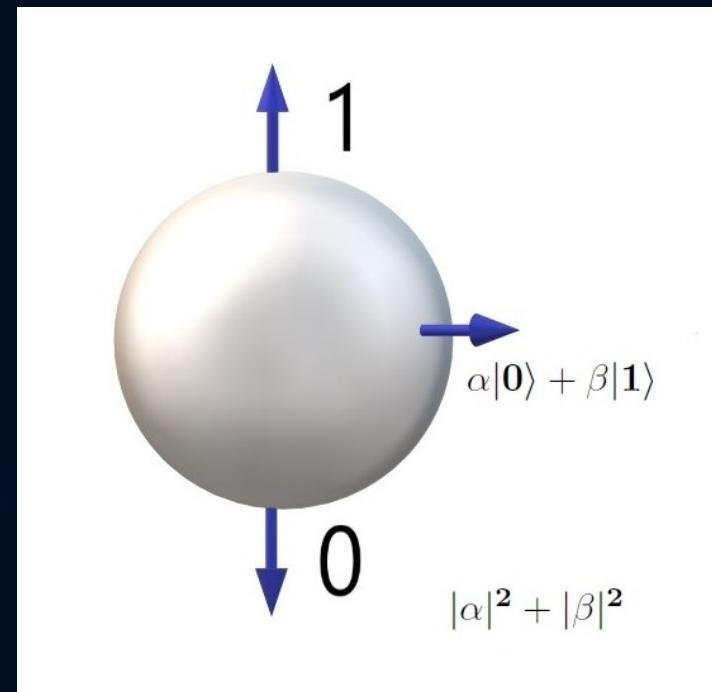


Comparación

COMPUTACIÓN CLÁSICA

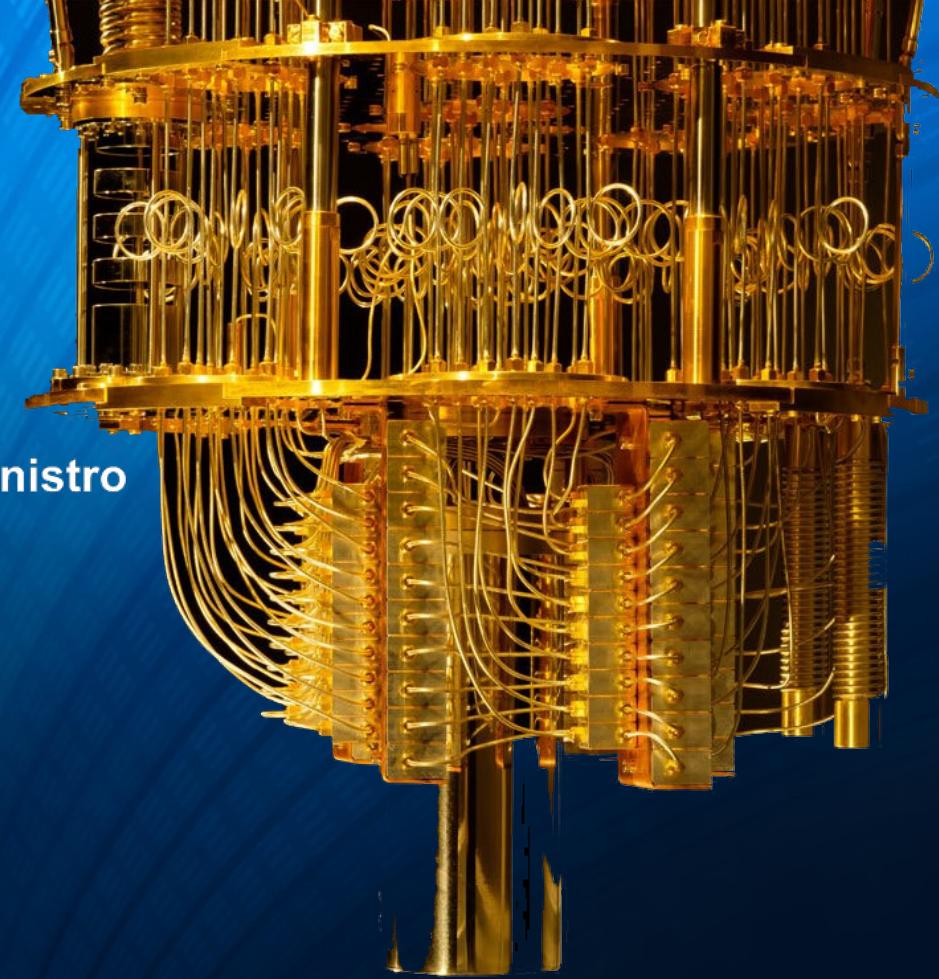


COMPUTACIÓN CUÁNTICA



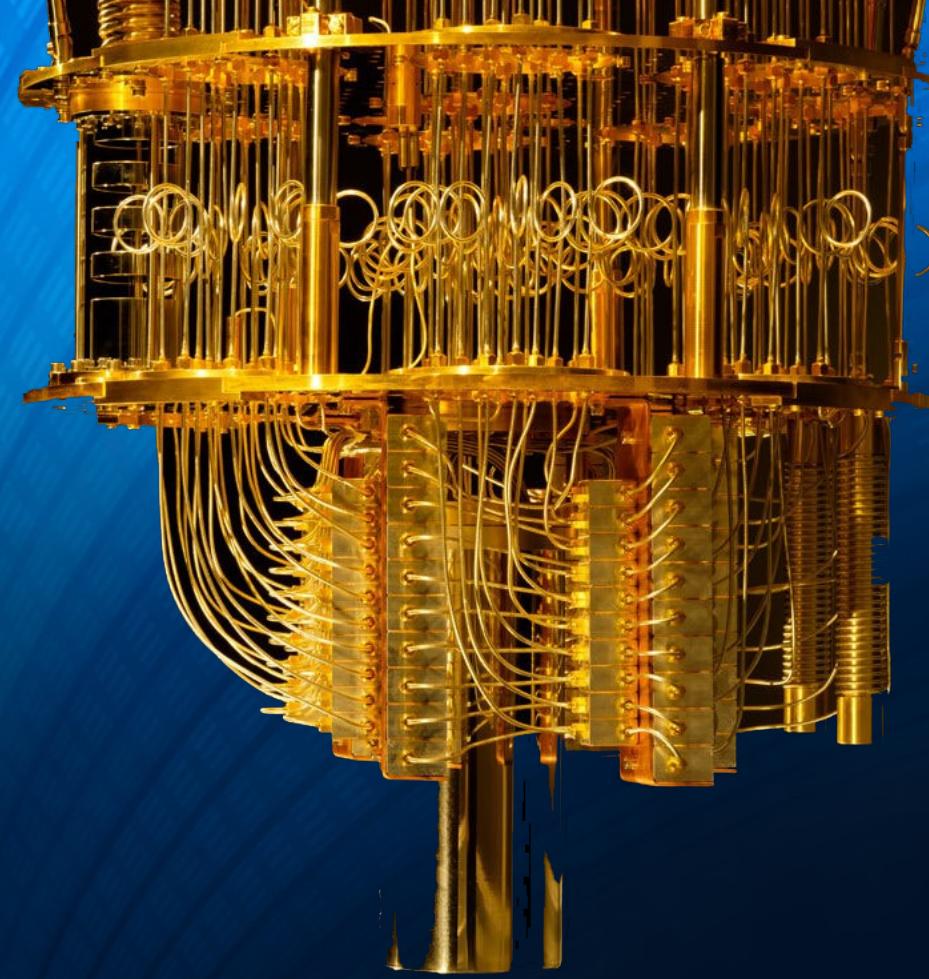
Telecomunicaciones
Industria Aero-espacial
Transporte
Simulaciones
Servicios Financieros
Química
Machine Learning
Logística y cadenas de suministro
Optimización
Big Data
Ciencias de la vida
Salud
Gobiernos

Aplicaciones



Reloj Atómico
Internet Cuántica
Llaves Criptográficas
Números Aleatorios
Sensores

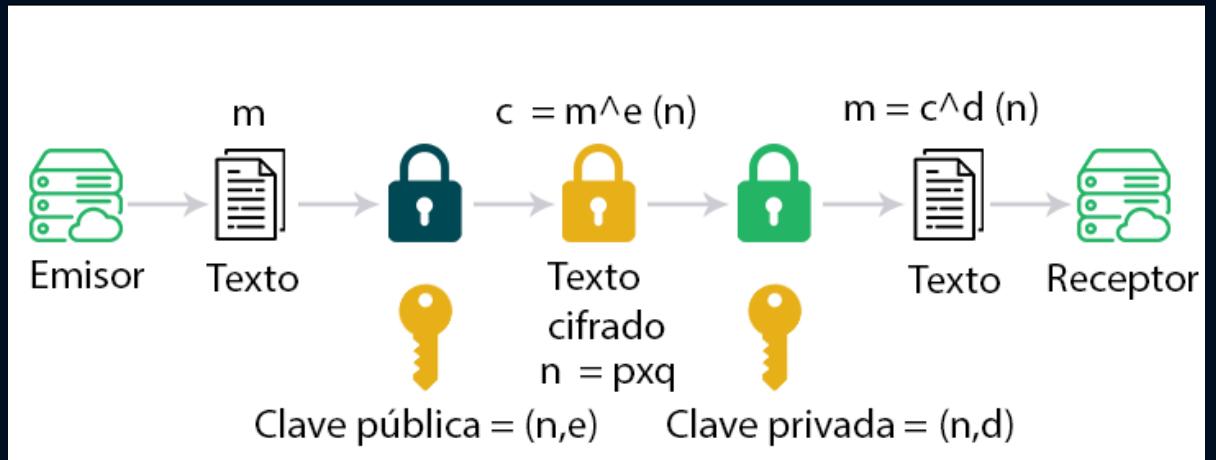
Aplicaciones



Aplicaciones

- **Optimización:** búsqueda de soluciones óptimas (duras para supercomputadoras). Optimización de carteras, logística de distribución, cadenas de suministro, optimización de tráfico, optimización de redes de comunicación, distribución de energía.
- **Simulación Cuántica:** Modelado de sistemas cuánticos de muchos cuerpos, con implicaciones para búsqueda de nuevos materiales, drogas/medicamentos, predicción del clima.
- **Algoritmos Cuánticos:** Factorización, búsqueda, variacionales.
- **Machine Learning:** Aceleración cuántica de problemas clásicos, redes neuronales cuánticas.

Algoritmo de Shor



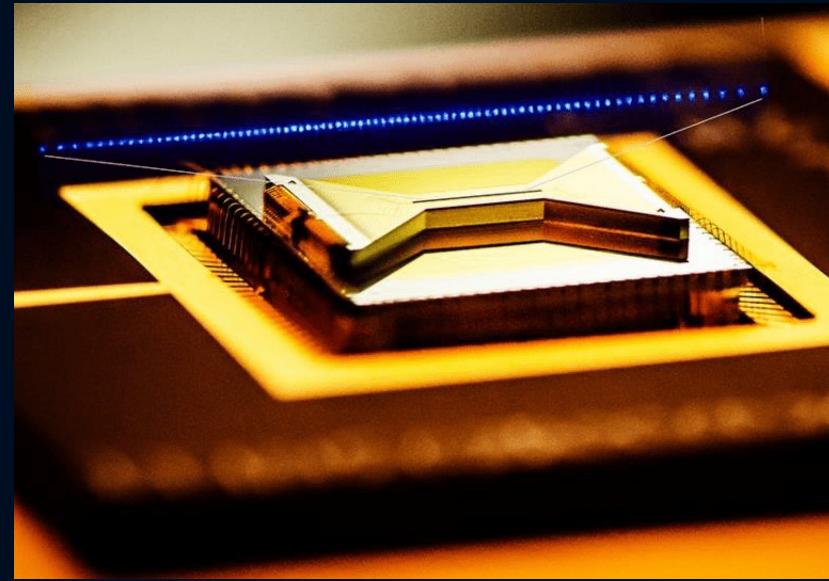
- **RSA:** se basa en la hipótesis de que la tarea de factorizar números enteros es muy dura para las computadoras clásicas (si se cumplen ciertos requisitos).
- **Shor:** El algoritmo de Shor permite una aceleración exponencial en el problema de la factorización respecto de los algoritmos clásicos conocidos.

IonQ

CAJA

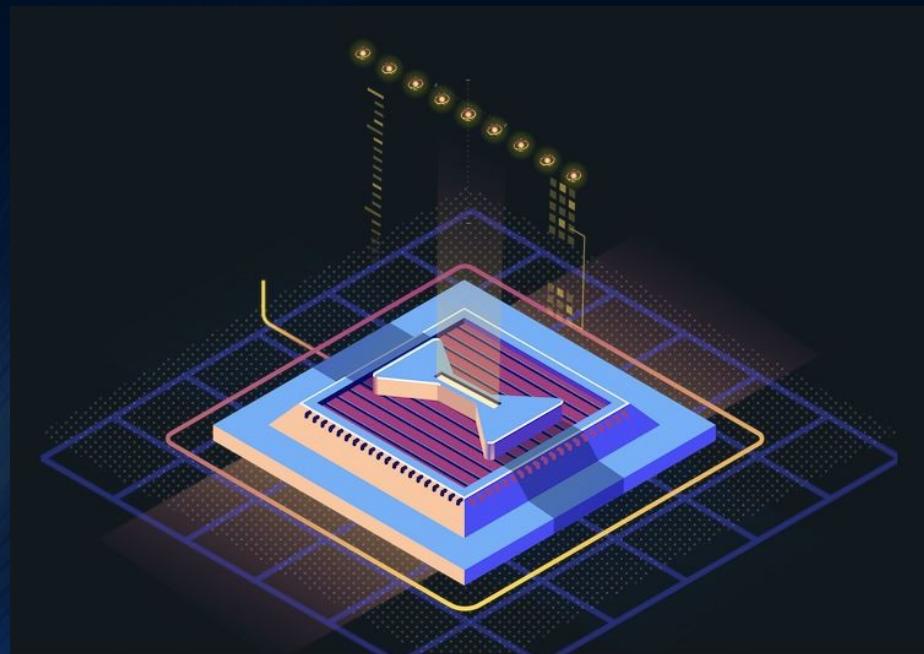


ADENTRO

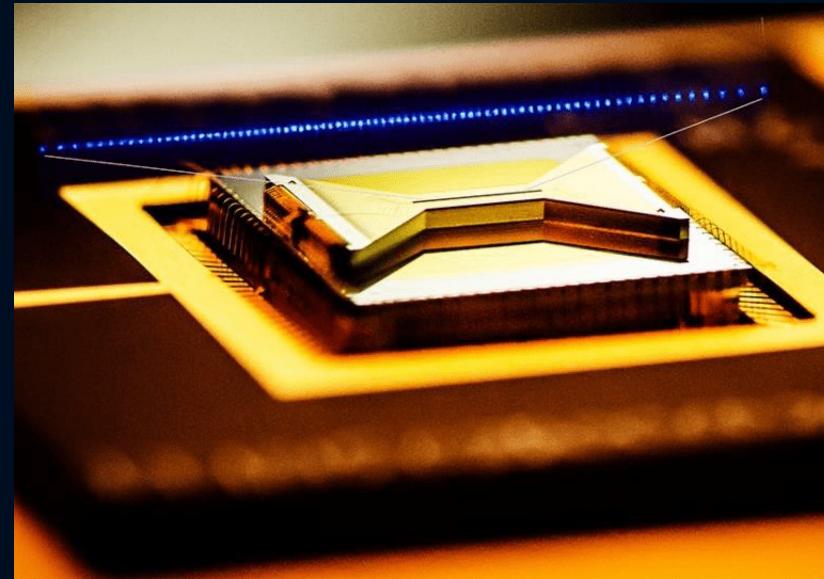


IonQ

ESQUEMA

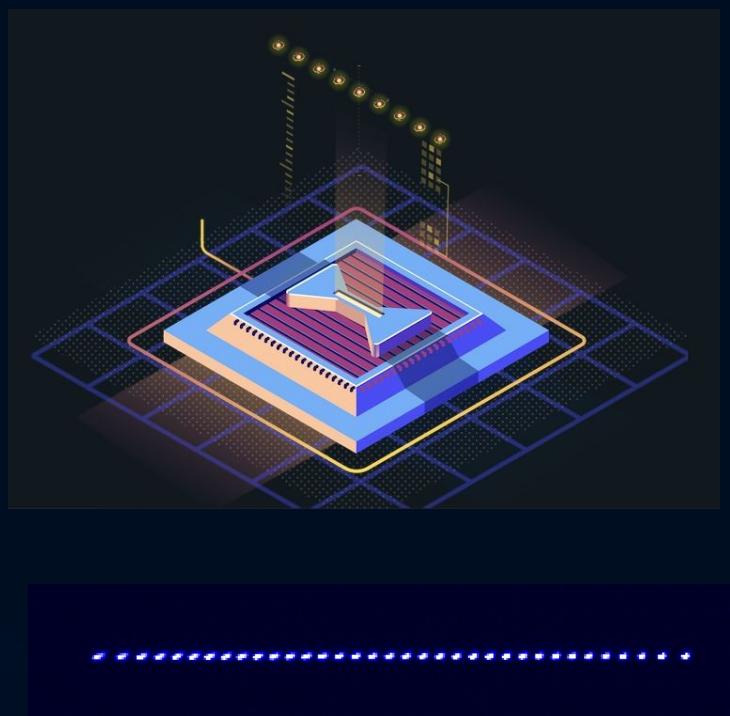
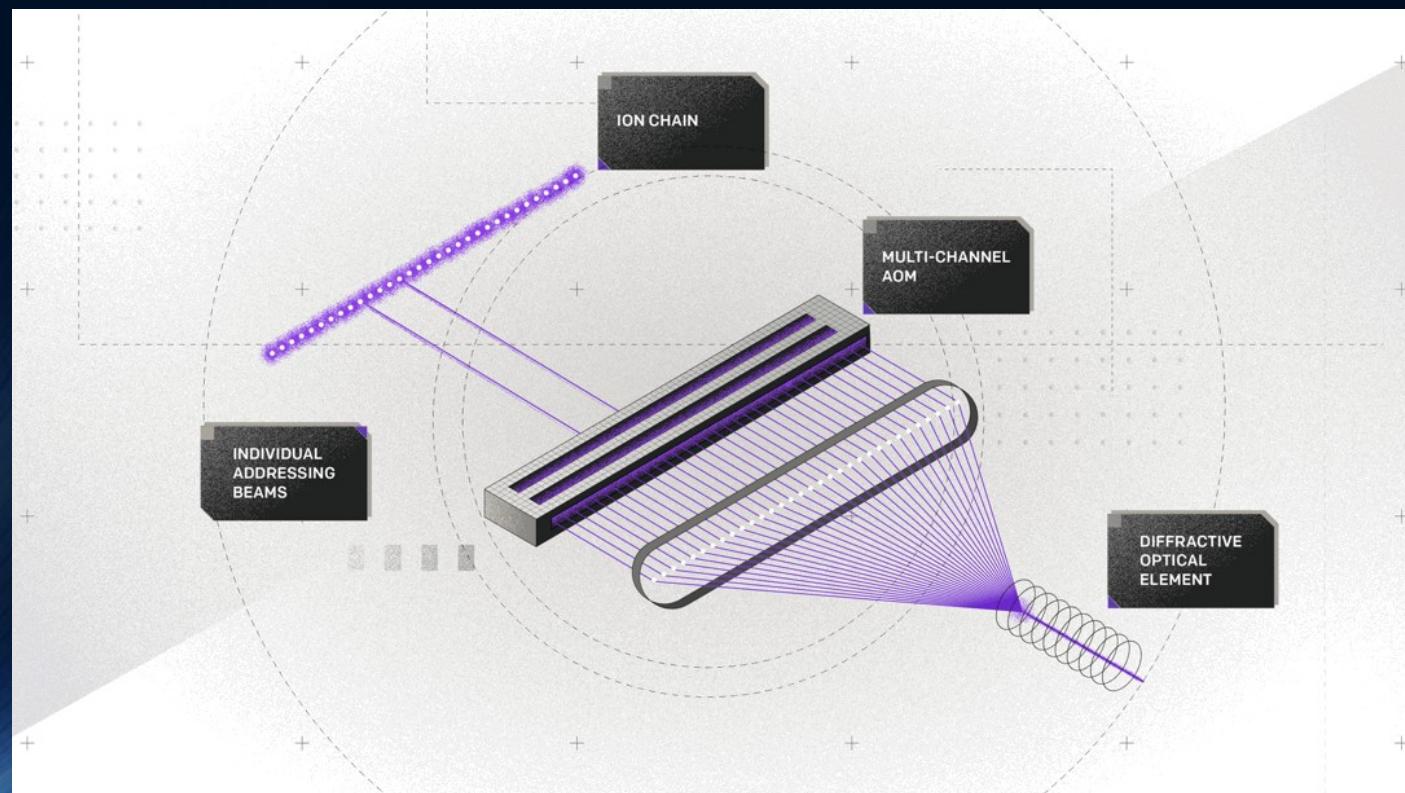


CHIP



IonQ

CONTROL USANDO LÁSERES



IonQ

COTIZA EN BOLSA

Market Summary > IONQ Inc

40.75 USD

+29.74 (270.12%) ↑ all time

Closed: Aug 27, 8:31 AM EDT • Disclaimer

Pre-market 40.76 +0.0100 (0.025%)

1D | 5D | 1M | 6M | YTD | 1Y | 5Y | Max



IonQ

VENDE

- Acceso a computadoras cuánticas en la nube, a través de AWS, Microsoft Azure y Google Cloud. Para investigación y desarrollo.
- Desarrolla también hardware cuántico especializado, como llaves criptográficas.
- Tiene contratos con el Estado (EEUU).

IonQ

VENDE

- Acceso a computadoras cuánticas en la nube, a través de AWS, Microsoft Azure y Google Cloud. Para investigación y desarrollo.
- Desarrolla también hardware cuántico especializado, como llaves criptográficas.
- Tiene contratos con el Estado (EEUU).

IonQ

EMPRESA CONSOLIDADA

- **Clientes:** Amazon Braket, Microsoft Azure, Google Cloud, Oak Ridge National Laboratory, Hyundai, Los Alamos National Laboratory, QuantumBasel, etc.
- **Partners:** NVIDIA, Darpa, Dell, Accenture, Amazon Braket, Microsoft Azure, etc.

Arquitectura

FAULT TOLERANT UNIVERSAL QUANTUM COMPUTER



Arquitectura

ERA NISQ (NOISY INTERMEDIATE SCALE QUANTUM)



Tarea que se pueda resolver en una computadora cuántica en un tiempo razonable, pero que a las súper computadoras clásicas les tome muchísimo tiempo. Sin importar su relevancia comercial.

Supremacía Cuántica

TESIS DE CHURCH-TURING EXTENDIDA

Tarea relevante desde el punto de vista comercial, que se pueda resolver en una computadora cuántica en un tiempo razonable, pero que a las súper computadoras clásicas les tome muchísimo tiempo.

Ventaja Cuántica

EJEMPLO: EL PROBLEMA DE LA FACTORIZACIÓN Y EL ALGORITMO DE SHOR

Tarea relevante para la investigación en ciencias básicas, que se pueda resolver en una computadora cuántica en un tiempo razonable, pero que a las súper computadoras clásicas les tome muchísimo tiempo.

Utilidad Cuántica

EJEMPLO: SIMULAR LA FÍSICA DE UN SISTEMA CUÁNTICO DE MUCHOS CUERPOS

Aplicaciones

- **Estado del arte:** Varias empresas y laboratorios han anunciado supremacía cuántica, en distintas versiones.
- **Hay que tener cuidado:** En principio, ninguno de estos ejemplos tiene aplicaciones prácticas que den una clara ventaja respecto de HPC (clásica). Por otro lado, las supercomputadoras clásicas todavía pueden dar muchas sorpresas.

Xanadu

COMPUTADORA FOTÓNICA

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [articles](#) > [article](#)

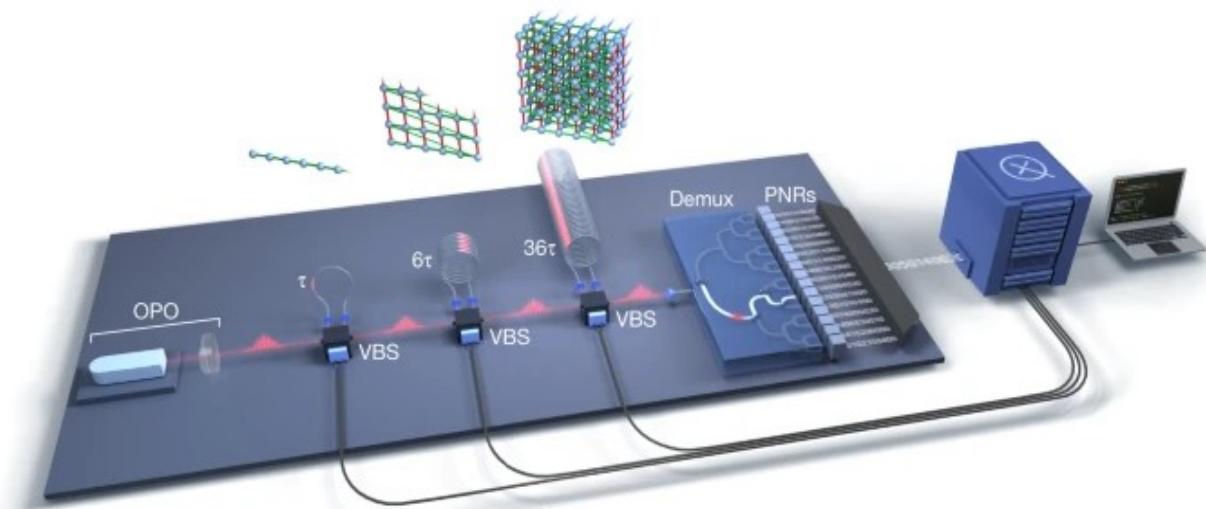
Article | [Open access](#) | Published: 01 June 2022

Quantum computational advantage with a programmable photonic processor

Lars S. Madsen, Fabian Laudenbach, Mohsen Falamarzi Askarani, Fabien Rortais, Trevor Vincent, Jacob F. F. Bulmer, Filippo M. Miatto, Leonhard Neuhaus, Lukas G. Helt, Matthew J. Collins, Adriana E. Lita, Thomas Gerrits, Sae Woo Nam, Varun D. Vaidya, Matteo Menotti, Ish Dhand, Zachary Vernon, Nicolás Quesada  & Jonathan Lavoie 

[Nature](#) 606, 75–81 (2022) | [Cite this article](#)

154k Accesses | 796 Citations | 1282 Altmetric | [Metrics](#)



Google

QUBITS SUPERCONDUCTORES

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [articles](#) > article

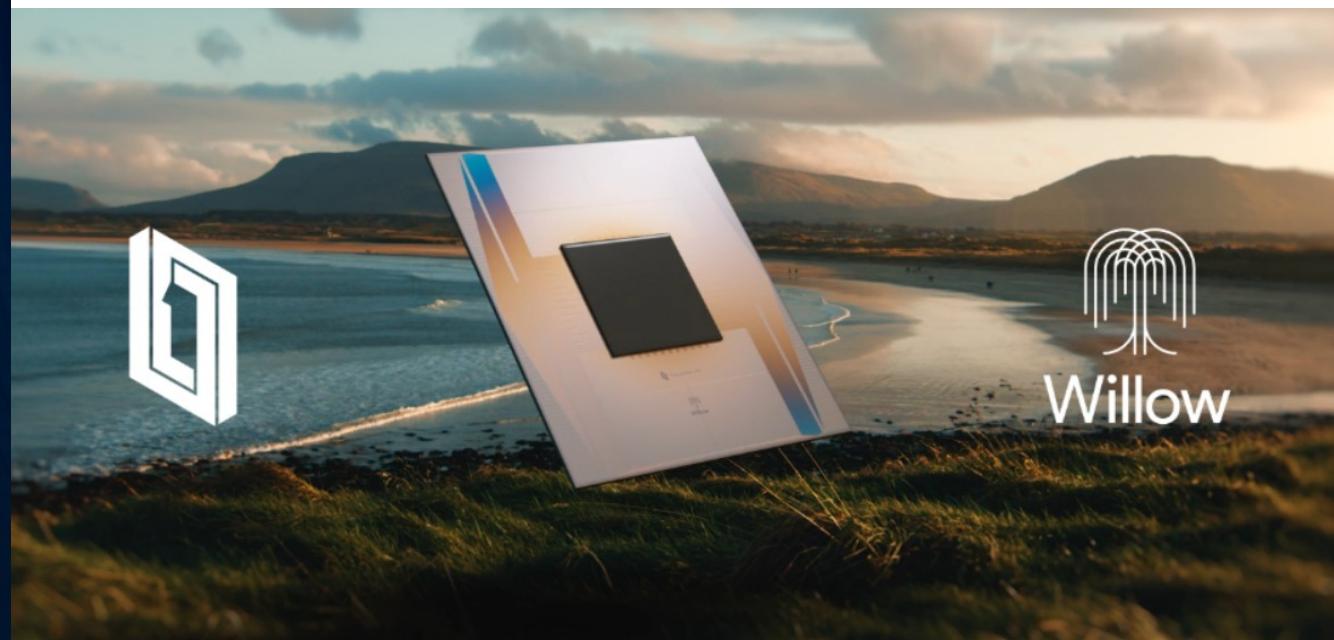
Article | [Open access](#) | Published: 09 December 2024

Quantum error correction below the surface code threshold

[Google Quantum AI and Collaborators](#)

[Nature](#) **638**, 920–926 (2025) | [Cite this article](#)

123k Accesses | **191** Citations | **2099** Altmetric | [Metrics](#)



Zuchongzhi 3.0

QUBITS SUPERCONDUCTORES

Physical Review Letters

Highlights Recent Accepted Collections Authors Referees Press About Editorial Team

FEATURED IN PHYSICS | EDITORS' SUGGESTION

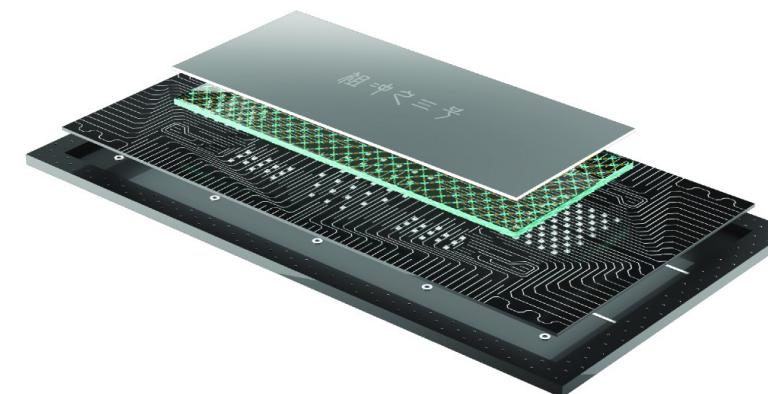
Establishing a New Benchmark in Quantum Computational Advantage with 105-qubit Zuchongzhi 3.0 Processor

[Dongxin Gao](#)^{1,2,3,*}, [Daojin Fan](#)^{1,2,3,*}, [Chen Zha](#)^{1,2,3,*}, [Jiahao Bei](#)², [Guoqing Cai](#)², [Jianbin Cai](#)^{1,2,3}, [Sirui Cao](#)^{1,2,3}, [Fusheng Chen](#)^{1,2,3}, [Jiang Chen](#)² et al.

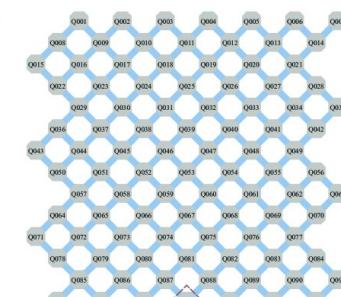
Show more ▾

Phys. Rev. Lett. **134**, 090601 – Published 3 March, 2025

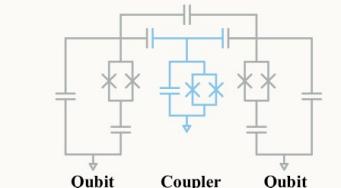
a)



b)



c)



Quantinuum H2-1

IONES ATRAPADOS

nature

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

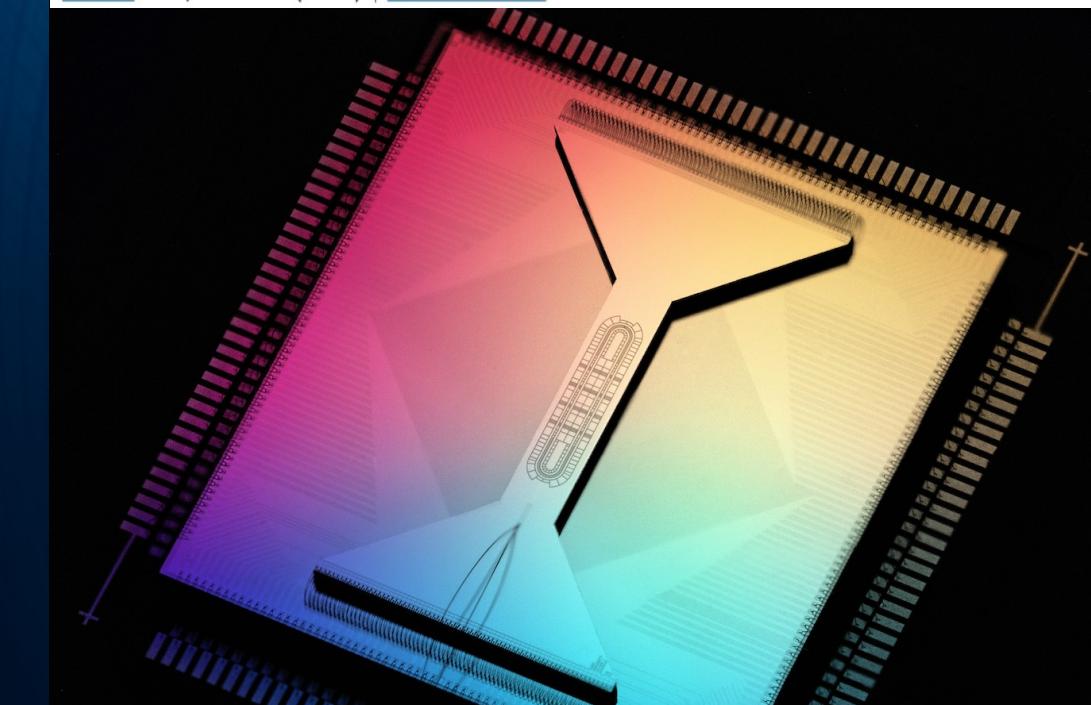
nature > articles > article

Article | [Open access](#) | Published: 26 March 2025

Certified randomness using a trapped-ion quantum processor

Minzhao Liu, Ruslan Shaydulin , Pradeep Niroula, Matthew DeCross, Shih-Han Hung, Wen Yu Kon, Enrique Cervero-Martín, Kaushik Chakraborty, Omar Amer, Scott Aaronson, Atithi Acharya, Yuri Alexeev, K. Jordan Berg, Shouvanik Chakrabarti, Florian J. Curchod, Joan M. Dreiling, Neal Erickson, Cameron Foltz, Michael Foss-Feig, David Hayes, Travis S. Humble, Niraj Kumar, Jeffrey Larson, Danylo Lykov, ... [Marco Pistoia](#)  + Show authors

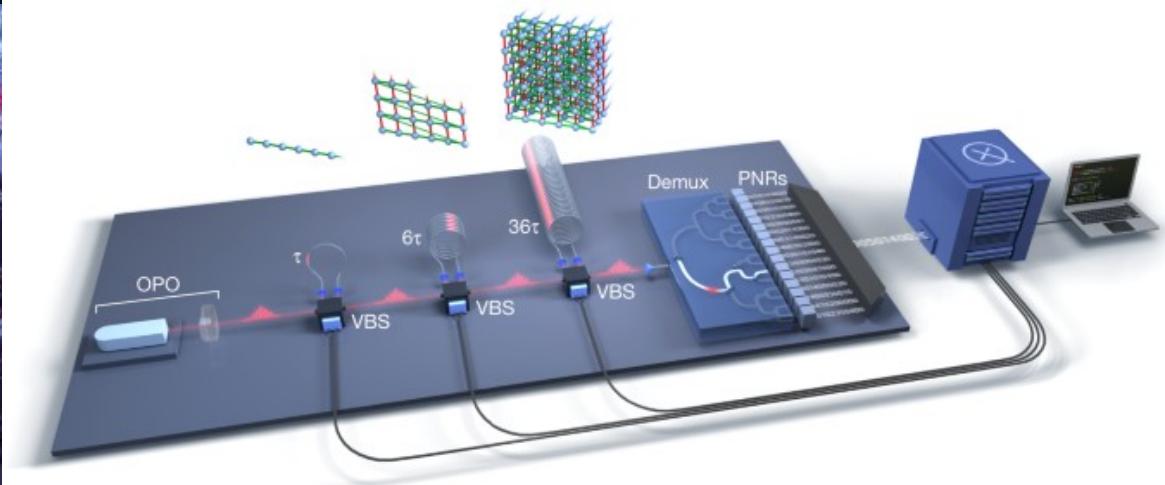
[Nature](#) 640, 343–348 (2025) | [Cite this article](#)



TRL (en computación cuántica)

- QTRL1: Marco teórico para la computación cuántica firmemente establecido.
- QTRL2: Determinación de los principios básicos de funcionamiento de los dispositivos. Formulación de algoritmos relevantes y aplicaciones potenciales.
- QTRL3: Fabricación de prototipos imperfectos y validación de laboratorio para pruebas de principio en aplicaciones comerciales (sin ventaja significativa). Integración con HPC (pruebas de principio). Supremacía cuántica (en problemas de interés académico).
- Otros niveles (QTRL4-9): Incremento de niveles de funcionalidad demostrable y desarrollo creciente de aplicaciones comerciales.

Desafíos



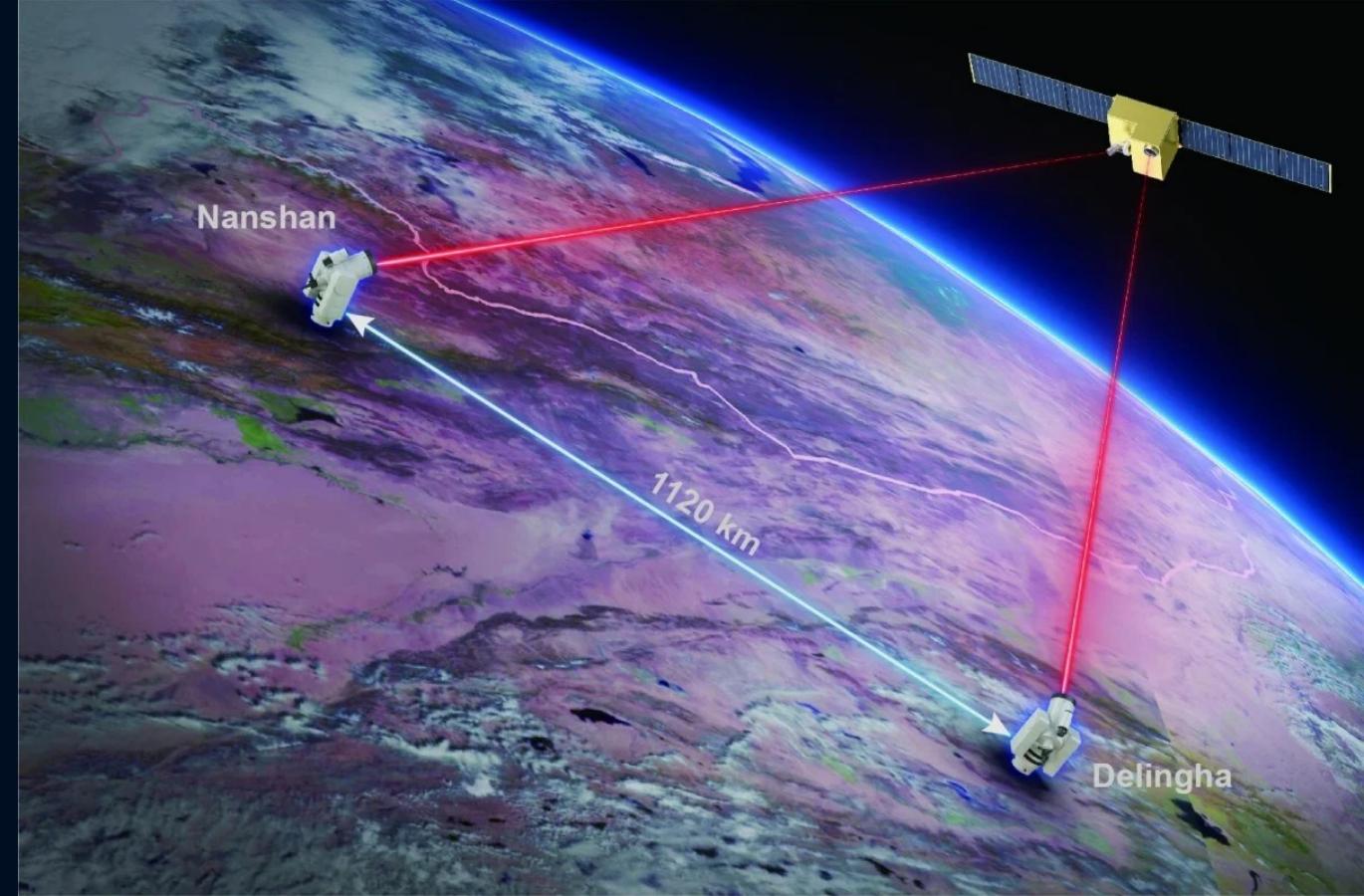
- **Nadie duerme tranquilo:** Robar hoy, desencriptar mañana. ¿Quién va a golpear primero?
- **¿Qué hacer?:** Para los grandes jugadores, meterse tarde puede llegar a ser letal. Se planifica en términos de décadas.
- **Prepararse:** Buscar alternativas seguras, pero que su implementación no implique un esfuerzo irrealizable.

Redes cuánticas

Bits del emisor	0	1	1	0	1	0	0	1
Base del emisor	+	+	X	+	X	X	X	+
Polarización	↑	→	↖	↑	↖	↗	↗	→
Base del receptor	+	X	X	X	+	X	+	+
Medición del receptor	↑	↗	↖	↗	→	↗	→	→
Intercambio por el canal público								
	0		1			0		1

- **Protocolos de encriptación cuánticos:** Es una forma de generar claves criptográficas simétricas usando sistemas cuánticos. Redes súper seguras.
- **Encriptación post-cuántica:** Algoritmos clásicos de encriptación resistentes a ataques de computadoras cuánticas.
- **Estado:** Estas tecnologías están disponibles en la actualidad.

Redes cuánticas



- **Experimentos:** Se realizaron varios experimentos. Distancias: desde algunos metros hasta cientos de kilómetros.
- **Comercialización:** Hay varias empresas que venden. En particular, ya ha sido implementado en un banco de Suiza en el 2004.
- **Satelital:** China apuesta fuerte al avance en QKD usando satélites. China y Sudáfrica.

TRL (en distribución cuántica de llaves)

- TRL 5-7: Sistemas de QKD cada vez más integrados en redes de comunicación, con pruebas de campo que demuestran interoperabilidad con canales de fibra y en el espacio. Esfuerzos promisorios para integración en redes comerciales.
- TRL 6-8: Soluciones basadas en QKD proveyendo de distribución segura de llaves para aplicaciones críticas como datos financieros, comunicaciones gubernamentales y seguridad nacional. Estos sistemas se implementan en configuraciones punto a punto, algunos en distancias metropolitanas significativas.

Denmark
299 B DKK = USD 446 M

Netherlands
965 M EUR = USD 111 B

France
18 B EUR = USD 2.07 B

Norway
70 M NOK = USD 6.7 M

Sweden
13.15 B SEK = USD 132 B

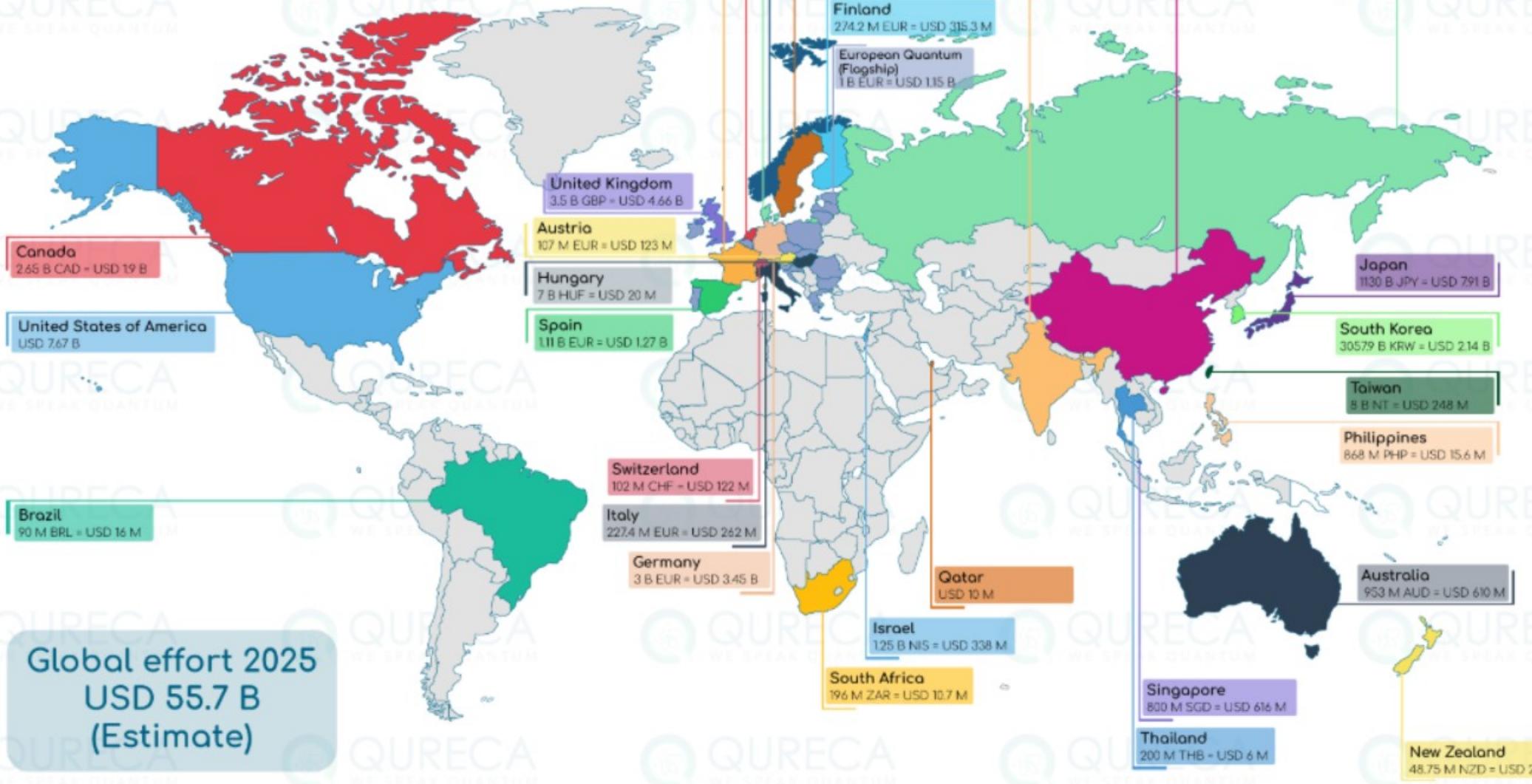
Finland
274.2 M EUR = USD 315.3 M

European Quantum
(Flagship)
1 B EUR = USD 115 B

India
60 B INR = USD 720 M

China
USD 15.3 B

Russia
150 B RUB = USD 1.83 B





Quantum Delta NL

- **Objetivo:** Desarollar ecosistema cuántico. 700 millones de Euros.
- **Estrategia:** Garantizar liderazgo de Holanda en la carrera tecnológica.

QUANTUM DELTA NL – EXPLORATION TO IMPACT

Quantum Delta NL is a dynamic and innovative quantum technology ecosystem located in Europe that strives to create significant societal impact through technological advancements. We connect people in the quantum field and beyond, providing opportunities to learn, collaborate, and achieve more together.

Our ecosystem is built around three catalyst programs – quantum computing and simulation, national quantum network, and quantum sensing applications – and tied together with four action lines – research and innovation, quantum ecosystem, human capital, and societal impact.

Although the Netherlands is a small country, it possesses significant expertise and advanced facilities in the realm of quantum technology. The nation's distinct knowledge and innovation landscape is primarily supported by five specialized – yet interconnected – innovation hubs: QDNL Delft, QDNL Amsterdam, QDNL Leiden, QDNL Eindhoven, and QDNL Twente.

VISION 2035

Building on our first few years of growth, we're now entering Phase 3 with an even sharper focus on generating long-term economic impact and societal value for the Netherlands. Leveraging our ecosystem's expertise and drive, we're excited to keep advancing our mission. Check out our updated vision for the future:

Números

- Unión Europea: 1.000 millones de euros durante 10 años.
- Holanda: 700 millones de Euros a siete años.
- China: 15 billones.
- Alemania: 3000 millones.
- Reino Unido: 2.500 millones.
- Y la lista se sigue actualizando...

Ya hay un mercado (billonario) de tecnologías cuánticas

- Principal cliente/inversor: estados de los países centrales.
- Grandes empresas tecnológicas (desarrollan): Google, IBM, Microsoft, etc.
- Grandes empresas (consumen): farmacéuticas, automotrices, etc. También universidades y centros de súper cómputo.
- Empresas de computación cuántica: IBM Quantum, Google Quantum AI, IonQ, IQM, Rigetti, AQT, etc.
- Otras empresas de tecnologías cuánticas: quantum key distribution, quantum random number generators, metrología cuántica (sensores, giróscopos, etc).

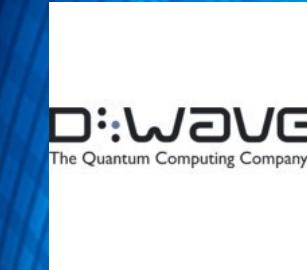
Zoológico DE EMPRESAS



IBM Q™



D-WAVE
The Quantum Computing Company™



rigetti



Google AI
Quantum



Microsoft Azure



Ya hay un mercado (millonario) de tecnologías cuánticas

- Usuarios de QC: investigación y desarrollo.
- Vendedores: proveen QPUs y acceso en la nube. Sistemas de QKD y QRG, sensores.
- Casos de uso de QC: investigación y desarrollo, pruebas de principio.

Quantum technologies

A potential game-changer in aerospace

Airbus

COMPUTACIÓN CUÁNTICA, METROLOGÍA CUÁNTICA Y
QUANTUM KEY DISTRIBUTION, PARTNER DE IONQ

Quantum Research

↳ Blog

Case study: Moderna and IBM use quantum computing to model mRNA structure

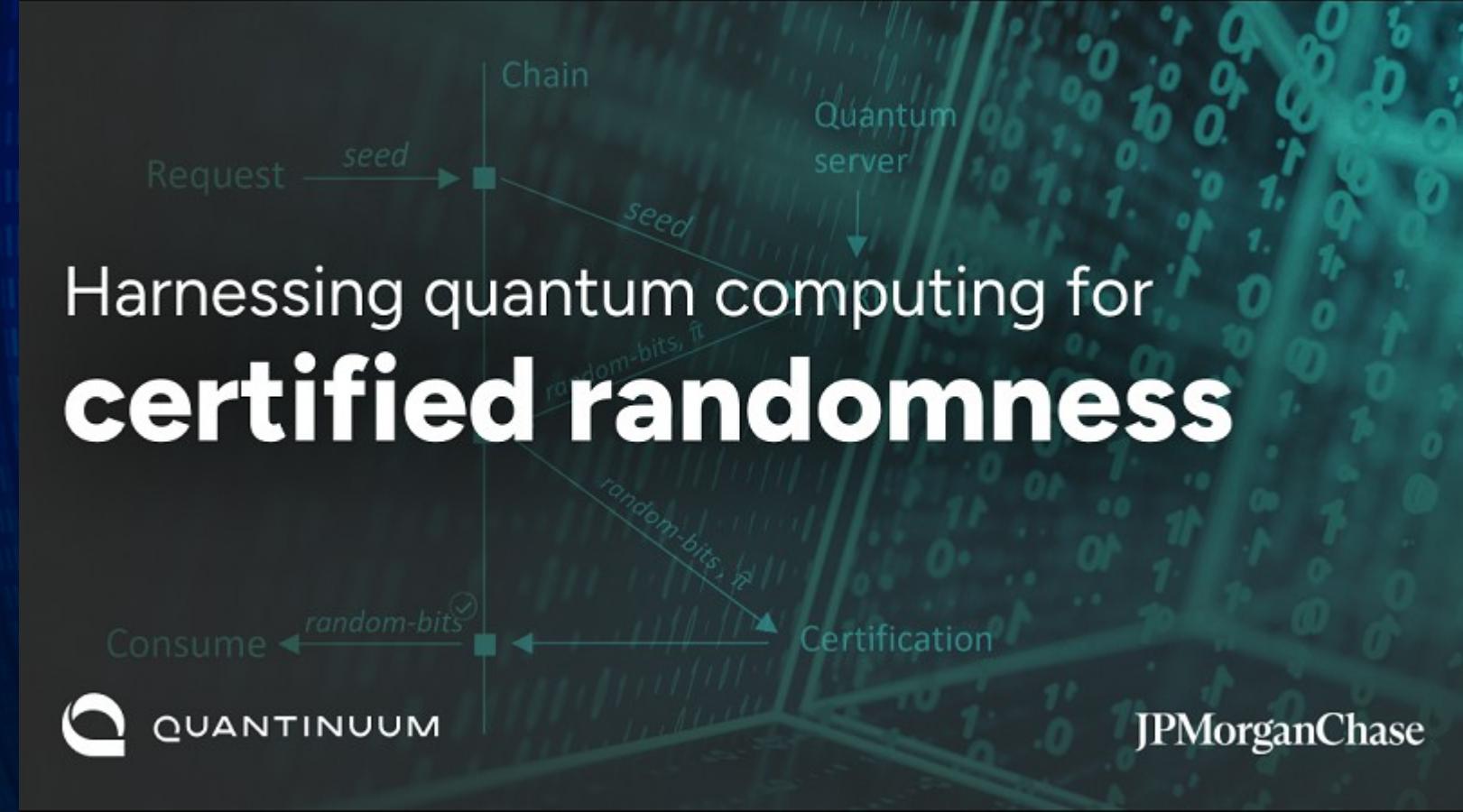
In a simulation of protein secondary structures, IBM® and Moderna achieve one of the largest and most advanced variational executions ever realized on quantum hardware.

Moderna

SIMULACIÓN DE MRNA

JP Morgan Chase

COLABORACIÓN CON QUANTINUUM PARA PRODUCIR
ALEATORIEDAD CUÁNTICA CERTIFICADA



Observación crucial: ya hay una demanda concreta

- Usuarios de QC: compran/alquilan QPUs (IonQ, IBM, IQM, Rigetti, AQT, SpinQ, etc), consumen software (SDKs como Qiskit, Pennylane, Strawberryfields, o directamente, desarrollo de algoritmos para búsqueda de aplicaciones).
- Usuarios de otras tecnologías: sistemas de QKD y QRG, sensores.
- Vendedores: consumen software, electrónica, sistemas de control, criogenadores, HPC, salas limpias, cámaras de vacío, etc.
- Oportunidades: todo esto abre oportunidades para integrarse en algún/algunos segmento/s de este ecosistema.

Comparación

Computación Clásica

\uparrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow
0	1	1	0	1

Computación Cuántica

				
$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_3 \\ \beta_3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_4 \\ \beta_4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_5 \\ \beta_5 \end{pmatrix}$

Comparación

Computación Clásica

\uparrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow
0	1	1	0	1

Computación Cuántica

					\rightarrow	ρ
ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5		

Números complejos

$$z \in \mathbb{C} \longrightarrow z = a + bi, \text{ con } a, b \in \mathbb{R}$$

$$\bar{z} = a - bi$$

$$i^2 = -1$$

$$|z|^2 = a^2 + b^2 = z\bar{z} = (a + bi)(a - bi)$$

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Otra forma de describir a un complejo es dando un módulo ($|z| \in \mathbb{R}$) y una fase $\theta \in [0, 2\pi]$:

$$z = |z| \exp^{i\theta}$$

$$|\exp^{i\theta}| = 1 \quad \forall \theta \in [0, 2\pi]$$

Contacto

 holik@física.unlp.edu.ar

 www.holik.com.ar /
www.quantumlogic.com.ar

 @fedequantum

 @FedericoHolik

