

La revolución cuántica en marcha

Henry Estrada¹

¹ Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa - CONICET), Argentina; e-mail: henryestrada@gmail.com

En los últimos años, la física cuántica se volvió un tema recurrente en medios y redes, muchas veces presentado de manera fragmentaria, exagerada o directamente tergiversada. La computación cuántica, en particular, atraviesa el mismo fenómeno: se la describe como una tecnología capaz de resolverlo todo, o como una amenaza inmediata para la seguridad digital, cuando en realidad su desarrollo es aún incipiente y lleno de desafíos. Las encuestas de percepción pública de la ciencia muestran que la ciudadanía confía en la investigación científica, pero reconoce comprender poco sobre áreas complejas como la física y la computación cuántica. El propio título de este artículo, “La revolución cuántica en marcha”, reafirma esta perspectiva: se trata de una revolución, sí, pero aún en movimiento, en construcción, lejos de haber alcanzado su meta definitiva. Este texto busca despejar mitos, ordenar la información real y ofrecer un panorama somero pero riguroso sobre qué sabemos, qué podemos esperar y cuál es la verdadera magnitud de esta transformación tecnológica.

En este contexto de expectativas y confusión, el Premio Nobel de Física 2025 reconoció avances decisivos en el campo de la computación cuántica. Así se marca un hito que permite diferenciar lo que ya es realidad de lo que aún está en construcción.

Para comprender la magnitud de este logro, conviene recordar que la física cuántica describe un mundo submicroscópico donde las reglas del sentido común se desvanecen. El reto es trasladar esos fenómenos invisibles —electrones, fotones— a máquinas visibles y controlables. Igual que un avión no imita el aleteo de un pájaro, una computadora cuántica se construye en un entorno ultracontrolado que permite que lo cuántico se despliegue como tecnología.

Para lograrlo se requiere un aislamiento extremo, con dos condiciones fundamentales: temperaturas cercanas al cero absoluto y ausencia de vibraciones. El frío extremo no es un capricho: allí los materiales se vuelven superconductores, es decir, la electricidad circula sin resistencia ni pérdidas, condición indispensable para que los qubits - bits cuánticos que pueden ocupar múltiples estados, más allá del 0 y el 1 clásicos- mantengan su delicado estado de superposición, un principio que se desarrollará más adelante. El silencio frente a vibraciones cumple otra función: evita que

cualquier sacudida externa rompa ese equilibrio, como si un equilibrista caminara sobre una cuerda floja, sin poder desviarse ni un milímetro.

Mientras que un bit clásico solo puede estar en 0 o en 1, un qubit puede ocupar infinitas combinaciones intermedias gracias al principio de superposición. Así como una brújula puede orientarse en cualquier dirección sobre la superficie de la Tierra, un qubit puede adoptar cualquier estado dentro de esa continuidad. Esa variedad de configuraciones es lo que multiplica su potencia de cálculo.

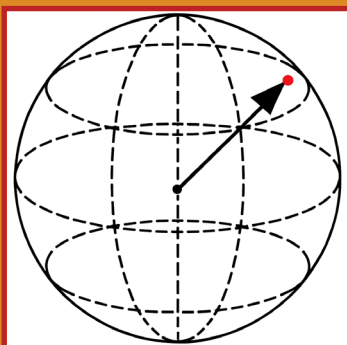
Esa continuidad, que abre un espacio de posibilidades, es también extremadamente frágil: basta una perturbación mínima —un poco de calor, una vibración del entorno— para que esa superposición se derrumbe. Por eso la criogenia y el aislamiento vibracional no son simples detalles técnicos, sino la piedra angular que permite que lo microscópico se replique en lo macroscópico y se convierta en tecnología.

Una vez entendido ese salto conceptual, podemos explorar los principios que sostienen la fuerza de la computación cuántica. En lugar de verlos como piezas aisladas, conviene pensarlos como un conjunto articulado: superposición, entrelazamiento, interferencia, túnel cuántico y medición.

Los cinco pilares de la computación cuántica

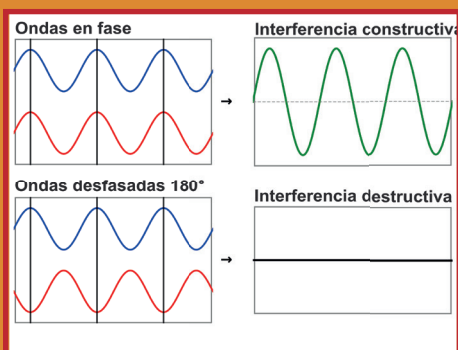
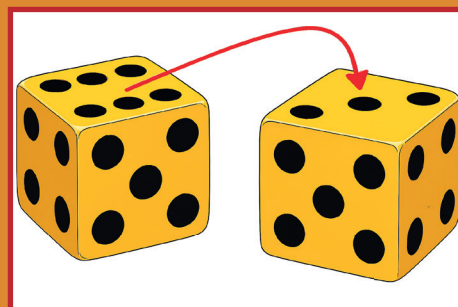
Cinco principios sostienen la fuerza de la computación cuántica. Son como piezas de una coreografía extraña para la lógica clásica, pero que al moverse en conjunto despliegan un poder de procesamiento imposible para las máquinas tradicionales.

Estos cinco principios no solo definen la lógica cuántica: cada uno aporta una herramienta única al procesamiento. A continuación, se presentan con sus imágenes representativas y una explicación condensada.



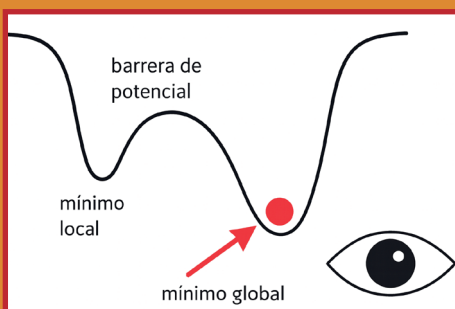
Superposición: Así como un caleidoscopio que, al girarlo, despliega infinitas combinaciones, un qubit puede ocupar cualquier estado dentro de esa continuidad, no se limita al 0 o al 1 clásico. La figura muestra una esfera con una flecha roja (vector) que apunta en una dirección específica: es la esfera de Bloch, una herramienta visual que representa todos los estados posibles de un qubit. Cada punto en la superficie simboliza una configuración cuántica distinta, que solo se concreta al medir.

Entrelazamiento: Como dos bailarines que ejecutan pasos distintos pero perfectamente coordinados. Dos qubits pueden quedar correlacionados de manera que el estado de uno depende del otro, incluso separados físicamente. No es copia ni imitación: es coherencia compartida, y solo se entiende al observar el sistema completo. La figura muestra dos dados amarillos conectados por una flecha roja que une sus caras superiores, elegidas por su relación de mitad (6 y 3). Representa cómo dos qubits entrelazados mantienen una conexión profunda y coherente: aunque cada dado parece independiente, su comportamiento está sincronizado como si compartieran una coreografía invisible.



Interferencia: Como unos auriculares con cancelación de ruido que eliminan lo indeseado y refuerzan lo útil. En computación cuántica, las probabilidades se interfieren: las amplitudes se refuerzan o se cancelan. Los algoritmos aprovechan este efecto para amplificar las soluciones correctas y suprimir las incorrectas. La figura muestra dos conjuntos de ondas: unas en fase que se refuerzan en una interferencia constructiva, y otras desfasadas 180° que se anulan en una interferencia destructiva. Esta visualización ilustra cómo los algoritmos cuánticos manipulan probabilidades para potenciar los resultados deseados.

Túnel cuántico: Como un explorador que atraviesa la montaña para hallar el valle más profundo. Un qubit puede atravesar barreras de potencial —regiones donde la energía requerida supera la disponible— sin escalarlas, lo que le permite escapar de mínimos locales y explorar configuraciones más estables. Este fenómeno es clave en qubits superconductores y en técnicas de optimización como el recocido cuántico. La figura muestra una partícula que atraviesa una barrera de potencial desde un mínimo local hacia un mínimo global. Esta imagen representa cómo el qubit puede “tunelar” a través de obstáculos energéticos, accediendo a estados más óptimos sin seguir el camino clásico.



Medición: Como un bolillero de lotería familiar que gira con muchas bolillas dentro. Mientras está en movimiento, todas las opciones están presentes; pero al detenerse, una bolilla cae al canal y se convierte en el resultado. Observar un qubit provoca lo mismo: el colapso de su superposición en un valor clásico (0 o 1). La medición destruye la coherencia y fija un resultado, por lo que decidir cuándo medir es crucial en el diseño de algoritmos cuánticos. La figura muestra una barrera de potencial atravesada por la partícula, que alcanzó el mínimo global, y el ícono de ojo representa la medición que provoca el colapso de la superposición cuántica en un estado clásico definido.

La coreografía cuántica: sinergia en acción

Hasta aquí vimos cada principio por separado. Pero la computación cuántica no se sostiene en piezas aisladas: su verdadero poder aparece cuando los cinco pilares se combinan. Para entenderlo mejor, conviene pensarlos no como conceptos rígidos, sino como parte de una danza.

Imaginá un escenario: cinco bailarines sobre un escenario oscuro. Cada uno tiene un rol distinto, pero la magia ocurre solo cuando se mueven juntos. Así funciona la computación cuántica: los pilares no son pasos en fila, sino una coreografía imposible para la lógica clásica.

- *Superposición abre el baile:* los qubits se despliegan como un caleidoscopio de posibilidades, creando un espacio de soluciones que ningún sistema clásico puede imaginar.
- *El túnel cuántico les da libertad:* atraviesan barreras invisibles y mantienen abierta la exploración, evitando quedar atrapados en mínimos locales.
- *Entrelazamiento conecta a los bailarines:* cada movimiento se refleja en el otro, aunque estén lejos, como si compartieran un mismo pulso.
- *Interferencia marca el ritmo:* refuerza los pasos correctos y silencia los errados, como una música que guía la coreografía hacia la armonía.
- *Medición es el cierre:* la danza se detiene y el escenario se ilumina con un único resultado, elegido entre todos los posibles finales.

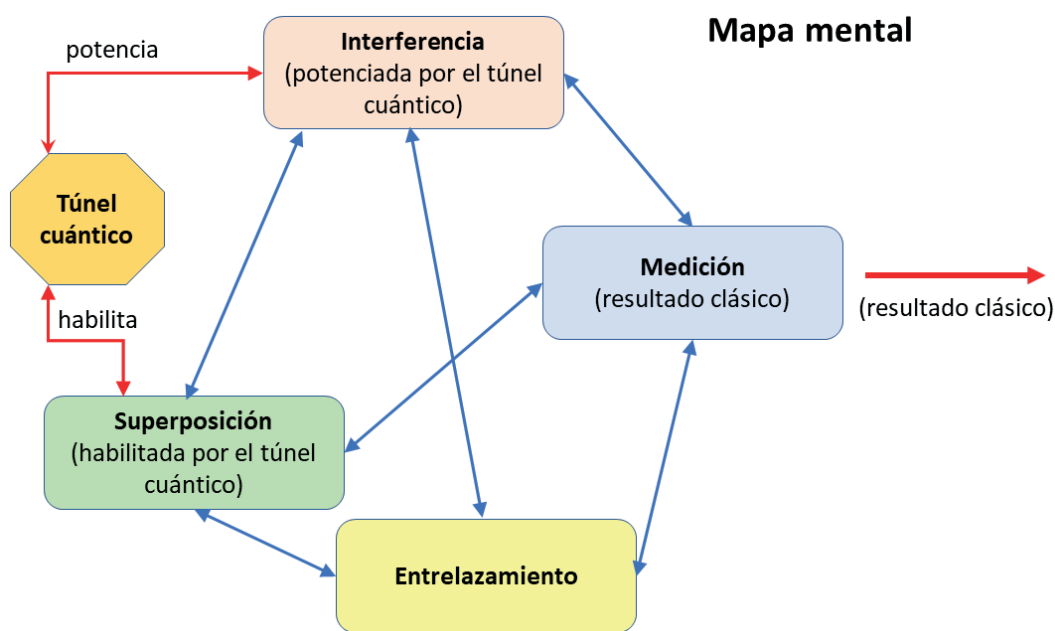


Figura 1. La medición rompe el ciclo cuántico y entrega un único resultado clásico.

Del laboratorio a la nube (y más allá)

Las computadoras cuánticas que se desarrollan en laboratorio son prototipos con muy pocos qubits. Sirven para demostrar principios básicos y validar teorías, pero todavía están lejos de resolver problemas prácticos a gran escala. Hoy, esos mismos prototipos se ponen a disposición de investigadores y empresas mediante la nube.

Los grandes actores tecnológicos —IBM, Google, Microsoft y Amazon— ofrecen acceso remoto a procesadores cuánticos, no para vender hardware, sino para permitir experimentación, validación de algoritmos y preparación para un futuro donde estos sistemas sean más potentes y estables.

En ese panorama, D-Wave, empresa canadiense pionera en computación cuántica, eligió concentrarse en el recocido cuántico, una técnica orientada a problemas de optimización. Gracias a esta especialización, construyó máquinas con más de 4.000 qubits, más estables en optimización

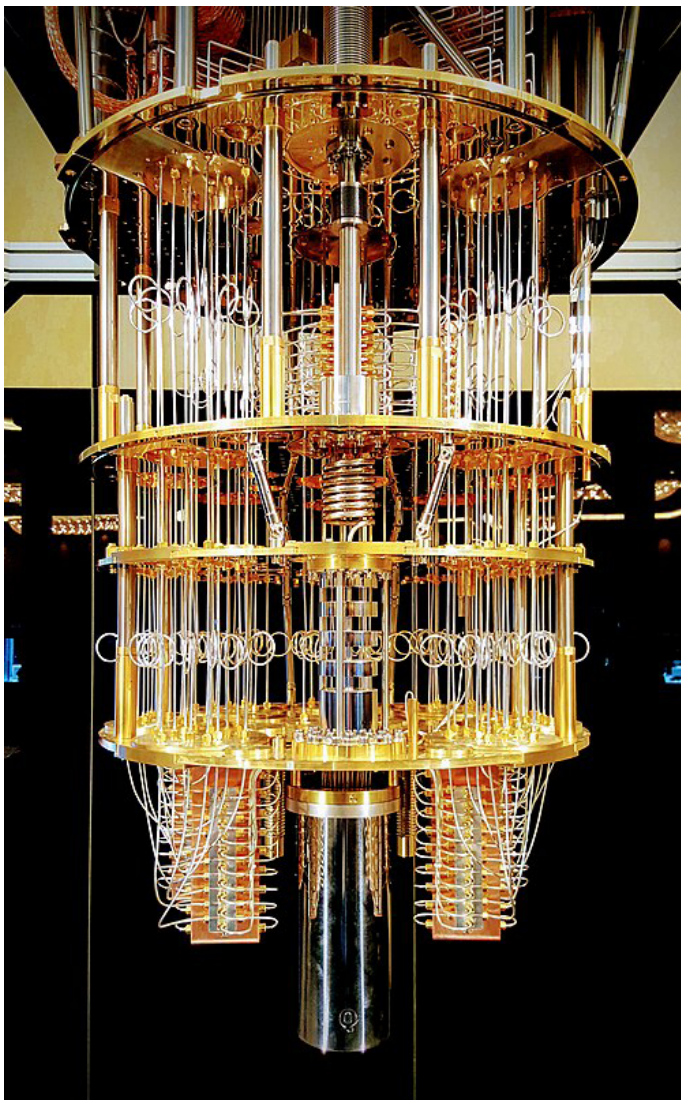


Figura 2. Presentación del sistema cuántico IBM Q en el CES (Consumers Electronics Show) 2019 de Las Vegas: un hito en la transición de la computación cuántica desde los laboratorios hacia el ámbito público y comercial.

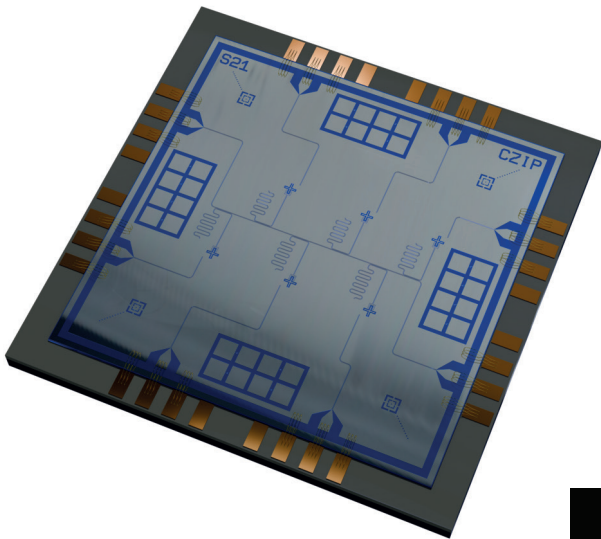
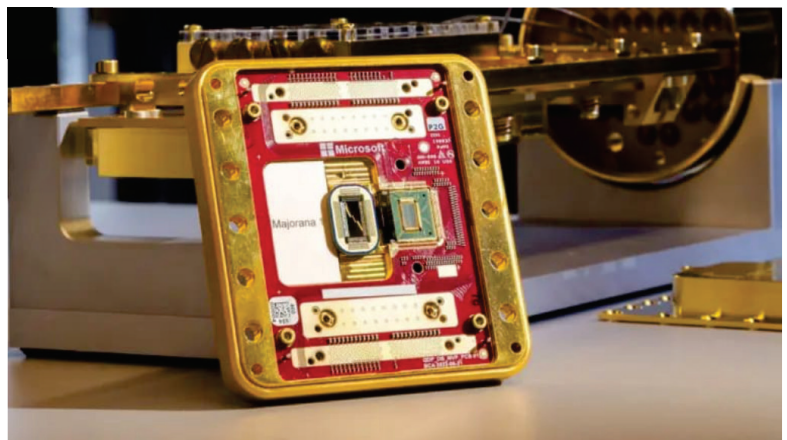


Figura 3. Vista del procesador cuántico superconductor de 6 qubits, diseñado para demostrar operaciones cuánticas reales sin simulaciones, perteneciente al programa IBM Quantum Experience.

Figura 4. Majorana 1, el chip cuántico de Microsoft basado en qubits topológicos, representa un salto hacia la computación cuántica escalable y resistente a errores.



pero no universales, y ofrece acceso en la nube mediante su plataforma Leap. Instituciones como NASA han probado sus sistemas en proyectos con miles de variables difíciles para algoritmos clásicos. En la metáfora musical, D-Wave sería el tambor: un golpe preciso y contundente que marca el ritmo.

IBM, en cambio, avanza en la construcción de computadoras cuánticas más versátiles. Sus procesadores, aunque con menos qubits, están pensados para abordar distintos tipos de problemas y simulaciones complejas. Con acceso en la nube a través de IBM Quantum, investigadores y empresas experimentan con circuitos que requieren mayor coherencia y control. En esa misma orquesta, IBM sería el piano: capaz de sostener múltiples notas y melodías complejas al mismo tiempo. Cada instrumento cumple su función, pero no son comparables en alcance.

Los ingenieros de lo imposible

El Nobel de Física 2025 fue otorgado a John Clarke (Reino Unido), Michel H. Devoret (Francia) y John M. Martinis (Estados Unidos) "por el descubrimiento del túnel mecánico cuántico macroscópico y la cuantización de energía en un circuito eléctrico".

Sus contribuciones marcaron hitos fundamentales:

- Confirmaron experimentalmente fenómenos cuánticos como el túnel y la cuantización de energía, que hoy son la base de los circuitos superconductores.
- Mostraron la fragilidad cuántica de los sistemas, impulsando la búsqueda de qubits más estables y resistentes.
- Abrieron el camino hacia arquitecturas avanzadas, como los qubits lógicos y propuestas basadas en partículas con configuraciones poco comunes de la materia (*exóticas*), como las de Majorana, que se comportan como su propia antipartícula, orientadas a reducir errores y ampliar la escala de los procesadores.

Avances en Argentina

En el Centro Atómico Bariloche (Comisión Nacional de Energía Atómica, CNEA), un equipo liderado por Leandro Tosi desarrolla un procesador cuántico experimental basado en qubits tipo fluxonium, un diseño superconductor pensado para ser más estable y duradero que otros qubits. Esta arquitectura ofrece mayor tiempo de coherencia —los estados se mantienen estables por más tiempo—, operaciones más rápidas y potencial de escalar a muchos qubits. El trabajo se realiza en condiciones extremas: los circuitos se enfrían a 0,025 Kelvin, casi el cero absoluto, para preservar la delicadeza de los estados cuánticos.

Estos avances representan un paso estratégico para el país: aportan autonomía tecnológica al investigar hardware propio y fortalecen la formación de talento al involucrar a estudiantes y jóvenes investigadores en proyectos de frontera, es decir, investigaciones que exploran los límites del conocimiento y abren nuevas posibilidades tecnológicas. Al mismo tiempo, iniciativas como *QuantumJam 2025*, el ciclo argentino-francés en Buenos Aires, y el interés de empresas locales en aplicaciones para finanzas, logística y farmacéutica muestran cómo la investigación cuántica empieza a irradiar hacia la comunidad y el sector productivo.

Aplicaciones futuras de la computación cuántica

Cuando los obstáculos actuales de estabilidad y escalabilidad sean superados, las computadoras cuánticas podrán transformar múltiples áreas:

- *Criptografía y seguridad*: algoritmos como Shor pondrán en riesgo el cifrado clásico, impulsando nuevas técnicas poscuánticas.

- *Descubrimiento de fármacos y materiales:* simulaciones moleculares precisas permitirán diseñar medicamentos personalizados y materiales innovadores.
- *Optimización a gran escala:* cadenas de suministro, planificación energética y sistemas financieros podrán resolverse en tiempos mucho menores.
- *Inteligencia artificial acelerada:* entrenamiento más rápido y eficiente de modelos complejos, con aplicaciones en visión, lenguaje y predicciones científicas.
- *Ciencia fundamental:* la motivación original de la computación cuántica fue simular sistemas físicos imposibles de modelar con computadoras clásicas. Alcanzar esa meta permitirá comprender fenómenos como la superconductividad, el comportamiento de moléculas complejas y la dinámica de partículas exóticas.

Reflexión final

La computación cuántica aún depende de prototipos frágiles, pero el **Nobel de Física 2025** —otorgado a John Clarke, Michel H. Devoret y John M. Martinis— confirmó que sus principios fundamentales son sólidos y reconocidos al más alto nivel.

Hoy es posible experimentar con algoritmos cuánticos en la nube y, en Argentina, avanzar con proyectos propios como el procesador fluxonium de la **CNEA**. Estos desarrollos muestran que, aunque los recursos sean limitados, el país puede insertarse en la frontera del conocimiento.

La fragilidad cuántica describe tanto a los qubits como a nuestro sistema científico y tecnológico: delicado, pero con enorme potencial si se lo sostiene y conecta con redes internacionales. La coreografía cuántica mundial ya comenzó y Argentina demuestra que puede aportar su propio ritmo a este futuro compartido.

REFERENCIAS

Bibliografía académica

ARUTE F *et al.* 2019. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574: 505–510. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1666-5>.

EUROPEAN QUANTUM INDUSTRY CONSORTIUM (QuIC). 2025. Strategic Report on the State of Quantum Computing. Brussels: QuIC.

LATORRE JI. 2017. Cuántica: tu futuro en juego. Barcelona: Ariel.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE LA NACIÓN ARGENTINA. 2021. 5ta Encuesta Nacional de Percepción Pública de la Ciencia. Buenos Aires: MINCyT. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/5ta_encuesta_version_digital_0.pdf

PRESKILL J. 2018. Quantum Computing in the NISQ era and beyond. Quantum, 2: 79. <https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79>.

Bibliografía divulgativa

VELASCO VALENCIA LE. 2025. Todo el mundo habla de IA, pero la computación cuántica promete un salto tecnológico aún mayor. El País. <https://elpais.com/proyecto-tendencias/2025-03-21/todo-el-mundo-habla-de-ia-pero-la-computacion-cuantica-promete-un-salto-tecnologico-aun-mayor.html>

INFOBAE. 2025. Computación cuántica: la carrera entre IBM, Google y Microsoft se intensifica. Infobae. <https://www.infobae.com/tecno/2025/09/12/computacion-cuantica-la-carrera-entre-ibm-google-y-microsoft-se-intensifica/>

Recursos multimedia

ACÍN A. 2016. La segunda revolución cuántica | TEDxBarcelona [Video]. YouTube. <https://youtu.be/9kHAKwCRhtY>

ALONSO CANTOR AM. 2025. QUBO y recocido cuántico: cómo D-Wave y Fujitsu resuelven problemas imposibles [Video]. YouTube. <https://youtu.be/3vrNPtPQdgc>