

Computación Cuántica y Cuánticamente Inspirada

Diego Porras

diego.porras@csic.es

Instituto de Física Fundamental, CSIC

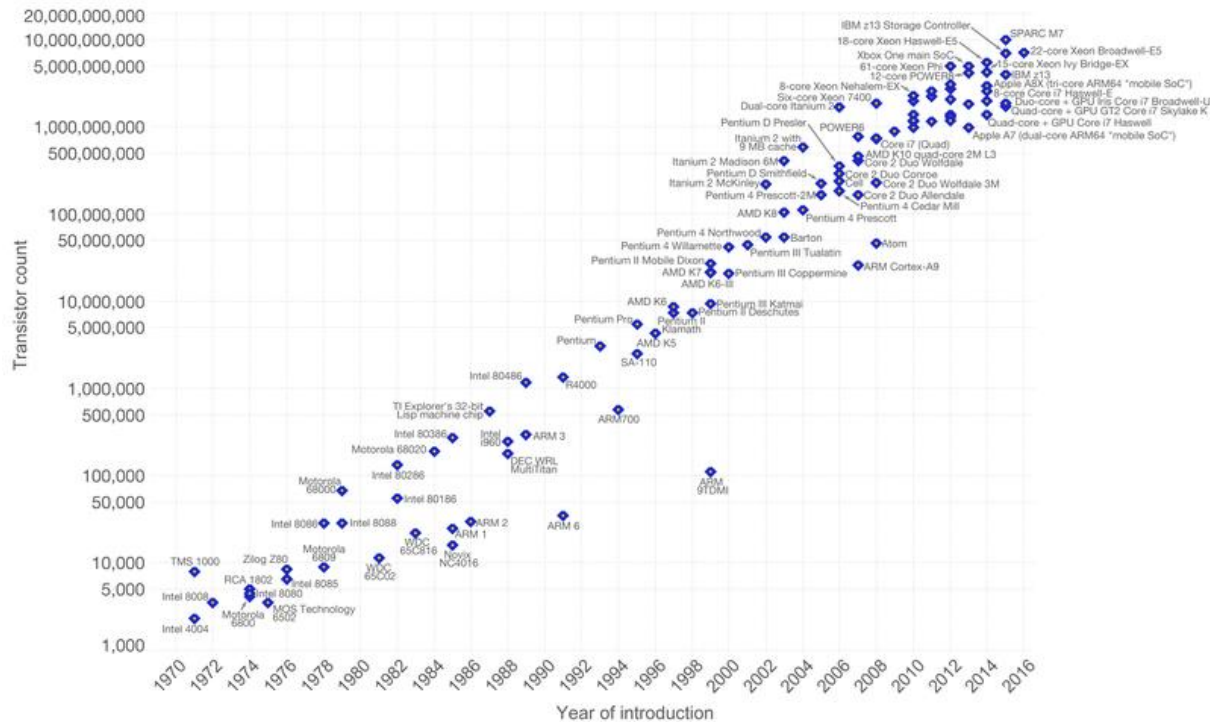


Ley de Moore

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2016)

Our World
in Data

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are strongly linked to Moore's law.

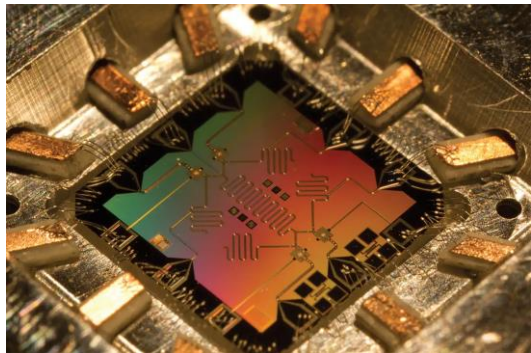


Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

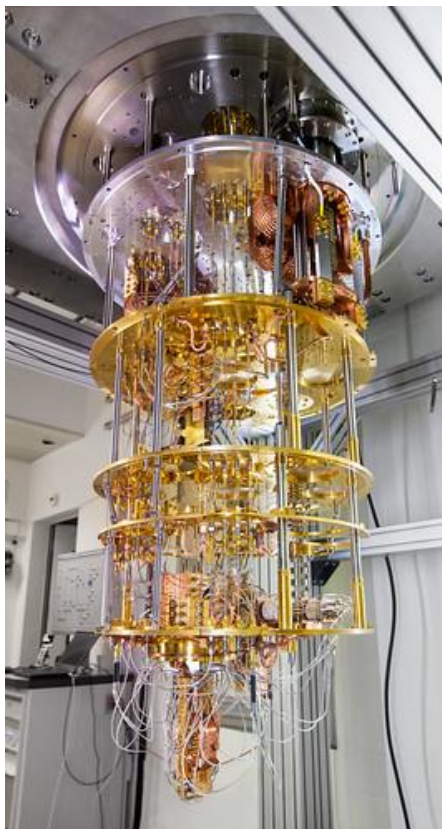
The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://www.ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

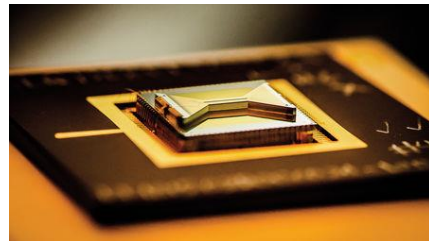
Ordenadores cuánticos



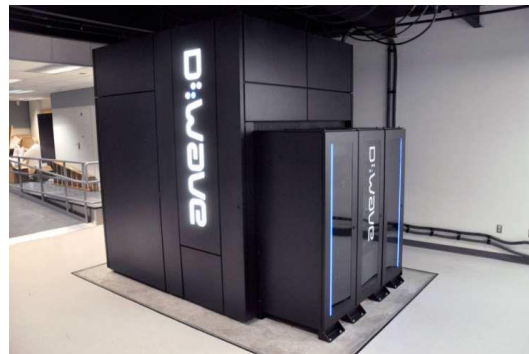
qubits
superconductores



Iones atrapados

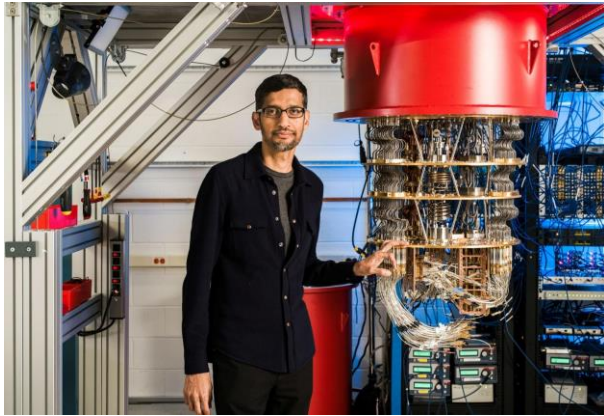


Quantum annealers
(optimización)



Supremacía cuántica (Google 2019)

200 segundos



Vs

10.000 años



... pero es un problema “de juguete”

Ventajas cuánticas potenciales



01

Velocidad

- Computación “paralela” intrínseca

02

Memoria

- Almacena mucha información con pocos recursos

03

Eficiencia energética

- Hasta 4 órdenes de magnitud inferior a supercomputadores

04

Sampling eficiente

- Extracción rápida de muestras estadísticas

05

Nuevos algoritmos

- Mejores algoritmos clásicos (“cuánticamente inspirados”)

Industrias



Logística,
Movilidad,
Automoción,
Planificación

...



Optimización de tráfico, optimización de rutas, manufactura y scheduling,...



Ingeniería,
Aeronáutica,
Materiales,

...



Diseño de palas de hélices, simulación de nuevos materiales, ...



Industria química,
Industria farma,



Simulación de mayores moléculas, aceleración diseño medicamentos...



Industria energética,
Telecomunicaciones



Diseño de redes de distribución energética y de telecomunicaciones



Industria financiera,
Seguros

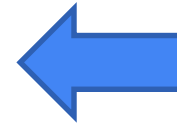
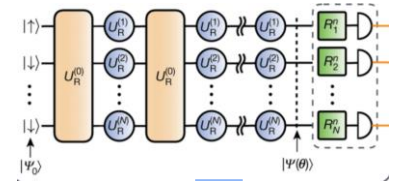
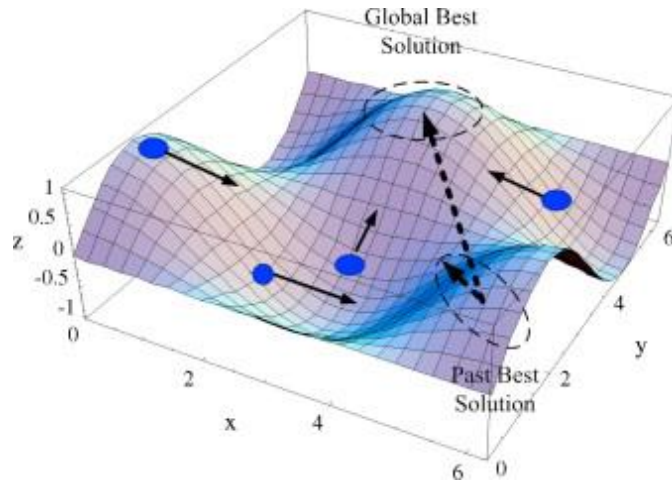


Análisis de riesgos, Optimización de portfolios, valoración de derivados,...

Optimización

- Una de las posibles primeras aplicaciones comerciales podría ser en optimización combinatoria

Superposición cuántica + entrelazamiento:
“enjambre cuántico” buscando un óptimo global

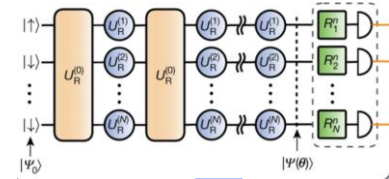
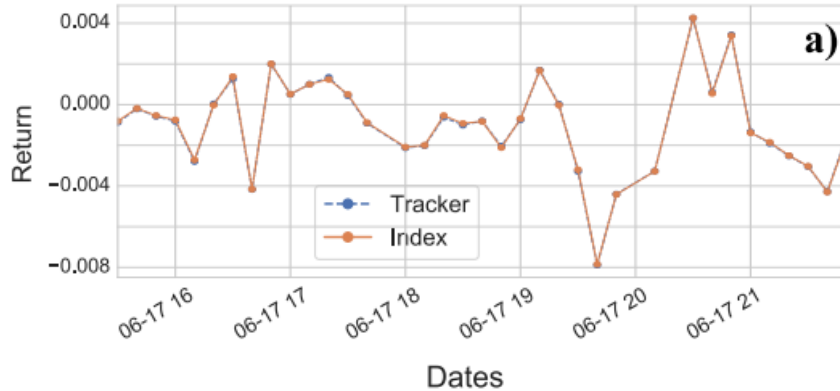


Optimización

- Ejemplo: optimización de carteras que siguen a un índice bursátil (*Index tracking*)



Low-fee index tracking funds might be a wiser choice for investors who are not willing to put up with professional fund managers. PROVIDED TO CHECK ONLY



- ✓ Pre-procesamiento para adaptar el problema a un ordenador cuántico
- ✓ Parte “dura” resuelta por el algoritmo cuántico

$$\underset{\mathbf{w}}{\operatorname{argmin}} T_{\text{err}} := \underset{\mathbf{w}}{\operatorname{argmin}} [\mathbf{w}^T \Sigma \mathbf{w} - 2\mathbf{w}^T \mathbf{g} + \epsilon_0]$$

$$\|\mathbf{w}\|_0 = d,$$

$$\|\mathbf{w}\|_1 = 1,$$

$$w_j \geq 0 \quad \forall j.$$

Investigación en computación cuántica en CSIC

White Paper on Digital and Complex Information
R. Zambrini, Gemma Rius (2021)



<https://digital.csic.es/handle/10261/221201>

- Algoritmos Cuánticos (IFT, IFF, IFISC, ICMA, ICMAT, *Quantum Spain*)
- Enabling Technologies (ICMAB, IMB, CAB-INTA)
- Diseño de Qubits (ICMM)

Colaboración público-privada



CUCO
COMPUTACIÓN CUÁNTICA
EN INDUSTRIAS ESTRATÉGICAS

Consorcio de 7 empresas (2022-25)

GMV, AMATECH, BBVA, DAS PHOTONICS,
REPSOL, MULTIVERSE COMPUTING,
QILIMANJARO)

Centros de investigación:

BSC, CSIC, DIPC, ICFO y Tecnalia,
Universidad Politécnica de Valencia)

- Investigación de casos de uso relevantes para la economía española
- Pruebas de concepto
- Aplicaciones en: cambio climático, optimización de cadenas de suministros, aceleración de cálculos de optimización y simulación en finanzas



Financiado por la
Unión Europea

NextGenerationEU

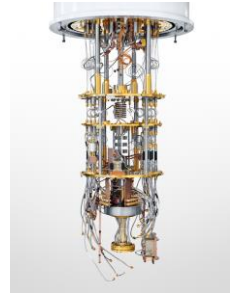
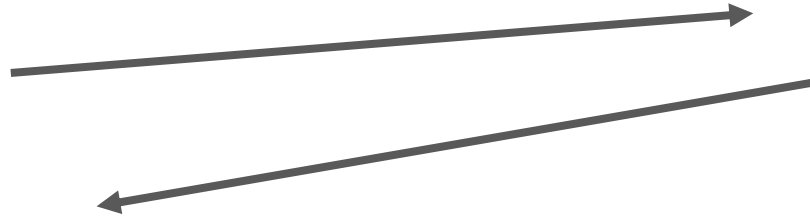


Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia



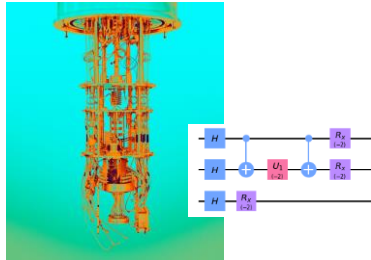
Dificultades a día de hoy

- Ordenadores cuánticos actuales: imperfectos y de tamaño medio.
- No ha sido probada una ventaja cuántica frente a métodos convencionales en un problema práctico de relevancia industrial.



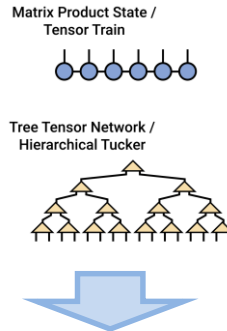
Soluciones Cuánticamente Inspiradas

Algoritmo cuántico
(*hardware* cuántico)



$|\Psi_{out}\rangle$

Algoritmo de inspiración cuántica
(emula a un ordenador cuántico en un ordenador convencional)



$$|\Psi\rangle = A_{\mu_1}^{\alpha_1} A_{\mu_1 \mu_2}^{\alpha_2} \dots A_{\mu_{M-1}}^{\alpha_M} |\alpha_1\rangle \dots |\alpha_M\rangle$$

Solución numérica (tensor)

- Ventajas para muchos problemas que **no** requieren explotar el potencial de un ordenador cuántico
- Interés creciente de empresas. Equipos en Google, Microsoft, Toshiba.
- Aplicaciones:
 - o Optimización (Redes de tensores, Qi Monte Carlo, *Simulated annealing*)
 - o Redes de tensores para redes neuronales, detección de anomalías
 - o Redes de tensores para simulación y *pricing* de activos financieros.

Ej.: Quantum-inspired algorithms for multivariate analysis: from interpolation to partial differential equations J.J. García-Ripoll, Quantum **5**, 431 (2021)



<https://www.inspiration-q.com/>



Spin-off del CSIC para comercializar algoritmos de inspiración cuántica



Soluciones construidas en base a **algoritmos cuánticos**, pero ejecutables en **ordenadores convencionales**.



Entrada al ecosistema de soluciones cuánticas y adaptación a un futuro de soluciones cuánticas



Consumibles a través de **APIs** (Qi-SaaS), no necesita acceso a ordenadores cuánticos.



<https://www.inspiration-q.com/>

Soluciones

- Optimización de carteras de inversión (distribución de activos, minimización de costes de transacción).
- Optimización de rutas: planificación con muchos destinos
- Quantum-Inspired Machine Learning: Reconocimiento de imágenes y *feature selection*
- Derivatives pricing and improved price forecasting

