



Institut de Física
d'Altes Energies



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA



Barcelona Institute of
Science and Technology



**Barcelona
Supercomputing
Center**

Centro Nacional de Supercomputación

Computación cuántica

Pol Forn Díaz

The background features a blue gradient with decorative circuit-like lines in the corners. These lines are composed of thin, light blue lines that branch out and terminate in small circles, resembling a stylized circuit board or neural network structure.

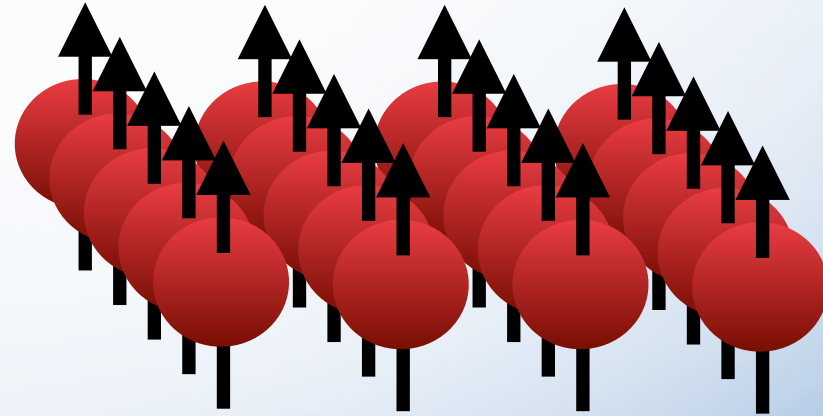
CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

QUÉ ES UN ORDENADOR CUÁNTICO?

CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

QUÉ ES UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- ▶ Conjunto de bits cuánticos (qubits o cúbits) que interactúan controladamente.

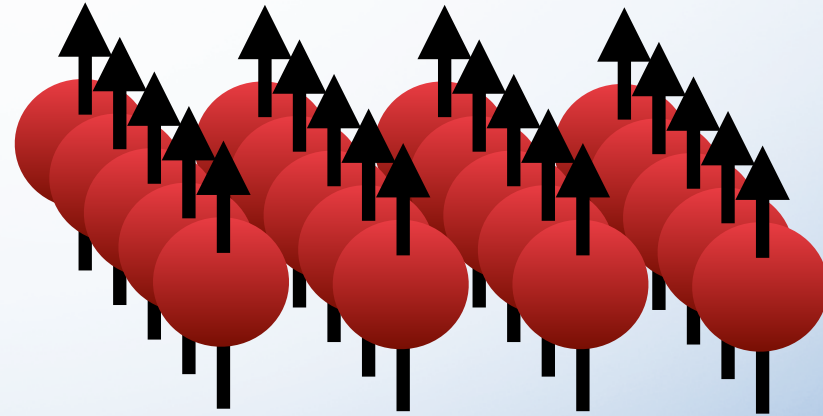


CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

QUÉ ES UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Conjunto de bits cuánticos (qubits o cúbits) que interactúan controladamente.

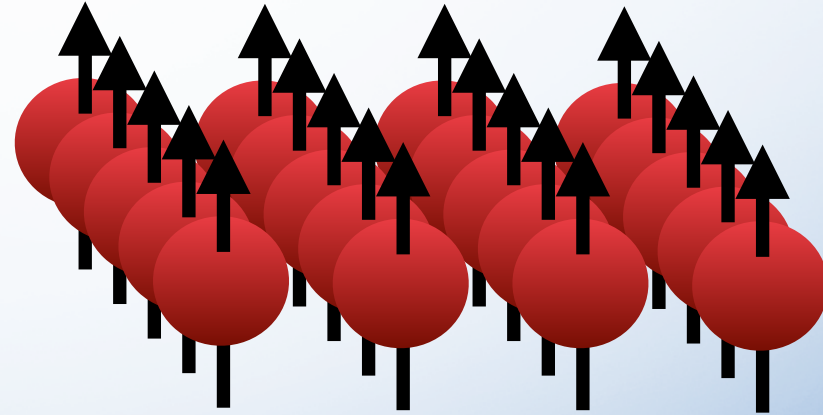
QUÉ ES UN QUBIT?



CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

QUÉ ES UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- ▶ Conjunto de bits cuánticos (qubits o cúbits) que interactúan controladamente.



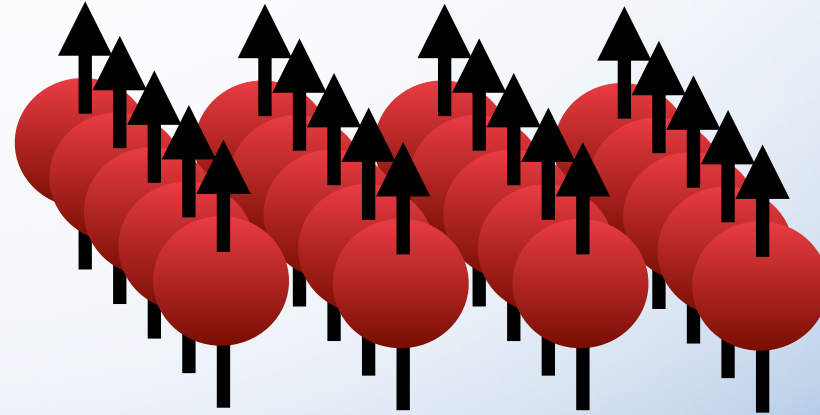
QUÉ ES UN QUBIT?

- ▶ Dos niveles cuánticos de un sistema que sean controlables, medibles y escalables.

CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

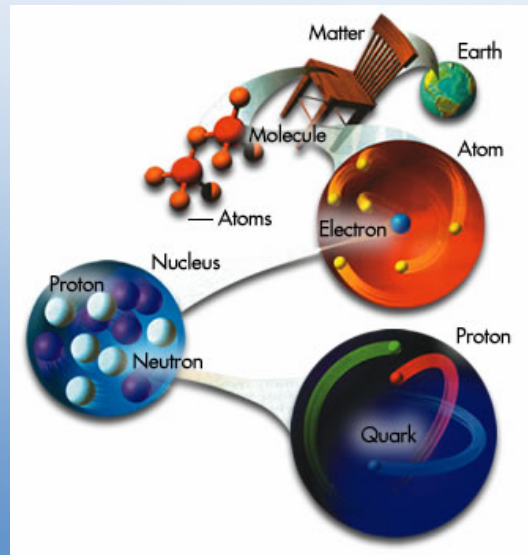
QUÉ ES UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- ▶ Conjunto de bits cuánticos (qubits o cúbits) que interactúan controladamente.



QUÉ ES UN QUBIT?

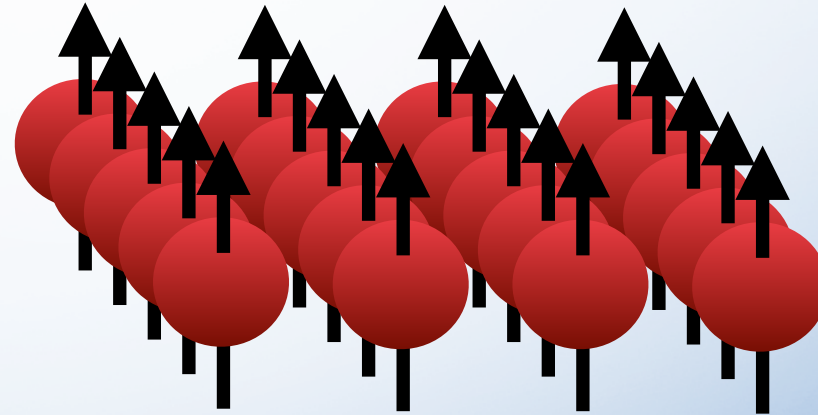
- ▶ Dos niveles cuánticos de un sistema que sean controlables, medibles y escalables.



CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

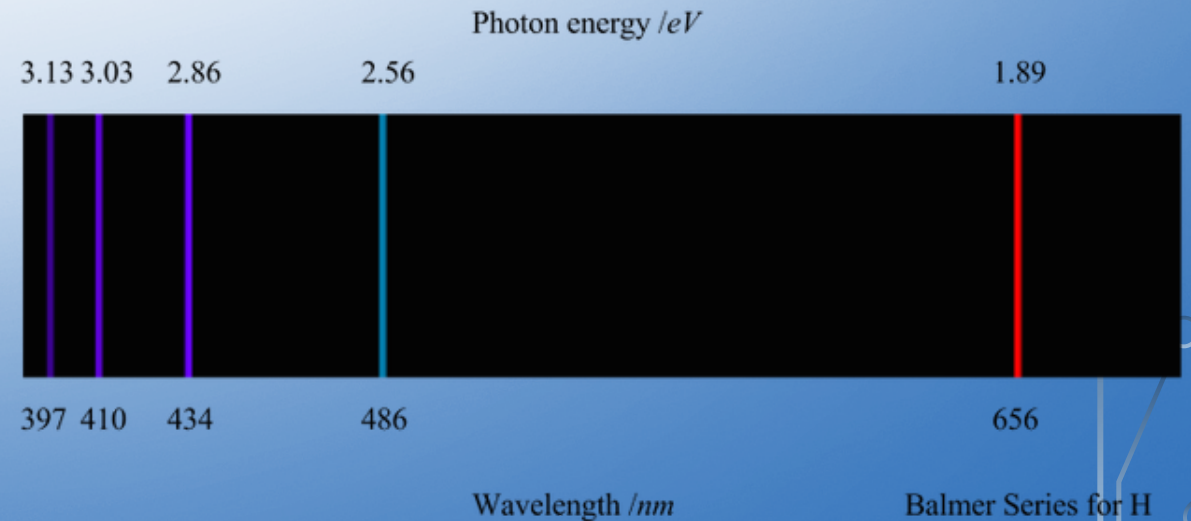
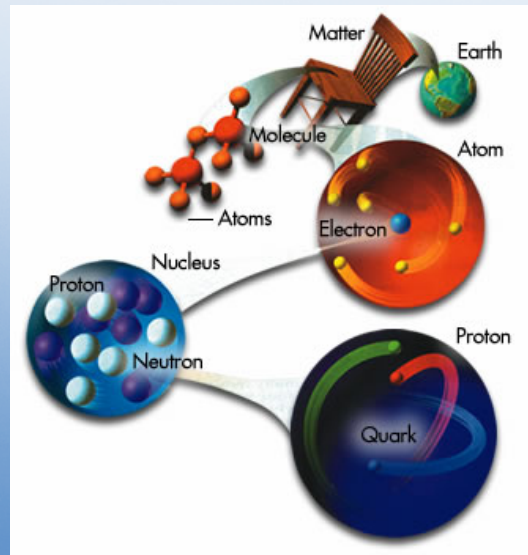
QUÉ ES UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- ▶ Conjunto de bits cuánticos (qubits o cúbits) que interactúan controladamente.



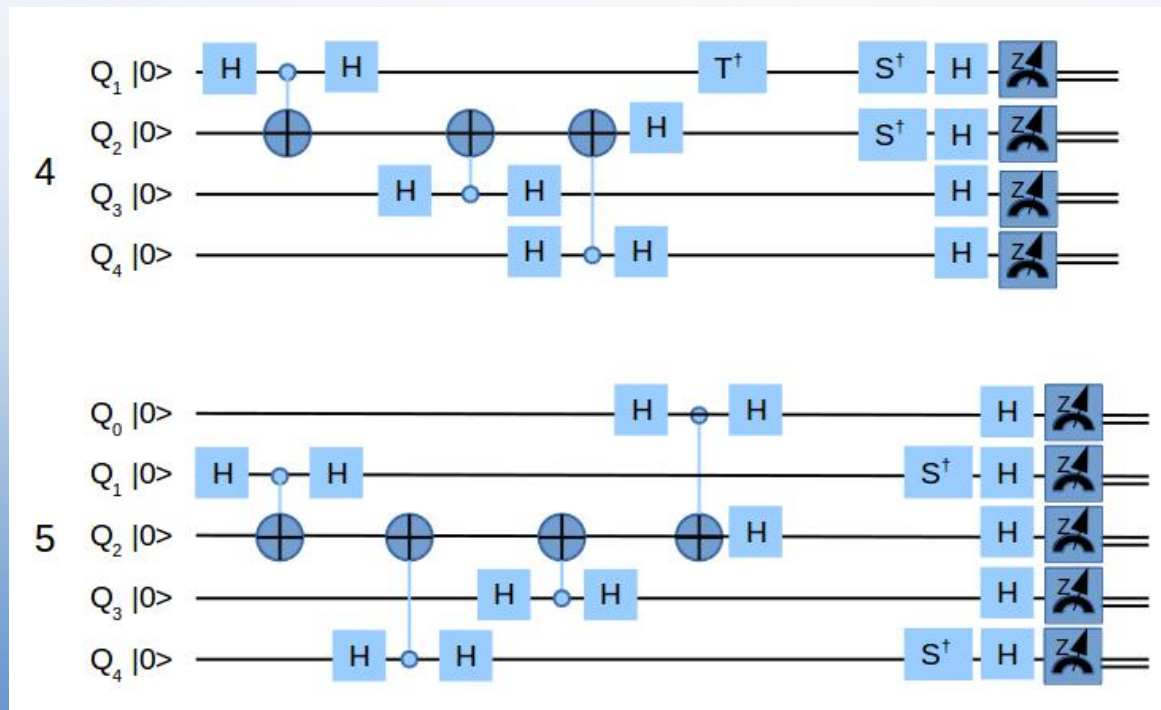
QUÉ ES UN QUBIT?

- ▶ Dos niveles cuánticos de un sistema que sean controlables, medibles y escalables.



CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

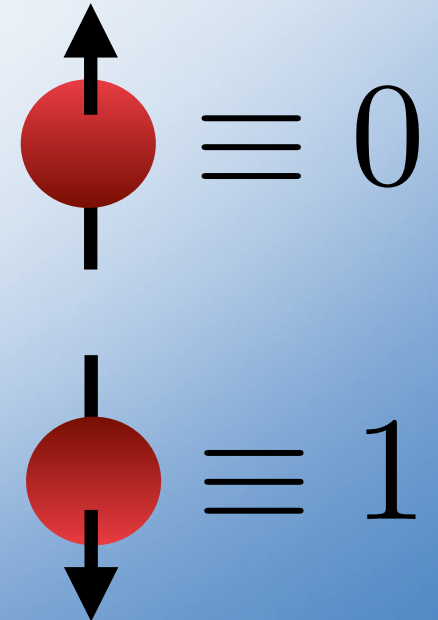
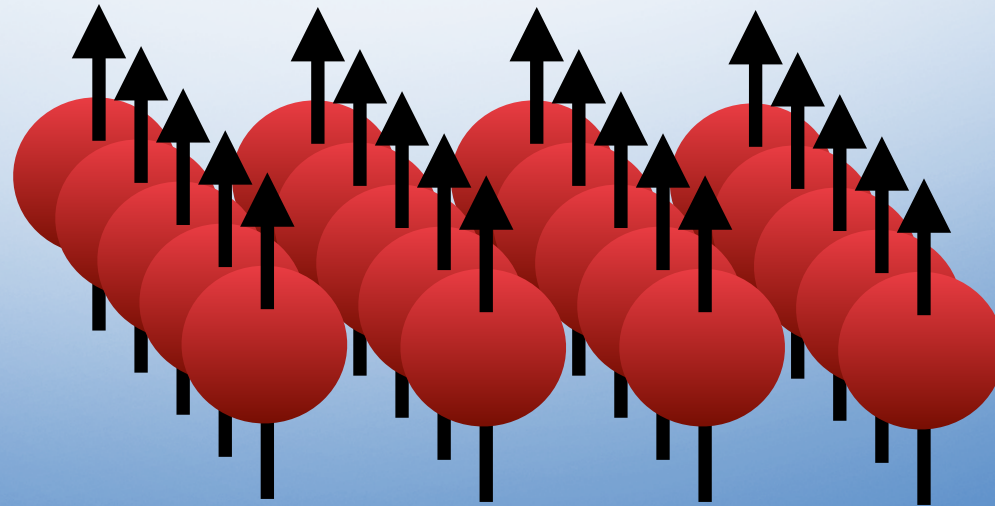
- Ordenador cuántico digital



- Evolución de los qubits 'forzada'.
- Sólo operamos 1 ó 2 qubits a la vez.
- Cualquier algoritmo cuántico puede ser descompuesto digitalmente.
- Dificultad: necesitamos corregir errores (cuánticos).

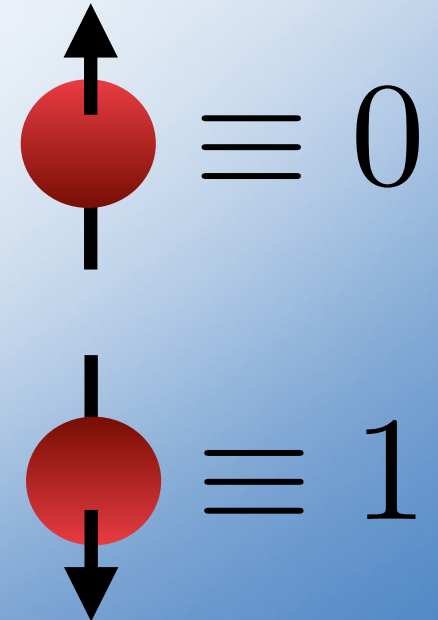
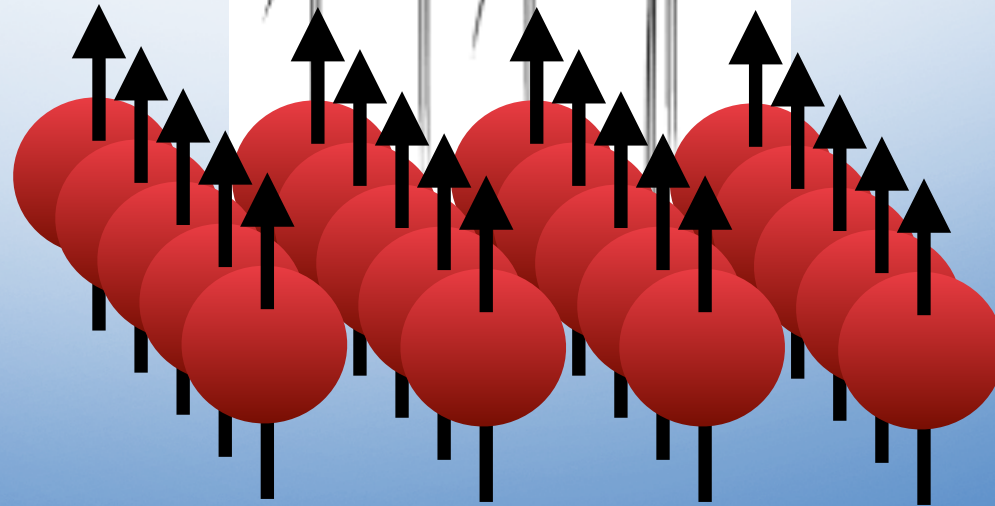
CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Ordenador cuántico analógico



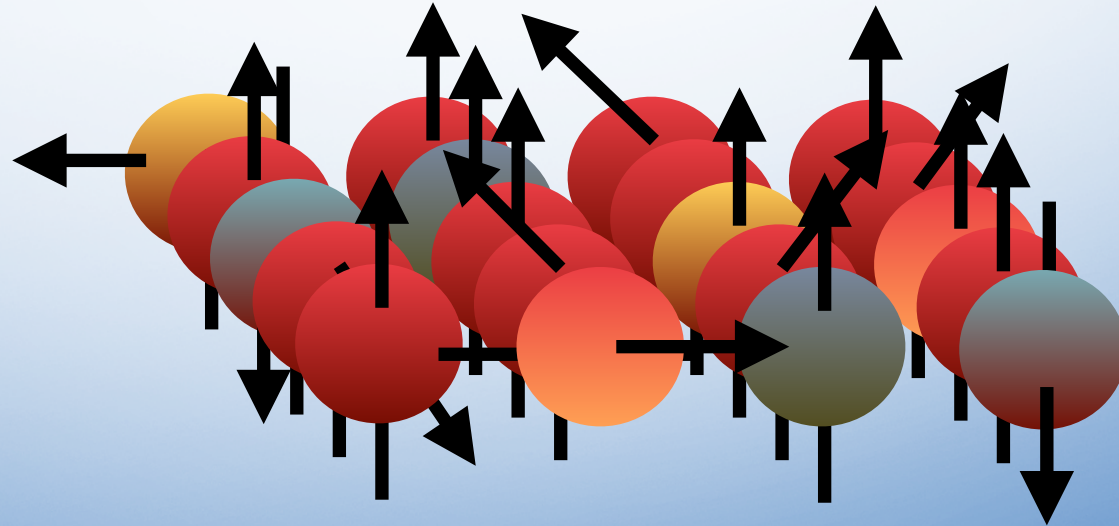
CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Ordenador cuántico analógico



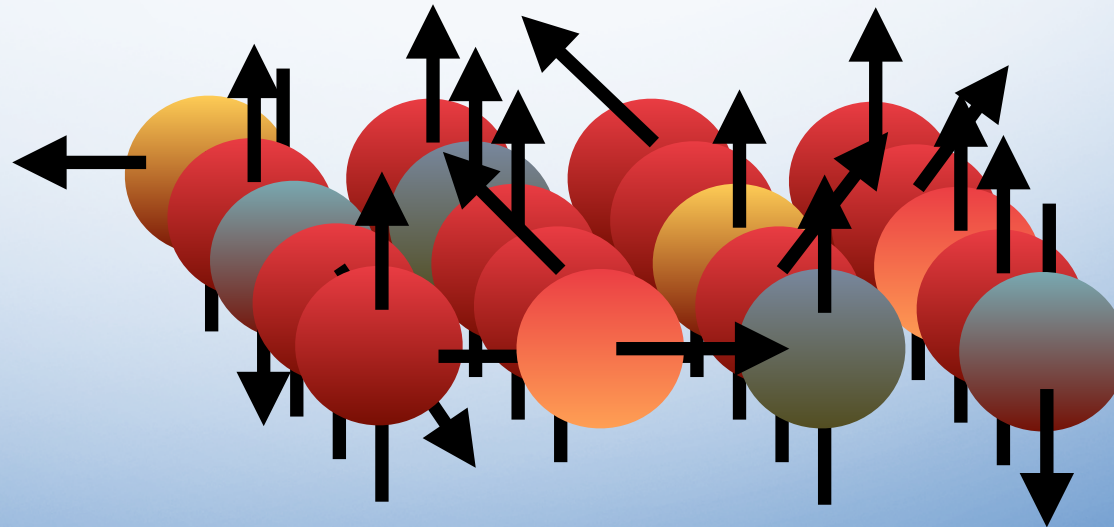
CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Ordenador cuántico analógico



CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

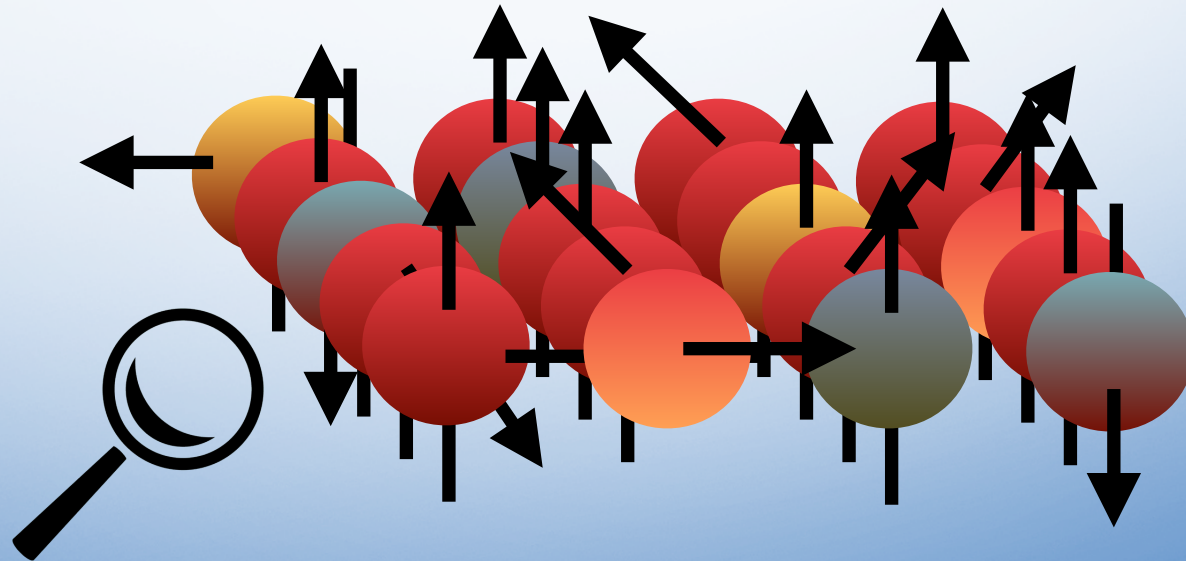
- Ordenador cuántico analógico



Colores indican entrelazamiento entre qubits, estados compartidos indivisibles

CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Ordenador cuántico analógico



CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Ordenador cuántico analógico



CÓMO FUNCIONA UN ORDENADOR CUÁNTICO?

- Ordenador cuántico analógico



Solución:

Q1: $|1\rangle$

Q2: $|0\rangle$

Q3: $|1\rangle + |0\rangle$

Q4: $|1\rangle - |0\rangle$

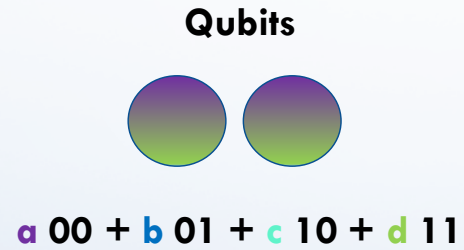
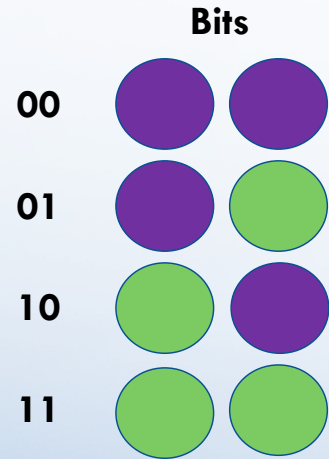
Q5: $|1\rangle + i|0\rangle$

⋮
⋮
⋮

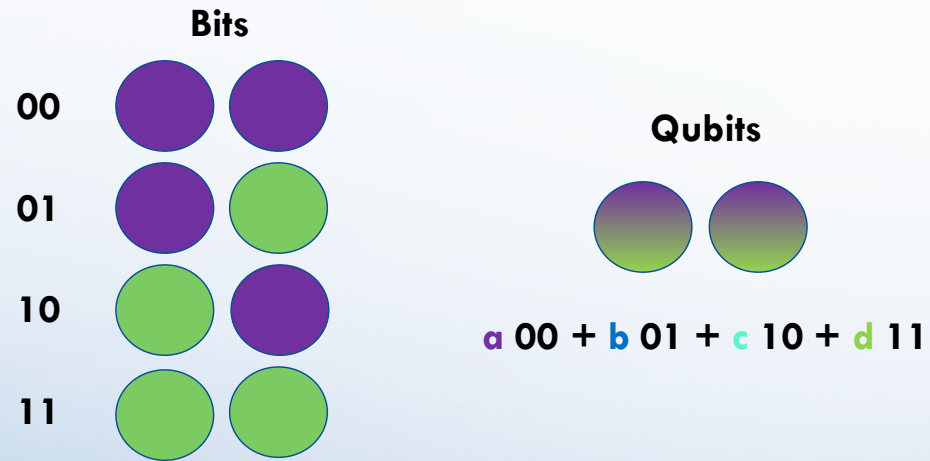
The image features a blue gradient background with decorative circuit-like lines in the corners. These lines consist of thin, light blue lines that branch out and terminate in small circles, resembling a stylized circuit board or network diagram. The lines are positioned in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, framing the central text.

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?



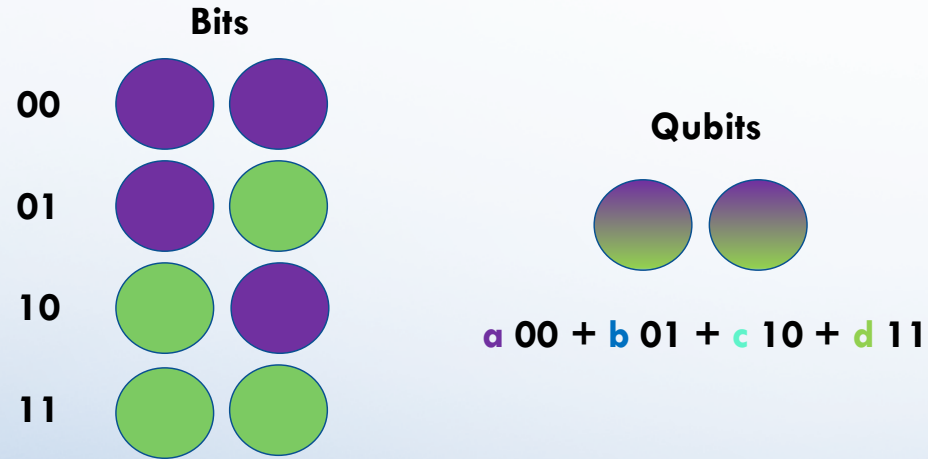
PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?



$$N = 2^n$$

Crecimiento exponencial de recursos

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?



$$N = 2^n$$

Crecimiento exponencial de recursos

390 TB ~ 51 qubits

Supermacía cuántica (US)

Ventaja cuántica (EU):

Sobrepasar la computación clásica



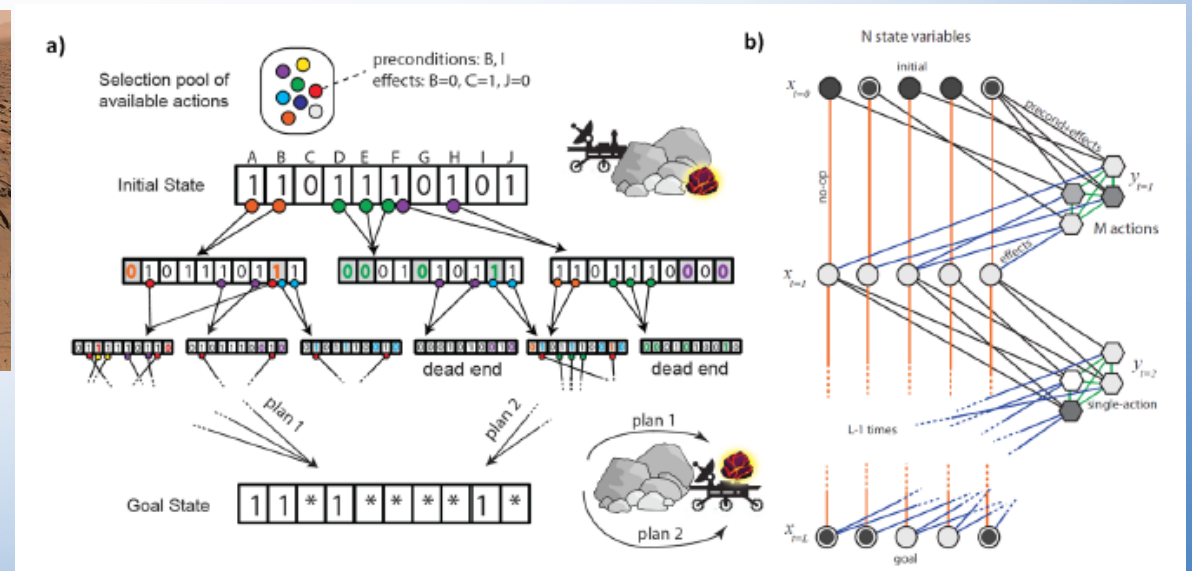
MareNostrum 4, Barcelona Supercomputing Center

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Optimización: tráfico, aprendizaje automático (machine learning), planificación, etc.

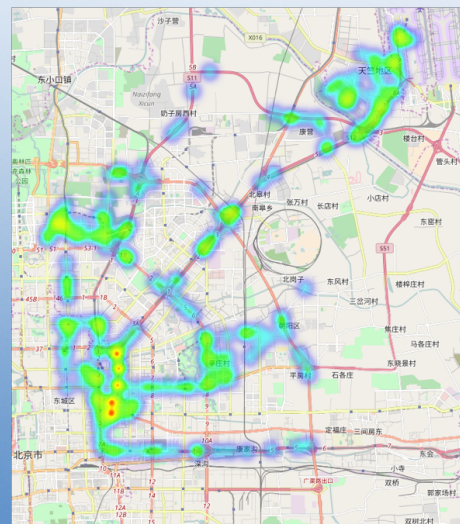
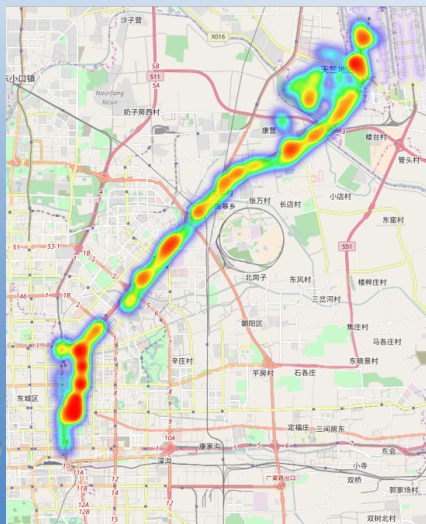
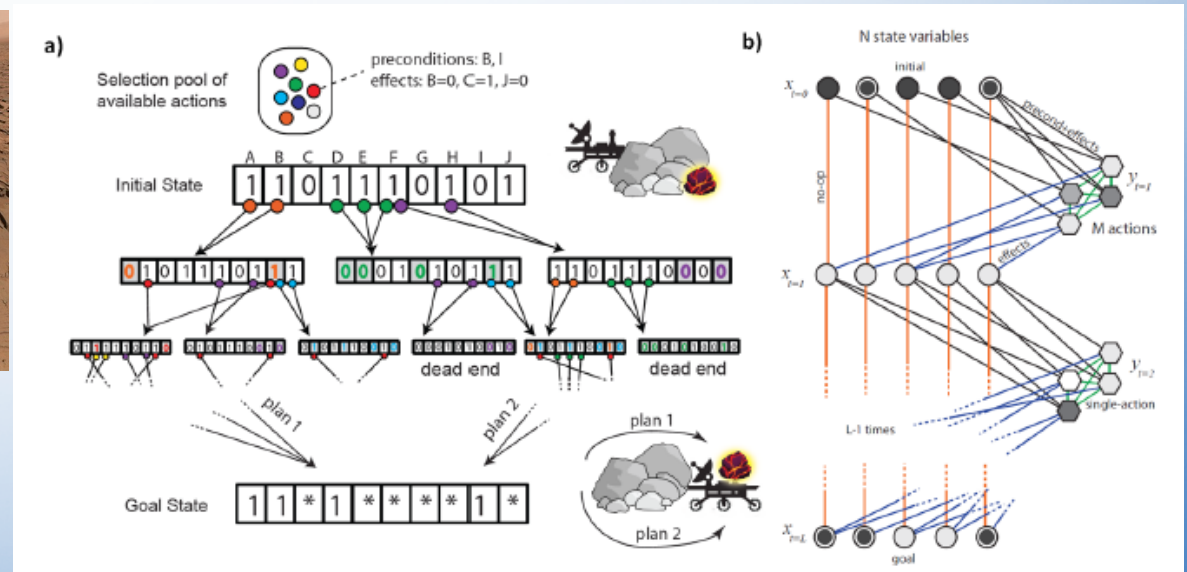
PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Optimización: tráfico, aprendizaje automático (machine learning), planificación, etc.



PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Optimización: tráfico, aprendizaje automático (machine learning), planificación, etc.



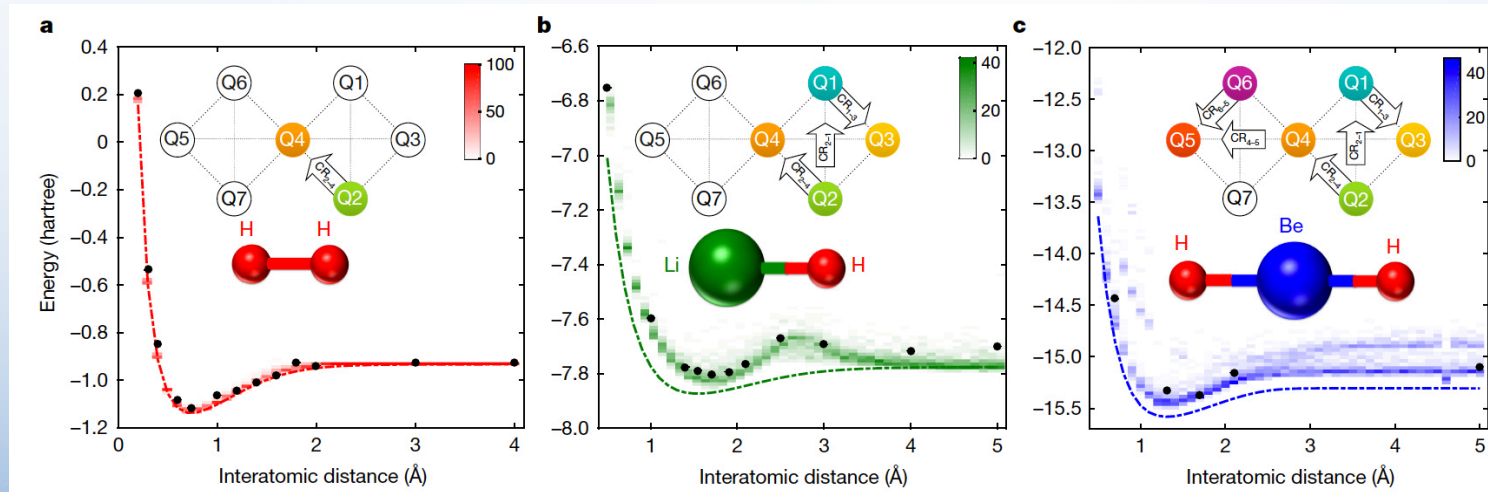
D:wave
The Quantum Computing Company™

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Simulación cuántica: Nuevos materiales, química cuántica, física de altas energías, etc.

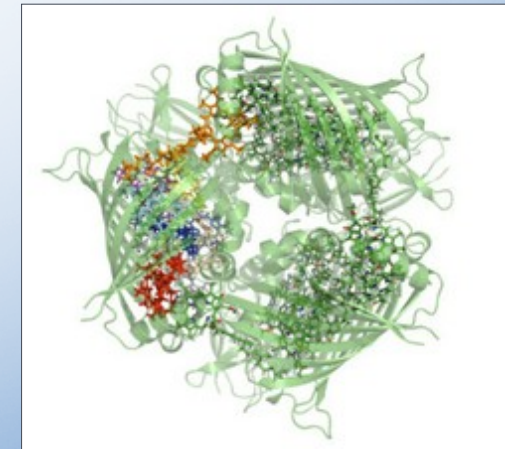
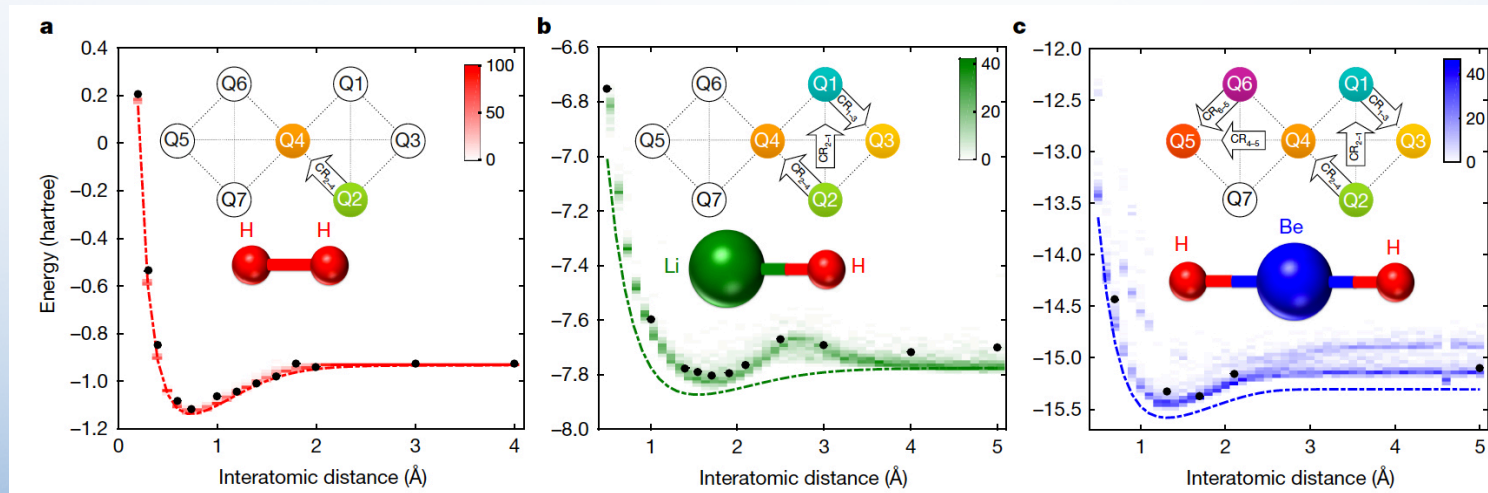
PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Simulación cuántica: Nuevos materiales, química cuántica, física de altas energías, etc.



PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

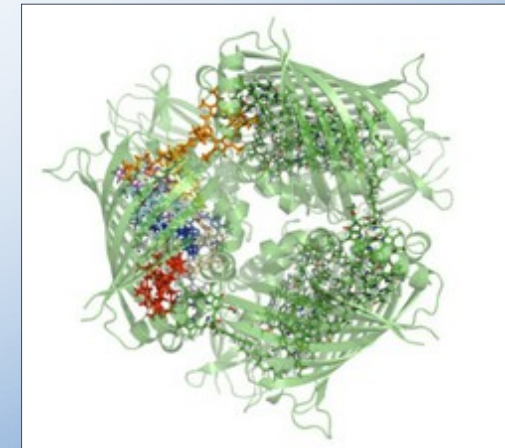
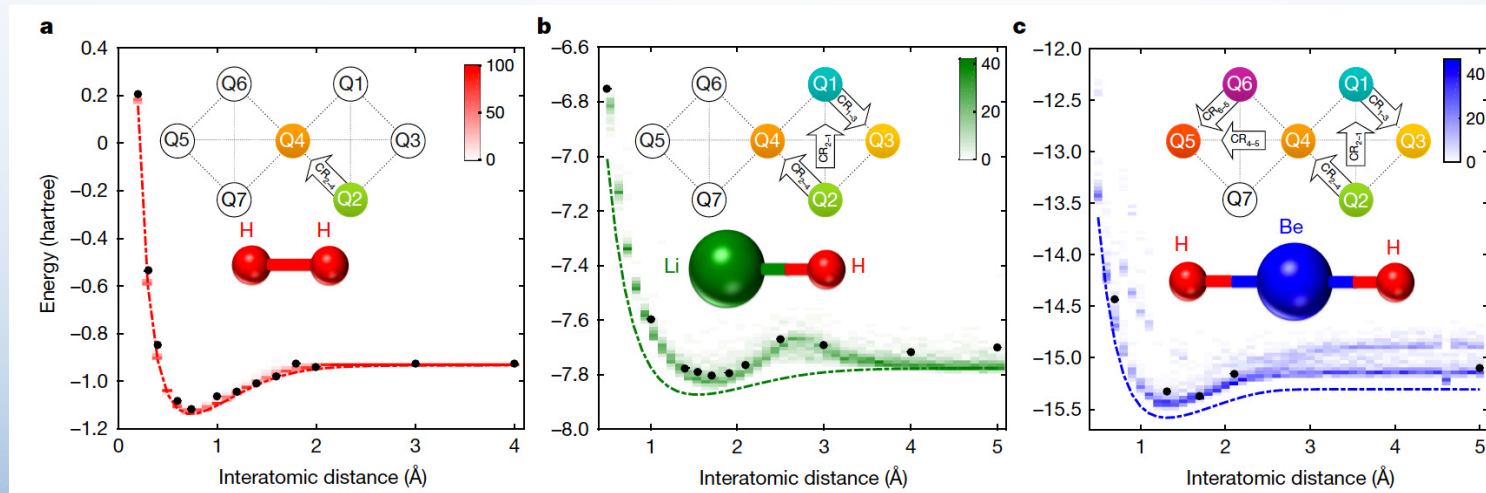
Simulación cuántica: Nuevos materiales, química cuántica, física de altas energías, etc.



Complejo FMO, pigmento en plantas que procesa luz

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Simulación cuántica: Nuevos materiales, química cuántica, física de altas energías, etc.



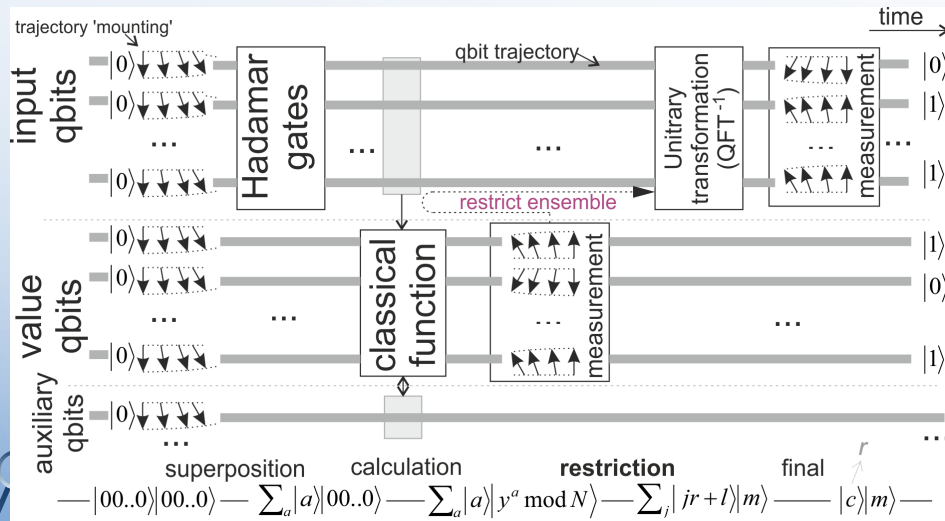
Complejo FMO, pigmento en plantas que procesa luz



Nuevos fertilizantes, gases que capturen CO₂, etc.

PARA QUÉ SIRVE UN ORDENADOR CUÁNTICO?

Problemas matemáticos *duros*



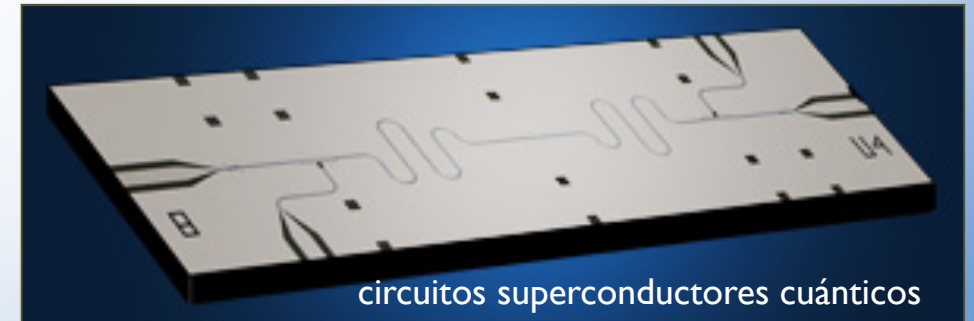
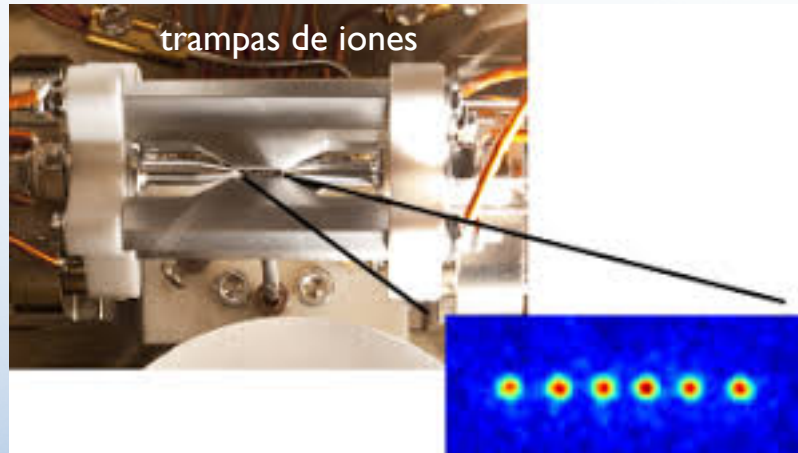
Problema	Algoritmo	Aplicación
Factorización	Shor	Criptografía
Búsqueda lista desordenada	Grover	Tratamiento base de datos
Resolver sistemas de ecuaciones	HHL	Física, finanzas, ...
...

CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

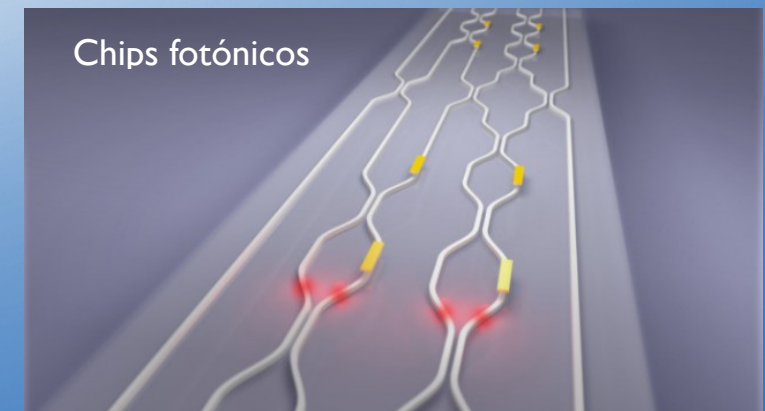
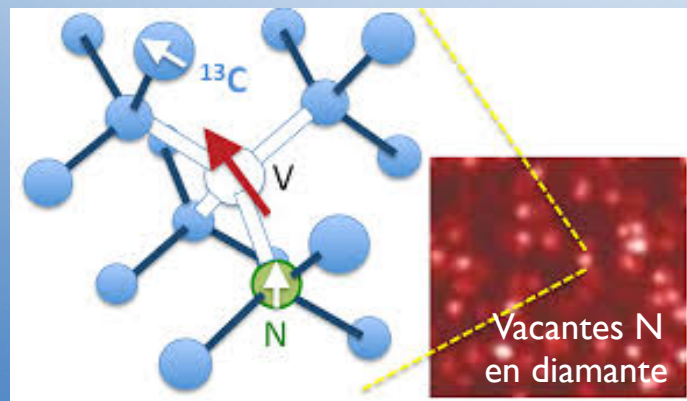
PLATAFORMAS FÍSICAS ACTUALES

CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

PLATAFORMAS FÍSICAS ACTUALES

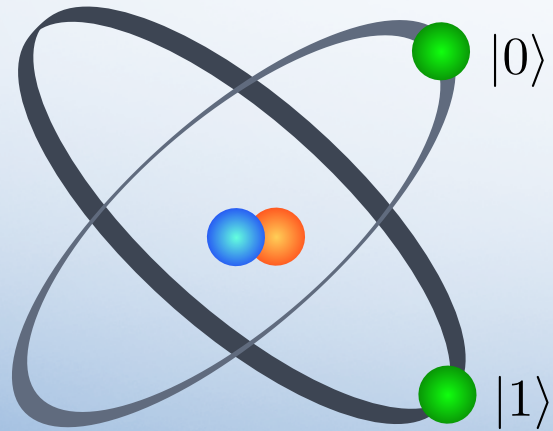


Prototipos de ordenador cuántico: sistemas cuánticos *domesticables*



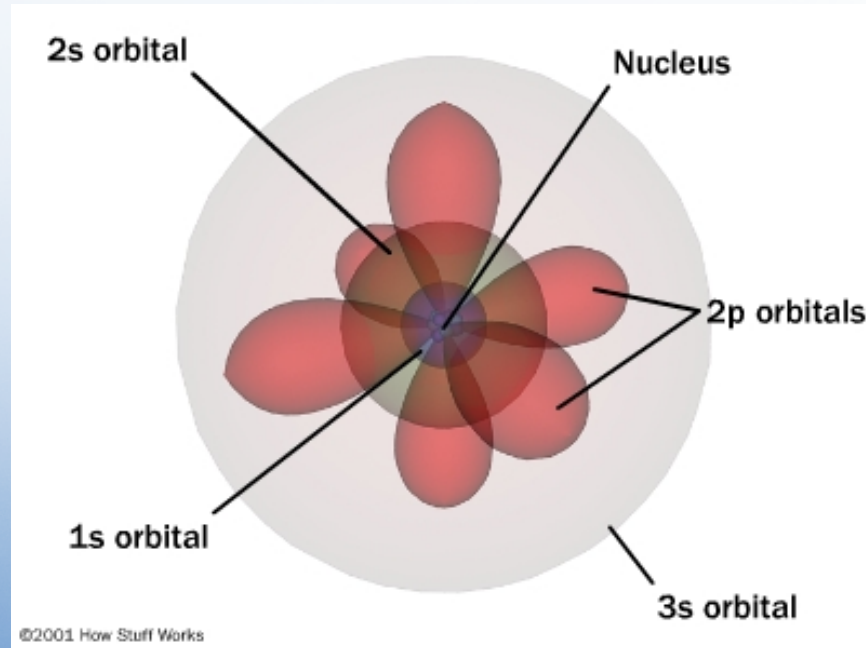
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Qubits “naturales”: orbitales atómicos



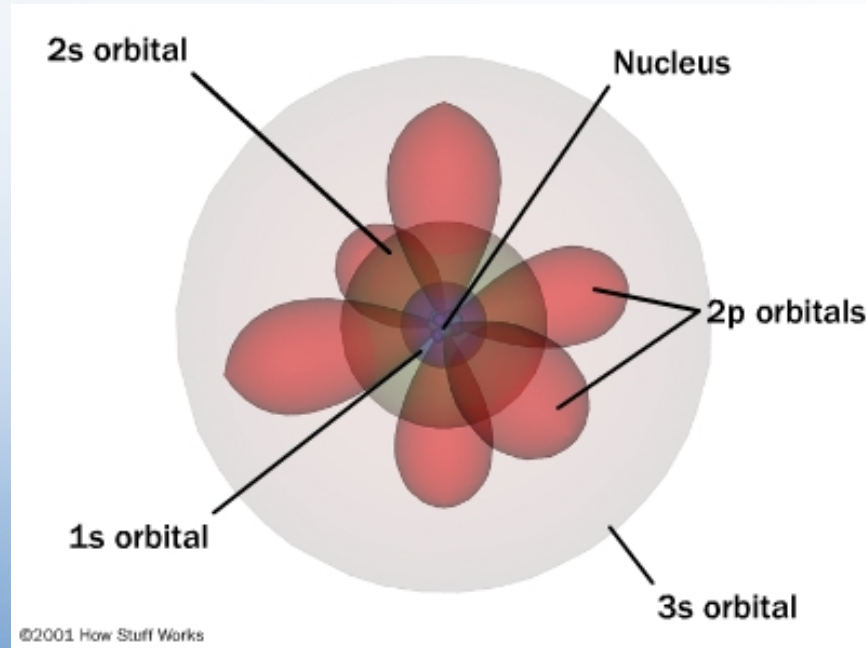
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Qubits “naturales”: orbitales atómicos

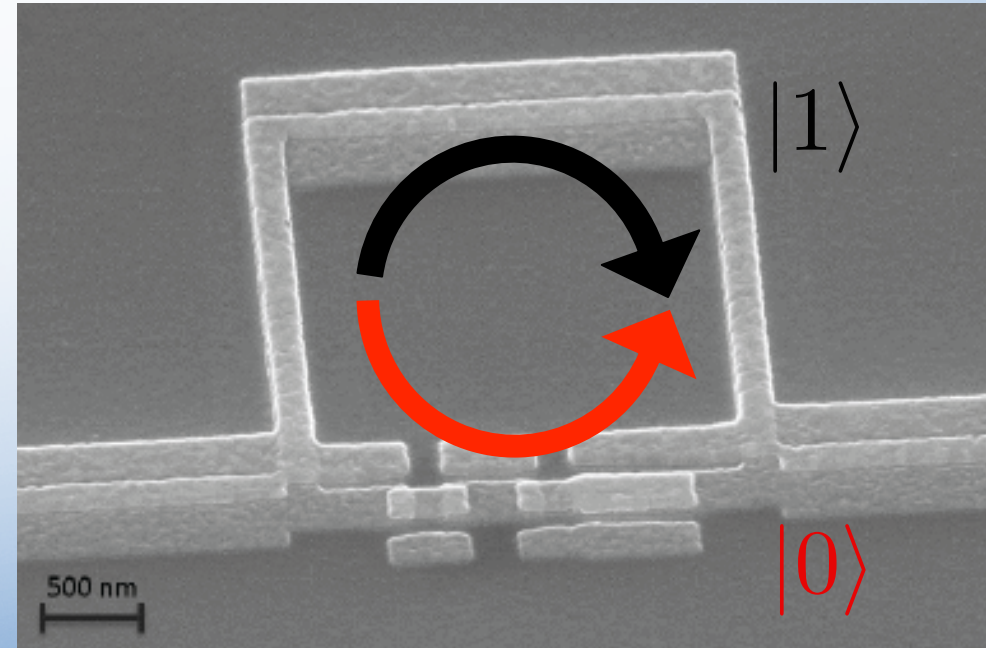


CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Qubits “naturales”: orbitales atómicos

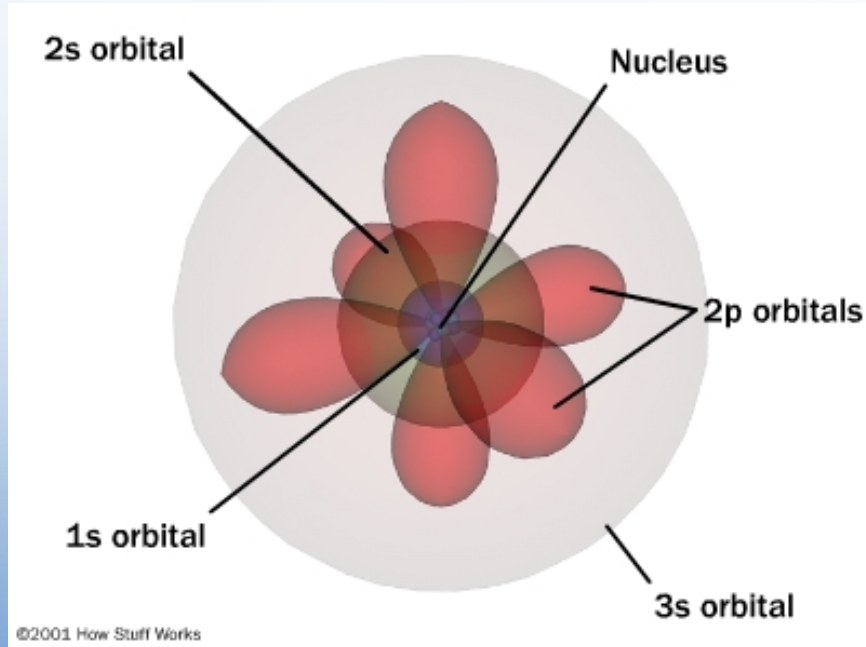


Qubits “artificiales”: circuitos cuánticos



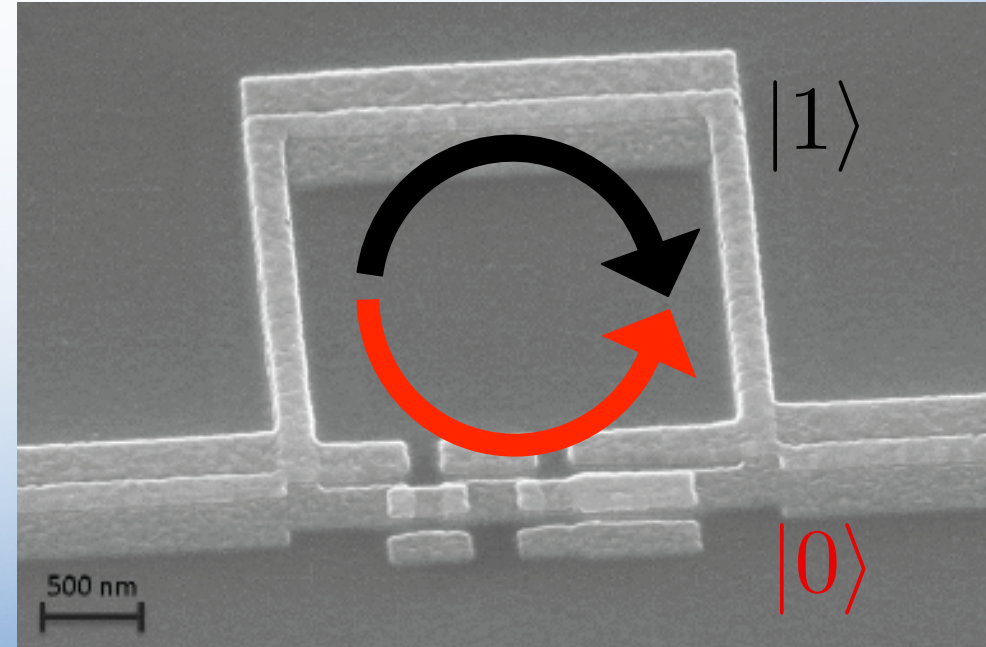
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Qubits “naturales”: orbitales atómicos



Hechos por la natura

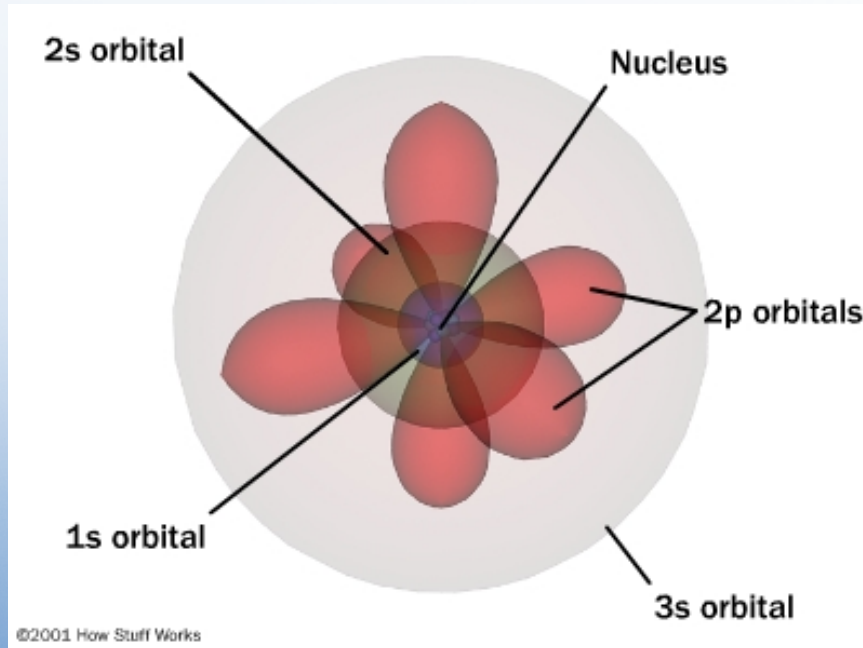
Qubits “artificiales”: circuitos cuánticos



Hechos por la especie humana

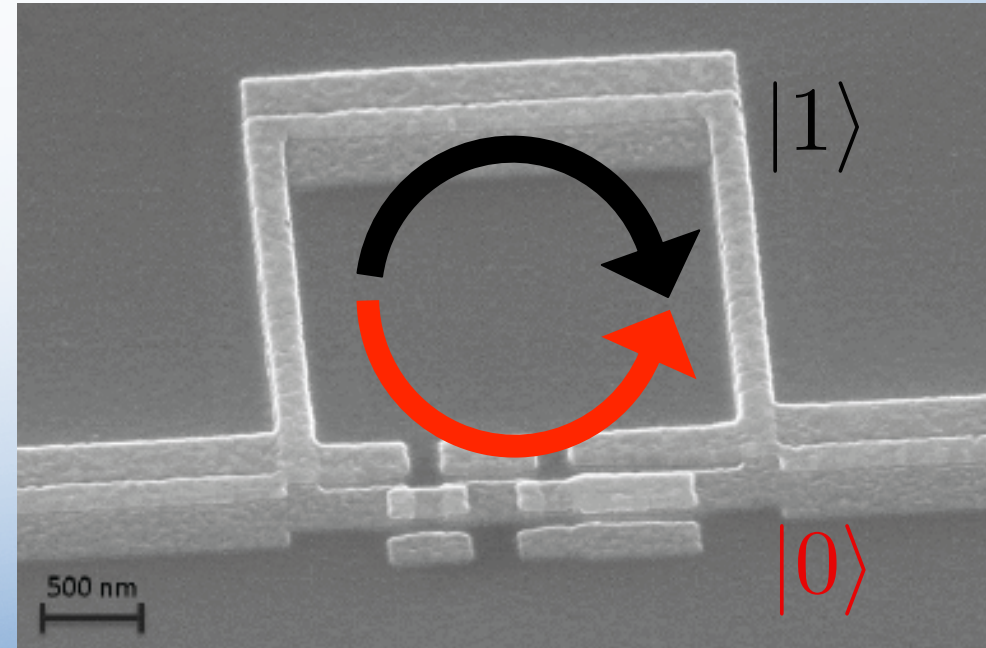
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Qubits “naturales”: orbitales atómicos



Hechos por la natura
Fijados por la natura

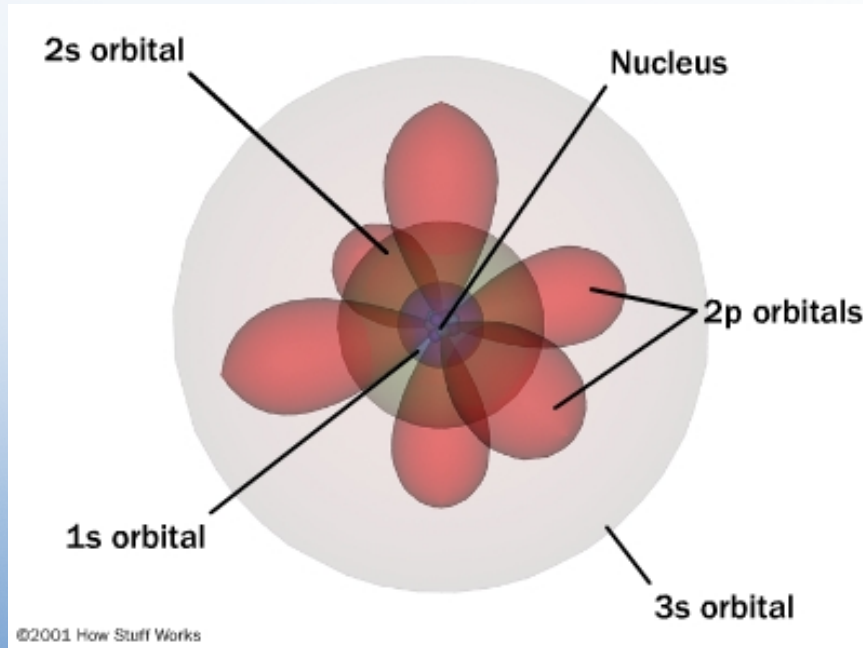
Qubits “artificiales”: circuitos cuánticos



Hechos por la especie humana
Ajustables por diseño

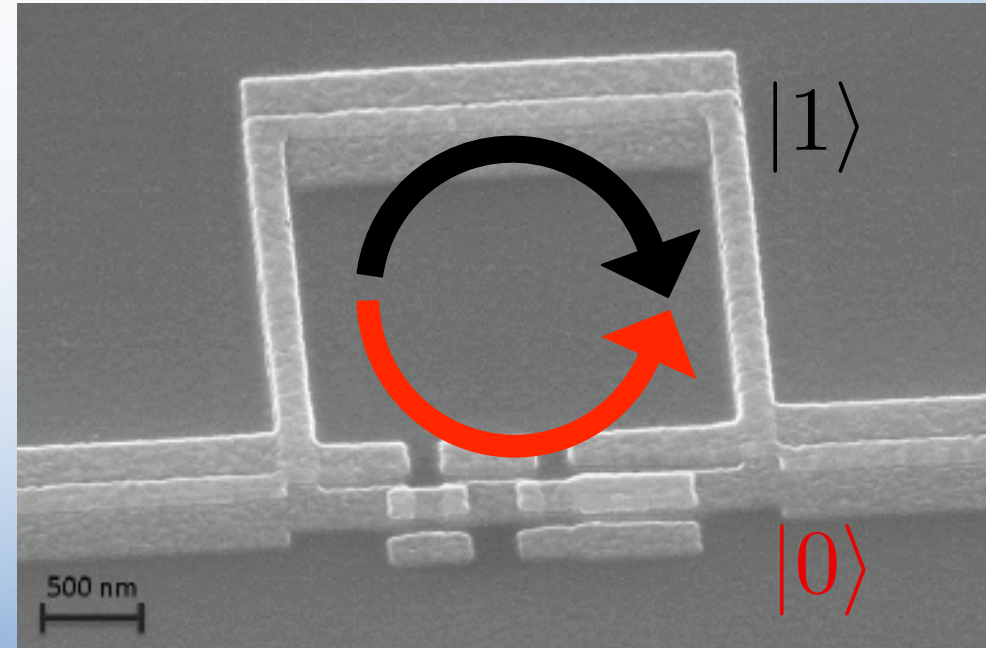
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Qubits “naturales”: orbitales atómicos



Hechos por la natura
Fijados por la natura
Microscópicos

Qubits “artificiales”: circuitos cuánticos

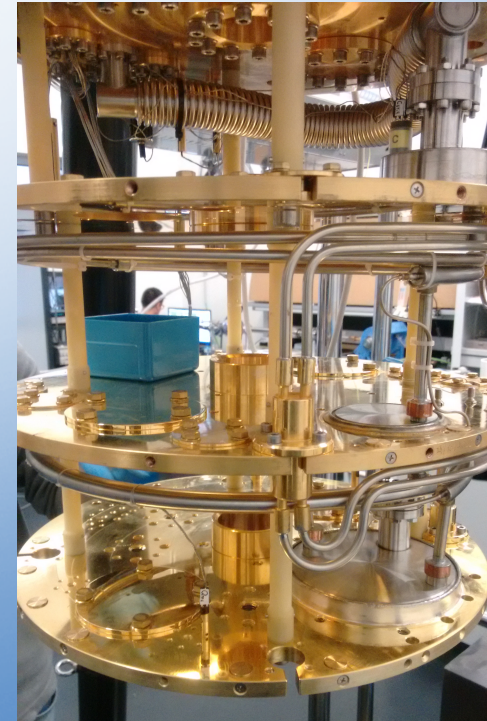


Hechos por la especie humana
Ajustables por diseño
Mesoscópicos

CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Entorno para 'despertar' efectos cuánticos: bajas temperaturas

REFRIGERADORES DE DILUCIÓN

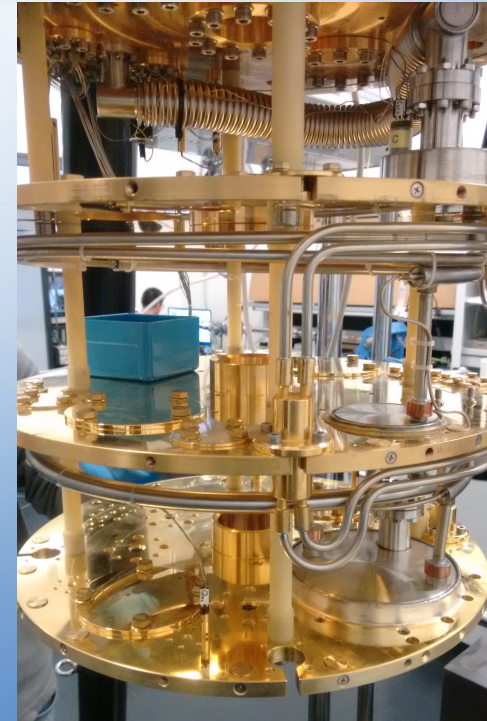


CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Entorno para 'despertar' efectos cuánticos: bajas temperaturas

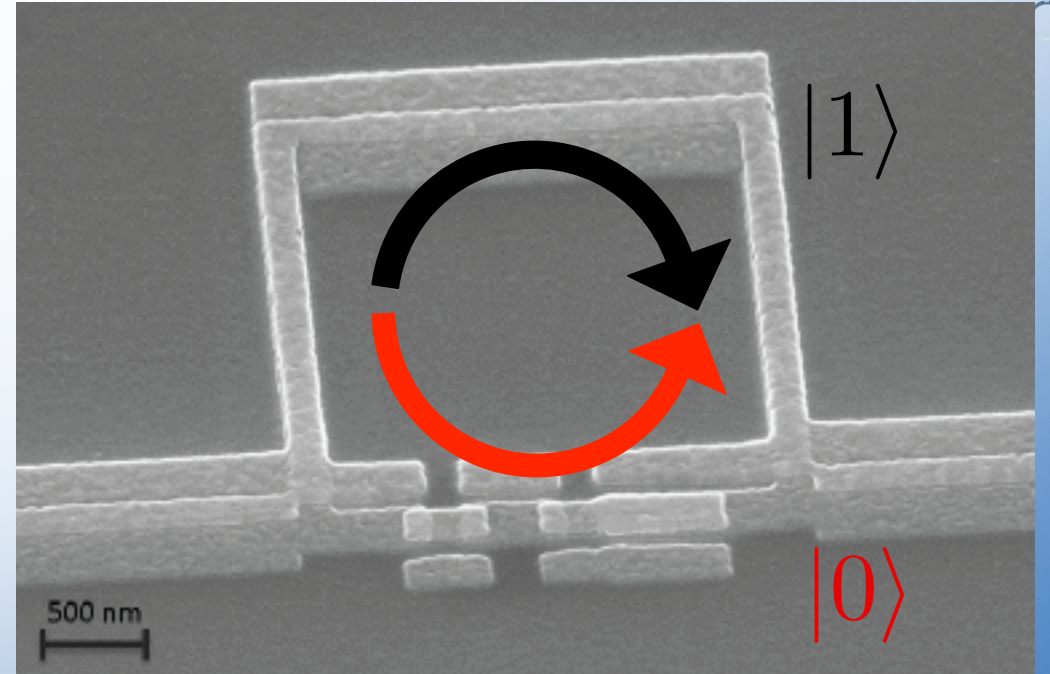
REFRIGERADORES DE DILUCIÓN

$$T = 0.01 \text{ K } (-273.13 \text{ C})$$



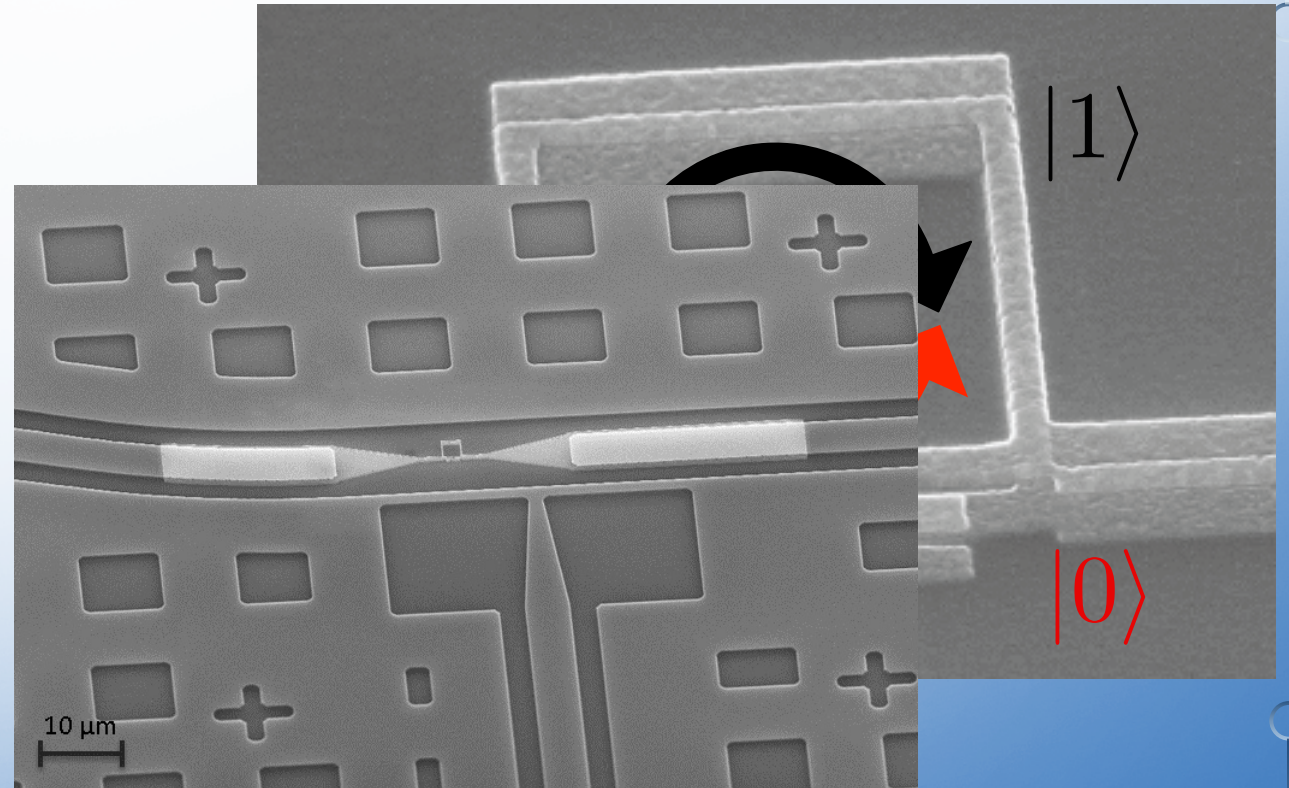
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Hagamos un *zoom out*...



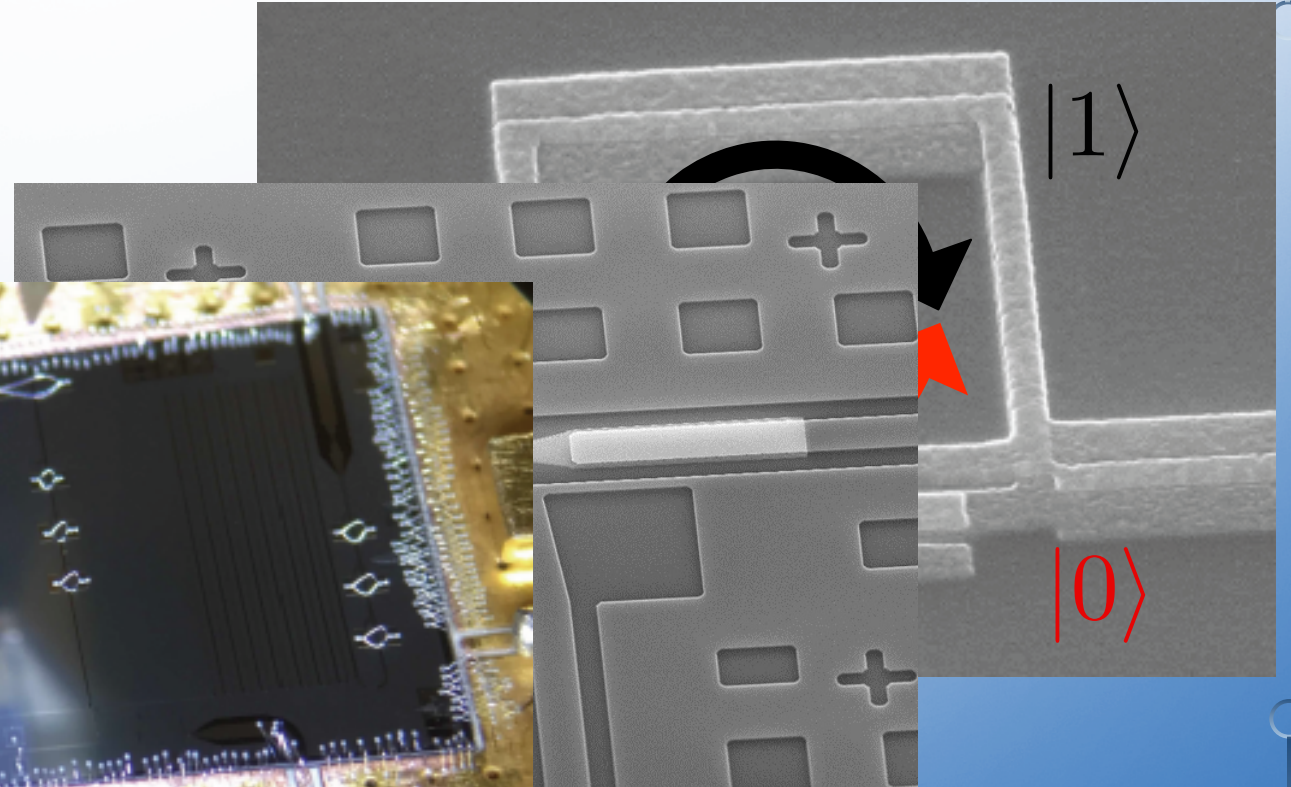
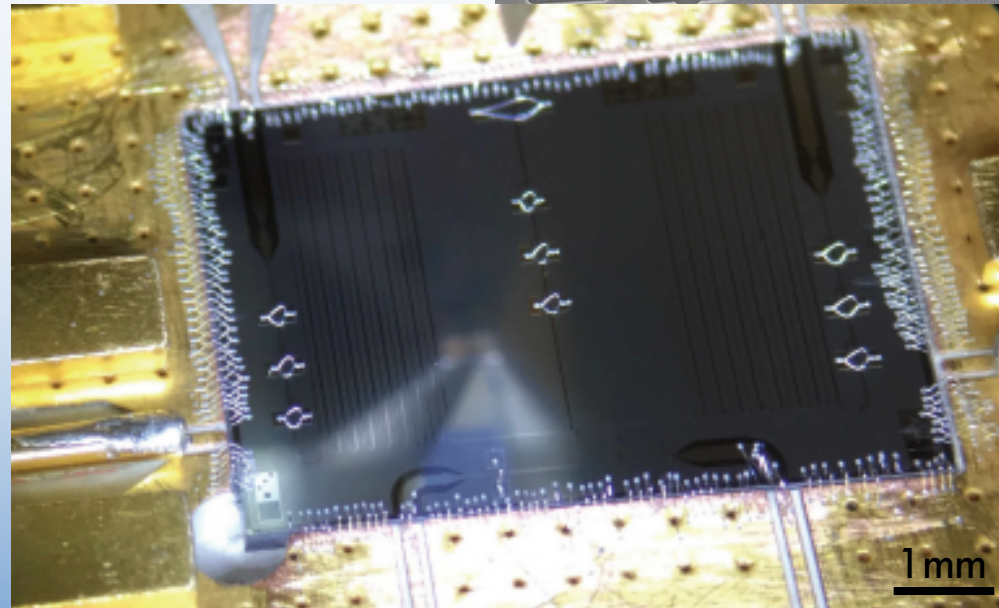
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Hagamos un *zoom out*...



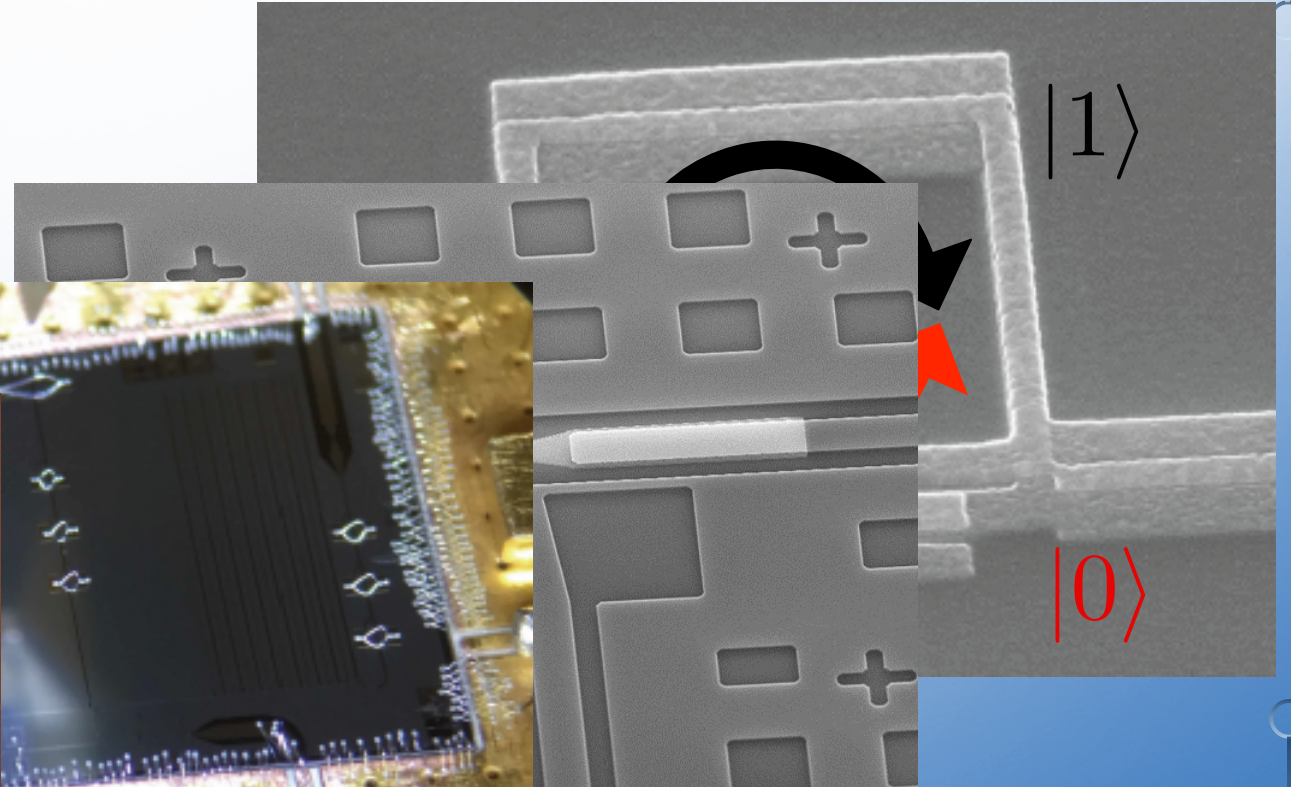
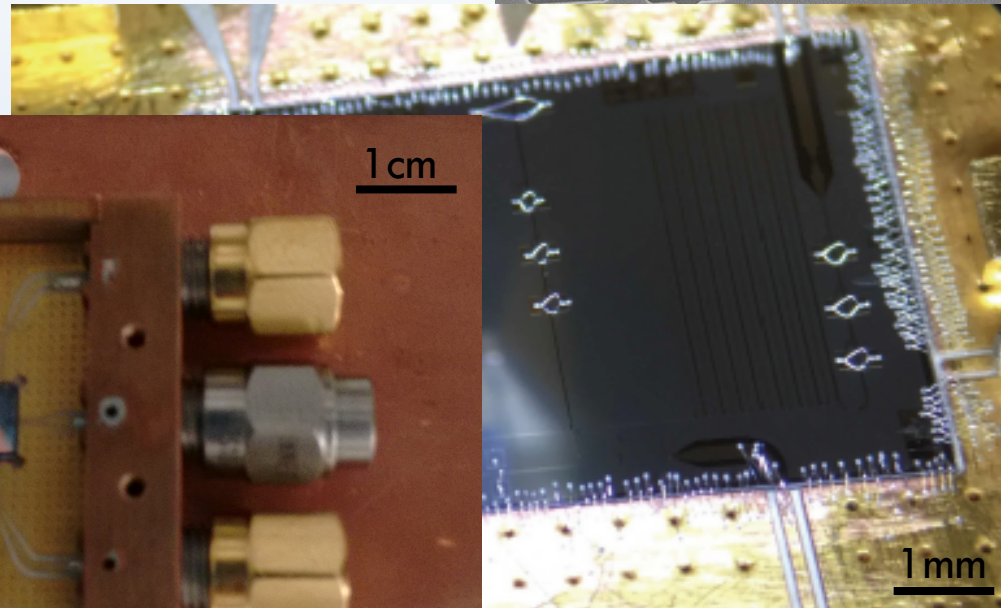
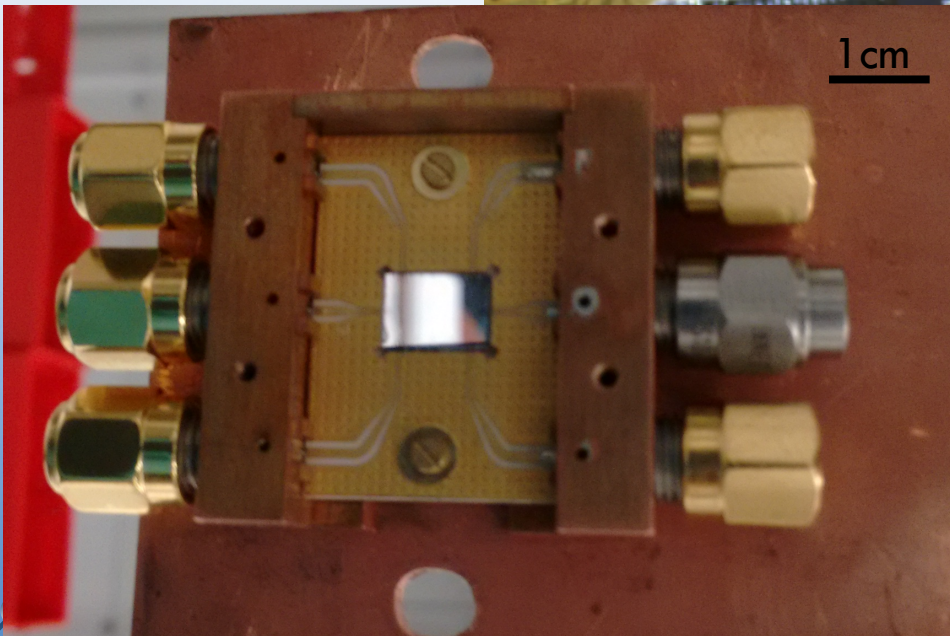
CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Hagamos un *zoom out*...



CÓMO SON LOS ORDENADORES CUÁNTICOS?

Hagamos un *zoom out*...



COM FUNCIONA UN ORDINADOR QUÀNTIC?

Un refrigerador, des de baix, on hi ha els qubits



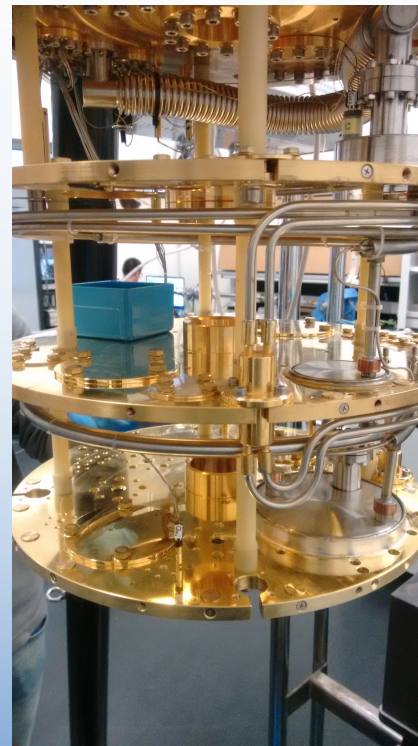
DÓNDE ESTAMOS CONSTRUYENDO ORDENADORES CUÁNTICOS?

ENTORNO ACADÉMICO LOCAL

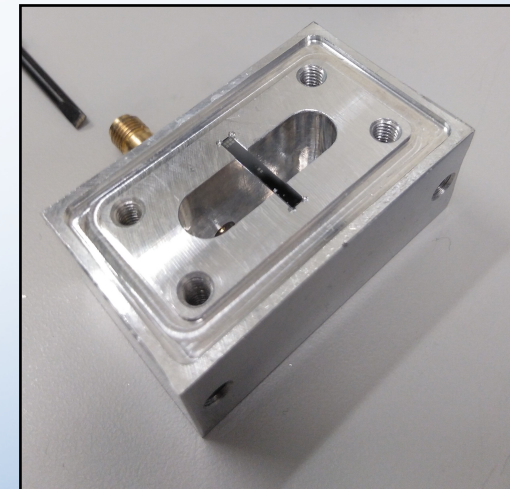
Tecnología de control



Tecnología de enfriamiento



Tecnología de encapsulamiento



Actualmente:



Futuramente:



DÓNDE ESTAMOS CONSTRUYENDO ORDENADORES CUÁNTICOS?

ENTORNO INDUSTRIAL LOCAL

QILIMANJARO

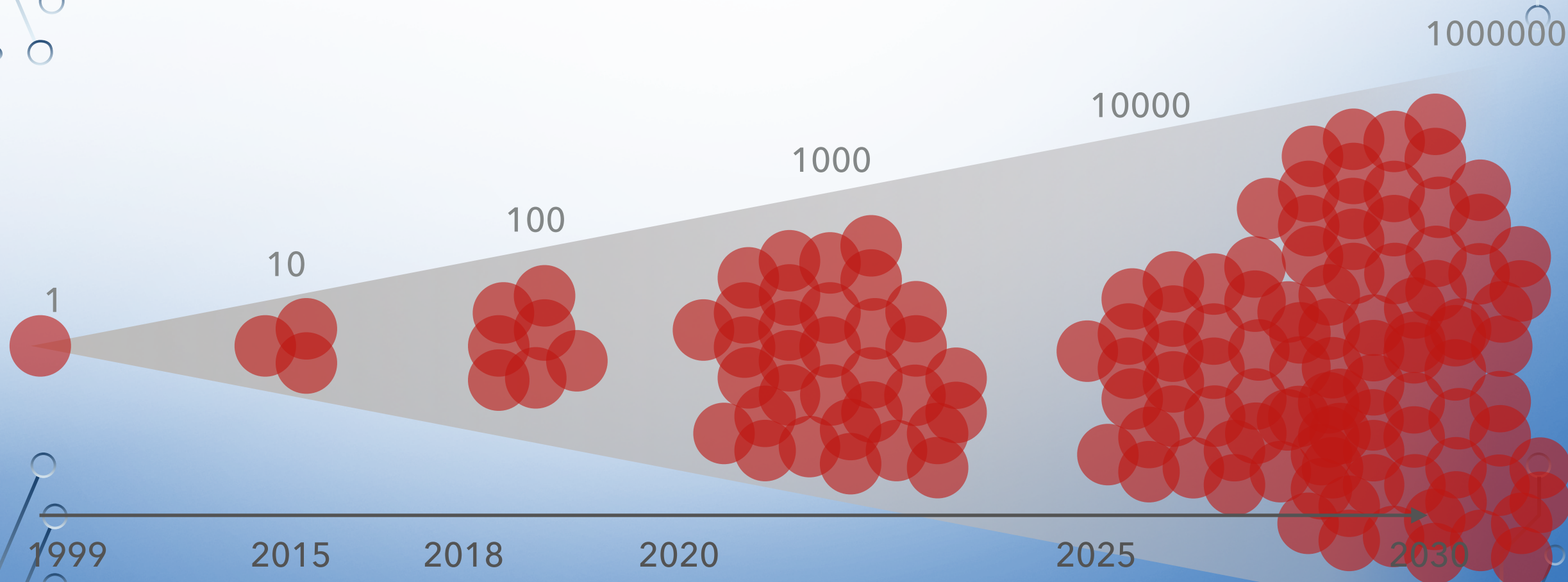
<https://qilimanjaro.tech/> (pronto)

(Est. 2019)



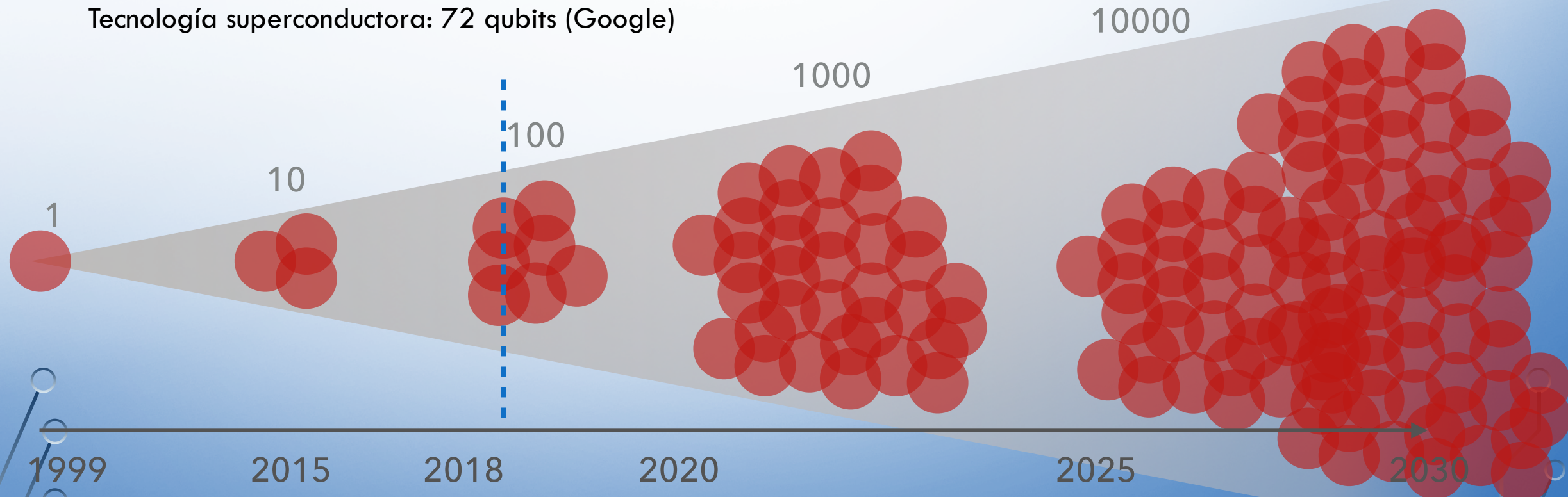
Primera empresa comercializando computación cuántica en el sur de Europa

CUÁNDO PODREMOS UTILIZAR ORDENADORES CUÁNTICOS?



CUÁNDO PODREMOS UTILIZAR ORDENADORES CUÁNTICOS?

Tecnología superconductora: 72 qubits (Google)



CUÁNDO PODREMOS UTILIZAR ORDENADORES CUÁNTICOS?

Tecnología superconductora: 72 qubits (Google)

1000000

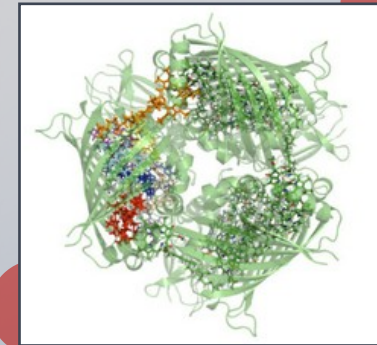
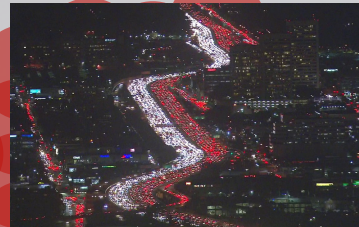
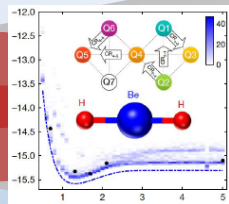
10000

1000

100

10

1



1999

2015

2018

2020

2025

2030

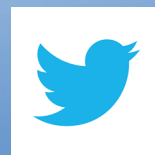


**Institut de Física
d'Altes Energies**



**Barcelona
Supercomputing
Center**
Centro Nacional de Supercomputación

GRACIAS!



@QUANTIC_BSC