



martes 16 de enero 2018

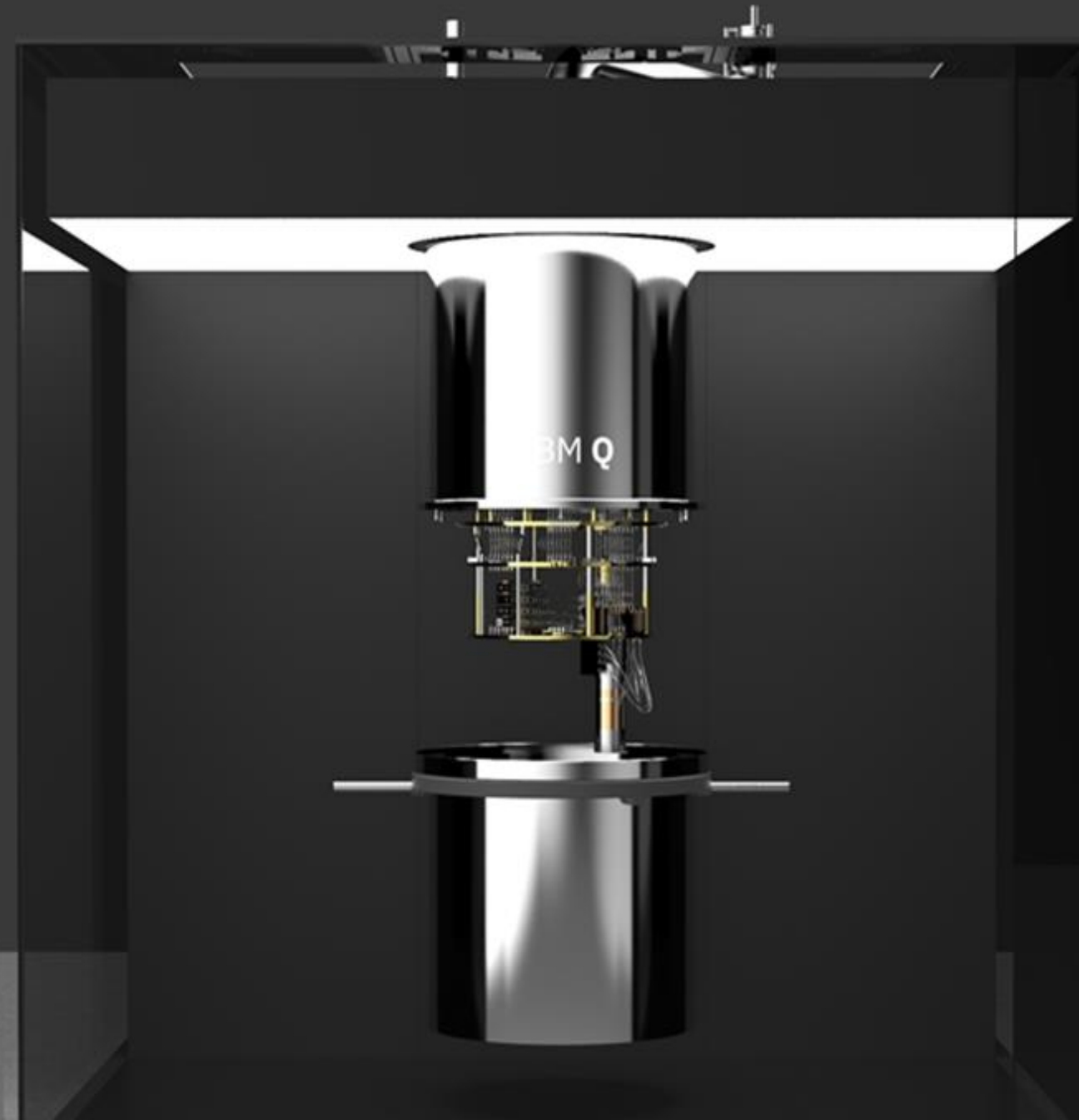
Introducción a la Computación Cuántica

Un paso adelante para construir el futuro

Dudas y cuestiones:
angel@scc.uned.es

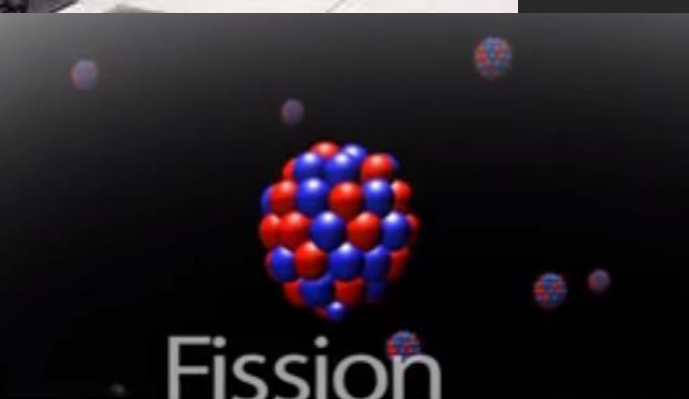
Computación Cuántica

Un paso adelante para
construir el futuro

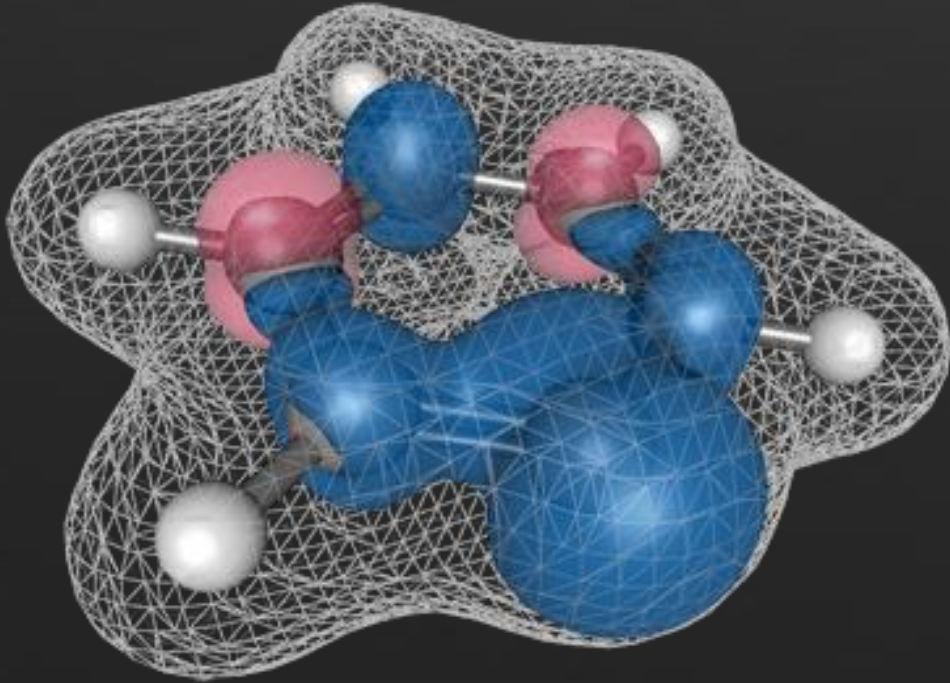


Francisco Gálvez Ramirez
fjgramirez@es.ibm.com
IBM Cloud Tech Sales

Superordenadores

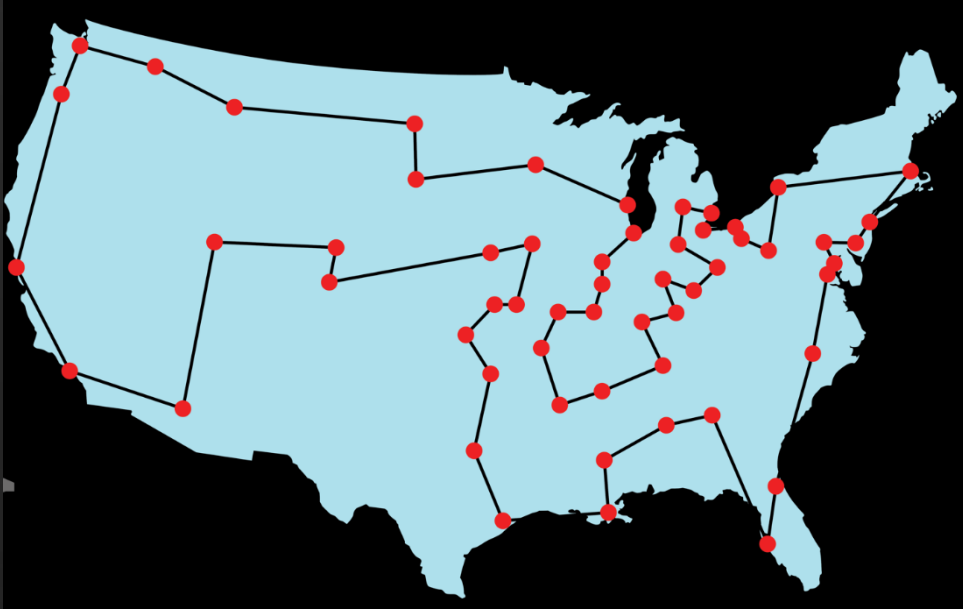


Sistema de muchos cuerpos (Many-Body System)



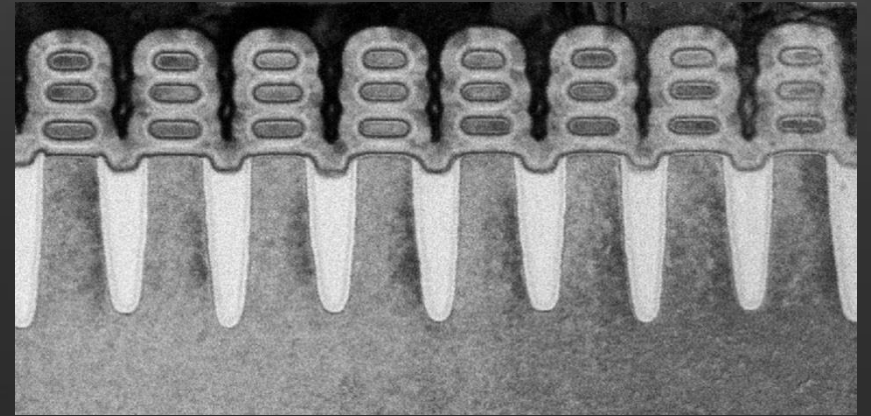
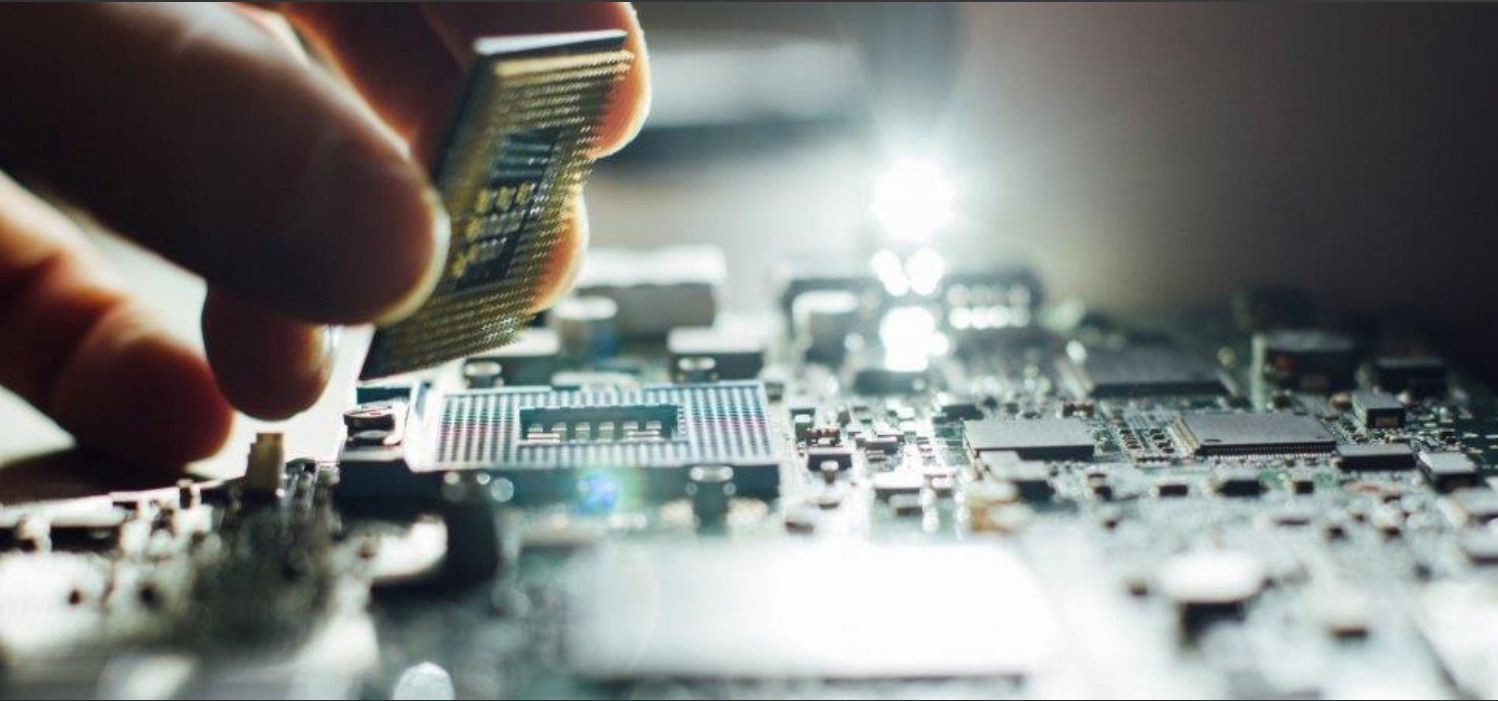
El mejor superordenador del mundo puede simular un sistema de 40-50 electrones

El problema del viajante



El problema del viajante tiene un tiempo de ejecución que crece de forma exponencial con el tamaño del registro de entrada

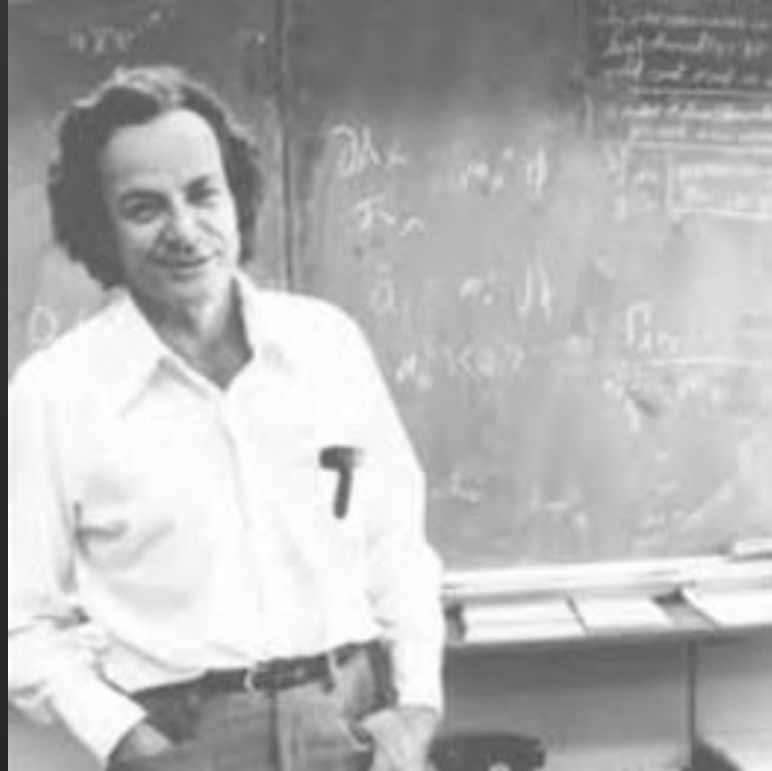
Ley de Moore



IBM 5nm chip

¿Cuanto tiempo nos queda para llegar al comportamiento cuántico de la naturaleza?

¿Por qué Computación Cuántica?

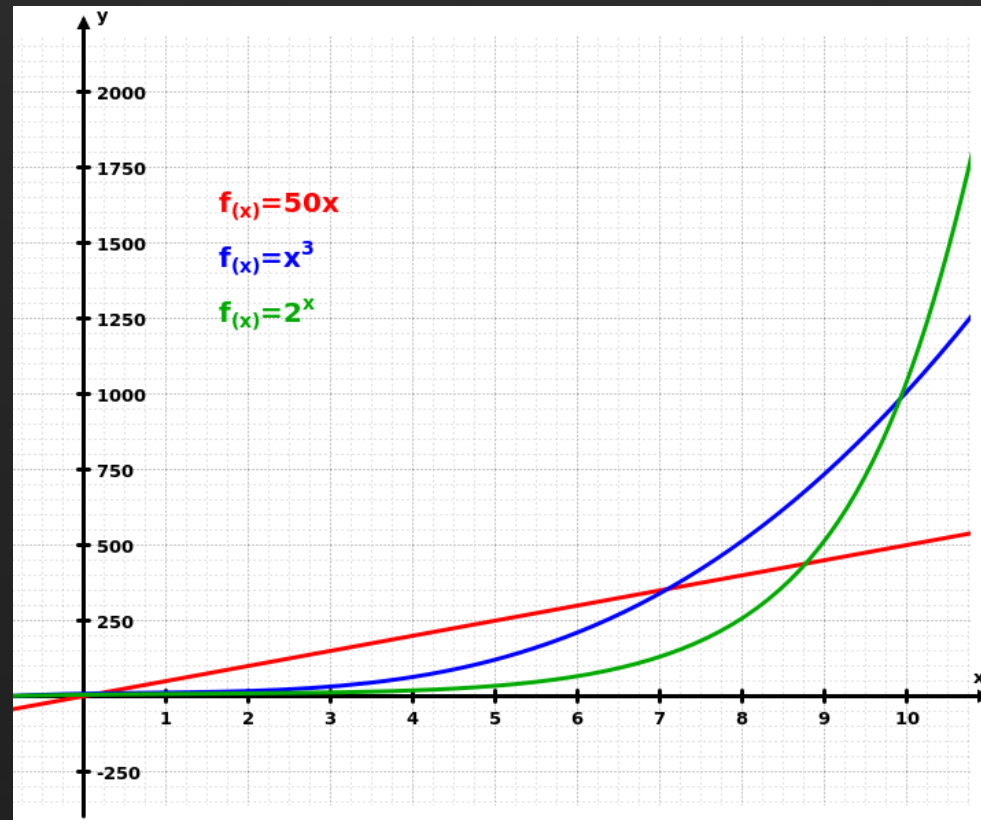


“...nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical...” –

[Richard Feynman, Simulating Physics with Computers](#)

¿Que resuelve la Computación Cuántica?

1. Transformación de problemas con un crecimiento exponencial de la complejidad en problemas con un crecimiento polínómico.



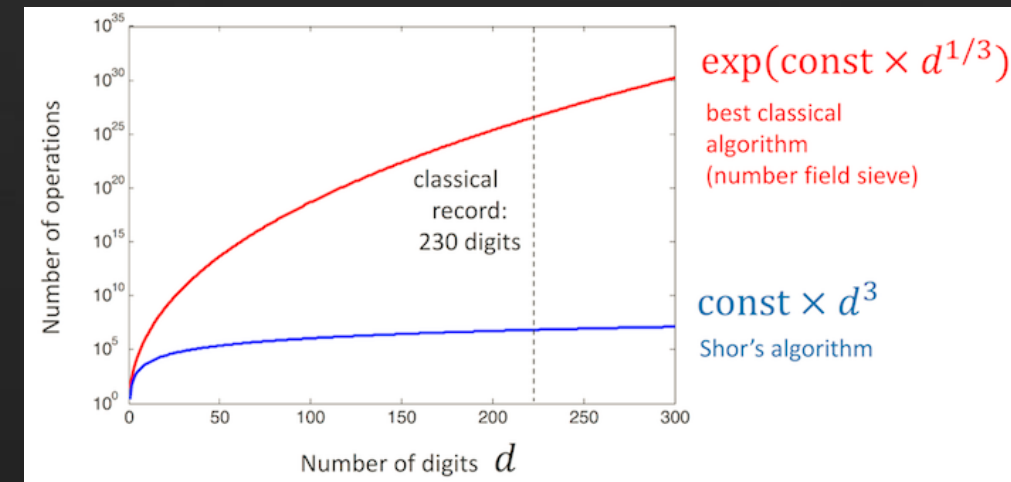
Factorización de Grandes Números

$937 \times 947 = N$ (Problema fácil)

$887339 = p \times q$ (Problema no tan fácil)

La robustez de la factorización es la base del algoritmo RSA

| Nº Dígitos | Nº Pasos | Resolución ($1\mu\text{s}/\text{step}$) |
|------------|-----------|---|
| 60 | 10^{11} | 3 días |
| 100 | 10^{15} | 74 años |
| 200 | 10^{23} | 10^9 años |
| 500 | 10^{11} | 10^{25} años |



Que es un Computador Cuántico

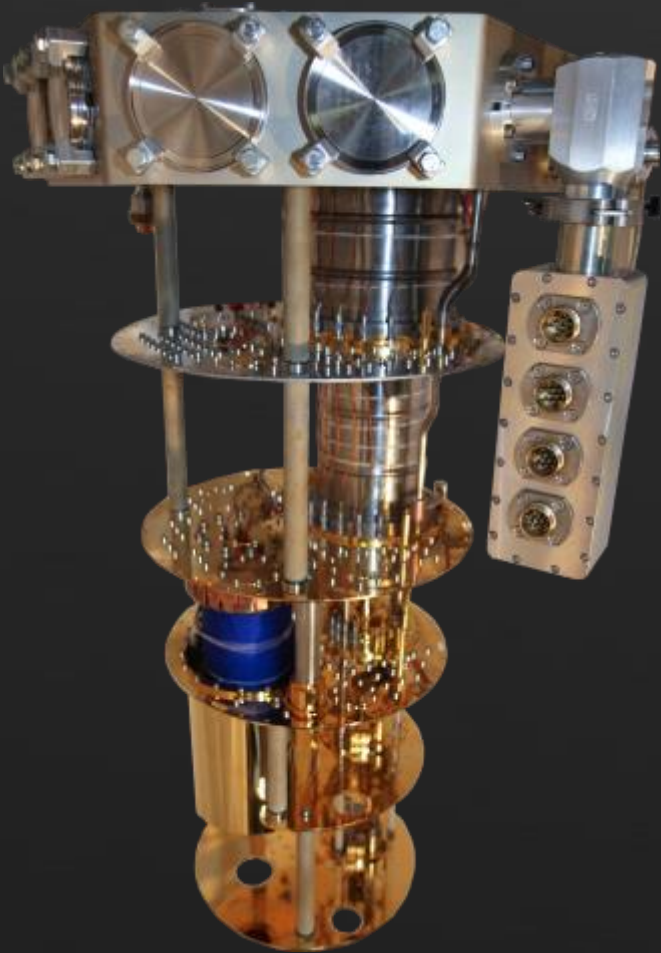
Características de un Computador Cuántico

1. Se puede inicializar
2. Utiliza Bits Cuánticos (Qubits)
3. Trabaja con Paralelismo Cuántico
4. Mantiene la coherencia
5. Hace uso del Entrelazamiento



Se debe poder inicializar

Proceso de Iniciaización



START RUNNING



START RUNNING



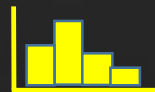
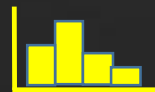
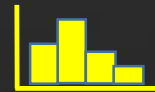
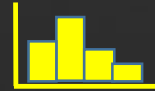
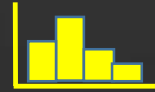
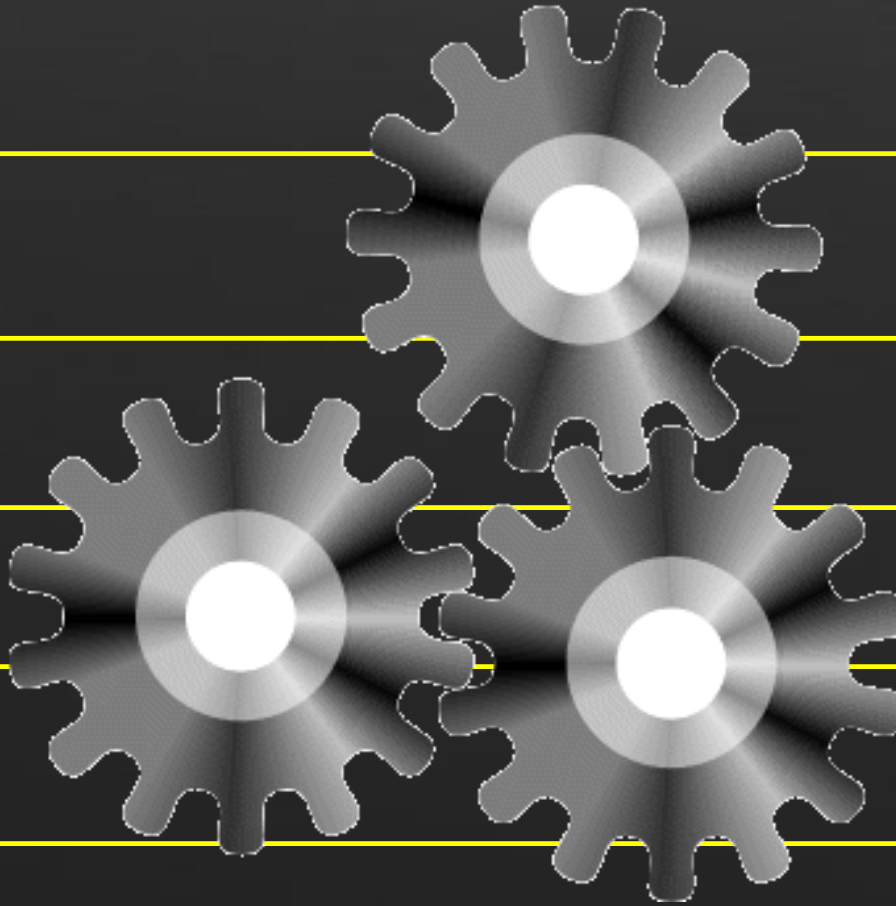
START RUNNING



START RUNNING



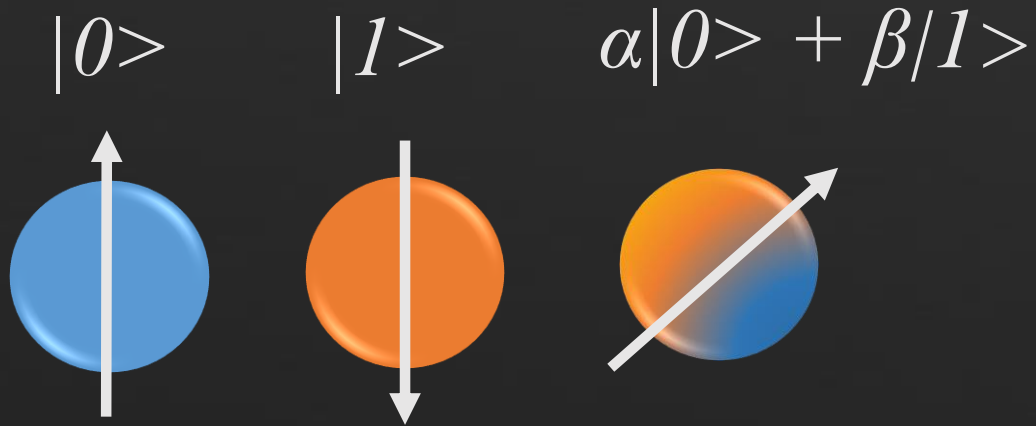
START RUNNING



Funciona con Qubits → Bits Cuánticos

¿Que es un Qubit?

- Un Qubit es el concepto cuantico de bit de información.



- No se trata de ningún elemento o dispositivo. Es un concepto lógico que puede implementarse sobre un amplio rango de sistemas con comportamiento cuántico.
- Al igual que un bit, un Qubit puede representar dos estados: 0 y 1 (estados base)

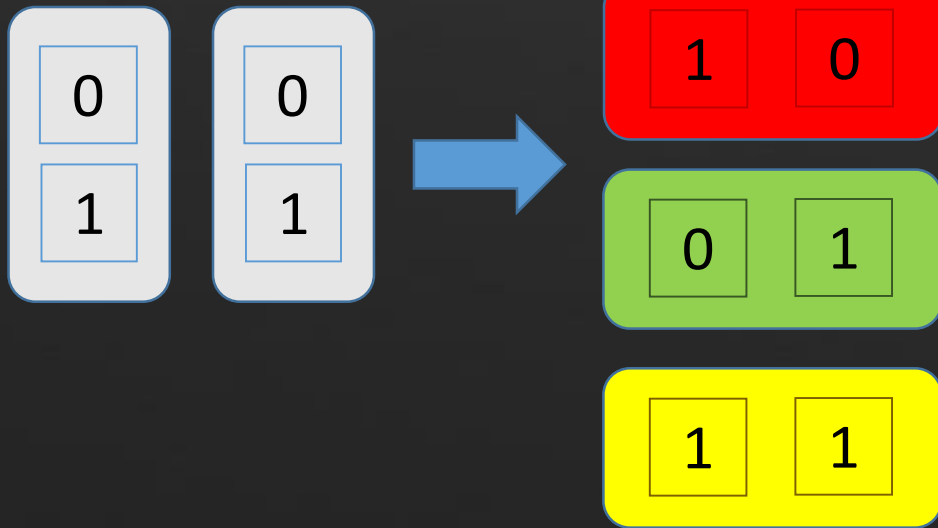
Pero además un Qubit es capaz de trabajar con todas las posibles combinaciones que pueden tener lugar entre los estados base 0 and 1

$$\psi = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

¿Que es el paralelismo cuántico?

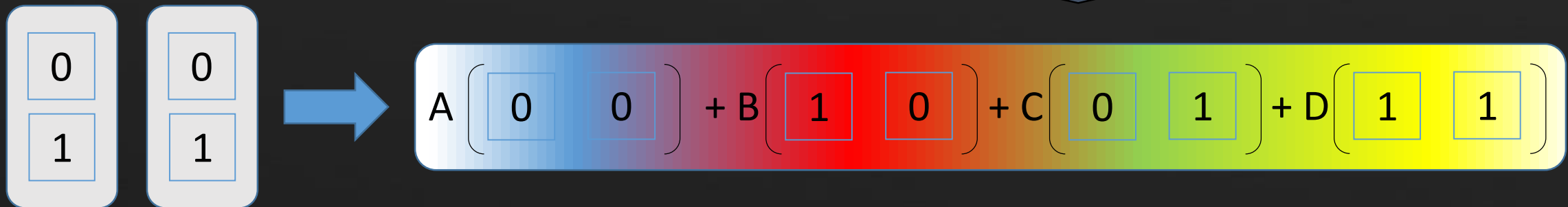
Superposición Cuántica

- 2 BITS



4 Estados Independientes. El sistema puede estar en uno de estos cuatro estados.

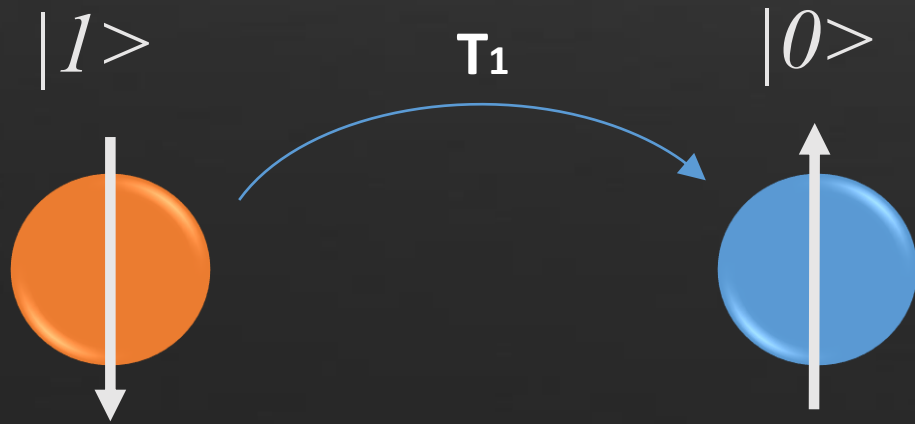
- 2 QUBITS



Un sistema que es combinación de cuatros posibles estados simultaneamente

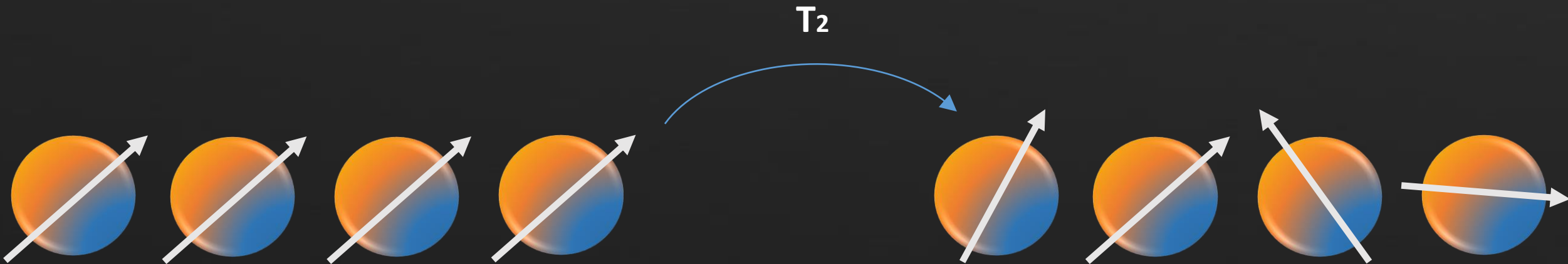
Tiempos de Coherencia

T₁ T₂ Tiempos en los que un qubit o sistema de qubit se mantiene

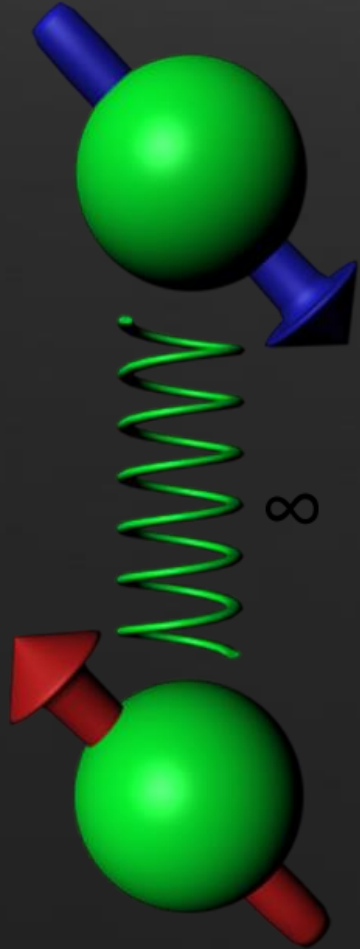


T₁: es el tiempo en el que un qubit llevado estado excitado vuelve a su estado fundamental.

T₂: Tiempo en el que un sistema de varios qubits pierde su coherencia.



Entrelazamiento Cuántico



- Un estado entrelazado no puede describirse en función de los estados de los qubits de lo componen, es decir:

$$|v_1 v_2\rangle \neq |v_1\rangle \otimes |v_2\rangle$$

- Los Estados de Bell en el espacio de Hilbert vienen dados por:

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

$$|\Phi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle - |11\rangle)$$

$$|\Psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle + |10\rangle)$$

$$|\Psi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

Infraestructura Física para Qubits

Qubits de Spin

- Estado de superposición → varios segundos
- Compatibles con tecnologías de fabricación de chips actuales.
- El ruido proveniente del sustrato sólido podría dificultar su escalado

Trampas de Iones

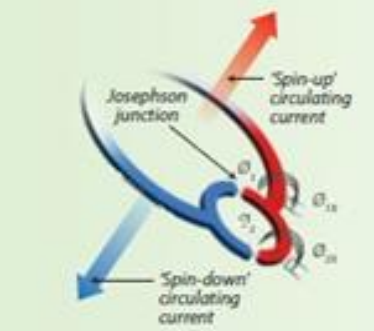
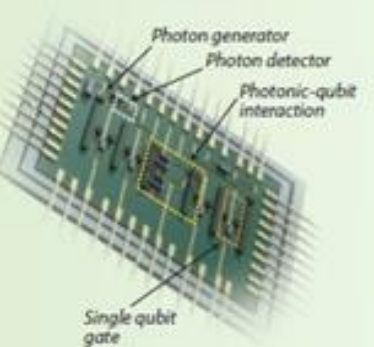
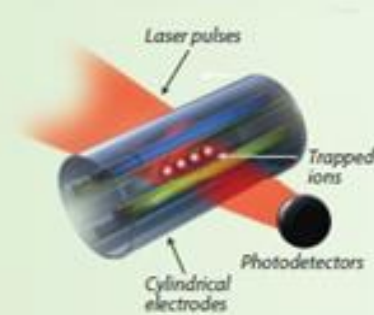
- Tienen pocos defectos
- Puertas lógicas con una tasa de error muy baja.
- Nuevas técnicas de fabricación.

Circuitos fotónicos.

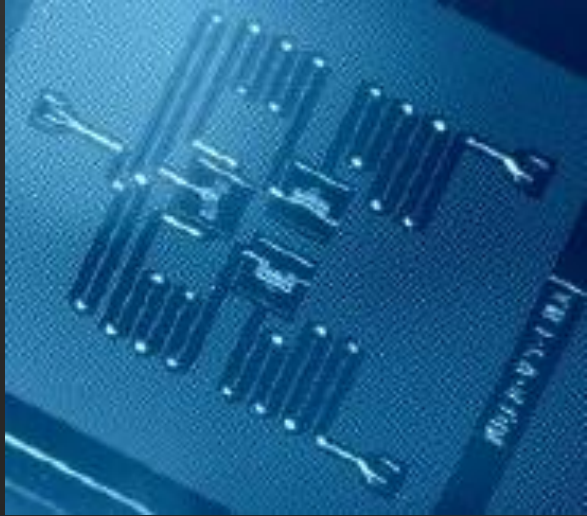
- La redundancia de qubits se minimiza por la resistencia del fotón a la interferencia,
- La construcción de puertas lógicas fotónicas es muy complicada
- La creación de fuentes de fotones individuales es un gran reto tecnológico

Circuitos superconductores

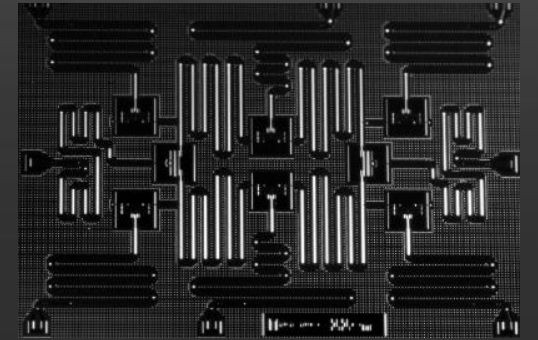
- Son potencialmente fáciles de fabricar,.
- Tienen tiempos de coherencia relativamente cortos.
- Requieren temperaturas muy bajas para poder operar.



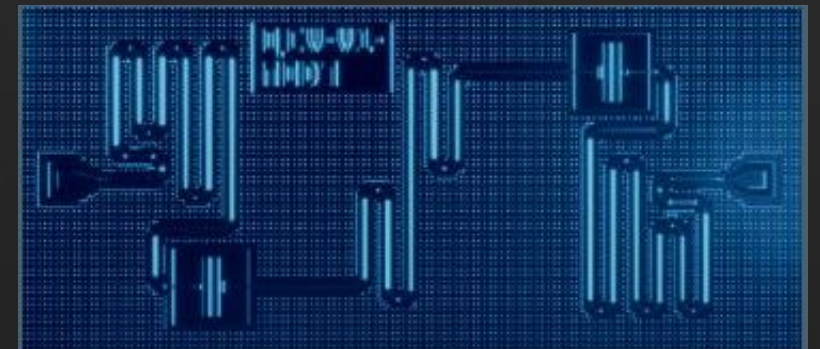
Arquitectura de Qubits Superconductores



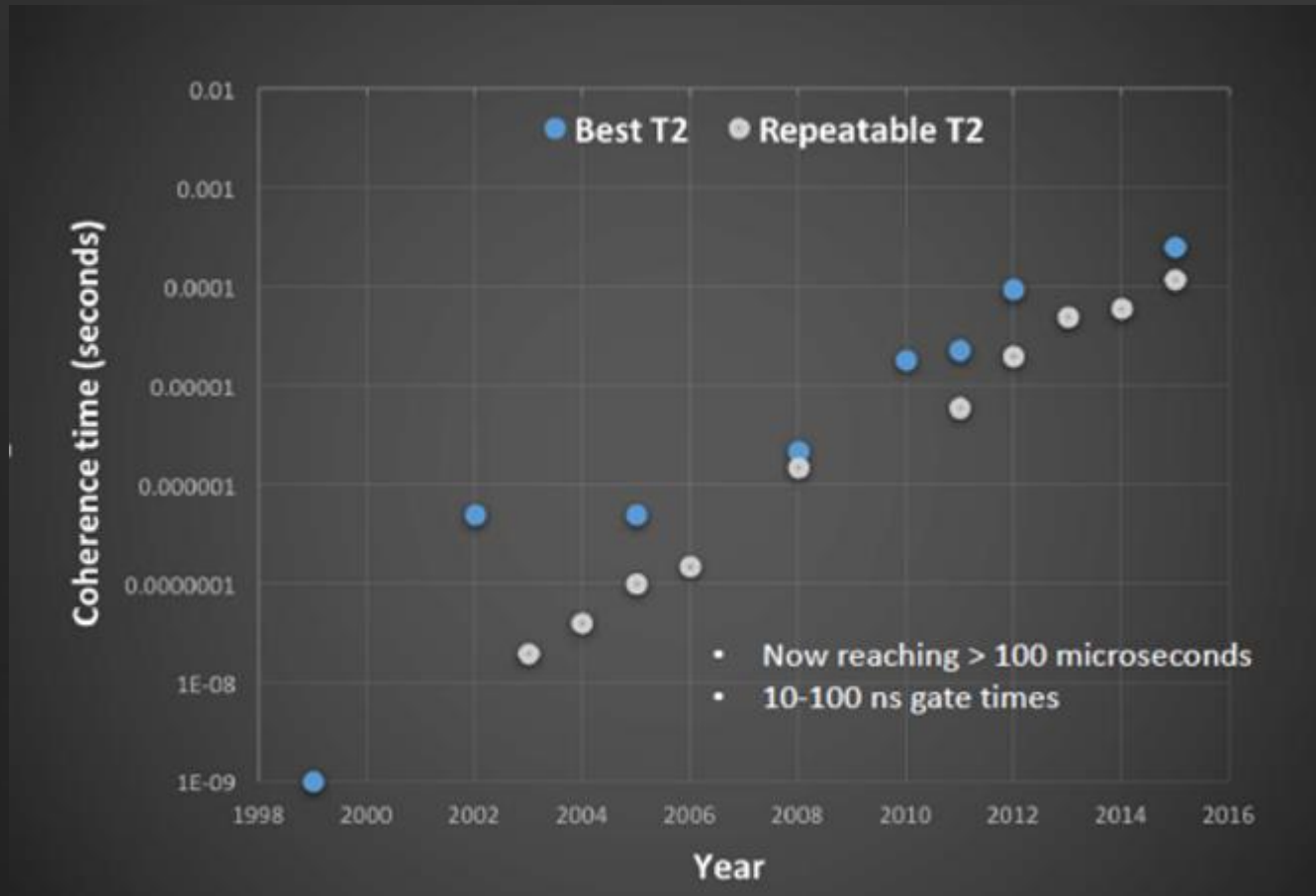
Circuito QED: Un qubit superconductor está fuertemente interaccionado con un solo fotón en una cavidad de microondas.



El esquema de acoplamiento del circuito QED se ha convertido en el estándar para acoplar y leer qubits superconductores a medida que los sistemas continúan escalando.



Tiempos de Coherencia

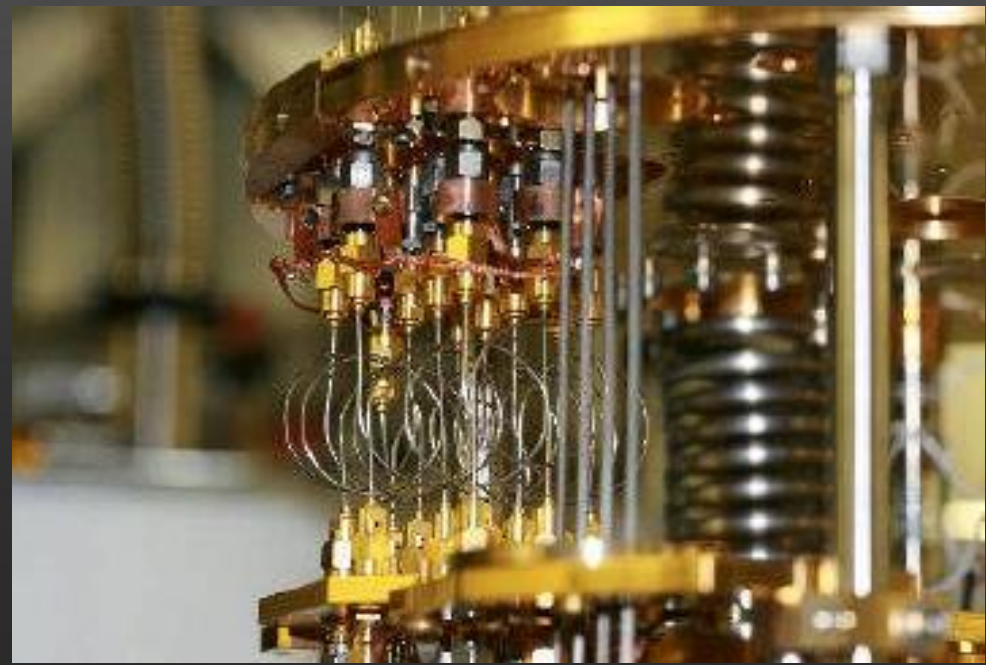


- Actualmente los tiempos de coherencia están alrededor de 100 microsegundos.
- Hay varias iniciativas para mejorar los tiempos de coherencia:
 - Otros materiales
 - Rediseño de geometrías
 - Calidad de las cavidades
 - Apantallamiento IR
- En la última década se han hecho progresos importantes

Refrigerador de Dilución

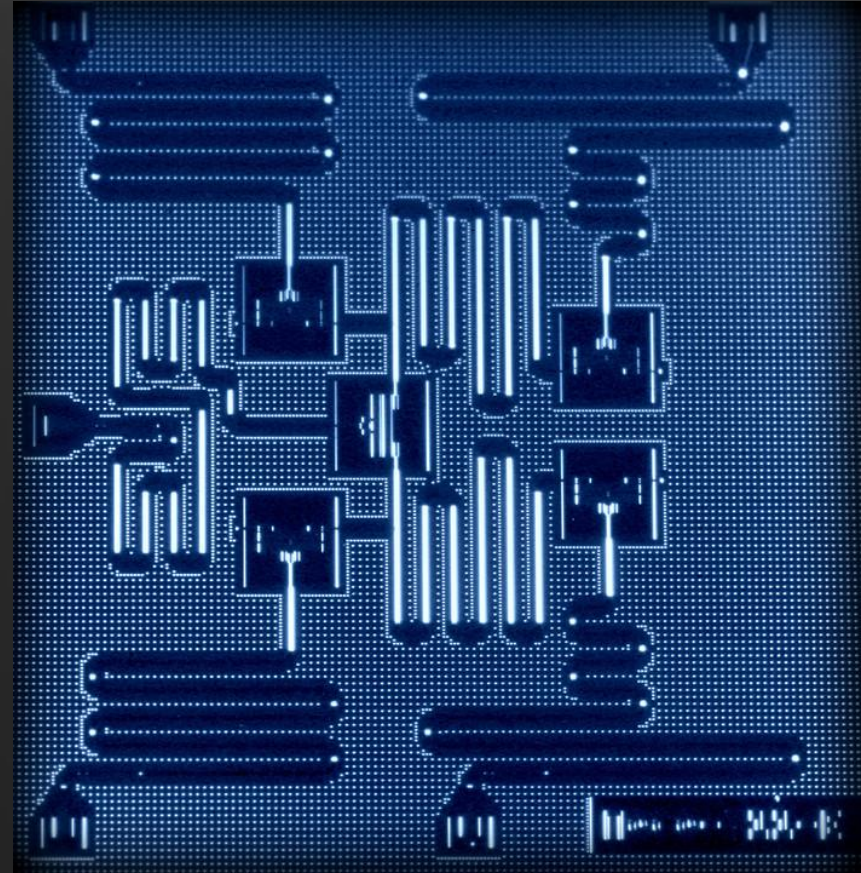


Temperatura de Trabajo 15 mK
Refrigerador de Dilución
 $^3\text{He} + ^4\text{He}$



Un procesador Cuántico de 5 Qubits

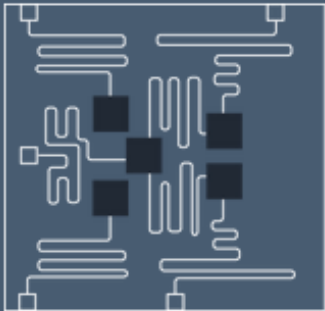
- Primer procesador cuántico de 5 qubits con tecnología de circuitos superconductores de efecto cuántico
- Accesible a través de IBM Quantum Experience
- IBM Quantum Experience, es una iniciativa que permite a los usuarios ejecutar algoritmos y experimentos en el procesador cuántico de IBM en el cloud.



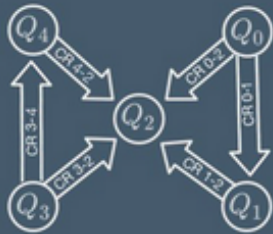
Procesadores Cuánticos de 5 Qubits

Dos Procesadores Cuánticos de 5 qubits disponibles en el cloud y programables visualmente con IBM QX o en modo comando con QASM y con la API Python

IBM 5Q ACTIVE



Fridge Temperature
0.018344 Kelvin



CR0_1
 $e_g^{01}: 3.02 \times 10^{-2}$

CR0_2
 $e_g^{02}: 3.02 \times 10^{-2}$

CR1_2
 $e_g^{12}: 4.73 \times 10^{-2}$

CR3_2
 $e_g^{32}: 4.15 \times 10^{-2}$

CR3_4
 $e_g^{34}: 3.36 \times 10^{-2}$

CR4_2
 $e_g^{42}: 3.44 \times 10^{-2}$

Q0

$f: 5.27$ GHz

$T_1: 46$ μ s

$T_2: 39.7$ μ s

$e_g: 2.3 \times 10^{-3}$

$e_r: 1.9 \times 10^{-2}$

Q1

$f: 5.21$ GHz

$T_1: 61.5$ μ s

$T_2: 38.6$ μ s

$e_g: 1.9 \times 10^{-3}$

$e_r: 6.4 \times 10^{-2}$

Q2

$f: 5.03$ GHz

$T_1: 49.1$ μ s

$T_2: 91.9$ μ s

$e_g: 3.3 \times 10^{-3}$

$e_r: 1.3 \times 10^{-2}$

Q3

$f: 5.30$ GHz

$T_1: 51.7$ μ s

$T_2: 68.5$ μ s

$e_g: 3.2 \times 10^{-3}$

$e_r:$
 1.67×10^{-1}

Q4

$f: 5.06$ GHz

$T_1: 47.6$ μ s

$T_2: 85.2$ μ s

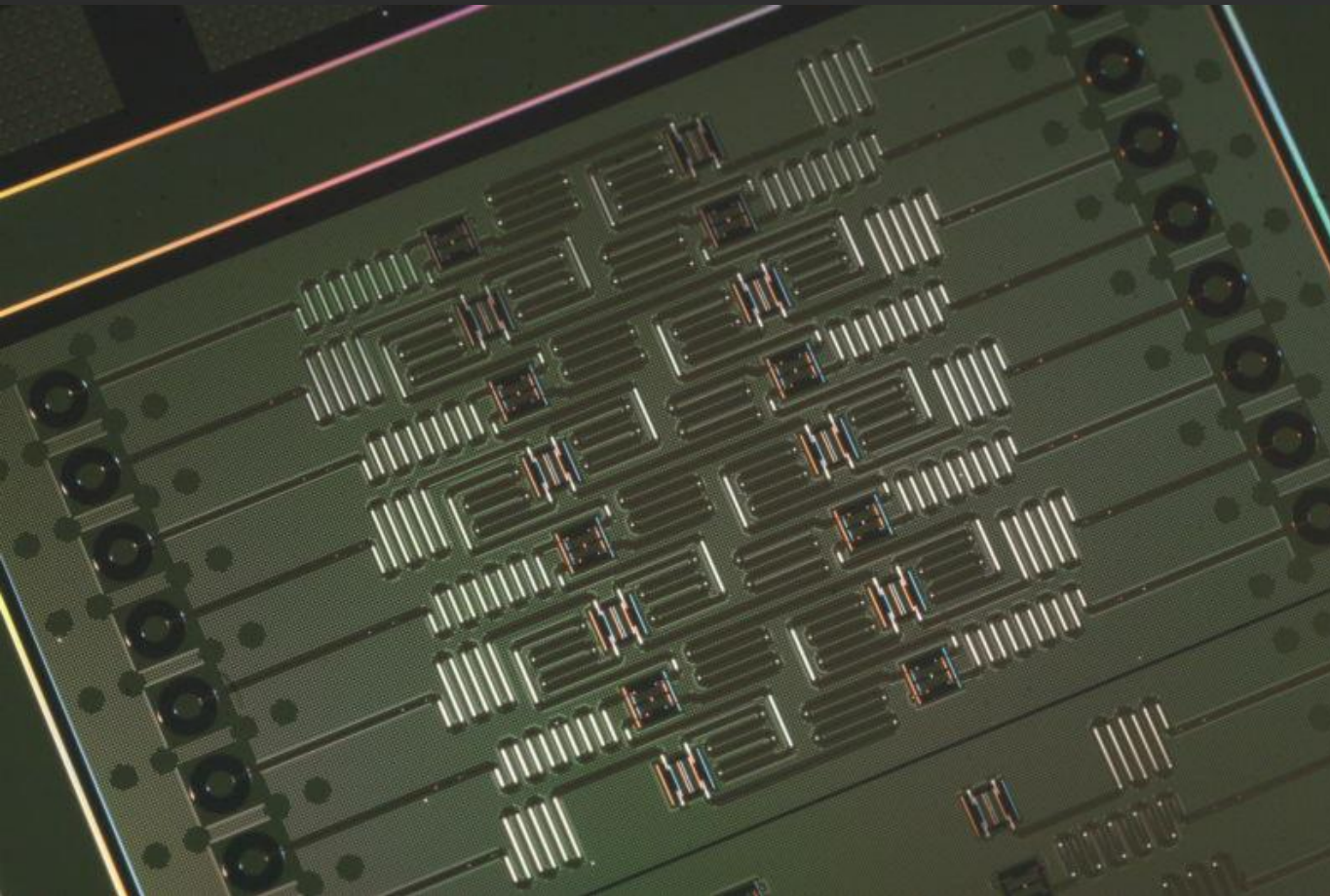
$e_g: 2.6 \times 10^{-3}$

$e_r: 5.3 \times 10^{-2}$

Date Calibration: 2017-03-23 01:05

Procesadores Cuánticos de 16 y 17 Qubits

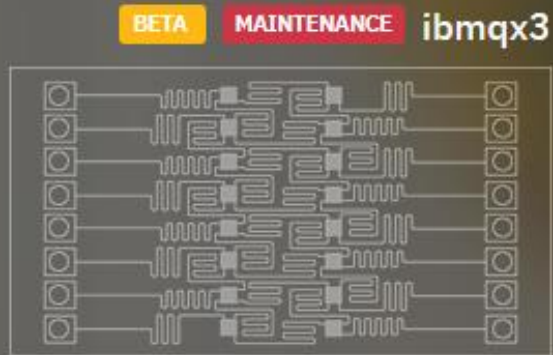
Computadores Cuánticos Universales de 16 y 17 qubits



- Procesador de 16 qubits disponible en el cloud y accesible a todo el mundo
- Procesador de 17 qubits de uso comercial con Topología más robusta que se ha utilizado en varios proyectos durante 2017

Procesador Cuantico de 16 Qubits

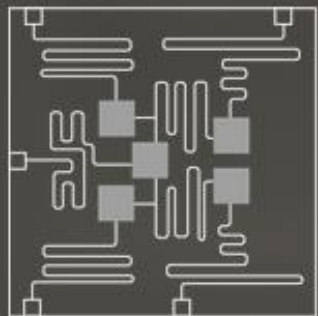
- Procesador de 16 qubits disponible en el cloud y programable con QASM y con Python



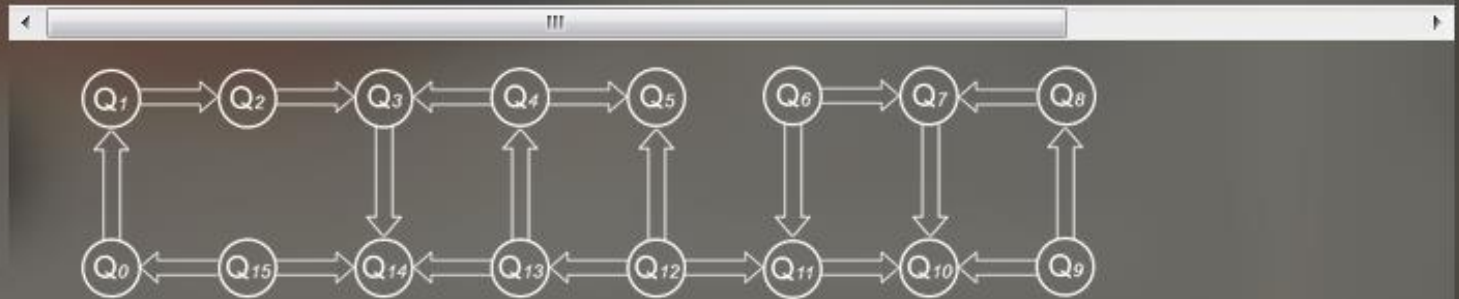
Gate Error (10^{-3})
Readout Error (10^{-2})
MultiQubit Gate Error (10^{-3})

| Q0 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 |
|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------|---------------|---------------|--------------|---------------|------|----------------|----------------|
| 1.83 | 2.30 | 3.66 | 2.09 | 1.73 | 3.52 | 1.39 | 1.61 | 1.07 | 1.40 | 1.93 | 2.24 | 8.84 |
| 3.64 | 10.34 | 2.75 | 3.91 | 8.82 | 4.66 | 4.20 | 5.38 | 6.63 | 9.71 | 4.60 | 4.97 | 7.76 |
| CX0_1 | CX1_2 | CX2_3 | CX3_14 | CX4_3 | | CX6_7 | CX7_10 | CX8_7 | CX9_8 | | CX11_10 | CX12_5 |
| 3.90 | 4.22 | 3.66 | 4.00 | 3.43 | | 2.57 | 3.27 | 4.34 | 2.70 | | 2.77 | 8.75 |
| | | | | CX4_5 | | CX6_11 | | | CX9_10 | | | CX12_11 |
| | | | | 5.09 | | 2.54 | | | 2.95 | | | 5.37 |
| | | | | | | | | | | | | CX12_13 |
| | | | | | | | | | | | | 8.15 |

MAINTENANCE **ibmqx2**



Date Calibration
 2017-08-25 13:40:45
Fridge Temperature
 0.0149251 K



20 Qubits

En Noviembre 2017 IBM Anunció un procesador de 20 qubits

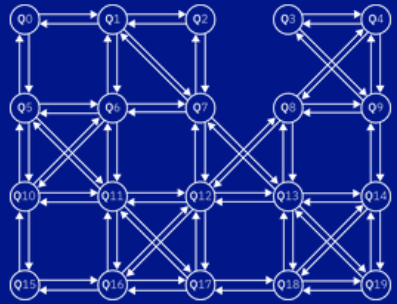


- Disponible a finales de 2017 y orientado a uso empresarial
- Mejores tiempos de coherencia. Se llega a una media de 90ms.
- Es un punto de partida para comenzar a trabajar con programas realmente útiles.

Procesador Cuantico de 20 Qubits

- 20 Qubits de propósito empresarial y programable con QASM y Python
- Qubits más optimizados e interconectados
 - Mejores tiempos de coherencia

Backend: QS1_1 (20 Qubits) ACTIVE AVAILABLE TO HUBS, PARTNERS, AND MEMBERS OF THE IBM Q NETWORK



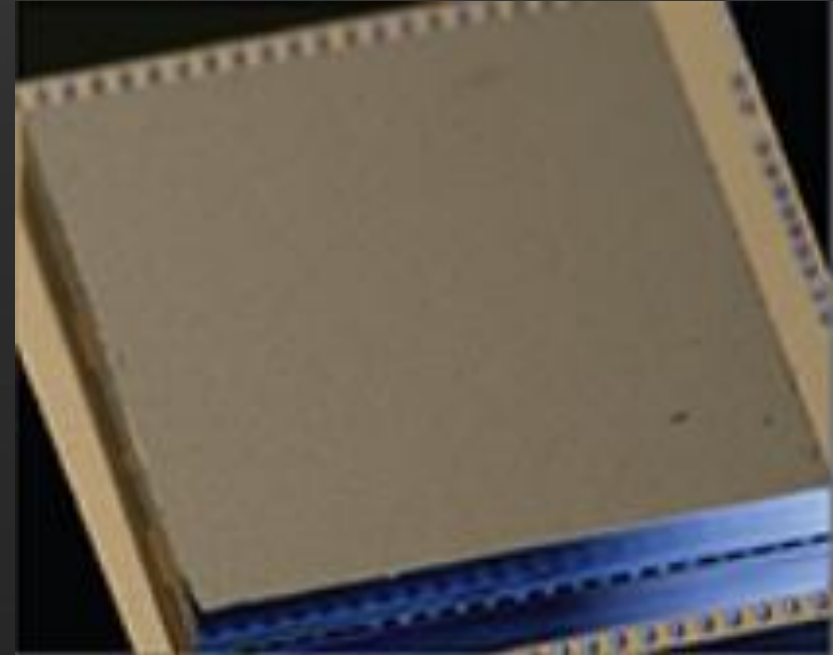
| | Q0 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | Q11 | Q12 | Q13 | Q14 | Q15 | Q16 | Q17 | Q18 | Q19 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Frequency (GHz) | 4.84 | 4.48 | 4.88 | 5.03 | 5.01 | 4.91 | 4.89 | 4.50 | 4.80 | 5.05 | 4.99 | 5.06 | 4.86 | 4.36 | 4.45 | 4.41 | 4.90 | 4.97 | 4.94 | 4.85 |
| T1 (µs) | 71.94 | 78.41 | 62.65 | 57.68 | 47.50 | 58.22 | 72.70 | 173.53 | 68.23 | 61.05 | 84.10 | 55.20 | 85.81 | 98.52 | 108.49 | 82.75 | 87.30 | 64.71 | 80.82 | 101.41 |
| T2 (µs) | 18.27 | 15.63 | 22.23 | 29.33 | 45.38 | 39.44 | 38.11 | 60.35 | 36.62 | 39.80 | 15.60 | 37.48 | 46.19 | 94.16 | 34.38 | 61.09 | 41.38 | 40.24 | 42.42 | 68.43 |
| Gate error (10⁻³) | 17.06 | 30.68 | 7.97 | 12.43 | 3.52 | 2.48 | 6.59 | 1.68 | 1.05 | 3.75 | 1.02 | 1.99 | 1.32 | 1.09 | 3.21 | 0.77 | 1.68 | 2.01 | 2.47 | 1.54 |
| Readout error (10⁻³) | 6.45 | 27.35 | 10.40 | 21.75 | 8.75 | 13.35 | 20.15 | 30.95 | 17.75 | 18.60 | 13.70 | 14.85 | 7.60 | 6.55 | 23.60 | 14.40 | 18.15 | 14.15 | 22.20 | 10.25 |
| MultiQubit gate error (10⁻³) | CX0_1 | CX1_0 | CX2_1 | CX3_4 | CX4_3 | CX5_0 | CX6_1 | CX7_1 | CX8_4 | CX9_3 | CX10_5 | CX11_6 | CX12_7 | CX13_7 | CX14_13 | CX15_10 | CX16_15 | CX17_12 | CX18_13 | CX19_13 |
| | 4.04 | 4.04 | 5.82 | 3.45 | 3.45 | 13.93 | 3.47 | 7.32 | 3.79 | 6.28 | 4.69 | 5.77 | 1.93 | 5.27 | 5.68 | 1.61 | 1.59 | 1.93 | 4.75 | 6.20 |
| | CX0_5 | CX1_2 | CX2_7 | CX3_9 | CX4_8 | CX5_6 | CX6_5 | CX7_2 | CX8_9 | CX9_4 | CX10_6 | CX11_10 | CX12_8 | CX13_8 | CX14_9 | CX15_16 | CX16_11 | CX17_16 | CX18_14 | CX19_14 |
| | 13.93 | 5.82 | 5.86 | 6.28 | 3.79 | 3.70 | 3.70 | 5.86 | 6.33 | 3.60 | 4.65 | 1.13 | 2.63 | 17.72 | 5.30 | 1.59 | 2.63 | 2.00 | 2.91 | 2.31 |
| | | CX1_6 | | | CX4_9 | CX5_10 | CX6_11 | CX7_6 | CX8_12 | CX9_8 | CX10_11 | CX11_5 | CX12_11 | CX13_12 | CX14_18 | | CX16_12 | CX17_11 | CX18_17 | CX19_18 |
| | | 3.47 | | | 3.60 | 4.69 | 5.77 | 5.87 | 2.63 | 6.33 | 1.13 | 1.55 | 2.41 | 3.89 | 2.91 | | 2.03 | 1.46 | 1.70 | 1.43 |
| | | CX1_7 | | | | CX5_11 | CX6_7 | CX7_13 | CX8_13 | CX9_14 | CX10_15 | CX11_12 | CX12_17 | CX13_14 | CX14_19 | | CX16_17 | CX17_18 | CX18_19 | |
| | | 7.32 | | | | 1.55 | 5.87 | 5.27 | 17.72 | 5.30 | 1.61 | 2.41 | 1.93 | 5.68 | 2.31 | | 2.00 | 1.70 | 1.43 | |
| | | | | | | | CX6_10 | CX7_12 | | | | CX11_16 | CX12_13 | CX13_18 | | | | | | |
| | | | | | | | 4.65 | 1.93 | | | | 2.63 | 3.89 | 4.75 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | CX11_17 | CX12_16 | CX13_19 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1.46 | 2.03 | 6.20 | | | | | | |

Date Calibration: 2017-12-13 16:58:26

Prototipos de 50 Qubits

IBM tiene un prototipo de 50 qubits

- IBM ha construido y probado un prototipo de 50 qubits
- No disponible al público todavía
- IBM alcanzaría el umbral que computación de los ordenadores clásicos (Quantum Advantage)
- Con este procesador ya se podrán llevar a cabo tareas de alto valor científico y empresarial.



La Línea de procesadores IBM Q

IBM Q es la nueva línea de computadores cuánticos de IBM



IBM está trabajando en la construcción de procesadores cuánticos de propósito empresarial y pretende ofrecer servicios de Computación Cuántica en el Cloud.

El Volumen Cuántico

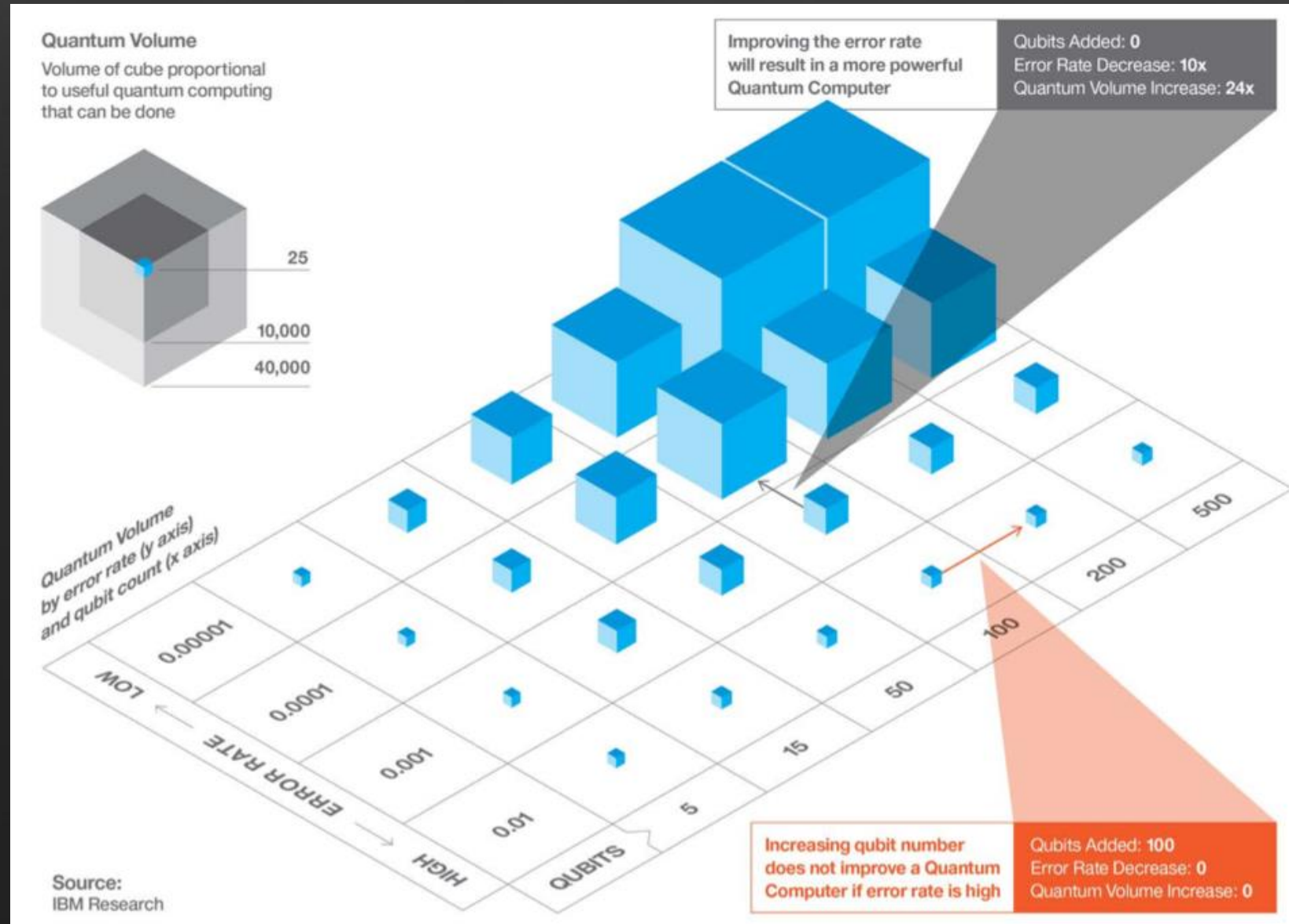
Está basado en:

Numero de qubits (más es mejor)

Errores (menos es mejor)

Conectividad (más es mejor)

Conjunto de Puertas (más es mejor)



Donde estamos?

Quantum Science

Fundamentos de la Ciencia y la Información Cuántica

Creación y escalado de qubits incrementando su coherencia

Creación de técnicas de corrección de errores y esquemas de mitigación

Quantum Ready

Desarrollo de algoritmos core

Estandarización de las pruebas de rendimiento

Mejora del Volumen Cuántico

Infraestructura de sistemas y habilitación de software

Quantum Advantage

Demostrar una ventaja en el uso de QC para tratar problemas de interés real

Obtención de valor comercial

Potenciar el descubrimiento Científico

Lanzamiento de **IBM Q Experience**

2016

2020

1900 ...

Construyendo el Entorno de Trabajo

C++, Java, Python, Ruby,
JavaScript, Perl, Haskel

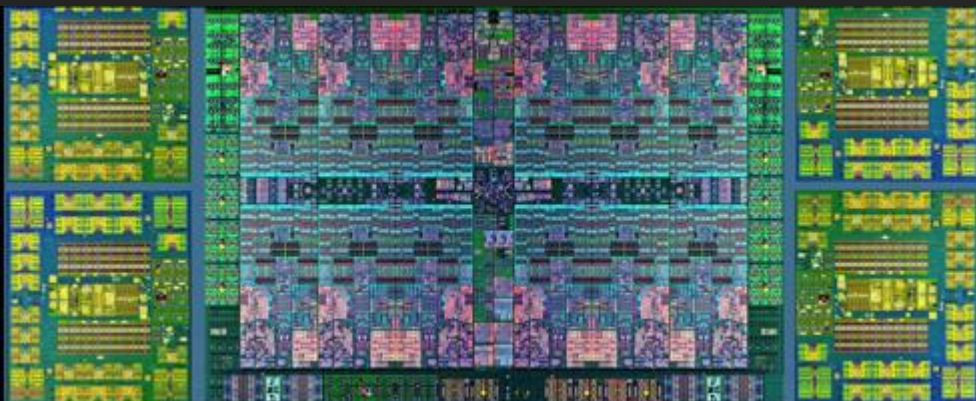
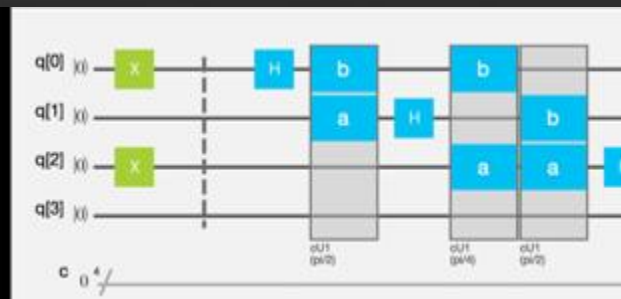


HIGH LEVEL
PROGRAMMING
LANGUAGE

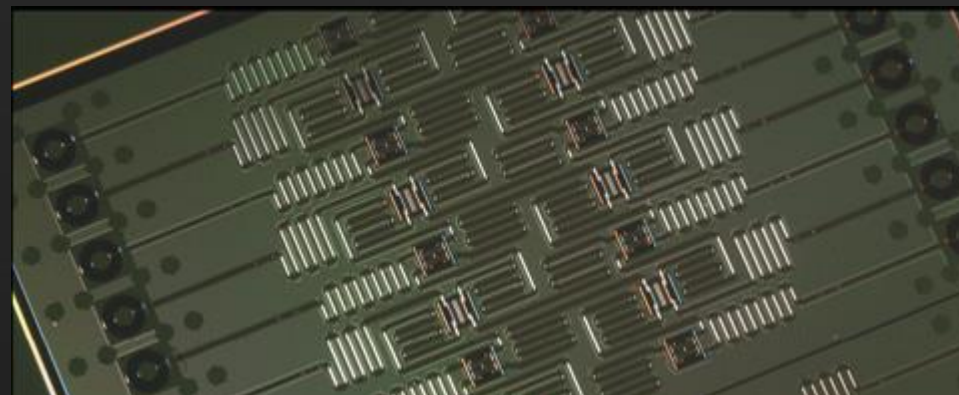
```
449a: ff40 4e00 0400 mov.b    #0x4e, 0x4(r15)
44a0: ff40 2f00 0500 mov.b    #0x2f, 0x5(r15)
44a6: ff40 2900 0600 mov.b    #0x29, 0x6(r15)
44ac: cf43 0700      mov.b    #0x0, 0x7(r15)
44b0: 3041          ret
44b2 <get_password>
44b2: 3e40 6400      mov     #0x64, r14
44b6: b012 8445      call   #0x4584 <getsn>
44ba: 3041          ret
```

LOW LEVEL
PROGRAMMING
LANGUAGE

```
IBMQASM 2.0;
include "qelib1.inc";
qreg q[4];
creg c[4];
x q[0];
x q[2];
barrier q;
h q[0];
cu1(pi/2) q[1],q[0];
h q[1];
cu1(pi/4) q[2],q[0];
```



HARDWARE

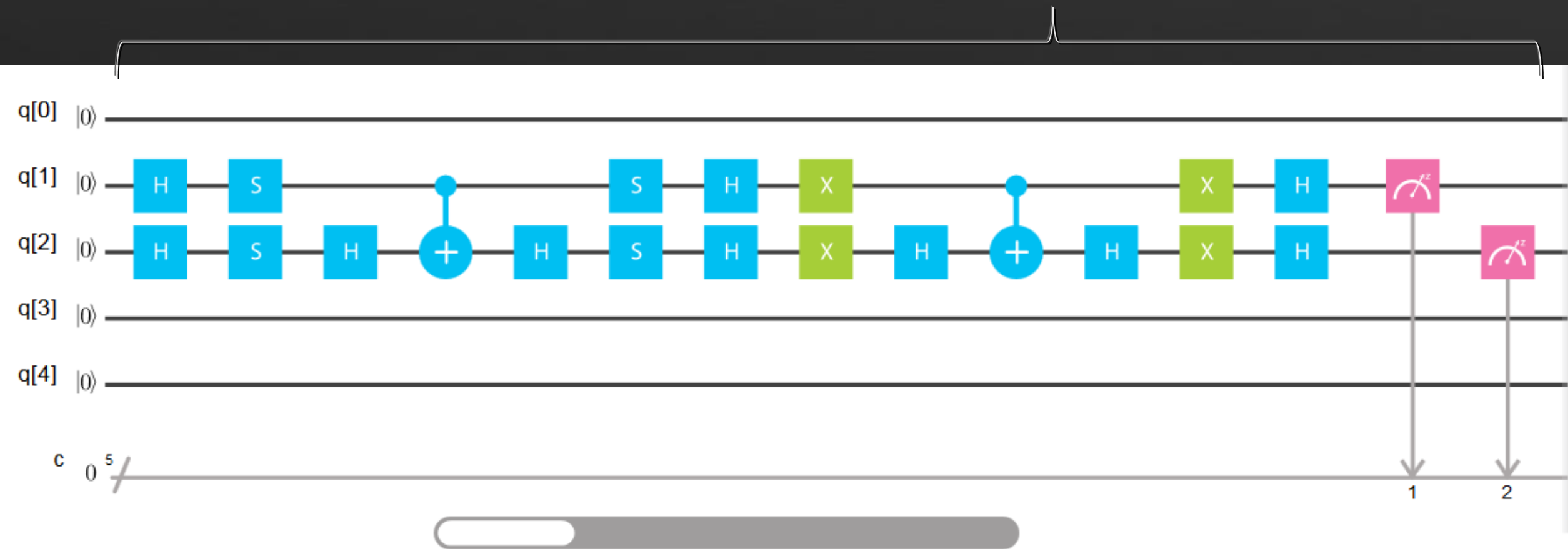


El Modelo de Circuitos

Tiempos ejecución puertas
cuánticas simples ~ 25 ns

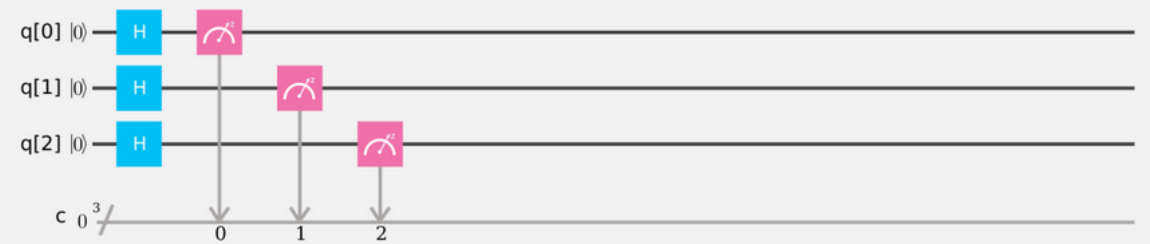
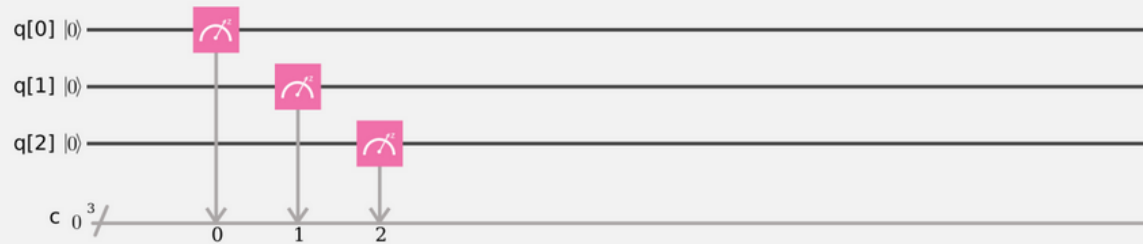
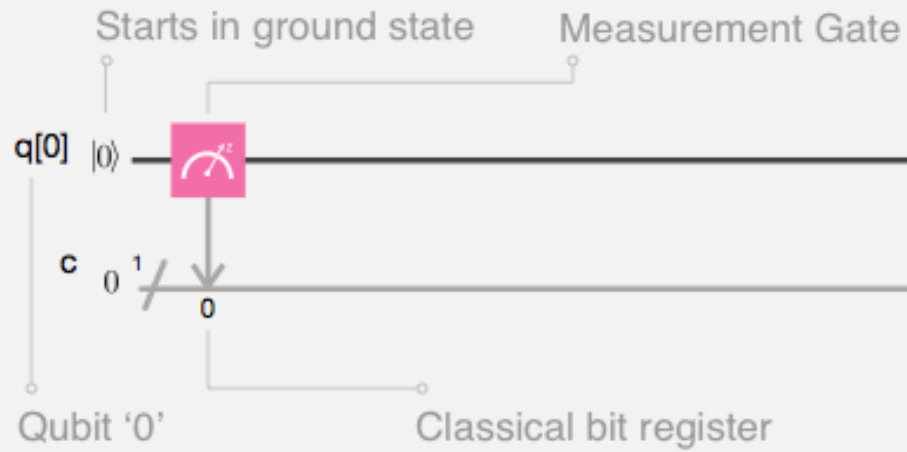
Tiempos ejecución puertas
cuánticas dobles ~ 100 ns

Tiempos aprox. de
Coherencia: 100 ms



IBM Quantum Experience

El Modelo de Circuitos



Puertas Cuánticas

Similitud con Puertas Lógicas

- Un circuito cuántico básico trabaja con dos o más qubits
- Equivalente a las puertas lógicas de los circuitos digitales

1. Las puertas cuánticas son reversibles
2. Matemáticamente se representan por matrices unitarias
3. Los qubits sobre los que actúan deben mantener su identidad cuántica.

$$\text{H} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Puerta Hadamard

$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Puerta C-NOT

Puertas Cuánticas de 1 Qubit

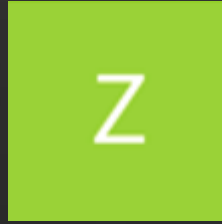
Puerta NOT



Transforma el estado $|0\rangle$ en el estado $|1\rangle$ y viceversa. Rotación de π radianes alrededor del eje X

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

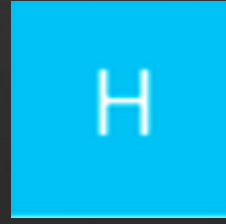
Puerta Z



Deja inalterado el estado $|0\rangle$ y cambia el estado $|1\rangle$ a $-|1\rangle$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

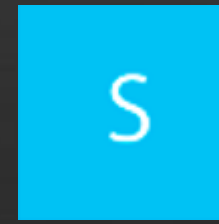
Puerta H



Transforma cualquiera de los estados base en una combinación de ambos. Rotación de $\pi/2$ radianes alrededor del eje X y del eje Z

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

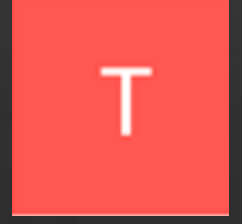
Puerta fase



Realiza una rotación de $\pi/2$ radianes alrededor del eje Z

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$$

Puerta $\pi/4$



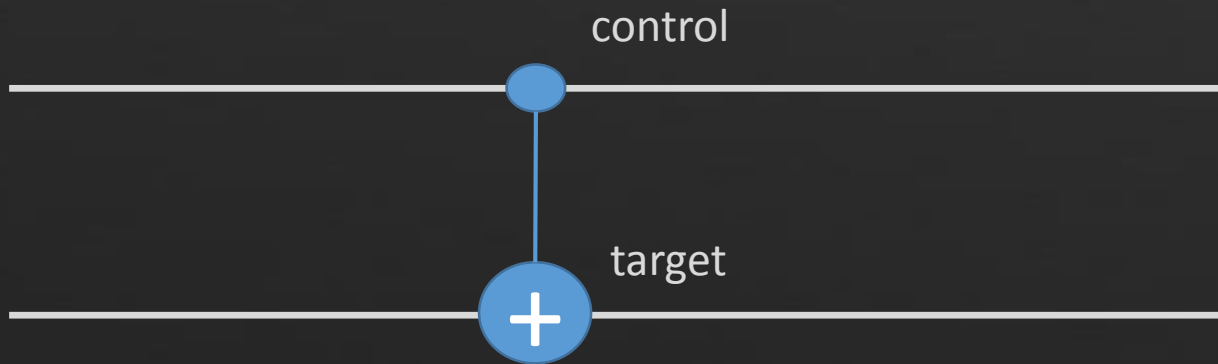
Realiza una rotación de $\pi/4$ radianes alrededor del eje Z

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{pmatrix}$$

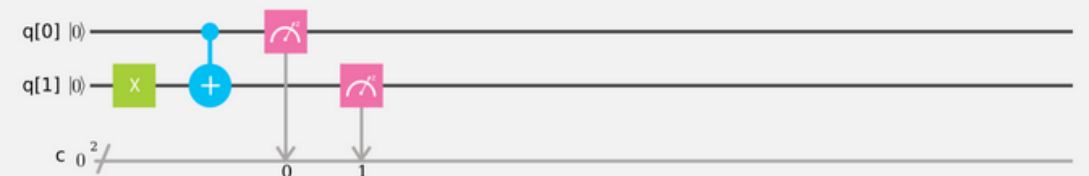
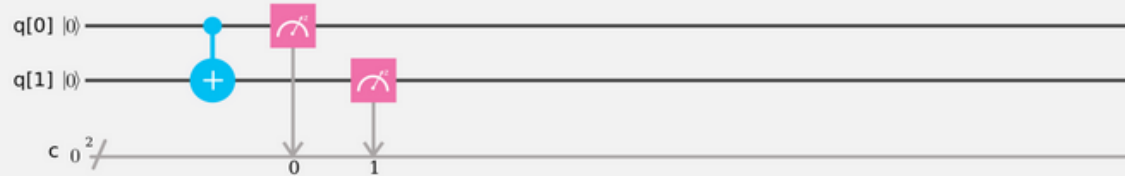
Puertas Cuánticas de 2 Qubits

La puerta CNOT

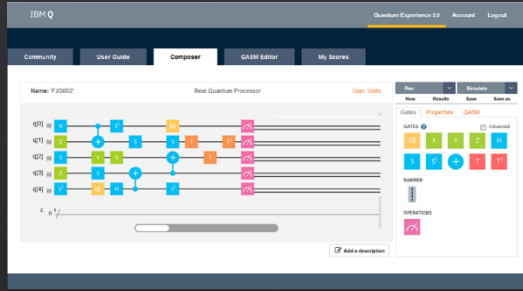
Cambia el estado del qubit objetivo (target), en función del estado del qubit de control



| | | | |
|-------|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| <hr/> | | | |
| 0 | 1 | 1 | 0 |



Herramientas de Programación



IBM Quantum Experience

Interfaz Visual, Drag&Drop para 5 qubits

```
1 include "qelib1.inc";
2 qreg q[7];
3 creg c[4];
4
5 h q[0];
6 cx q[0],q[1];
7 x q[1];
8 cx q[1],q[2];
9 x q[1];
10 h q[0];
11 h q[3];
12 cx q[1],q[3];
13 tdg q[3];
```

QISKit OpenQASM

Lenguaje ensamblador para la representación de Circuitos Cuánticos



QISKit SDK & API

API de Python para la programación de circuitos cuánticos

IBM Quantum Experience

<https://quantumexperience.ng.bluemix.net/qx>

IBM Q experience

Learn

Experiment

GitHub

unknown

Composer

Library

Community

Sign up

Enter your email

First Name

Last Name

Enter your institution

Password

Between 8 and 16 characters (Alphanumerics and !@#%&/0{}[]=?+*^~-.:;_)

IBM Quantum Experience: Programación Gráfica

IBM QX Composer → valid for 5 qubits processor

The screenshot displays the IBM Quantum Experience Composer interface. At the top, there are three tabs: "Composer", "Library", and "Community". Below the tabs, the "Composer" tab is active, showing a workspace with a circuit diagram on the left and a gate library on the right.

The circuit diagram shows five qubits, labeled q[0] through q[4], each starting in the $|0\rangle$ state. A classical control line labeled 'c' is shown at the bottom, with a measurement symbol $\frac{\bullet}{/}$ on q[0]. A progress bar is visible at the bottom of the workspace.

The gate library on the right includes the following categories:

- GATES** (with a help icon and an "Advanced" checkbox):
 - id (orange)
 - X (green)
 - Y (green)
 - Z (green)
 - H (blue)
 - S (blue)
 - S† (blue)
 - + (blue circle)
 - T (red)
 - T† (red)
- BARRIER**: A vertical dashed line icon.
- OPERATIONS**: A pink icon representing a measurement or readout operation.

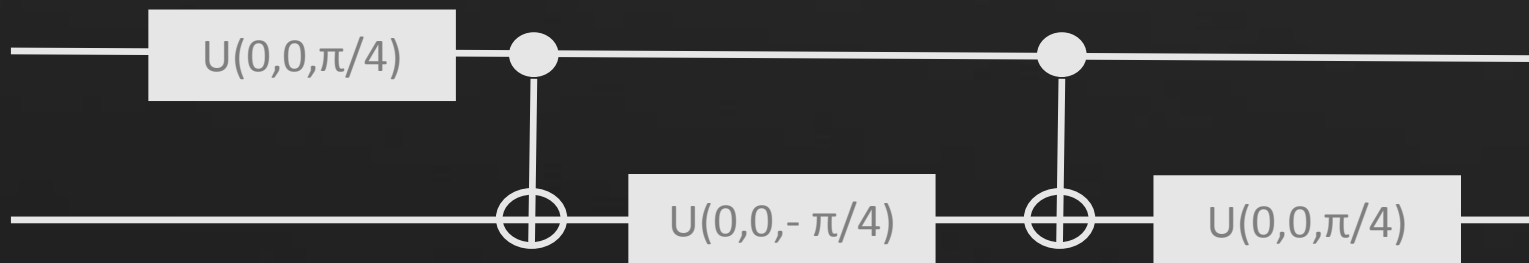
At the top right of the workspace, there are buttons for "Run" and "Simulate", and a dropdown menu currently set to "Simulate". Below these are tabs for "Gates", "Properties", "QASM", and "My Units".

At the bottom left, there is a link: </> Switch to Qasm Editor.

QISKit OpenQASM

¿ Que es OpenQASM ?

- Lenguaje para la codificación de Circuitos Cuánticos.
- Agnostico en cuanto al Hardware
- OPENQASM, o “Quantum Assembly Language,” es una representación textual simple que describe circuitos cuánticos genéricos.
- Se pueden submitir jobs OpenQASM en batch via HTTP API/PYTHON wrapper..



```
// quantum Fourier
transform
IBMQASM 2.0;
include "qelib1.inc";
qreg q[4];
creg c[4];
x q[0];
x q[2];
barrier q;
h q[0];
cu1(pi/2) q[1],q[0];
h q[1];
cu1(pi/4) q[2],q[0];
cu1(pi/2) q[2],q[1];
h q[2];
cu1(pi/8) q[3],q[0];
cu1(pi/4) q[3],q[1];
cu1(pi/2) q[3],q[2];
h q[3];
measure q -> c;
```


QISKit OpenQASM

Sentencias del Lenguaje

```
IBMQASM 2.0;  
qreg name[size];  
creg name[size];  
include "filename";  
gate name(params) qargs { body }  
opaque name(params) qargs;  
U(theta,phi,lambda) qubit|qreg;  
CX qubit|qreg,qubit|qreg;  
measure qubit|qreg -> bit|creg;  
reset qubit|qreg;  
gatename(params) qargs;  
if(creg==int) qop;  
barrier qargs;
```

QISKit Python API

¿Que es QISKit Python API?

- Acceso a IBM Quantum Experience utilizando una interface Python.
- Esta interfaz permite trabajar con circuitos cuánticos y ejecutar varios de ellos de forma eficiente.



QISKit API

Interface to a cloud-enabled quantum computing platform

QISKit Python API

Elementos básicos de un programa cuántico utilizando la API de Python

Quantum Program

```
QuantumProgram()
```

Circuit

```
.create_circuit()
```

Quantum Register

```
.create_quantum_registers()
```

Classical Register

```
.create_classical_registers()
```

QISKit Python API

Circuit

- Primero, instanciar la clase y crear el registro

```
circuit = Q_program.get_circuit("Circuit")
```

Tipos de registro

■ Quantum Registers

```
q2 = Q_program.create_quantum_register("q2", 2)
```

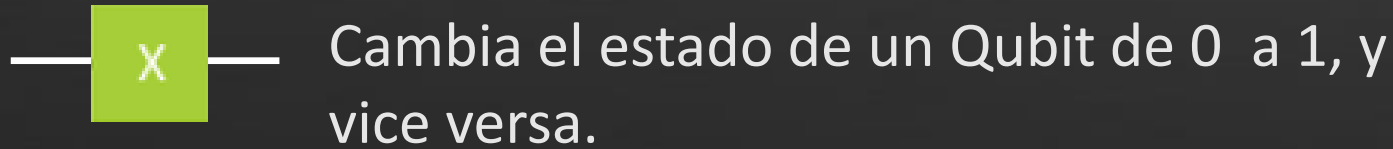
■ Classical Registers

```
c2 = Q_program.create_classical_register("c2", 2)
```

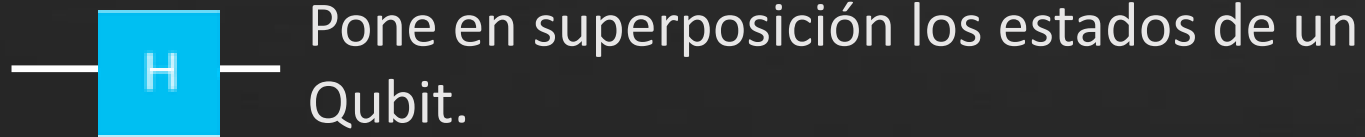
```
# Creating registers  
q2 = Q_program.create_quantum_registers("q2", 2)  
c2 = Q_program.create_classical_registers("c2", 2)
```

Ejemplo: Entrelazamiento y estados de Bell

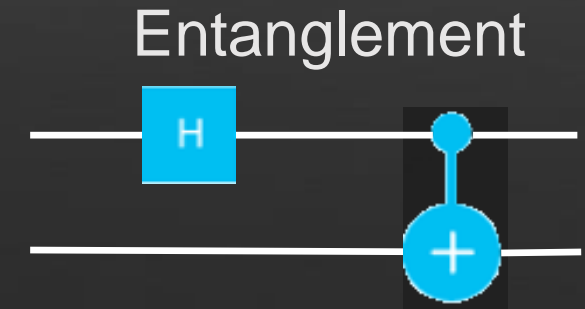
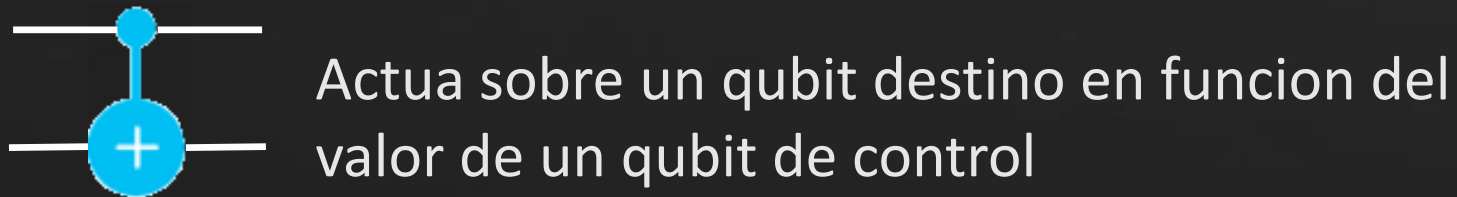
X-Gate



Hadamard Gate



Controlled Not Gate



La puerta H gate pone el primer qubit en superposición. La puerta CNOT “actua y no actua” sobre el segundo Qubit.

Si los Qubits se inicializan a 0, cuando se midan darán 11 o 00, **pero nunca 10 o 01.**

Ejemplo: Entrelazamiento y estados de Bell

Ejemplo.

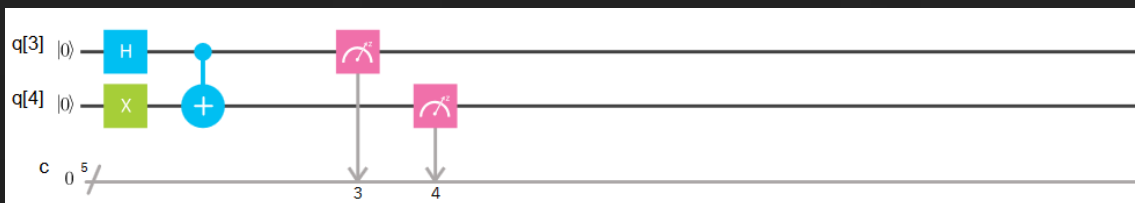
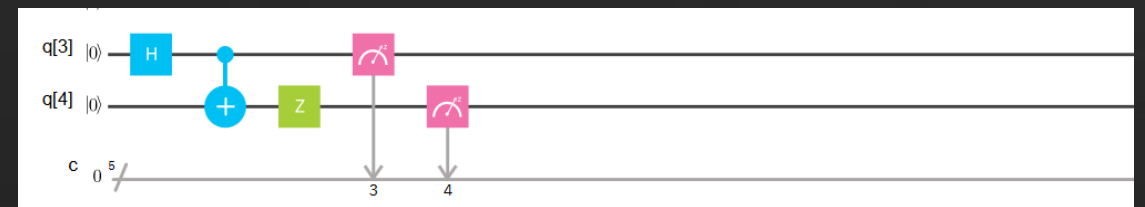
Generar los estados de la base de Bell

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle - |11\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle - |10\rangle)$$





Gracias