

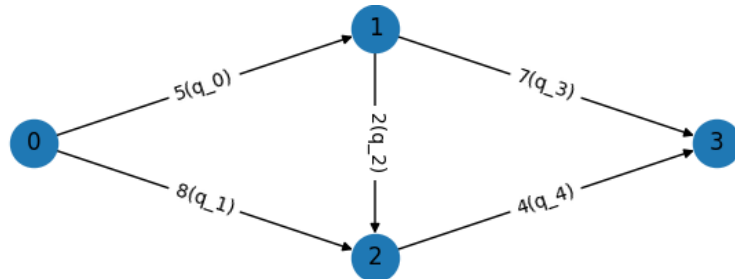
# Resultados

## Contents

### 1 Notación

**fun** = Mínimo local hallado de la función *execute\_circuit* con el optimizador  
**p** = Número de capas (a mayor número el circuito es más profundo)  
**theta** = Lista de parámetros  $[\beta_1, \dots, \beta_p, \gamma_1, \dots, \gamma_p]$  del circuito cuántico  
**num iterations** = Número de iteraciones del compilador necesarias para hallar el mínimo  
**seed\_simulator** = Semilla utilizada en la ejecución del circuito para fijar la aleatoriedad en *backend.run()*  
**X<sub>ij</sub>** = Se refiere a la arista **i** -> **j**. 1 Si dicha arista es parte del camino resultante, 0 en otro caso  
**q<sub>n</sub>** = Qubit enésimo  
 $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$

## 2 Primer grafo



## 2.1 Aer - Versión del paper (primer\_grafo/aer-qaoa.ipynb)

Pruebas realizadas sobre la versión del código sin la restricción

$$\mathbf{X}_{13} + \mathbf{X}_{23} = \mathbf{1}$$

Versión equivalente a la de [Multi-Objective Routing Optimization for 6G Communication Networks Using a Quantum Approximate Optimization Algorithm-sensors-22-07570-v2]

- **Estadísticas:**

Realizando la ejecución 1000 veces se han obtenido como caminos resultantes los siguientes:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	$X_{01}X_{12}X_{23}$	917
10110	$X_{02}X_{12}X_{23}$	82
01001	$X_{01}X_{13}$	1

### 2.1.1 Caso correcto

fun	theta	num iterations	seed_simulator
29.63	[0.7739, 0.9302]	29	10

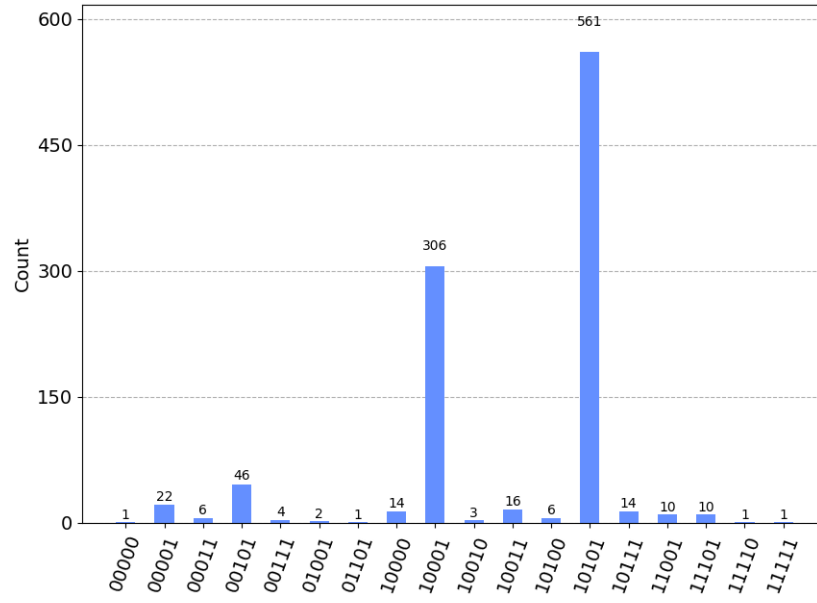


Figure 1: seed\_simulator=10

Mejor resultado: 10101 ( $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$ )  
 Camino:  $X_{01}X_{12}X_{23}$  (Camino óptimo)

### 2.1.2 Caso erróneo

fun	theta	num iterations	seed_simulator
52.79	[0.6320 0.7177]	35	21

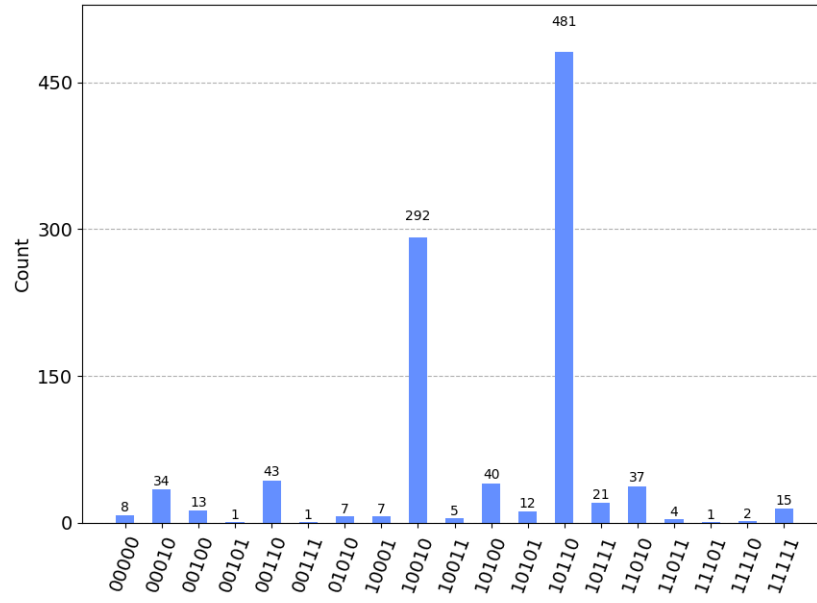


Figure 2: seed\_simulator=21

Mejor resultado: 10110 ( $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$ )

Camino:  $X_{02}X_{12}X_{23}$  (Camino incorrecto. Rompe 2 restricciones)

Restricciones rotas:

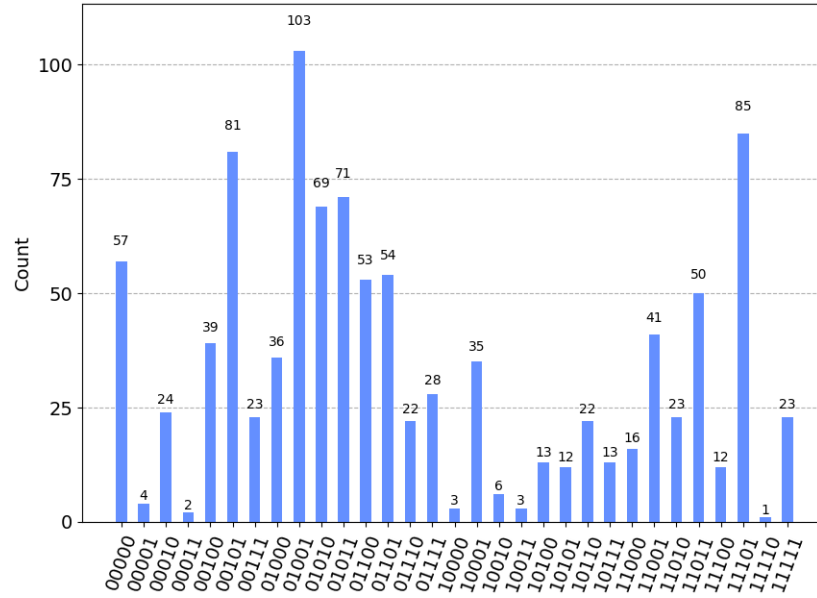
$$X_{02} + X_{12} = X_{23}$$

$$X_{01} = X_{12} + X_{13}$$

### 2.1.3 Caso subóptimo

Obtenido a mano (no se ha encontrado ninguna semilla que diese este resultado)

fun	theta
67.33	[-0.4811, 1.566]

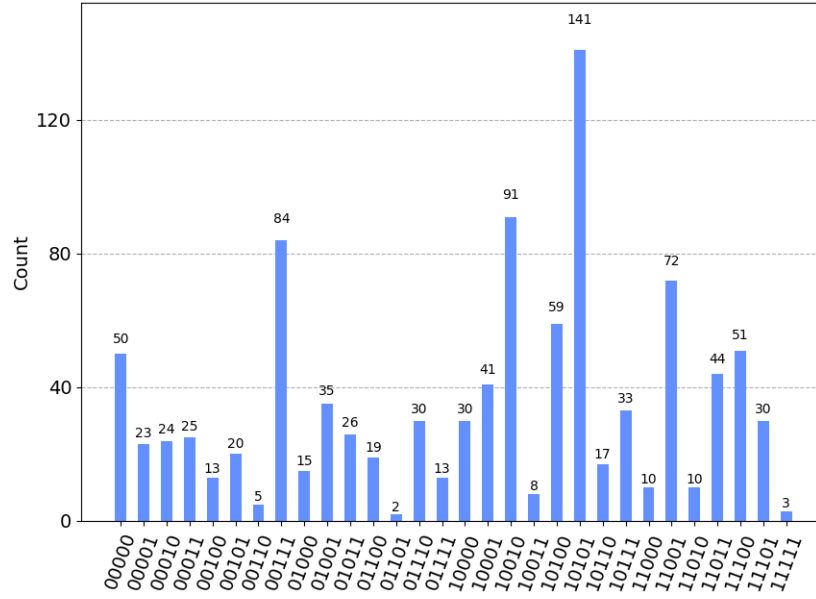


Mejor resultado: 01001 ( $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$ )

Camino:  $X_{01}X_{13}$  (Camino subóptimo, pero no se rompe ninguna restricción)

#### 2.1.4 Utilizando el parámetro theta obtenido en el artículo

fun	theta
65.40	[0.28517317, -5.05969577]



Mejor resultado: 10101 ( $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$ )

Camino:  $X_{01}X_{12}X_{23}$  (Camino óptimo)

La gráfica resultante es muy similar a la versión que se intenta replicar. **fun** tiene resultados muy altos, entre 65 y 70 (en comparación con la versión del código con la restricción extra).

### 2.1.5 $R_z(*2)$ , $R_{zz}(*2)$ , $R_x(*2)$

```
circuit.rz(coef * 2, q_idx)
circuit.rzz(coef * gamma[p] * 2, q_idx[0], q_idx[1])
circuit.rx(beta[p] * 4, q_idx)
```

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
11010	$X_{02}X_{13}X_{23}$	845
11001		88
01010		5
11011		14
00101		21
00010		1
10110		14
10101		3
01001		5
10010		2
00110		2

### 2.1.6 $\text{coef} = 2$

```
circuit.rz(2 * coef, q_idx)
circuit.rzz(2 * coef * gamma[p], q_idx[0], q_idx[1])
circuit.rx(beta[p] * 2, q_idx)
```

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
11010	$X_{02}X_{13}X_{23}$	966
11101		2
00101		18
01010		8
11001		3
00110		1
10110		2

Da un mismo error un porcentaje de veces muy alto. Error muy fiable.

### 2.1.7 $\text{Coef} \neq 2$

```
circuit.rz(1/2 * coef, q_idx)
circuit.rzz(1/2 * coef * gamma[p], q_idx[0], q_idx[1])
circuit.rx(beta[p] * 2, q_idx)
```

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
00000		1000



### 2.1.8 $\beta \neq 2$

```
circuit.rz(coef, q_idx)
circuit.rzz(coef * gamma[p], q_idx[0], q_idx[1])
circuit.rx(beta[p], q_idx)
```

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	<u>Óptimo</u>	986
10110		14

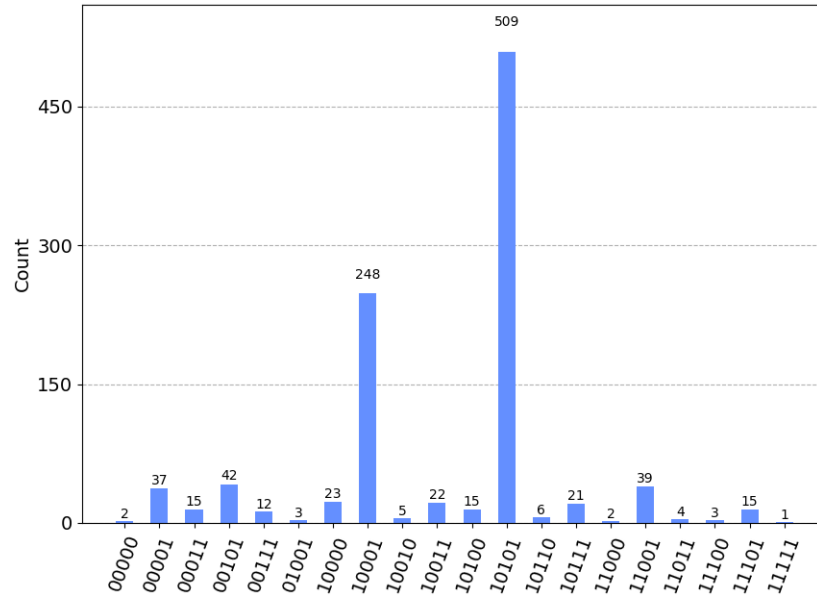


Figure 3: Mejor resultado

### 2.1.9 $\gamma \neq 2$

```
circuit.rz(coef, q_idx)
circuit.rzz(coef * gamma[p] / 2, q_idxs[0], q_idxs[1])
circuit.rx(beta[p] * 2, q_idx)
```

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	<u>Óptimo</u>	1000

### 2.1.10 $\beta \neq 2, \gamma \neq 2$

```
circuit.rz(coef, q_idx)
circuit.rzz(coef * gamma[p] / 2, q_idx[0], q_idx[1])
circuit.rx(beta[p], q_idx)
```

- num layers = 1:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	<u>Óptimo</u>	1000

- num layers = 2:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101		960
10001		28
11001		12

- num layers = 3:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101		565
10001		111
11101		87
...		...

**2.1.11  $\beta_0 = 0.5, \gamma_0 = 0.5$**

- num layers = 1:

<b>Qubits</b>	<b>Camino</b>	<b>Frecuencia (1000)</b>
10101		1000

- num layers = 2:

<b>Qubits</b>	<b>Camino</b>	<b>Frecuencia (1000)</b>
10101		992
11001		8

- num layers = 3:

<b>Qubits</b>	<b>Camino</b>	<b>Frecuencia (1000)</b>
10101		469
11101		198
11011		88
...		...

### 2.1.12 Original pero variar num layers

- num layers = 1: (Igual que ??)

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101		913
10110		86
01001		1

- num layers = 2:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
--------	--------	-------------------

- num layers = 3:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
--------	--------	-------------------

## 2.2 Aer simulator con restricción extra (primer\_grafo/con\_restricc/aer-qaoa.ipynb)

Con respecto a la función de coste del paper se añade la restricción

$$\mathbf{X}_{13} + \mathbf{X}_{23} = 1$$

Esto sería, que el camino solo llegue al nodo final **3** por una de las aristas  $X_{i3}$  existentes.

- **Estadísticas:**

Realizando la ejecución 1000 veces se han obtenido como caminos resultantes los siguientes:

Qubits	Camino	Frecuencia (1000)
10101	$X_{01}X_{12}X_{23}$	938
11000	$X_{13}X_{23}$	37
10001	$X_{01}X_{23}$	9
00011	$X_{01}X_{02}$	11
00100	$X_{12}$	3
00010	$X_{02}$	1
11111	$X_{01}X_{02}X_{12}X_{13}X_{23}$	1

### 2.2.1 Caso correcto

fun	theta	num iterations	seed_simulator
42.29	[0.5081, 0.9401]	33	3

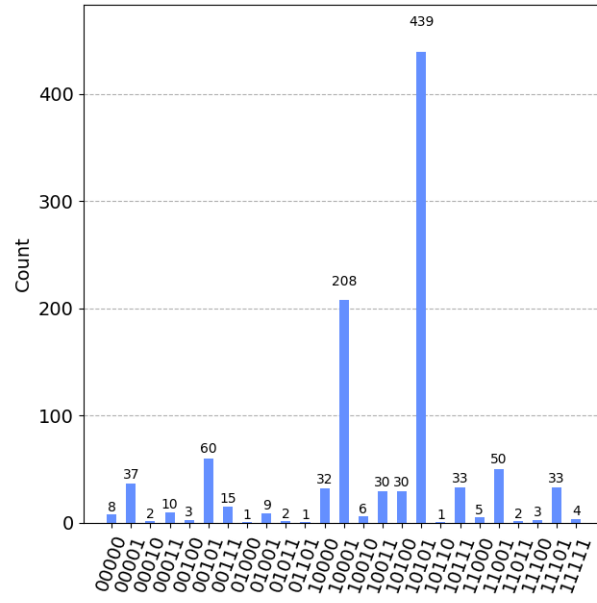


Figure 4: seed\_simulator=3

Mejor resultado: 10101 ( $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$ )  
Camino:  $X_{01}X_{12}X_{23}$  (Camino óptimo)

### 2.2.2 Caso "correcto" con ruido

fun	theta	num iterations	seed_simulator
90.75	[0.9962, 1.995]	27	2

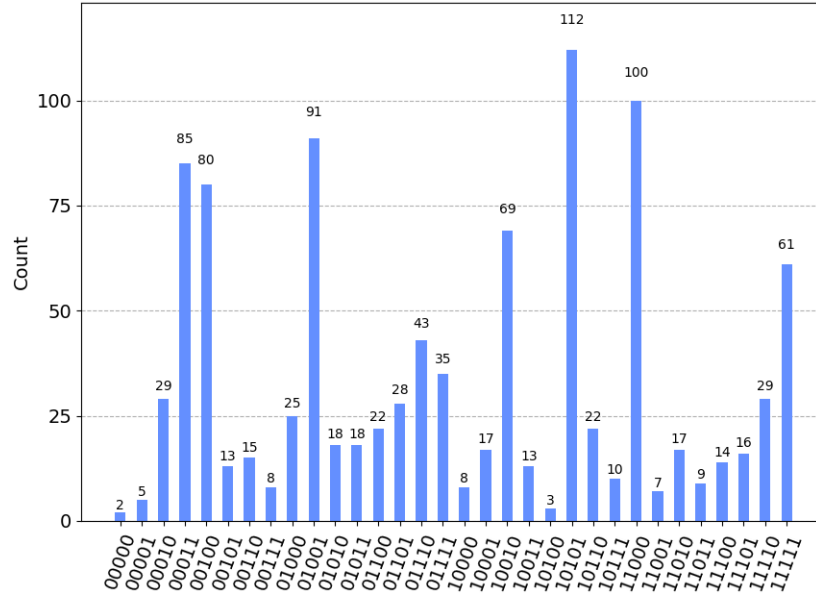


Figure 5: seed\_simulator=2

Mejor resultado: 10101 ( $q_4q_3q_2q_1q_0 = X_{23}X_{13}X_{12}X_{02}X_{01}$ )

Camino:  $X_{01}X_{12}X_{23}$  (Camino óptimo)

Aunque se obtenga el resultado óptimo (10101) existen otros resultados demasiado altos, e incluso ejecutando el circuito con el mismo **theta** se dan valores distintos. Podría afectar a los resultados de las estadísticas.

Además se ve que encuentra un valor **fun** demasiado alto (90.75)

## 2.3 Provider

- ibmq\_lima

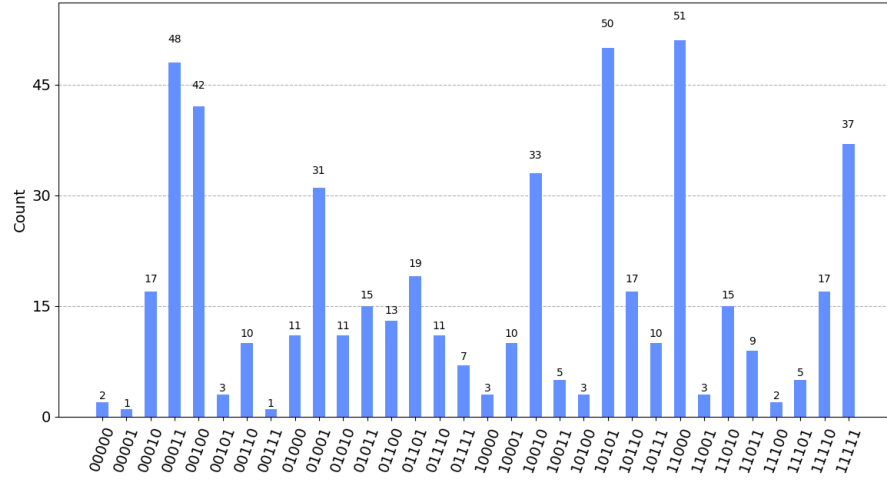


Figure 6: num iterations=2

Solo para comprobar que funciona la ejecución.