

# Notas

Oriol Julián

18 de julio de 2023

## Índice

<b>1. D-Wave</b>	<b>2</b>
1.1. Quantum Annealing . . . . .	2
<b>2. QAOA</b>	<b>3</b>
2.1. Construcción de $ \psi(\vec{\beta}, \vec{\gamma})\rangle$ . . . . .	3
<b>3. Apéndice</b>	<b>4</b>
3.1. Estado fundamental . . . . .	4

## 1. D-Wave

Estos sistemas utilizan Quantum Annealing, para encontrar el **estado fundamental 3.1 (ground state)** del sistema cuántico, que viene dado por su hamiltoniano. Este es el motivo de que no se trate como modelo de computación de propósito general, ya que D-Wave es una herramienta diseñada para resolver específicamente problemas de optimización.

### 1.1. Quantum Annealing

Según se discute en [2], el paradigma de Quantum Annealing está orientado a buscar el **estado fundamental** de un modelo Ising genérico, el cual es definido por su hamiltoniano. Esto puede aplicarse, convenientemente, para encontrar el mínimo de una función.

## 2. QAOA

Definido originalmente en [1]. Se trata de un algoritmo cuántico que aproxima soluciones óptimas a problemas de optimización combinatoria binaria.

La idea general de QAOA se basa en preparar un estado  $|\psi(\vec{\beta}, \vec{\gamma})\rangle$  tal que, con los valores adecuados  $(\vec{\beta}_{opt}, \vec{\gamma}_{opt})$ , el estado  $|\psi(\vec{\beta}_{opt}, \vec{\gamma}_{opt})\rangle$  encuentre la solución al problema.

Para esto se definen dos operadores unitarios, que describen el comportamiento del sistema:

$$\begin{aligned} U(B, \beta_i) &= e^{-i\beta_i B} \\ U(C, \gamma_j) &= e^{-i\gamma_j C} \end{aligned} \tag{1}$$

Donde, siguiendo la notación del paper original,  $B$  y  $C$  son dos operadores lineales nombrados **mixer hamiltonian** y **problem hamiltonian**, respectivamente.

La operación  $U(X) = e^{-iX}$  sirve para garantizar la unitariedad del operador ya que, como se verá en su definición,  $B$  y  $C$  no son necesariamente unitarios <sup>1</sup>.

Tanto la noción de hamiltoniano como la construcción de un operador unitario proceden de la ecuación de Schrödinger de la mecánica cuántica.

### 2.1. Construcción de $|\psi(\vec{\beta}, \vec{\gamma})\rangle$

Para preparar este estado se utilizan los parámetros

$$\begin{aligned} \vec{\beta} &= [\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}] \\ \vec{\gamma} &= [\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{p-1}] \end{aligned}$$

Donde  $\beta_i, \gamma_i \in \mathbb{R}$  y  $p$  es el número de capas del algoritmo.

A partir de estos parámetros y los operadores definidos en 1 se construye el estado.

$$|\psi(\vec{\beta}, \vec{\gamma})\rangle = U(B, \gamma_{p-1})U(C, \beta_{p-1})U(B, \gamma_{p-2})U(C, \beta_{p-2})\dots U(B, \gamma_0)U(C, \beta_0) |\psi_0\rangle$$

Donde  $|\psi_0\rangle$  es el estado inicial del sistema.

---

<sup>1</sup>En computación cuántica los operadores lineales deben ser unitarios. Tiene relación con la idea  $\sum_{i \in \{0,1\}^n} P(|i\rangle) = 1$ , donde  $n$  es el número de qubits del sistema,  $|i\rangle$  itera sobre los posibles resultados de medir en la base computacional del sistema y  $P(|i\rangle)$  se refiere a la probabilidad de medir  $i$  sobre dicha base.

### 3. Apéndice

#### 3.1. Estado fundamental

La energía de un sistema cuántico en el estado  $|\psi\rangle$  viene dada por

$$E(|\psi\rangle) = \langle\psi|H|\psi\rangle$$

Dada esta definición el estado fundamental se refiere al estado  $|\psi^*\rangle$  de menor energía del sistema.

$$|\psi^*\rangle = \min_{|\psi\rangle \in Q} E(|\psi\rangle)$$

### Referencias

- [1] E. Farhi, J. Goldstone, and S. Gutmann. A quantum approximate optimization algorithm, 2014.
- [2] A. Rajak, S. Suzuki, A. Dutta, and B. K. Chakrabarti. Quantum annealing: an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 381(2241), dec 2022.