

# Tarea 5 Tecnologías Cuánticas

Lukas Wolff, Patricio Palacios, Juan Artigas, Nicolas Mora, Antonia Dias, Benjamin Tapia

## 1. Scripts de Bob y Alice

Se han desarrollado dos scripts, `alice_choices.py` y `bob_choices.py`, que generan las elecciones de bases para Alice y Bob, respectivamente. Estos scripts seleccionan específicamente los ángulos necesarios para el test CHSH:  $0^\circ$  y  $45^\circ$  para Alice, y  $22,5^\circ$  y  $-22,5^\circ$  para Bob. Para asegurar la reproducibilidad de los resultados, se utilizan semillas distintas: 1001 para Alice y 2002 para Bob.

Los archivos funcionan de la siguiente manera:

## 2. Script del Árbitro

El árbitro ejecuta el script `referee_quantum.py`, que implementa el test de Bell usando el criterio CHSH (Clauser-Horne-Shimony-Holt). El proceso se desarrolla de la siguiente manera:

### 2.1. Generación de Resultados Cuánticos

Para cada par de mediciones con ángulos  $\theta_A$  (Alice) y  $\theta_B$  (Bob), el script simula un estado entrelazado Bell  $|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$  mediante la función `sample_joint()`, que:

1. Calcula la correlación teórica:  $E = \cos(2(\theta_A - \theta_B))$
2. Define las probabilidades cuánticas para los cuatro resultados posibles:

$$P(+1, +1) = P(-1, -1) = \frac{1 + E}{4} \quad (1)$$

$$P(+1, -1) = P(-1, +1) = \frac{1 - E}{4} \quad (2)$$

3. Muestrea aleatoriamente un resultado según estas probabilidades

### 2.2. Cálculo de Correlaciones

El script calcula cuatro correlaciones específicas  $E(a, b)$  para las combinaciones de bases del test CHSH:

- $E(a, b)$ : bases  $a = 0^\circ$  y  $b = 22,5^\circ$
- $E(a, b')$ : bases  $a = 0^\circ$  y  $b' = -22,5^\circ$
- $E(a', b)$ : bases  $a' = 45^\circ$  y  $b = 22,5^\circ$
- $E(a', b')$ : bases  $a' = 45^\circ$  y  $b' = -22,5^\circ$

Para cada combinación de bases, la correlación se calcula como:

$$E(a, b) = \langle A_k \cdot B_k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_k \cdot B_k$$

donde  $A_k$  y  $B_k$  son los resultados ( $\pm 1$ ) de Alice y Bob para el par  $k$ , y  $N$  es el número de mediciones para esa combinación específica de bases.

### 2.3. Parámetro CHSH

El parámetro CHSH se calcula como:

$$S = E(a, b) + E(a, b') + E(a', b) - E(a', b')$$

**Interpretación del parámetro CHSH:**

- $|S| \leq 2$ : Compatible con teorías de variables ocultas locales (límite clásico)
- $2 < |S| \leq 2\sqrt{2} \approx 2,828$ : Violación de desigualdades de Bell, evidencia de entrelazamiento cuántico
- $|S| > 2\sqrt{2}$ : Imposible según la mecánica cuántica (límite de Tsirelson)

## 3. Resultados

### 3.1. Bases Iniciales

Sobre las bases iniciales de Alice y Bob, se obtiene una correlacion de 2.77 lo que indica que se cumple el limite inferior de 2 y el superior de 2.828, lo que indica que tales bases se encuentran entrelazadas.

A continuacion se realizara el analisis sobre un conjunto de bases, donde se estudiara como se ven afectadas las correlaciones y el parametro CHSH.

## 4. Notas

Es importante notar que para todas las bases se mantuvieron las bases tanto para Alice y Bob, asi como, el numero de mediciones (1000).