**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE**

**SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**Facultad de Ciencias de la Tecnología**

**A logo of a city

AI-generated content may be incorrect.**

Redes Neuronales Cuánticas

**ESTUDIANTE:** Polo Orellana Brayan Simón

**CARRERA:** Ingeniería en Ciencias de la computación

**MATERIA:**  Inteligencia Artificial 2

**SIGLA:**  SIS-421

**QNNs**

[Introducción 3](#_Toc209159882)

[¿Dónde se usan las redes Neuronales Cuánticas? 3](#_Toc209159883)

[¿Qué son los Qubit? 3](#_Toc209159884)

[¿Qué es un bit? 3](#_Toc209159885)

[¿Qué son los Qubits? 4](#_Toc209159886)

[Estructura de las Redes Neuronales Cuánticas 5](#_Toc209159887)

[Modelo de Neurona Qubit 6](#_Toc209159888)

[Beneficios de usar redes neuronales multicapa 8](#_Toc209159889)

[Ejercicio explicativo 9](#_Toc209159890)

[Referencias 10](#_Toc209159891)

## **Introducción**

Una Red **Neuronal Cuántica** es un modelo computacional sofisticado que amalgama principios de la mecánica cuántica con redes neuronales, esto con el objetivo de aprovechar las propiedades únicas de los sistemas cuánticos para mejorar capacidades computacionales.

Las QNN son parte del dominio más amplio del aprendizaje automático cuántico, que tiene la finalidad de explotar la computación cuántica para realizar tareas que son inviables o ineficientes para las computadoras clásicas.

## **¿Dónde se usan las redes Neuronales Cuánticas?**

Las QNN son usadas en áreas como videojuegos, la aproximación de funciones y el procesamiento de Big data. Además, el algoritmo de Redes Neuronales cuánticas es útiles en el modelado de redes neuronales cuánticas y es crucial, ya que influye directamente en el rendimiento y estabilidad de la red.

## **¿Qué son los Qubit?**

La idea de las Redes Neuronales Cuánticas viene de reemplazar las neuronas binarias por **qubits** (también llamadas quron), esto genera el resultado en unidades neuronales que pueden estar en un estado de superposición (activa y en reposo a la vez).

Un qubit es la unidad básica de información utilizada para codificar datos de computación cuántica, dado que el termino es atribuido al físico teórico estadounidense **Benjamín Schumacher.**

### **¿Qué es un bit?**

Un bit es físicamente observable y pude guardar como tal en un dispositivo de almacenamiento digital, se trabaja con la dirección de magnetización u otras marcas binarias de esos núcleos. Estas asignaciones son apropiadas para construir un sistema de numeración binaria del almacenamiento porque permite utilizar dígitos binarios 0 y 1 para representar los datos, así llamado computación básica:

A diagram of a cylinder

AI-generated content may be incorrect.

### **¿Qué son los Qubits?**

Un qubit corresponde a un sistema físico que tiene dos **estados ortogonales,** el cual es denotado de acuerdo con la **Notación de Dirac o bra-ket** (usado para describir estados cuánticos) como: y .

Los estados del sistema, que denotamos como se denominan **kets,** es la **forma compacta de representar un estado cuántico** en un espacio vectorial.

A diagram of a mathematical equation

AI-generated content may be incorrect.

Estos estados no vacíos se tratan como vectores de base. Es decir, se aplica una correspondencia hacia una estructura algebraica de Espacio Vectorial.

Su estructura está dotada con una operación interna **Adición**, y una operación externa **Producto por un escalar**, definida sobre un cuerpo **K** (como los números Reales o los números Complejos).

Un qubit puede encontrase en una superposición de los estados y . Es decir, como una combinación lineal de los vectores de base, de la forma **.**

Dondees denominado amplitud de probabilidad, los cuales son números complejos que se utilizan para describir el comportamiento del sistema.

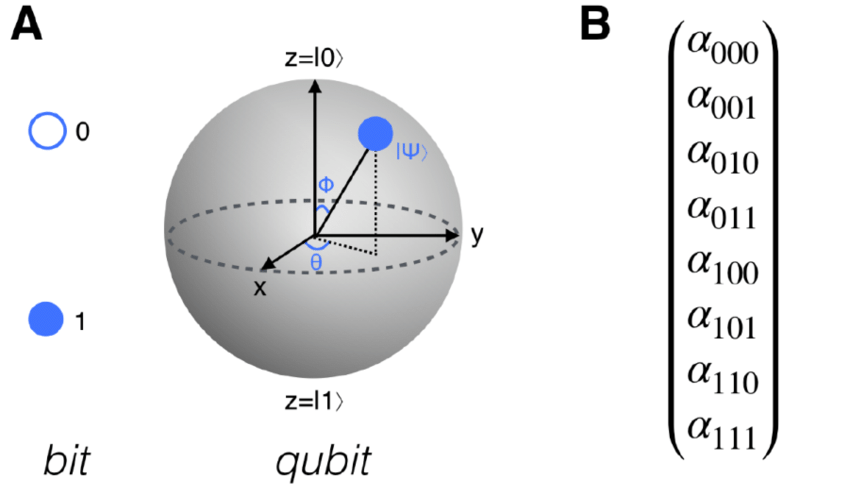
La suma del cuadrado de cada uno de esos módulos:

Representa una probabilidad o densidad de probabilidad. Es decir que estos coeficientes son de la forma:

Donde:

Esta propiedad permite que los qubits codifiquen más información que los bits clásicos.

**Ejemplo:**



Representación de 3 qubits con 8 amplitudes de probabilidad, donde la probabilidad total debe ser 100%:

## **Estructura de las Redes Neuronales Cuánticas**

Desde una perspectiva de machine learning las QNNs son, modelos algorítmicos que se pueden entrenar para encontrar patrones ocultos de manera similar que sus contrapartes clásicas.

* Cargar datos clásicos (features) en un estado cuántico
* Procesarlos con compuertas cuánticas parametrizadas por pesos entrenables

Desde la **perspectiva de la computación cuántica**, las QNNs son algoritmos cuánticos basados en circuitos cuánticos parametrizados que se pueden entrenar de forma variacional utilizando optimizadores clásicos.

Estos circuitos contienen un **mapa de características** (con parámetros de entrada) y un **ansatz** (con pesos entrenables):

A diagram of a data processing process

AI-generated content may be incorrect.

### **Modelo de Neurona Qubit**

El modelo de neurona Qubit se representa de la siguiente manera:

**A diagram of a mathematical system

AI-generated content may be incorrect.**

Teniendo el estado de un qubit como:

Donde mencionado antes α y β son números complejos llamados amplitud de probabilidades, que satisface la siguiente ecuación:

Reescribiendo el estado de la neurona como:

es otra forma de expresar el estado cuántico, es la fase que describe el estado cuántico.

La neurona Z representa el total de inputs de diferentes neuronas k de la siguiente manera:

***Para la ecuación 1):***

Aquí el modelo neuronal tiene los siguientes dos parámetros:

* El parámetro de fase de forma de conexiones ponderadas
* Los umbrales

representa los pesos correspondientes al estado de la neurona

convierte el valor del input en un estado cuántico cuyo valor de fase es

es el estado de la neurona k-esima.

Después de la multiplicación de pesos con el input , el estado de la neurona experimenta rotación según las puertas de rotación.

Esta ecuación 1) expresa el estado de una neurona de manera habitual, es decir, como la suma ponderada de los estados de las entradas menos un umbral.

***Para la ecuación 2):***

representa el argumento del número complejo , y este es implementado por *arctan(Im(u)/Re(u))*.

La función de activación es usada con el objetivo de obtener una representación inversa generalizada de una puerta lógica cuántica que funciona como una compuerta NOT en computación cuántica.

Además, puede compensar el efecto de pequeños cambios en los pesos en la salida de la red. Aquí, g se define como la función sigmoidea en los siguientes casos:

***Para la ecuación 3):***

El estado de la neurona Z es el estado de salida del modelo, y se obtiene mediante un cálculo ponderado de k estados neuronales diferentes.

## **Beneficios de usar redes neuronales multicapa**

Basándose en los principios de la computación cuántica **Noriaki Kouda, Nobuyuki Matsui y Haruhiko Nishimura,** propusieron una red neuronal de cúbits multicapa con neuronas de cúbits.

Exploraron su rendimiento en dos escenarios de aplicación adicionales:

* compresión de imágenes.
* reconocimiento de patrones.

Las redes neuronales de cúbits presentan una potencia de cálculo y capacidades de procesamiento paralelo superiores a las redes neuronales tradicionales, lo que permite un manejo más eficaz de datos de alta dimensión y modelos complejos.

Además, las redes neuronales de cúbits ofrecen mayor protección de la privacidad y mayor seguridad, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en comunicaciones seguras y cifrado de datos.

## **Ejercicio explicativo**

Para este ejercicio se realizará un simulador con **PyTorch + GPU** logrando hacer **simulación cuántica**, lo cual es útil para aprender, investigar y probar.

Enlace al repositorio explicativo sobre el ejercicio:

<https://github.com/bspoloo/SIS421-022025>

Es dicho cuadernillo contiene lo siguiente:

|  |  |
| --- | --- |
| Titulo | Explicación |
| Introduccion a QNNs | Las **Redes Neuronales Cuánticas (QNNs)** combinan principios de la mecánica cuántica con arquitecturas de redes neuronales. |
| Funcion para Carga de datos MNIST | Aplicamos varias transformaciones (normalización, aumento de datos y regularización), y devuelve dos DataLoader: uno para entrenamiento y otro para pruebas. Así puedes obtener lotes de imágenes y etiquetas listos para entrenar y evaluar modelos en PyTorch. |
| QuantumEncodingLayer: Codificación Cuántica | Transformar los **\*\*pixeles clásicos\*\*** de las imágenes en **\*\*estados cuánticos complejos\*\*** en el círculo unitario. |
| QuantumLayer: Neurona Cuántica | Implementar una **\*\*neurona cuántica\*\*** con pesos, umbrales y fases, siguiendo las ideas del documento. |
| QNN\_MNIST: Arquitectura Completa | * Imagen MNIST (28 × 28 → vector de 784). * **QuantumEncodingLayer**: proyección → números complejos unitarios. * **\*\*QuantumLayer\*\***: suma ponderada, fase, activación → devuelve z complejo y y real. * Capas clásicas (Linear → ReLU → Linear) → salida de 10 clases. * 5. Softmax / CrossEntropy para entrenamiento. |
| Entrenamiento y evaluacion | Se procede con el entrenamiento y evaluación de la QNNs realizada |

# **Referencias**

Cornejo, J. E. (Marzo de 2020). *Bit vs Qubit, Superposicion-Simuladores Reales y complejos*. Obtenido de DocIRS: https://docirs.cl/bit\_qubit\_superposicion\_simuladores\_reales\_y\_complejos.asp

EITCA Academy. (11 de Junio de 2024). *¿Qué es una red neuronal cuántica (QNN) y cómo procesa datos utilizando qubits?* Obtenido de EITICA: https://es.eitca.org/artificial-intelligence/eitc-ai-tfqml-tensorflow-quantum-machine-learning/overview-of-tensorflow-quantum/layer-wise-learning-for-quantum-neural-networks/examination-review-layer-wise-learning-for-quantum-neural-networks/what-is-a-quan

IBM. (2023). *Redes Neuronales Cuánticas*. Obtenido de Qiskit Machine Learning 0.7.1: https://qiskit-community.github.io/qiskit-machine-learning/locale/es\_UN/tutorials/01\_neural\_networks.html

Josh Schneider, I. S. (28 de Febrero de 2024). *¿Que es un qubit?* Obtenido de IMB: https://www.ibm.com/es-es/topics/qubit

Noriaki Kouda, N. M. (Agosto de 2002). Image Compression by Layered Quantum Neural Networks. *Neuronal Processing Letters*, 16.

Yulu Zhang, H. L. (31 de Marzo de 2024). *Reliability Research on Quantum Neural Networks.* (¿, Ed.) doi:https://doi.org/10.3390/electronics13081514