

**Introducción a la Programación
Cuántica****Carrera/ Plan:***Ingeniería en Computación Plan 2008 / Plan 2011*

Año 2025

Año: 5to**Régimen de Cursada:** *Semestral***Carácter (Obligatoria/Optativa):** Optativa**Correlativas:** Programación III - Matemática D**Profesor/es:** Leonardo Corbalán**Hs. semanales:** 6 hs.**FUNDAMENTACIÓN**

La computación cuántica emerge como un paradigma revolucionario con el potencial de transformar radicalmente la forma en que abordamos problemas computacionales complejos. Esta asignatura se presenta como una pieza fundamental en la formación del Ingeniero en Computación del futuro, en un contexto donde la capacidad de comprender y aplicar los principios de la computación cuántica se vuelve cada vez más relevante. En un mundo impulsado por la innovación tecnológica, comprender los fundamentos y las aplicaciones de la computación cuántica no sólo representa una ventaja competitiva, sino una necesidad para profesionales que deseen liderar el desarrollo de soluciones informáticas de vanguardia.

Esta materia aportará al futuro profesional una comprensión profunda de los principios teóricos y prácticos que sustentan la computación cuántica. Se explorarán los aspectos matemáticos y algorítmicos esenciales, así como las técnicas de programación y las herramientas de software necesarias para desarrollar y ejecutar algoritmos cuánticos. El aporte específico de la asignatura reside en proporcionar una base sólida para que los estudiantes puedan:

- **Comprender el paradigma cuántico:** Adquirir un entendimiento conceptual robusto de los fenómenos cuánticos y su aplicación en la computación.
- **Desarrollar habilidades algorítmicas cuánticas:** Aprender a diseñar y analizar algoritmos cuánticos para resolver problemas que resultan intratables para las computadoras clásicas.
- **Utilizar herramientas de programación cuántica:** Familiarizarse con plataformas y lenguajes de programación cuántica, como Qiskit, para implementar y simular algoritmos cuánticos.
- **Evaluar el potencial y las limitaciones de la computación cuántica:** Desarrollar una perspectiva crítica sobre el estado actual y las perspectivas futuras de esta tecnología.
- **Prepararse para la innovación:** Estar equipados para participar activamente en la investigación, el desarrollo y la aplicación de la computación cuántica en diversos campos de la ingeniería y la ciencia.

OBJETIVOS GENERALES

Proporcionar una introducción integral y práctica a la computación cuántica, capacitando a los estudiantes para comprender, aplicar y desarrollar soluciones basadas en este nuevo paradigma computacional. La asignatura abarcará desde los fundamentos teóricos y matemáticos esenciales hasta la implementación práctica de algoritmos cuánticos utilizando herramientas de programación actuales. Se pondrá especial énfasis en desarrollar habilidades de pensamiento algorítmico cuántico, la comprensión de las aplicaciones y servicios cuánticos, y la exploración de los aspectos de ingeniería de software involucrados en la construcción de sistemas cuánticos. Se busca que los estudiantes adquieran una base sólida para continuar profundizando en este campo en rápida evolución y contribuir a su desarrollo futuro.

CONTENIDOS MINIMOS

Primitivas para la programación cuántica. Ejemplos de Aplicaciones. Aplicaciones y Servicios cuánticos. Aspecto de Ingeniería de Software para máquinas cuánticas.

PROGRAMA ANALÍTICO

Unidad 1: Fundamentos Conceptuales de la Computación Cuántica

- **Naturaleza dual de la materia:** Exploración de fenómenos cuánticos a nivel microscópico. Partículas vs. ondas. Análisis del experimento de la doble rendija
- **Principios fundamentales:** Complementariedad. Dualidad onda-partícula. Entrelazamiento. Colapso de la función de onda.
- **Perspectivas filosóficas:** Instrumentalismo en ciencias fácticas.

Unidad 2: Matemáticas para la Computación Cuántica

- **Fundamentos matemáticos:** Repaso de trigonometría y números complejos.
- **Álgebra lineal:** Espacios vectoriales. Vectores y matrices. Notación de Dirac. Operadores unitarios.

Unidad 3: Qubits y Operaciones Básicas

- **Fundamentos de qubits:** Representación en la esfera de Bloch. Bases estándar.
- **Compuertas cuánticas fundamentales:** Operadores de Pauli. Compuerta de Hadamard. Representación matricial.
- **Conceptos de múltiples qubits:** Producto tensorial. Circuitos cuánticos. Conversión a expresiones algebraicas.

Unidad 4: Primitivas Cuánticas

- **Primitivas de Compuerta:** Compuerta NOT cuántica. Compuertas de Pauli. Compuerta de fase. Compuerta CNOT (Control-NOT)
- **Primitivas de Estado:** Preparación de estados cuánticos. Inicialización de qubits. Creación de superposición. Generación de estados de entrelazamiento.
- **Primitivas de Medición:** Mediciones proyectivas.
- **Primitivas de Transformación:** Rotaciones en la esfera de Bloch.
- **Rol de las Primitivas en Construcción de Algoritmos:** Composición de algoritmos cuánticos. Abstracción de operaciones fundamentales.
- **Fenómenos cuánticos:** Teleportación. Codificación superdensa.

Unidad 5: Algoritmos Cuánticos Fundamentales

- **Construcción de circuitos simples:** Incremento en 1, Suma de enteros.
- **Algoritmos introductorios:** Deutsch, Deutsch-Jozsa.
- **Algoritmos avanzados:** Shor. Grover
- **Implementación utilizando Qiskit**

Unidad 6: Ingeniería de Software en Computación Cuántica

- **Workflow de desarrollo cuántico:** Mapeo de problemas a circuitos cuánticos.
- **Herramientas de transpilación:** Compilación de circuitos cuánticos. Optimización de circuitos
- **Ejecución en infraestructura en la nube:** Plataforma IBM Quantum. Consideraciones de despliegue
- **Mitigación y corrección de errores:** Técnicas de corrección de errores cuánticos. Análisis de ruido y fidelidad

Unidad 7: Temas Adicionales

- **Formulación general de la información cuántica:** Matrices de densidad. Estados cuánticos reducidos. Canales cuánticos.
- **Algoritmos especializados:** Modelo de consultas QAOA (Quantum Approximate Optimization Algorithm)

BIBLIOGRAFIA

- **Nielsen, Michael A., & Chuang, Isaac L. (2010).** *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press. (Segunda Edición).
- **McMahon, David. (2008).** *Quantum Computing Explained*. John Wiley & Sons.
- **Qiskit Documentation.** IBM. [<https://docs.quantum.ibm.com/guides>] Documentación oficial y actualizada de Qiskit, el framework de código abierto de IBM para la computación cuántica.
- **IBM Quantum Platform.** [<https://quantum.ibm.com/>] Plataforma en la nube de IBM Quantum que proporciona acceso a computadoras cuánticas reales y simuladores.

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

La asignatura se desarrollará mediante clases teórico-prácticas, buscando un equilibrio dinámico entre la exposición de conceptos fundamentales y la aplicación práctica de los mismos.

Clases Teóricas Interactivas: En las clases teóricas, se presentarán los conceptos centrales de cada unidad, fomentando la participación activa de los estudiantes a través de preguntas, debates y resolución de ejercicios conceptuales en tiempo real. Se buscará generar un ambiente de aprendizaje colaborativo donde los estudiantes puedan construir su comprensión a partir del intercambio y la discusión.

Trabajos Prácticos: Se propondrán trabajos prácticos diseñados para consolidar los conceptos teóricos a través de la experimentación y la programación. Los trabajos de programación se centrarán en la utilización del framework Qiskit y la plataforma IBM Quantum, permitiendo a los estudiantes implementar y simular algoritmos cuánticos, analizar resultados y comprender las particularidades de la programación en este nuevo paradigma.

Plataforma IDEAS como Entorno Virtual de Aprendizaje: La plataforma IDEAS se utilizará como repositorio central de materiales del curso (teoría, trabajos prácticos, guías de estudio), así como canal de comunicación constante entre docentes y estudiantes. A través de la mensajería, el foro y la cartelera de novedades, se mantendrá una comunicación fluida y se facilitará la resolución de dudas y consultas.

Seguimiento y Retroalimentación Continua: Se realizará un seguimiento constante del progreso de los estudiantes a través de la participación en clase, la discusión de los trabajos prácticos y la realización de autoevaluaciones formativas. Se brindará retroalimentación oportuna y personalizada para guiar el aprendizaje y asegurar la comprensión de los conceptos clave.

Se espera que los estudiantes dediquen tiempo semanal al estudio de los materiales teóricos y a la resolución de los trabajos prácticos, aprovechando las instancias de clase para profundizar la comprensión, aclarar dudas y compartir experiencias con sus compañeros. El enfoque metodológico busca fomentar un aprendizaje activo, experimental y significativo, preparando a los estudiantes para desenvolverse con solidez en el campo de la computación cuántica.

EVALUACIÓN

Requisitos para aprobar la cursada:

- **Asistencia:** Asistir al menos al 70% de las clases teórico-prácticas. La participación activa en clase y la interacción con los docentes y compañeros son componentes valiosos del proceso de aprendizaje.
- **Examen Integrador:** Aprobar un examen integrador al final del curso con una nota igual o superior a 6 (seis). Este examen evaluará la comprensión de los conceptos teóricos y la capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en la resolución de problemas.

Régimen de promoción:

- **Promoción Directa:** El alumno que apruebe la cursada cumpliendo con los requisitos mencionados también obtendrá la promoción directa de la asignatura, eximiéndose del examen final.

Contacto de la cátedra (mail, sitio WEB, plataforma virtual de gestión de cursos):

- **Mail:** corbalan@lidi.info.unlp.edu.ar

Firma del/los profesor/es



Leonardo Corbalán