

## **PROGRAMA de Introducción a la Programación Cuántica**

**Carrera:** Licenciatura en Informática

**Asignatura:** Introducción a la Programación Cuántica

**Núcleo al que pertenece:** Complementario

**Profesor:** Alejandro Díaz-Caro

**Asignaturas Correlativas:** Matemática 3, Características de Lenguajes de Programación.

### **Objetivos:**

Dar una introducción al formalismo matemático de la computación cuántica, sus algoritmos más conocidos, y a los avances actuales en el desarrollo de lenguajes de programación para dicho formalismo.

### **Contenidos mínimos:**

- Espacios de Hilbert, Productos Tensoriales, Notación Dirac.
- Bits cuánticos y operadores. Medición cuántica. Teorema de no clonado. Estados de Bell. Codificación superdensa y teleportación cuántica.
- Algoritmos cuánticos: Deutsch, Deutsch-Jozsa, Grover, BB84.
- Postulados de la mecánica cuántica. Operador de densidad. Estados mixtos.
- Lenguajes de programación cuántica: Lenguajes con control clásico y lenguajes con control cuántico.

**Carga horaria semanal:** 4 hs

### **Programa analítico:**

1. Introducción a la computación cuántica.
  - a. Introducción histórica.
  - b. Preliminares.
    - i. Espacios de Hilbert.
    - ii. Productos tensoriales.
    - iii. Notación Dirac.
  - c. Bits cuánticos y operadores.
  - d. Teorema de no clonado.
  - e. Estados de Bell.
    - i. Codificación superdensa.
    - ii. Teleportación cuántica.
  - f. "Paralelismo" cuántico.
2. Algoritmos cuánticos y aplicación a criptografía.
  - a. Algoritmo de Deutsch.

- b. Algoritmo de Deutsch-Jozsa.
  - c. Algoritmo de búsqueda de Grover.
    - i. Oráculo.
    - ii. Inversión sobre el promedio.
    - iii. El algoritmo paso a paso.
    - iv. Cálculo del número óptimo de interacciones.
  - d. Aplicación criptográfica: QKD-BB84.
3. Introducción a la mecánica cuántica.
- a. Postulados de la mecánica cuántica.
    - i. Medición proyectiva.
    - ii. Fase.
  - b. Operador densidad.
    - i. Estados mixtos.
    - ii. Propiedades generales del operador densidad.
    - iii. El operador densidad reducido.
4. Lenguajes de programación cuántica.
- a. Lenguajes con control clásico y datos cuánticos.
    - i. Cálculo lambda de Selinger-Valiron.
    - ii. Lenguaje Quipper.
    - iii. Lenguaje Qwire.
    - iv. Lenguaje Qwhile.
    - v. Cálculo lambda-rho.
  - b. Lenguajes con control y datos cuánticos.
    - i. Cálculo de van-Tonder.
    - ii. Cálculo Lineal algebraico.
    - iii. Cálculo Lambda-S

**Bibliografía obligatoria:**

- M. Nielsen & I. Chuang. *Quantum Computation and Quantum Information*. 10th anniversary edition. Cambridge University Press. 2011.
- M. Ying. *Foundations of Quantum Programming*. 1ra edición. Morgan Kaufmann. 2016.

**Bibliografía de consulta:**

- A. Green, P. LeFanu Lumsdaine, N. J. Ross, P. Selinger & B. Valiron. *An Introduction to Quantum Programming in Quipper*. LNCS 7948:110-124, Springer. 2013.
- A. Díaz-Caro. *A lambda calculus for density matrices with classical and probabilistic controls*. LNCS 10695:448-467, Springer. 2017.

- A. van Tonder. *A Lambda Calculus for Quantum Computation*. SIAM J. Comput. 33:1109-1135, 2004.
- P. Arrighi & G. Dowek. *Lineal: A Linear-Algebraic Lambda-Calculus*. LMCS 13(1). 2017.
- P. Selinger & B. Valiron. *A Lambda Calculus for Quantum Computation with Classical Control*. LMCS 3461:354-368, Springer, 2005.
- J. Paykin. R. Rand & S. Zdancewic. *QWIRE: A Core Language for Quantum Circuits*. ACM SIGPLAN Notices 52(1) :846-858, 2017.
- A. Díaz-Caro & G. Dowek. *Typing Quantum Superpositions and Measurement*. LNCS 10687:281-293. Springer. 2017.

### **Organización de las clases:**

Las clases serán en modalidades teórica y práctica. En las primeras clases teóricas se explicarán los conceptos matemáticos fundamentales que no están cubiertos en otras materias de la carrera, para las siguientes clases explicar las construcciones específicas para computación cuántica. Las clases prácticas serán de resolución de ejercicios, los cuales serán entregados al inicio del semestre. Durante la clase práctica se dará tiempo para que realicen los ejercicios por su cuenta, consultando cuando sea necesario, y se desarrollarán en el pizarrón algunos ejercicios seleccionados (luego de que hayan tenido el debido tiempo para razonarlos).

Las clases teóricas se reforzarán con un material de lectura que se dará al finalizar cada clase y un ejercicio que deberán realizar y entregar por email antes de la siguiente clase. El objetivo de ese ejercicio no es de evaluación sino de asentar los conceptos trabajados en clase. Por lo tanto, sólo se exigirá la entrega, estén o no resueltos correctamente, y se hará una devolución por email, que luego podrá ser expandida en la clase práctica correspondiente.

Los ejercicios prácticos se dividirán en cuatro grupos.

1. La primera práctica tratará el formalismo matemático: Espacios de Hilbert, Notación Dirac, Productos Tensoriales, etc. El objetivo es que se familiaricen con el formalismo que utilizarán a lo largo de toda la materia.
2. La segunda práctica versará sobre algoritmos cuánticos y el protocolo de criptografía BB84. Dar la traza de algoritmos, escribir pequeños algoritmos cuánticos, calcular la probabilidad de error en el algoritmo de Grover, etc. El objetivo es adquirir una comprensión acabada de los algoritmos cuánticos, la forma de razonar con ellos, y su análisis de complejidad, que difiere de los algoritmos clásicos.

3. La tercera práctica tendrá ejercicios sobre los postulados de la mecánica cuántica y sobre el operador densidad. El objetivo es familiarizarse con este formalismo alternativo de la mecánica cuántica, respecto del que se venía trabajando.
4. Finalmente, la cuarta práctica tendrá ejercicios sobre cálculo lambda cuántico. Se pide escribir algunas compuertas en estos formalismos, derivar el tipado, dar trazas de ejecución, etc. En esta práctica el objetivo es reforzar la comprensión de esos cálculos vistos en la clase teórica.

### **Modalidad de evaluación:**

Los mecanismos de evaluación en modalidades libre y presencial de esta asignatura están reglamentados según los siguientes artículos del Régimen de estudios de la UNQ (Res. CS 201/18).

En la modalidad de libre, se evaluarán los contenidos de la asignatura con un examen escrito, un examen oral e instancias de evaluación similares a las realizadas en la modalidad presencial.

### CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana	Tema/unidad	Actividad*			Evaluación
		Teórico	Práctico		
			Res Prob.	Lab.	
1	Introducción histórica y preliminares (U. 1.a y 1.b)	x			
2	Preliminares (U. 1.b)		x		
3	Bits cuánticos, no clonado, Bell y paralelismo (U. 1.c - 1.f)	x			
4	Bits cuánticos, no clonado, Bell y paralelismo (U. 1.c - 1.f)		x		
5	Algoritmos cuánticos (U. 2)	x			
6	Algoritmos cuánticos (U. 2)		x		
7	Actividad de repaso				Dinámica
8	Evaluación				x
9	Postulados de la mecánica cuántica y operador densidad (U. 3)	x			
10	Postulados de la mecánica cuántica y operador densidad (U. 3)		x		
11	Lenguajes con control clásico (U. 4a)	x			
12	Lenguajes con control clásico (U. 4a)		x		
13	Lenguajes con control cuántico (U. 4b)	x			
14	Lenguajes con control cuántico (U. 4b)		x		
15	Actividad de repaso				Dinámica
16	Evaluación				x
17	Examen integrador				x

\*INDIQUE CON UNA CRUZ LA MODALIDAD