



Programa de PROCESAMIENTO CUÁNTICO DE LA INFORMACIÓN

1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Procesamiento cuántico de la información

2. CRÉDITOS

10 créditos

3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

El uso de sistemas cuánticos para procesamiento de información promete ventajas importantes en ciertos problemas de computación o comunicación a través de la utilización de propiedades como el entrelazamiento, la no-localidad o el paralelismo cuántico, que son inaccesibles a sistemas gobernados por la física clásica.

En el presente auge de las tecnologías cuánticas, el procesamiento cuántico de información sale en forma creciente del ámbito académico para mezclarse con diversas iniciativas privadas y estatales. Se destacan importantes inversiones de empresas asociadas a la información como Google, Amazon, o IBM, pero también programas de fomento del área a nivel nacional o regional en EEUU, la Unión Europea, China, etc.

En este curso abordaremos desde los fundamentos del procesamiento cuántico de información hasta algoritmos cuánticos concretos para distintas tareas (criptografía, factorización, etc), pasando por temas de entrelazamiento y no-localidad cuántica, características constitutivas de la teoría cuántica que son utilizadas como recurso para el procesamiento de información. El curso no sólo acercará a las y los estudiantes a las generalidades del área, sino que los conectará con temas de relevancia en la actualidad.

Se espera que al finalizar este curso, las y los estudiantes: entiendan ventajas y limitaciones del procesamiento cuántico de la información; se encuentren familiarizados con conceptos esenciales como qubits, compuertas y algoritmos cuánticos, o entrelazamiento; posean conocimientos básicos sobre las posibles implementaciones físicas y los desafíos técnicos asociados a las mismas.



4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

El carácter del curso será teórico-práctico, incluyendo un balance en partes aproximadamente iguales (en tiempo de clase presencial) de exposición docente y trabajo de ejercitación de los y las estudiantes. Los ejercicios serán de dos tipos: la resolución en lápiz y papel de problemas básicos de información cuántica por medio del formalismo matemático adecuado, y la implementación de pequeñas rutinas y simulaciones en la plataforma online gratuita de IBM. Se requerirá además de la resolución de un problema en grupo de complejidad intermedia en dicha plataforma, y una breve exposición oral sobre dicha resolución. Se espera que los y las estudiantes dediquen a la resolución de problemas fuera de la clase un tiempo comparable al tiempo de clase.

5. TEMARIO

1. Herramientas básicas: Bits y compuertas clásicas. Qubits y compuertas cuánticas. Superposiciones cuánticas. Mediciones, probabilidades, y estados después de la medición. Introducción a herramientas de simulación online.
2. Información cuántica y aplicaciones simples: Entrelazamiento. Estados de Bell. Código superdenso. Teorema de no-clonación. Distribución cuántica de claves. Teleportación. No-localidad. Algoritmo de Deutsch. Corrección de errores.
3. Formalismo matemático: Estados cuánticos como vectores complejos; compuertas cuánticas como matrices unitarias. Mediciones. Productos internos y proyectores. Notación de Dirac. Matrices de Pauli. Esfera de Bloch. Autoestados.
4. Algoritmos cuánticos sencillos: Algoritmo de Deutsch-Jozsa. Algoritmo de Simon. Algoritmo de Grover.
5. Algoritmos cuánticos avanzados: Transformada de Fourier. Algoritmo de factorización de Shor.
6. Ruido, errores, información parcial: Matriz densidad. Canales ruidosos. Fidelidad. Matriz densidad reducida. Entropía de von Neumann. Entrelazamiento. Tomografía de estados.
7. Formalismo de estabilizadores: Códigos estabilizadores de corrección de errores. Estados estabilizadores. Operadores de Pauli generalizados. Teorema de Knill-Gottesman.
8. Formalismos alternativos al modelo de circuitos: Computación cuántica basada en la medición. Computación cuántica adiabática.
9. La computación cuántica al día de hoy: Plataformas e implementaciones físicas, un panorama incompleto y superficial. Simuladores cuánticos. Clases de complejidad computacional. La “ventaja cuántica”.



6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
Herramientas básicas	(1,2)	(3,4,5,6)
Información cuántica y aplicaciones simples	(1,2)	(3,4,5,6,7)
Formalismo matemático	(1,2)	(3,4,5,6)
Algoritmos cuánticos sencillos	(1,2)	(3,4,5,6)
Algoritmos cuánticos avanzados	(1,2)	(3,4,5,6)
Ruido, errores, información parcial	(1,2)	(3,4,5,6)
Formalismo de estabilizadores	(1,2)	(8)
Formalismos alternativos al modelo de circuitos	(1,2)	(9,10)
La computación cuántica al día de hoy	(1,2)	(3-10)

6.1 Básica

1. Nielsen, M. A. and Chuang, I. L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press.
2. <https://qiskit.org>.

6.2 Complementaria

3. Mermin, N. D. (2007). Quantum Computer Science: An Introduction, Cambridge University Press.
4. Hidary, J. D. (2019). Quantum Computing: An applied Approach, Springer.
5. Aaronson, S. (2013). Quantum Computing Since Democritus, Cambridge University Press.
6. Preskill, J. (1998-2022). Lecture notes for physics 229: Quantum information and computation. California Institute of Technology. Disponibles online: <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>
7. Mermin, N. D. (1990). Quantum mysteries revisited. American Journal of Physics, 58(8), 731-734.
8. Gottesman, D. (1997). Stabilizer codes and quantum error correction. arXiv preprint quant-ph/9705052.
9. Briegel, H. J., Browne, D. E., Dür, W., Raussendorf, R. & Van den Nest, M. (2009). Measurement-based quantum computation. Nature Physics, 5(1), 19-26.



10. Albash, T & Lidar, D. (2018). Adiabatic Quantum Computing. Rev. Mod. Phys. 90, 015002.

7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

7.1 Conocimientos Previos Exigidos: Se presuponen conocimientos básicos de álgebra lineal (operaciones con vectores y matrices).

7.2 Conocimientos Previos Recomendados: Son deseables conocimientos de números complejos y de probabilidades.



ANEXO A Para todas las Carreras

A1) INSTITUTO

Instituto de Física

A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana 1	Tema 1 (5 hs de clase).
Semana 2	Tema 2 (5 hs de clase).
Semana 3	Tema 3 (5 hs de clase).
Semana 4	Tema 4 (5 hs de clase).
Semana 5	Tema 5 (5 hs de clase).
Semana 6	Tema 6 (5 hs de clase).
Semana 7	Tema 6 (5 hs de clase).
Semana 8	Tema 7 (5 hs de clase).
Semana 9	Tema 7 (5 hs de clase).
Semana 10	Tema 8 (5 hs de clase).
Semana 11	Tema 8 (5 hs de clase).
Semana 12	Tema 9 (5 hs de clase).
Semana 13	Tema 9 (5 hs de clase).
Semana 14	Trabajos finales (5 hs de clase)
Semana 15	Trabajos finales (5 hs de clase)

A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Los estudiantes serán evaluados mediante dos parciales a resolver en forma individual y un trabajo práctico en grupo. El trabajo práctico consistirá en la implementación de un problema de información cuántica en la plataforma de IBM, y la posterior exposición y discusión de dicha implementación en un formato a definir que será oral o escrito según la cantidad de participantes del curso. De los resultados obtenidos surgirán tres posibilidades: a) exoneración del examen final, b) suficiencia en el curso, que habilita a rendir examen c) insuficiencia en el curso, por lo cual reprueba, debiendo reinscribirse en el mismo. Sumando los resultados de cada instancia se podrá obtener un total de 100 puntos: un máximo de 30 puntos en el primer parcial, de 50 puntos en el segundo parcial, y de 20 puntos en el trabajo práctico. La exoneración se logra acumulando como mínimo 60 puntos, de los cuales al menos 10 deben corresponder al trabajo práctico. La aprobación del curso se logra acumulando como mínimo 25 puntos. Quien no llegue a 25 puntos deberá recurrar. La inasistencia a un parcial no inhabilita al estudiante a aprobar o exonerar el curso.



A4) CALIDAD DE LIBRE

La unidad curricular no adhiere a la Calidad de Libre.

A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Cupos mínimos: 5

Cupos máximos: 50