

Especialidad II y Curso de Posgrado  
Computación Cuántica e Información Cuántica:  
De la Teoría al Experimento.

**Objetivos:** Se busca introducir el campo de la Computación Cuántica y la Información Cuántica desde los fundamentos teóricos hasta el detalle de las realizaciones experimentales, de manera que se puedan entender los fundamentos de las modernas realizaciones experimentales, con particular énfasis en la Resonancia Magnética Nuclear (NMR). Esta formación deberá permitir identificar y abordar trabajos originales en algunos de los temas desarrollados y participar con comodidad de las conferencias internacionales que incluyan los siguientes temas:

*Física de la Computación. Elementos de la computación clásica. Q-bits y compuertas cuánticas. Errores y Decoherencia. Ecos de Loschmidt. Límite clásico-cuántico. Tareas para las computadoras cuánticas. Las contribuciones de Feynman. Los algoritmos de Shor, Deutsch y Grover. Computadora cuántica de NMR en líquidos. El desafío del NMR en sólidos. Las trampas de iones. Computadoras de estado sólido y sistemas superconductores. Comunicaciones cuánticas.*

**Dirigido a:** Estudiantes de último año de Licenciatura en Física de FaMAF y Licenciados en Física y Química o disciplinas afines que, teniendo conocimientos básicos de Mecánica Cuántica y Mecánica Estadística deseen tomar un primer contacto con conceptos y técnicas usuales en la literatura científica del área de la Computación e Información Cuántica.

**Responsable:** Dr. **Horacio M. Pastawski**, Prof. Titular FaMAF  
**colaboradora** en el dictado de tópicos experimentales:  
Dra. **Patricia R. Levstein**, Prof. Asociada FaMAF

**Fecha de Iniciación:** 15 Marzo 2006

**Fecha de Terminación:** 15 de Junio 2006

**Carga Horaria:** dos clases semanales teórico-prácticas de 4 horas hasta totalizar **60 horas**.

**Materias Correlativas:**

**para los licenciados en Física:** Física Moderna II.

**para los licenciados en computación:** Física para computación. Adicionalmente, deberán participar y aprobar un curso nivelatorio intensivo en Mecánica Cuántica dictado en horario a acordar.

**Examen:** será diferencial

- 1) Estudiantes de Lic. Física y Química.
- 2) posgrado.
- 3) Estudiantes de Lic. Computación.

# Computación Cuántica e Información Cuántica: De la Teoría al Experimento. **Programa**

## **1 Física de la Computación y elementos de la teoría de información**

*Las leyes físicas y el procesamiento de la información.*

*Limitaciones en el rendimiento de computadoras.* Energía de conmutación. Generación de entropía y diablillo de Maxwell. Lógica reversible. Compuertas reversibles para computadoras universales. Velocidad de Procesamiento. Densidad de almacenamiento.

*Algebra Booleana y compuertas lógicas.* Conjunto mínimo de compuertas irreversibles y reversibles. Las compuertas CNOT, Toffoli y Fredkin.

*Computadoras Universales.* La maquina de Turing. La hipótesis de Church-Turing. *Complejidad y Algoritmos.* Clases de Complejidad. Problemas difíciles e imposibles. La cota de Chernoff.

*Sistemas dinámicos y computación.* Caos determinístico. Complejidad Algorítmica. La computadora del billar. La paradoja de Loschmidt.

## **2 Reconsideración de Conceptos de la Mecánica Cuántica**

*Estructura general.* El experimento de Stern-Gerlach. El experimento de Young. Experimento de Rabi. Los postulados de la Mecánica Cuántica. Hamiltoniano y evolución. Formulación de Feynman de la Mecánica Cuántica.

*Estados Cuánticos.* Operador densidad. Entrelazamiento y mezcla. Cuantificación del entrelazamiento. Esfera de Bloch. La paradoja EinsteinPodolkyRosen. Teorema de Bell. Violación de las desigualdades de Bell. Teorema del no-clonado.

*La medición reconsiderada.* Postulado de Proyección. La interpretación de Copenhague. El modelo de von Neumann.

*Aplicación de conceptos:* NMR en líquidos. Sistemas e interacciones. Campo de Radio Frecuencia. Sistema Rotante. Evolución. Señales. Refocalización.

## **3 Bits cuánticos y compuertas cuánticas**

*Estados de un q-bit.* Rotaciones simples y compuestas.

*Estados de dos q-bits.* Compuertas controladas y compuertas compuestas.

*Conjuntos universales de compuertas.* Elección. Operaciones Unitarias.

Operaciones de dos q-bits. Aproximando una compuerta simple.

*Las contribuciones de Feynman.* Simulando física con computadoras. Computadoras cuánticas.

## **4 Errores y decoherencia**

*Decoherencia.* Fenomenología. Descripción semiclásica. Entrelazamiento y mezcla. Ecos de Loschmidt Cuánticos.

*Corrección de Errores.* Corrección clásica y cuántica. Error de un spín. Error continuo en la fase. El efecto Zenón cuántico. Mediciones no demoleadoras. Códigos estabilizadores. Computación tolerante a fallos.

*Evitando errores.* Espacios libres de decoherencia. Consideraciones de escalas.

## 5 Tareas para las computadoras cuánticas.

*Algoritmos clásicos vs. cuánticos.*

*Algoritmo de Deutsch (o cómo mirar las dos caras de la moneda a la vez)* Un q-bit. Muchos q-bits. Extensiones.

*El algoritmo de Shor (ya es el tiempo de los primos).* Estrategia de factorización.

Algoritmo de Shor. Transformada de Fourier Cuántica (QFT).

*El algoritmo de Grover (o la aguja en el pajar).* Funciones de Oráculo. El algoritmo. Análisis geométrico. Conteo cuántico.

## 6 La construcción de una computadora cuántica.

*Componentes.*

*Requerimientos para el procesamiento de información cuántica.* Q-bits.

Inicialización. Decoherencia. Compuertas. Lectura.

*Conversión de información cuántica en clásica.* Principios y estrategias. Algoritmo de Deutsch-Jozsa. Efecto de correlaciones. Mediciones repetidas.

*Alternativas al modelo de Red.* Óptica lineal y mediciones. Autómata celular cuántico. La computadora cuántica unidireccional.

## 7 La computadora cuántica de NMR en estado líquido

*El NMR como una computadora molecular.* Espines como q-bits. Espines acoplados. Estados pseudo-puros. Compuertas de un q-bit. Compuertas de dos q-bit. Lecturas en sistemas de espines múltiples. Tomografía de estados cuánticos. Los criterios de Di Vincenzo. La compuerta de SWAP.

*Implementación del algoritmo de Shor.* Inicialización. Computación. Lectura. Decoherencia.

## 8 La computadora cuántica de trampas de iones

*Atrapando iones.* Iones, trampas y lasers.

*Interacción con la luz.* Transiciones ópticas. Efectos del movimiento. Enfriado por láser.

*Procesando información con iones atrapados.* compuertas de un q-bit. Compuertas de dos q-bits. Lectura. Algunos resultados. Problemas.

## 9 La computadora cuántica de estado sólido

*El NMR y EPR de estado sólido.* Comportamiento de escala. 31P en silicio. Otras propuestas. Lecturas de un spin. Una implementación de la compuerta SWAP.

*Sistemas Superconductores.* Superconductividad. El efecto Josephson. q-bits de carga. q-bits de flujo. Operaciones de compuertas. Lectura.

*Q-bits en semiconductores.* Materiales. Excitones en pozos cuánticos. Spín electrónico.

## 10 Comunicación Cuántica.

*Criptografía Clásica.* El código de Vernam. Sistemas de clave pública. El protocolo RSA. *El teorema de no-clonado.* Transmisión más rápida que la luz?

*Criptografía cuántica.* El protocolo BB84. El protocolo E91. Codificación densa.

*Teleportación.* El experimento de Ginebra. Otras implementaciones experimentales.

**Bibliografia:**

Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang  
*Quantum Computation and Quantum Information*  
Cambridge U. Press. 2000 ISBN 0-521-60503-9

Joachim Stolze and Dieter Suter  
*Quantum Computing. A short course from Theory to Experiment*  
Wiley-VCH, 2004 ISBN 3-527-40438-4

Giuliano Benenti, Giulio Casati and Giuliano Strini  
*Principles of Quantum Computation and Information Vol I and II*  
World Scientific 2004 ISBN 921-238-858-3

Anthony J. Hey, editor  
*Feynman and Computation. Exploring the limits of Computers*  
Westview 2002 ISBN 0-8133-4039-X

Richard Feynman  
*Feynman Lectures on Computing.*  
Adison Wesley 1996