

IDENTIFICACIÓN

CURSO	: TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS EN SISTEMAS ABIERTOS
TRADUCCIÓN	: QUANTUM TECHNOLOGIES IN OPEN SYSTEMS
SIGLA	: FIM3021
CRÉDITOS	: 15
MÓDULOS	: 2
REQUISITOS	: FIZ0322
CONECTOR	: O
RESTRICCIONES	: 030401 o 036001 o 030803 o 020701 o 020602
CARÁCTER	: OPTATIVO
TIPO	: CÁTEDRA
FORMATO	: PRESENCIAL
CALIFICACIÓN	: ESTÁNDAR
PALABRAS CLAVE	: TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS, INFORMACIÓN CUÁNTICA, METROLOGÍA CUÁNTICA, SISTEMAS ABIERTOS
NIVEL FORMATIVO	: MAGÍSTER

INTEGRIDAD ACADÉMICA Y CÓDIGO DE HONOR

La Universidad tiene un compromiso con la construcción de una cultura de respeto e integridad. Quienes participen de este curso se adscriben al Código de Honor UC y adquieren el compromiso de aportar a la construcción de una cultura de Integridad Académica, actuando en consonancia con los valores de veracidad, confianza, respeto, justicia, responsabilidad y honestidad en todo el trabajo académico.

I. DESCRIPCIÓN DEL CURSO

En este curso los/las estudiantes podrán explorar la transición desde sistemas cuánticos simples y cerrados hasta sistemas cuánticos reales que incluye disipación. Los/as estudiantes dominarán las herramientas para controlar sistemas cuánticos reales sujetos a decoherencia y ruido en diversas tecnologías cuánticas. A través de una metodología que combina clases teóricas con simulaciones computacionales, los/as estudiantes desarrollarán capacidades para modelar aplicaciones como información, computación y metrología cuántica. La evaluación consistirá en tareas basadas en problemas técnicos, un examen parcial sobre los fundamentos de sistemas abiertos, y un proyecto final integrador donde se analice un aspecto particular de una tecnología cuántica.

II. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

1. Evaluar la dinámica de sistemas cuánticos abiertos derivando y resolviendo ecuaciones maestras de Lindblad para plataformas físicas relevantes.
2. Diseñar secuencias de desacoplamiento dinámico y protocolos de corrección cuántica de errores para mitigar la decoherencia en hardware cuántico operando bajo condiciones realistas de ruido.
3. Evaluar los límites de sensibilidad de protocolos de medida cuánticos utilizando el marco de la información de Fisher cuántica.
4. Proponer una solución basada en tecnologías cuánticas (sensores, computación o comunicación) a un problema real específico, respaldada por simulaciones numéricas y un análisis riguroso de sistemas abiertos.
5. Analizar la relación entre ruido y disipación en sistemas cuánticos abiertos aplicando el teorema fluctuación-disipación para interpretar densidades espectrales y límites fundamentales de medición.
6. Distinguir entre dinámicas Markovianas y no Markovianas del entorno y como afectan la dinámica de un sistema cuántico.
7. Implementar numéricamente la simulación de un sistema cuántico abierto mediante la resolución de la ecuación maestra de Lindblad utilizando herramientas computacionales.
8. Comparar diferentes protocolos de desacoplamiento dinámico en términos de su capacidad para filtrar frecuencias específicas del ruido, utilizando el formalismo de función filtro.

9. Comunicar de forma efectiva, tanto oral como escrita, los resultados de un proyecto de investigación en tecnologías cuánticas, incluyendo el modelamiento teórico, las simulaciones numéricas y el análisis crítico de los resultados.

III. CONTENIDOS

1. Fundamentos de los sistemas abiertos

- 1.1. Matriz densidad: estados puros versus estados mezcla, propiedades, representación en la esfera de Bloch
- 1.2. Dinámica reducida: sistema, entorno y trazas parciales
- 1.3. Teorema de purificación

2. Evolución y ecuación maestra

- 2.1. Mapas completamente positivos que preservan la traza (CPTP)
- 2.2. Ecuación maestra de Lindblad: dinámica Markoviana
- 2.3. Relajación versus desfase: relajación longitudinal y transversal
- 2.4. Medidas de distancia

3. Decoherencia y el límite clásico

- 3.1. Superselección inducida por el entorno
- 3.2. Subespacios robustos frente al ruido
- 3.3. Disipación clásica: movimiento browniano cuántico
- 3.4. Teorema fluctuación-disipación

4. Ruido cuántico en hardware

- 4.1. Canales de ruido comunes: canales de flip de bit, flip de fase y despolarizante
- 4.2. Densidad espectral: ruido $1/f$ y respuesta de frecuencia del baño
- 4.3. Dinámica no Markoviana: memoria del entorno

5. Estrategias de control y mitigación

- 5.1. Desacoplamiento dinámico: secuencia de pulsos Hahn Echo
- 5.2. Corrección cuántica de errores: ocultando información del entorno
- 5.3. Mediciones no demolidoras (quantum non-demolition)

6. Teoría de control cuántico

- 6.1. Control coherente versus incoherente: control por láser y microondas
- 6.2. Teoría de control óptimo
- 6.3. Retroalimentación (feedback) y alimentación anticipada (feedforward)

7. Metrología cuántica y sensores cuánticos

- 7.1. El límite cuántico estándar (SQL) y el escalamiento de Heisenberg
- 7.2. Información de Fisher cuántica y la cota de Cramér-Rao
- 7.3. Magnetometría y electrometría (sensores de espín individuales)
- 7.4. Interferometría de Ramsey: principio y contraste de franjas
- 7.5. Relojes atómicos de fuente (fountain clocks): desde Cs hasta relojes de red óptica
- 7.6. Detección de ondas gravitacionales y luz comprimida
- 7.7. Interferómetros atómicos para gravimetría y detección de ondas gravitacionales

8. Información cuántica en redes abiertas

- 8.1. Canales de comunicación cuántica
- 8.2. Destilación de entrelazamiento
- 8.3. Repetidores cuánticos

9. Computación cuántica con átomos neutros

- 9.1. De compuertas a hardware: implementación de la computación cuántica
- 9.2. Enfriamiento láser y pinzas ópticas
- 9.3. Estados de Rydberg y bloqueo de Rydberg
- 9.4. Decoherencia de estados de Rydberg

IV. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

- Aprendizaje basado en equipos
- Estudio de casos
- Aprendizaje cooperativo
- Simulaciones
- Aprendizaje basado en problemas (ABP)
- Aprendizaje basado en proyectos
- Cátedras

V. ESTRATEGIAS EVALUATIVAS

- Tareas : 20%
- Simulaciones : 15%
- Prueba escrita : 30%
- Proyecto : 35%

VI. BIBLIOGRAFÍA

Mínima:

- Breuer, H.-P., & Petruccione, F. (2007). *The Theory of Open Quantum Systems*. Oxford University Press.
- Wiseman, H. M., & Milburn, G. J. (2009). *Quantum Measurement and Control*. Cambridge University Press.
- Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum Computation and Quantum Information: 10th Anniversary Edition*. Cambridge University Press.
- Simon, D. S. (2025). *Introduction to Quantum Science and Technology*. Springer.
- Levi, A. F. J. (2023). *Applied Quantum Mechanics (3rd ed.)*. Cambridge University Press.

Complementaria

- Schlosshauer, M. (2007). *Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition*. Springer.
- D'Alessandro, D. (2021). *Introduction to Quantum Control and Dynamics (2nd ed.)*. Chapman & Hall/CRC.
- Joos, E., et al. (2003). *Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory*. Springer.
- Braginsky, V. B., & Khalili, F. Y. (1995). *Quantum Measurement*. Cambridge University Press.
- Scully, M. O., & Zubairy, M. S. (1997). *Quantum Optics*. Cambridge University Press.
- Makarov, K. A., & Tsekanovskii, E. (2022). *The Mathematics of Open Quantum Systems: Dissipative and Non-unitary Representations and Quantum Measurements*. World Scientific.
- **Cong, Shuang*** (2020). *Control of Quantum Systems: Theory and Methods*. Wiley.