

## Información Cuántica

Código: 100182  
Créditos ECTS: 6

**2025/2026**

Titulación	Tipo	Curso
Física	OT	4

## Contacto

Nombre: Alessio Celi

Correo electrónico: alessio.celi@uab.cat

## Equipo docente

Gael Sentís Herrera

Alessio Celi

## Idiomas de los grupos

Puede consultar esta información al [final](#) del documento.

## Prerrequisitos

Es recomendable tener un buen dominio de álgebra, especialmente de espacios vectoriales y, preferiblemente, de espacios Euclidianos complejos. Naturalmente se recomienda tener nociones de mecánica cuántica, pero el curso es autocontenido. Conocimientos de óptica cuántica son complementarios y recomendables, pero no imprescindibles.

## Objetivos y contextualización

La asignatura es una introducción a la visión actual de la mecánica cuántica y sus paradigmas. Con la tecnología de la que disponemos hoy en día, muchos de los efectos cuánticos más paradójicos han dejado de ser una curiosidad académica para convertirse en potentes recursos que constituyen la base de las tecnologías cuánticas, con numerosas y sorprendentes aplicaciones prácticas. En este curso se presentarán algunas de ellas: teletransportación, codificación densa, criptografía cuántica, computación y simulación cuánticas, etc.

El curso está dirigido a físicos, pero también a matemáticos, informáticos e ingenieros. Al tratarse de un curso autocontenido, se realizará una introducción a los fundamentos de la mecánica cuántica, a la teoría clásica de la información, a la criptografía y a la computación clásicas, para poder valorar posteriormente las aportaciones de sus versiones cuánticas correspondientes.

La asignatura también tiene una vertiente aplicada estrechamente vinculada a la óptica cuántica. Se realizará, por tanto, una introducción a la teoría semiclasica y cuántica de la interacción luz-materia, y se describirán tanto los principios como su implementación en sistemas físicos concretos para la comunicación y la computación/simulación cuánticas.

El objetivo del curso no es únicamente ofrecer una descripción de los avances producidos en el campo de la

información cuántica, sino también proporcionar al estudiante las herramientas básicas necesarias para poder continuar su formación de posgrado en esta área, si así lo desea.

## Competencias

- Actuar en el ámbito de conocimiento propio valorando el impacto social, económico y medioambiental.
- Aplicar los principios fundamentales al estudio cualitativo y cuantitativo de las diferentes áreas particulares de la física.
- Comunicar eficazmente información compleja de forma clara y concisa, ya sea oralmente, por escrito o mediante TIC, y en presencia de público, tanto a audiencias especializadas como generales.
- Conocer las bases de algunos temas avanzados, incluyendo desarrollos actuales en la frontera de la Física, sobre los que poder formarse posteriormente con mayor profundidad.
- Formular y abordar problemas físicos identificando los principios más relevantes y usando aproximaciones, si fuera necesario, para llegar a una solución que debe ser presentada explicitando hipótesis y aproximaciones.
- Introducir cambios en los métodos y los procesos del ámbito de conocimiento para dar respuestas innovadoras a las necesidades y demandas de la sociedad.
- Planear y realizar, usando los métodos apropiados, un estudio o investigación teórico e interpretar y presentar los resultados.
- Razonar críticamente, poseer capacidad analítica, usar correctamente el lenguaje técnico, y elaborar argumentos lógicos.
- Realizar trabajos académicos de forma independiente usando bibliografía, especialmente en inglés, bases de datos y colaborando con otros profesionales.
- Trabajar autónomamente, usar la propia iniciativa, ser capaz de organizarse para alcanzar unos resultados, planear y ejecutar un proyecto.
- Trabajar en grupo, asumiendo responsabilidades compartidas e interaccionando profesional y constructivamente con otros con absoluto respeto a sus derechos.
- Usar las matemáticas para describir el mundo físico, seleccionando las herramientas apropiadas, construyendo modelos adecuados, interpretando resultados y comparando críticamente con la experimentación y la observación.

## Resultados de aprendizaje

1. Aplicar el concepto de medida cuántica (de von Neumann o generalizada) a problemas de optimización a problemas sencillos de discriminación, estimación y comunicación cuánticas.
2. Aplicar la formulación matricial de la mecánica cuántica a protocolos y algoritmos cuánticos.
3. Aplicar la medida cuántica en el contexto de la teoría de la información.
4. Aplicar los axiomas de la mecánica cuántica a problemas de procesado de información.
5. Comunicar eficazmente información compleja de forma clara y concisa, ya sea oralmente, por escrito o mediante TIC, y en presencia de público, tanto a audiencias especializadas como generales.
6. Conocer el concepto de entropía de Shannon y capacidad de un canal y los teoremas correspondientes.
7. Conocer el protocolo BB84 y Eckert91 de criptografía cuántica.
8. Conocer implementaciones físicas de puertas lógicas cuánticas de uno y dos qubits.
9. Conocer la descomposición de Schmidt de estados cuánticos bipartitos.
10. Conocer la medida de von Neumann y las medidas generalizadas.
11. Conocer las versiones cuánticas de dichos conceptos y teoremas.
12. Conocer los algoritmos cuánticos de Deutsch-Jozsa, Grover y Shor.
13. Conocer los estados EPR y formular las desigualdades de Bell.
14. Contrastar la teoría clásica de la información con la teoría cuántica.
15. Describir el concepto de estado cuántico entrelazado, su caracterización y su utilidad en la información cuántica.
16. Describir las bases de la interacción luz-materia necesarias para entender las implementaciones físicas de la criptografía y computación cuánticas.
17. Describir las principales implementaciones de computación cuántica.

18. Describir las similitudes y diferencias entre criptografía y computación clásicas y sus versiones cuánticas y su relación con los principios físicos en los que se basan estas últimas.
19. Diferenciar entre estados cuánticos puros y mezclas estadísticas.
20. Establecer los principales protocolos de criptografía cuántica.
21. Explicar el codi deontològic, explícit o implícit, de l'àmbit de coneixement propi.
22. Formular la interpretación estadística de estados cuánticos mezcla.
23. Identificar situaciones que necesitan un cambio o mejora.
24. Razonar críticamente, poseer capacidad analítica, usar correctamente el lenguaje técnico, y elaborar argumentos lógicos.
25. Realizar trabajos académicos de forma independiente usando bibliografía, especialmente en inglés, bases de datos y colaborando con otros profesionales.
26. Realizar un trabajo que relacione los conceptos de la información y computación cuánticas estudiados con temas frontera actuales y presentar los resultados.
27. Relacionar los fundamentos de la información cuántica con las principales implementaciones físicas actuales de criptografía y computación cuánticas.
28. Resolver problemas sobre la caracterización del entrelazamiento en estados cuánticos mediante la descomposición de Schmidt.
29. Trabajar autónomamente, usar la propia iniciativa, ser capaz de organizarse para alcanzar unos resultados, planear y ejecutar un proyecto.
30. Trabajar en grupo, asumiendo responsabilidades compartidas e interaccionando profesional y constructivamente con otros con absoluto respeto a sus derechos.
31. Usar el concepto de estado mezcla para resolver problemas sencillos con sistemas abiertos.
32. Utilizar la teoría cuántica de la interacción luz-materia para entender las características de las fuentes cuánticas de luz.
33. Utilizar la teoría semiclásica de la interacción luz-materia para entender el enfriamiento y atrapamiento de partículas, así como la implementación de puertas lógicas de un solo qubit.

## Contenido

### Parte I (Aspectos teóricos)

#### 1. Introducción

- Física e información cuánticas.
- Axiomas de la mecánica cuántica.

#### 2. Estados y muestras estadísticas

- El qubit.
- La matriz densidad.
- Sistemas bipartitos.
- La descomposición de Schmidt.
- Interpretación estadística de los estados mezcla.

#### 3. Medidas y evolución temporal

- Medidas de von Neumann.
- Medidas generalizadas.
- Teorema de Neumark.
- Canales cuánticos.

#### 4. Entrelazamiento y sus aplicaciones

- Estados EPR.
- Codificación densa.
- Teleportación de estados.

## 5. Información clásica y cuántica

- Introducción a la probabilidad.
- Información. Entropía de Shannon e información mutua.
- Comunicación. El canal binario simétrico. Capacidad de un canal.
- Teoremas de Shannon.
- Diferencia entre información clásica y cuántica.
- Entropía de von Neumann. Teorema de Shumacher.
- Información de Holevo. Información accesible y límite de Holevo.

## 6. Computación cuántica

- Máquinas de Turing.
- Circuitos y clasificación de la complejidad.
- El ordenador cuántico.
- Puertas lógicas cuánticas.
- Algoritmos de Deutsch-Josza y Simon.
- Búsqueda no estructurada: algoritmo de Grover
- Método de encriptación RSA.
- Factorización: algoritmo de Shor.

## Parte II (Tecnologías Cuánticas)

### 1. Breve repaso a la interacción luz materia

- Teoría semiclásica de la interacción luz-materia.
  - El átomo de dos niveles.
  - El desdoblamiento AC-Stark.
  - Las oscilaciones de Rabi.
  - La fuerza dipolar de la luz.
- Teoría cuántica de la interacción luz-materia.
  - Estados del campo e.m. cuántico.
  - El modelo de Jaynes-Cummings.
  - El problema de la decoherencia.

### 2. Comunicación cuántica.

- Criptografía cuántica: protocolos BB84 y Ekert91.
- Desigualdades de Bell.
- Generación de fotones individuales
- Propagación de fotones individuales.
- Detección de fotones individuales.

### 3. Computación y Simulación cuánticas.

- Átomos neutros (estado fundamental y Rydberg) en trampas dipolares
- Electrodinámica Cuántica de Cavidades.
- Iones en trampas de Paul.
- cubits superconductores

## Actividades formativas y Metodología

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
--------	-------	------	---------------------------

Tipo: Dirigidas

Clases de problemas	16	0,64	1, 4, 2, 3, 5, 19, 21, 23, 28, 30, 31, 32, 33
Clases de teoría	33	1,32	6, 7, 12, 13, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 21, 23, 24, 27

Tipo: Autónomas

Ejercicios a entregar	20	0,8	1, 4, 2, 3, 5, 19, 25, 26, 21, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 33
Estudio de los fundamentos teóricos	35	1,4	6, 7, 12, 13, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 27
Resolución de problemas	40	1,6	1, 4, 2, 3, 19, 24, 28, 29, 31

Las clases teóricas se imparten con presentaciones Keynote/PowerPoint. Habrá algunas clases o seminarios sobre temas específicos del curso impartidos por investigadores del campo de la Información Cuántica. Estos seminarios se realizarán, en general, en inglés.

Las clases de problemas se realizan habitualmente en la pizarra y consisten en la resolución de los problemas más significativos, cuyos enunciados estarán disponibles para el alumnado a través del Campus Virtual. Habrá dos entregas correspondientes a la parte teórica y una para la parte de tecnologías cuánticas. El objetivo es profundizar, consolidar y ampliar los conocimientos del alumnado sobre los aspectos y resultados tratados durante el curso. Estas entregas podrán incluir problemas o cuestiones de mayor complejidad y extensión, y deberán entregarse de forma periódica a lo largo del curso, en las fechas previamente acordadas. Estas actividades tienen como finalidad incentivar el trabajo autónomo.

Todo el material - enunciados de problemas, materiales docentes adicionales, soluciones detalladas de algunos ejercicios, así como avisos sobre el funcionamiento del curso - estará disponible para el alumnado a través del Campus Virtual.

Nota: se reservarán 15 minutos de una clase dentro del calendario establecido por el centro o por la titulación para que el alumnado rellene las encuestas de evaluación de la actuación del profesorado y de evaluación de la asignatura o módulo.

## Evaluación

### Actividades de evaluación continuada

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Asistencia y participación en seminarios especializados	5	0	0	26, 21, 23, 24, 30
Entrega de ejercicios realizados de forma autónoma	30	0	0	1, 4, 3, 5, 6, 12, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 25, 22, 21, 23, 24, 29, 30
Prueba de evaluación de conceptos teóricos	45	2	0,08	1, 4, 2, 3, 5, 6, 12, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 22, 24, 28, 31
Prueba de recuperación de conceptos teóricos	45	2	0,08	1, 4, 2, 3, 5, 6, 12, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 22, 24, 28, 31
Prueba de recuperación test sobre tecnologías cuánticas	20	1	0,04	7, 13, 8, 16, 17, 18, 20, 27, 32, 33

La evaluación constará de las siguientes actividades:

1. Una prueba de conceptos teóricos, con un peso del 45%
2. Una prueba tipo test sobre aspectos de las tecnologías cuánticas, con un peso del 20%
3. Entrega de ejercicios realizados de forma autónoma durante el curso, con un peso del 30%
4. Asistencia y participación activa en los seminarios específicos que se realicen durante el curso, con un peso del 5%

Los estudiantes que hayan sido evaluados en al menos un 66% del total de actividades podrán presentarse a las pruebas de recuperación de las actividades 1 y 2.

Un estudiante que solo haya realizado las actividades 3 y 4 se considerará no evaluable.

## Bibliografía

A través del Campus Virtual, se pone a disposición del alumnado apuntes de la asignatura en formato pdf y copia del Keynote/Powerpoint del curso. Para ampliar información se recomienda la siguiente bibliografía:

Básica

### *Teoría*

- J. Preskill. Lectures notes on Quantum Computation. Es pot obtenir gratuïtament a la direcció: <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229>.
- M.A. Nielsen; S.L. Chuang. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2000.
- S.M. Barnett, Quantum Information, Oxford University Press, 2009.
- A. Peres. Quantum Theory: Concepts and Methods. Kluwer, Dordrecht 1995.
- D. Applebaum. Probability and Information. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1996.
- D. Boumeester; A. Eckert; A. Zeilinger. The Physics of Quantum Information. Springer 2000.
- D. Heiss. Fundamentals of Quantum Information. Springer 2002.

### *Ejercicios*

- Steeb, Willi-Hans, and Yorick Hardy. *Problems and solutions in quantum computing and quantum information*. World Scientific Publishing Company, 2018.
- C. P. Williams; S. Clearwater. *Exploration in Quantum Computing*. Springer 1998

Avanzada

- R. A. Bertlmann; A. Zeilinger. *Quantum (Un)speakables*. Springer 2002.
- A. Ekert; R. Jozsa. Quantum Computation and Shor's Factoring Algorithm. *Rev. Mod. Phys.* 68 (1996) 733.
- T.A. Cover; J.A Thomas, *Elements of Information Theory*, John Wiley 2006.

## Software

IBM quantum composer

## Grupos e idiomas de la asignatura

La información proporcionada es provisional hasta el 30 de noviembre de 2025. A partir de esta fecha, podrá consultar el idioma de cada grupo a través de este [enlace](#). Para acceder a la información, será necesario introducir el CÓDIGO de la asignatura

Nombre	Grupo	Idioma	Semestre	Turno
(PAUL) Prácticas de aula	1	Inglés	segundo cuatrimestre	tarde
(TE) Teoría	1	Inglés	segundo cuatrimestre	mañana-mixto