

Guía docente

300050 - TIQ - Tecnologías de Información Cuántica

Última modificación: 19/06/2025

Unidad responsable: Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial de Castelldefels
Unidad que imparte: 748 - FIS - Departamento de Física.

Titulación: GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN (Plan 2009). (Asignatura obligatoria).
GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA (Plan 2009). (Asignatura obligatoria).
GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS AEROESPACIALES (Plan 2015). (Asignatura optativa).

Curso: 2025 **Créditos ECTS:** 6.0 **Idiomas:** Catalán, Castellano, Inglés

PROFESORADO

Profesorado responsable: Definit a la pàgina web del curs al lloc web de l'EETAC.

Otros: Definit a la pàgina web del curs al lloc web de l'EETAC.

CAPACIDADES PREVIAS

- Operatividad con los conceptos, magnitudes y leyes básicas de la Física y sus principios de conservación, contenidos en la asignatura Física 1A.
- Operatividad en el cálculo diferencial e integral, y en el cálculo con números complejos, contenidos en la asignatura Cálculo 1A.
- Operatividad con estructuras algebraicas, ecuaciones diferenciales ordinarias, espacios vectoriales y matrices, contenidos en la asignatura Álgebra Lineal y Aplicaciones 1B.
- Operatividad con funciones de distribución de probabilidad y datos estadísticos, contenidos en la asignatura de Probabilidad y estadística 2A
- Capacidad para realizar programas de aplicaciones en lenguaje Matlab/Octave o C#, contenidos de las asignaturas de Informática 1A y 1B.

COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

Transversales:

1. COMUNICACIÓN EFICAZ ORAL Y ESCRITA: Comunicarse de forma oral y escrita con otras personas sobre los resultados del aprendizaje, de la elaboración del pensamiento y de la toma de decisiones; participar en debates sobre temas de la propia especialidad.
2. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.
3. TRABAJO EN EQUIPO - Nivel 1: Participar en el trabajo en equipo y colaborar, una vez identificados los objetivos y las responsabilidades colectivas e individuales, y decidir conjuntamente la estrategia que se debe seguir.
4. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 3: Aplicar los conocimientos alcanzados en la realización de una tarea en función de la pertinencia y la importancia, decidiendo la manera de llevarla a cabo y el tiempo que es necesario dedicarle y seleccionando las fuentes de información más adecuadas.

METODOLOGÍAS DOCENTES

La asignatura se impartirá combinando clases magistrales (sesiones de grupo de teoría), actividades dirigidas de aplicaciones prácticas y resolución de problemas tipo, y un proyecto en grupo sobre simulación de alguna de las aplicaciones de las tecnologías de la información cuántica, con un enfoque eminentemente práctico. Eventualmente, y según la disponibilidad se podrán realizar visitas, asistencia a seminarios y/o realización de demostraciones prácticas en el ICFO (Instituto de Ciencias Fotónicas).

La mayoría de pequeñas aplicaciones, resolución de problemas y el proyecto serán realizados por los alumnos principalmente fuera del aula, con sesiones de control en algunas sesiones de AD.

Las clases de teoría seguirán principalmente el modelo expositivo, donde el profesor introducirá los conceptos y teorías básicas de las tecnologías de la información cuántica apoyadas por la pizarra y otros medios audiovisuales. Las clases de actividad dirigida permitirán consolidar el conocimiento de estos conceptos y leyes y utilizarlos para resolver problemas y realizar pequeñas simulaciones. Con una semana de antelación, se distribuirá la lista de problemas a resolver por los alumnos fuera del aula. Los problemas serán discutidos posteriormente en la sesión de AD y algunos de estos problemas serán expuestos por los propios alumnos y/o por los profesores. El proyecto se realizará en grupo y principalmente fuera del aula, aunque se realizará un seguimiento en algunas sesiones de AD. Hacia el final del cuatrimestre los grupos tendrán que presentar el proyecto con el apoyo de diapositivas.

El Campus Digital Atenea será utilizado habitualmente por el intercambio de documentación entre estudiantes y profesores y para mantener actualizado el proceso de evaluación. También se introducirán los textos y vídeos relacionados con el temario que sean necesarios, para guiar el aprendizaje autónomo de los estudiantes, y las hojas de la colección de problemas y aplicaciones.

La expresión oral y escrita se trabajará explícitamente en las sesiones de AD de problemas (discusión de los métodos empleados y resolución de problemas en la pizarra) y en el proyecto. También se trabajará implícitamente en los exámenes, puesto que se pedirá a los estudiantes que justifiquen la resolución de los problemas y contesten preguntas teóricas. El aprendizaje autónomo se guiará mediante textos con conceptos teóricos de la asignatura y/o vídeos explicativos. El proyecto también será una herramienta de trabajo de aprendizaje autónomo ya que los estudiantes tendrán que adquirir conocimientos más allá de los explicados en las clases de teoría y realizar gran parte del proyecto de manera autónoma. Estas tres competencias genéricas se evaluarán en las diferentes actividades de evaluación en las que están implicadas (ver la descripción detallada de las AV1-4).

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

Al finalizar la asignatura TIC, el estudiante debe ser capaz de:

- Describir los principales conceptos cuánticos, tal como el significado de la dualidad onda-corpúsculo, cuantización de la energía y niveles atómicos.
 - Razonar por qué es necesaria la física cuántica para explicar ciertos fenómenos físicos: efecto fotoeléctrico, difracción de electrones.
 - Utilizar los conocimientos anteriores en su aplicación a la física del estado sólido: semiconductores, superconductividad.
 - Definir un qubit.
 - Operar con puertas lógicas cuánticas.
 - Definir y describir las diferencias entre un computador determinístico, probabilístico y cuántico.
- Conocer los elementos de la teoría de información clásica y sus correspondientes cuánticos.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	66,0	44.00
Horas aprendizaje autónomo	84,0	56.00

Dedicación total: 150 h

CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA CUÁNTICA

Descripción:

- .- Introducción histórica: radiación electromagnética, radiación de un cuerpo negro, la ley de Wien y la ley de Stefan-Boltzmann.
- .- El cuerpo negro, la ley de Planck. Dualidad-onda corpúsculo, ley de De Broglie. Difracción de electrones. Cuantización de la energía. Efecto fotoeléctrico. Modelo de átomo de Bohr.
- .- La ecuación de Schrödinger. Interpretación probabilística de la función de onda. Estados cuánticos y entrelazamiento. Potenciales unidimensionales. El pozo cuadrado de potencial. El efecto túnel.
- .- El principio de incertidumbre de Heisenberg. Superposición de estados. Principio de incertidumbre del momento lineal-posición, principio de incertidumbre de la energía-tiempo.
- .- Momento magnético y momento de spin. Momento angular de sistemas atómicos. Orbitales atómicos y niveles de energía. Principio de exclusión de Pauli
- .- Aplicación de la mecánica cuántica en el estado sólido: semiconductores, superconductores y láseres.

Actividades vinculadas:

- AV1: Control de problemas de los temas 1 y 2
AV3: Resolución de problemas y aplicaciones prácticas.
AV5 y 6: Exámenes de medio cuatrimestre y de final de cuatrimestre.

Dedicación: 22h

- Grupo grande/Teoría: 7h
Actividades dirigidas: 3h
Aprendizaje autónomo: 12h

COMPUTACIÓN CUÁNTICA

Descripción:

- .- Definición de qubits. La esfera de Bloch.
- .- Operaciones con qubits: matrices de Pauli y matriz de Hadamard. Sistemas de diversos qubits: entanglement y estados de Bell. Puertas cuánticas.
- .- Circuitos cuánticos. Computadores deterministas, probabilísticos y cuánticos. La máquina de Turing.
- .- Aplicaciones básicas con circuitos cuánticos: teorema de no clonación, paralelismo cuántico, generadores-medidores de estados de Bell, superdense coding, teleportación.
- .- Algoritmos y emuladores cuánticos. El algoritmo de Shor. El algoritmo de Grover.
- .- Medida cuántica. Operadores de medida. Matriz densidad: estados puros y mixtos. Tomografía cuántica.

Actividades vinculadas:

- AV1: Control de problemas de los temas 1 y 2
AV3: Resolución de problemas y aplicaciones prácticas.
AV4: Proyecto sobre aplicaciones de las tecnologías de la información cuántica (trabajo en grupo fuera del aula, seguimiento del proyecto en sesiones de AD y presentación final).
AV5 y 6: Exámenes de medio cuatrimestre y de final de cuatrimestre.

Dedicación: 45h

- Grupo grande/Teoría: 14h
Actividades dirigidas: 6h
Aprendizaje autónomo: 25h

PROCESADORES CUÁNTICOS

Descripción:

- .- Hardware cuántico. Requisitos generales. Criterios de DiVincenzo para un Ordenador cuántico Universal.
- .- Supremacía o ventaja cuántica. Procesadores cuánticos actuales.
- .- Modelo de Computador Cuántico Óptico. Elementos ópticos: polarizadores, retardadores, wave-plates, BBOs, beam-splitters y detectores. Modo polarizado y modo espacial. Interferómetro de Mach-Zehnder. Ejemplo de teleportación basado en el experimento de las Islas Canarias.

Actividades vinculadas:

AV2: Control de problemas de los temas 3 y 4

AV3: Resolución de problemas y aplicaciones prácticas.

AV4: Proyecto sobre aplicaciones de las tecnologías de la información cuántica (trabajo en grupo fuera del aula, seguimiento del proyecto en sesiones de AD y presentación final).

AV5 y 6: Exámenes de medio cuatrimestre y de final de cuatrimestre.

Dedicación: 38h

Grupo grande/Teoría: 11h

Actividades dirigidas: 5h

Aprendizaje autónomo: 22h

COMUNICACIÓN CUÁNTICA

Descripción:

- .- Criptografía Clàssica vs. Quàntica.
- .- Sessió de Distribució Quàntica de Clau. Protocols bàsics: BB84, B89 i E91.
- .- Elements clàssics de la teoria de la informació. Entropia de Shannon.
- .- Informació Quàntica. Definició de l'entropia quàntica. Teorema de Holevo.
- .- Compresió quàntica de dades i correcció d'errors quàntics.

Actividades vinculadas:

AV2: Control de problemas de los temas 3 y 4

AV3: Resolución de problemas y aplicaciones prácticas.

AV4: Proyecto sobre aplicaciones de las tecnologías de la información cuántica (trabajo en grupo fuera del aula, seguimiento del proyecto en sesiones de AD y presentación final).

AV5y6: Exámenes de medio cuatrimestre y de final de cuatrimestre.

Dedicación: 45h

Grupo grande/Teoría: 10h

Actividades dirigidas: 10h

Aprendizaje autónomo: 25h

ACTIVIDADES

(AV1): CONTROL DE PROBLEMAS DE LOS TEMAS 1 Y 2

Descripción:

En una sesión de grupo de teoría, se realizará un control individual de problemas de los temas 1 y 2.

Objetivos específicos:

Comprobar los conocimientos adquiridos sobre los temas 1 y 2 por parte de profesores y estudiantes. Desarrollar la capacidad de comunicarse con claridad y eficacia de forma escrita, justificando la resolución de los problemas.

Material:

Enunciado del control en papel, calculadora y pequeño formulario.

Entregable:

Se entregará el control resuelto individualmente para su evaluación con un 10% de la nota final.

Dedicación: 6h 30m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 5h

(AV2): CONTROL DE PROBLEMAS DE LOS TEMAS 3 Y 4

Descripción:

Idem AV1

Objetivos específicos:

Comprobar los conocimientos adquiridos sobre los temas 4 y 5 por parte de profesores y estudiantes. Desarrollar la capacidad de comunicarse con claridad y eficacia de forma escrita, justificando la resolución de los problemas.

Material:

Idem AV1

Entregable:

Idem AV1

Dedicación: 6h 30m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 5h

(AV3): ACTIVIDADES DIRIGIDAS DE APLICACIONES PRÁCTICAS

Descripción:

Actividades, ejercicios y/o entregables relacionados con la computación cuántica, como por ejemplo simulación y ejecución de circuitos cuánticos con Qiskit-

Dedicación: 81h

Actividades dirigidas: 21h

Aprendizaje autónomo: 60h

(AV4): PROYECTO APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN CUÁNTICA

Descripción:

Presentación oral sobre temas de interés de computación cuántica y tecnologías de la información cuántica.

Dedicación: 25h

Grupo grande/Teoría: 2h

Actividades dirigidas: 3h

Aprendizaje autónomo: 20h

(AV5): EXAMEN DE MEDIO CUATRIMESTRE

Descripción:

Durante la semana de exámenes de medio cuatrimestre se realizará un examen individual de teoría y problemas de los contenidos trabajados hasta el momento.

Objetivos específicos:

Comprobar los conocimientos adquiridos sobre los contenidos incluidos, por parte de profesores y estudiantes. Desarrollar la capacidad de comunicarse con claridad y eficacia de forma escrita, justificando la resolución de los problemas y respondiendo a preguntas teóricas.

Material:

Enunciado del examen en papel, calculadora y formulario.

Entregable:

Se entregará el examen resuelto individualmente para su evaluación con un 20% de la nota final.

Dedicación: 1h 30m

Actividades dirigidas: 1h 30m

(AV6): EXAMEN DE FINAL DE CUATRIMESTRE

Descripción:

Durante la semana de exámenes de final de cuatrimestre se realizará un examen individual de teoría y problemas de todos los contenidos trabajados en la asignatura.

Objetivos específicos:

Comprobar los conocimientos adquiridos sobre los contenidos incluidos, por parte de profesores y estudiantes. Desarrollar la capacidad de comunicarse con claridad y eficacia de forma escrita, justificando la resolución de los problemas y respondiendo a preguntas teóricas.

Material:

Idem AV5

Entregable:

Se entregará el examen resuelto individualmente para su evaluación con un 30% de la nota final.

Dedicación: 1h 30m

Actividades dirigidas: 1h 30m

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

La nota final se obtendrá a partir de:

Dos exámenes parciales de teoría y problemas (medio y final de cuatrimestre): 50%

Dos controles de problemas: 20%

Entregables de problemas y programas: 10%

Proyecto: 20%

NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Todas las actividades de evaluación propuestas son obligatorias. Un examen, control, entregable o proyecto no presentado se puntuará con una nota de cero. Los exámenes y controles se realizarán de manera individual.

BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- Nielsen, M.A.; Chuang, I.L. Quantum computation and quantum information. 10th ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010. ISBN 9781107002173.
- Desurvire, Emmanuel. Classical and quantum information theory : an introduction for the telecom scientist [en línea]. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2009 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=424585>. ISBN 9780521881715.
- Scarani, Valerio. Six quantum pieces : a first course in quantum physics. Singapore: World Scientific, 2011. ISBN 9789814327541.

Complementaria:

- Kaye, Phillip; Laflamme, Raymond; Mosca, Michele. An Introduction to quantum computing [en línea]. Oxford [etc.]: Oxford University Press, 2007 [Consulta: 13/12/2022]. Disponible a: <https://academic-oup-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/41807?searchresult=1>. ISBN 9780198570493.
- Scarani, Valerio. Quantum Physics : a first encounter : interference, entanglement, and reality [en línea]. Oxford: Oxford University Press, 2006 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=422472>. ISBN 9780198570479.
- Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene. Física para la ciencia y la tecnología(VOL. 1) [en línea]. 5a ed. Barcelona [etc.]: Reverté, 2005 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: https://www-ingebook-com.recursos.biblioteca.upc.edu/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=10372. ISBN 8429144102.
- Zeilinger, Anton; Ekert, A.; Bouwmeester, Dirk. The Physics of quantum information : quantum cryptography, quantum teleportation, quantum computation. Berlin: Springer, 2000. ISBN 3540667784.
- Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene. Física per a la ciència i la tecnologia(VOL. 2) [en línea]. Barcelona [etc.]: Reverté, 2010 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: https://www-ingebook-com.recursos.biblioteca.upc.edu/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=10373. ISBN 9788429144321.
- Argüello Luengo, Javier; González Tudela, Alejandro; Cirac Sasturáin, Juan Ignacio. Simuladores cuánticos : construyendo las maquetas del mundo microscópico. Madrid: Catarata, 2025. ISBN 9788410674233.