



Física y
matemáticas para la
computación
cuántica
**Máster Universitario en
Computación Cuántica**



UNIVERSIDAD
NEBRIJA

GUÍA DOCENTE

Asignatura: Física y matemáticas para la computación cuántica

Titulación: Máster Universitario en Computación Cuántica

Carácter: Obligatoria

Idioma: Castellano

Modalidad: Semipresencial

Créditos: 6

Curso: 1º

Semestre: 1º

Profesor / Equipo docente: D. Francisco Gálvez Ramírez, Dra. D^a. María García Díaz

1. COMPETENCIAS Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE

1.1. Competencias

Competencias básicas

- CB6 Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

Competencias generales

- CG1 Desarrollar la capacidad del aprendizaje autónomo con el fin de adaptarse a un entorno cambiante y con múltiples desafíos en el ámbito de la computación cuántica.
- CG2 Resolver problemas y tomar decisiones eficaces ante problemas planteados en el sector de la computación cuántica.
- CG4 Utilizar y sintetizar las diferentes fuentes de información para obtener resultados científicos y aplicarlos en el ámbito de la computación cuántica.
- CG5 Conocer y aplicar los conocimientos adquiridos en la resolución de problemas en entornos nuevos, asumiendo riesgos y aplicando un juicio crítico en el ámbito de la computación cuántica.

Competencias específicas

- CE1 Identificar y documentar situaciones donde se producen fenómenos cuánticos para su análisis dentro de un proyecto.
- CE2 Aplicar la formulación y cálculos de la mecánica cuántica para la resolución de un problema.
- CE5 Utilizar los resultados obtenidos en el proceso de medición cuántica para la caracterización de un sistema.

1.2. Resultados de aprendizaje

El estudiante al finalizar esta materia deberá:

- Ser capaz de plantear problemas con expresiones algebraicas y resolverlos.
- Entender el concepto de “Cuantización” y comprender los motivos, los hechos y los descubrimientos que condujeron a la aparición de la teoría cuántica.
- Aplicar la nomenclatura matemática para la representación de los conceptos y estados de la computación cuántica.

2. CONTENIDOS

2.1. Requisitos previos

Ninguno.

2.2. Descripción de los contenidos

- Revisión de cálculo matricial, vectores y tensores.
- Espacios de Hilbert.
- Teoría de operadores.
- Revisión de variable compleja.

- Teoría de la radiación.
- El efecto fotoeléctrico.
- El experimento de la doble rendija.
- Los postulados de la Mecánica Cuántica.
- Conceptos básicos de computación cuántica. Qubits. La esfera de Bloch. Superposición, entrelazamiento.
- El ordenador cuántico: criterios de DiVicenzo.

2.3. Contenido detallado

Presentación de la asignatura

Explicación de la **guía docente**

1. Revisión de cálculo matricial, vectores y tensores

- 1.1. Operaciones con vectores.
- 1.2. Operaciones con matrices.
- 1.3. El producto tensorial.
- 1.4. Notación de Dirac: vectores Bra y Ket.

2. Espacios de Hilbert

- 2.1. Espacios vectoriales de dimensión infinita.
- 2.2. El producto interno.
- 2.3. Sistemas ortonormales.
- 2.4. El espacio de Hilbert 2D.
- 2.5. Bases unitarias en el espacio de Hilbert.

3. Teoría de operadores

- 3.1. Aplicación lineal.
- 3.2. Operadores lineales.
- 3.3. Desigualdad de Cauchy-Swarz.
- 3.4. Condición de ortonormalidad.
- 3.5. Descomposición de Gram-Schmidt.
- 3.6. Completitud.
- 3.7. Autovalores y autovectores.

- 3.8. Operadores Hermíticos.
- 3.9. Operadores unitarios.
- 3.10. Producto tensorial.
- 3.11. Transformaciones lineales.

4. Revisión de Variable Compleja.

- 4.1. Operaciones con números complejos.
- 4.2. Teorema de De Moivre.
- 4.3. Notación exponencial.
- 4.4. Fórmula de Euler.
- 4.5. Raíces n-esimas de la unidad.
- 4.6. Superficie de Riemann.
- 4.7. Desarrollos en serie.

5. Teoría de la radiación

- 5.1. La radiación del cuerpo negro.
- 5.2. La fórmula de Planck.
- 5.3. Dualidad onda-corpúsculo.
- 5.4. El postulado de De Broglie.
- 5.5. El principio de indeterminación de Heisenberg

6. El efecto fotoeléctrico

- 6.1. Descripción del efecto fotoeléctrico.
- 6.2. Tratamiento cualitativo del efecto fotoeléctrico.

7. El experimento de la doble rendija

- 7.1. Descripción del experimento de la doble rendija.
- 7.2. Experimento con electrones.

8. Los postulados de la Mecánica Cuántica

- 8.1. Introducción a la Mecánica Cuántica.
- 8.2. Los postulados de la Mecánica Cuántica.
- 8.3. La ecuación de Schrödinger.
- 8.4. La interpretación probabilística.

8.5. El desarrollo matricial.

8.6. La paradoja EPR.

8.7. Las desigualdades de Bell.

9. Conceptos básicos de Computación Cuántica

9.1. Qubits.

9.2. La esfera de Bloch.

9.3. Superposición cuántica.

9.4. El fenómeno del entrelazamiento.

10. El ordenador cuántico. Criterios de Divicenzo

10.1. Criterios de Divicenzo para la construcción de un computador cuántico.

2.4. Actividades dirigidas

Durante el curso se realizarán varias actividades dirigidas en forma de trabajos orientados al aprendizaje y aplicación de los nuevos conceptos aprendidos o ampliación de éstos. Las actividades se desarrollarán de forma individual o en grupo.

2.5. Actividades formativas

| CÓDIGO | ACTIVIDAD FORMATIVA | HORAS | PORCENTAJE DE PRESENCIALIDAD |
|--------|---------------------------------------|-------|------------------------------|
| AF1 | Clases de teoría y práctica | 45 | 10% |
| AF2 | Tutorías | 10 | 0% |
| AF3 | Seminarios y talleres prácticos | 15 | 50% |
| AF4 | Estudio individual y trabajo autónomo | 72 | 0% |
| AF5 | Evaluación | 8 | 100% |

3. SISTEMA DE EVALUACIÓN

3.1. Sistema de calificaciones

El sistema de calificaciones finales se expresará numéricamente del siguiente modo:

0 - 4,9 Suspenso (SS)

5,0 - 6,9 Aprobado (AP)

7,0 - 8,9 Notable (NT)

9,0 - 10 Sobresaliente (SB)

La mención de “matrícula de honor” se otorgará a estudiantes que hayan obtenido una calificación igual o superior a 9,0 puntos. Su número no podrá exceder del cinco por ciento de los estudiantes matriculados en la materia en el correspondiente curso académico, salvo que el número de estudiantes matriculados sea inferior a 20, en cuyo caso se podrá conceder una sola «Matrícula de Honor».

3.2. Criterios de evaluación

Convocatoria ordinaria

| Sistemas de evaluación | Porcentaje |
|---------------------------------------|------------|
| SE1. Asistencia y participación | 10% |
| SE2. Actividades académicas dirigidas | 30% |
| SE3. Prueba final presencial | 60% |

Convocatoria extraordinaria

| Sistemas de evaluación | Porcentaje |
|---------------------------------------|------------|
| SE2. Actividades académicas dirigidas | 40% |
| SE3. Prueba final presencial | 60% |

3.3. Restricciones

Calificación mínima

Para poder hacer media con las ponderaciones anteriores es necesario obtener al menos una calificación de 5,0 puntos en la prueba final presencial, tanto en convocatoria ordinaria como en extraordinaria.

En todo caso, la superación de cualquier asignatura está supeditada a aprobar las pruebas finales presenciales individuales correspondientes.

Asistencia

Para poder presentarse a la convocatoria ordinaria es necesario el contabilizar una asistencia mínima del 85% de las clases virtuales de la asignatura.

Normas de escritura

Se prestará especial atención en los trabajos, prácticas y proyectos escritos, así como en los exámenes tanto a la presentación como al contenido, cuidando los aspectos gramaticales y ortográficos. El no cumplimiento de los mínimos aceptables puede ocasionar que se resten puntos en dicho trabajo.

3.4. Advertencia sobre plagio

La Universidad Antonio de Nebrija no tolerará en ningún caso el plagio o copia. Se considerará plagio la reproducción de párrafos a partir de textos de auditoría distinta a la del estudiante (Internet, libros, artículos, trabajos de compañeros...), cuando no se cite la fuente original de la que provienen. El uso de las citas no puede ser indiscriminado. El plagio es un delito.

En caso de detectarse este tipo de prácticas, se considerará falta grave y se podrá aplicar la sanción prevista en el reglamento del alumno.

4. BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

- Quantum Computation and Quantum Information – M. A. Nielsen, I. L. Chuang – Cambridge University Press. 2010.

Bibliografía recomendada

- Mathematical Methods for Physics and Engineering - K.F. Riley, M.P. Hobson, S.J. Bence – Cambridge University Press. 2006.
- Quantum Mechanics Vol. I – C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloë – John Wiley & Sons. 2019.