

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Física Matemática e Información Cuántica	Información Cuántica	4º	2º	6	Optativa
<b>PROFESORES</b>			<b>DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS</b>		
Dr. Jesus Sánchez-Dehesa			Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, Tercera planta de Físicas, Facultad de Ciencias. Despacho nº 132. Tel. 958 24 32 15 Correo electrónico: dehesa@ugr.es		
			<b>HORARIO DE TUTORÍAS</b>		
			Martes, miércoles y jueves de 9:00 a 11:00		
<b>GRADO EN EL QUE SE IMPARTE</b>			<b>OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR</b>		
Grado en Física			Grado en Matemáticas		
<b>PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos de mecánica cuántica elemental y de álgebra lineal.</li> <li>• Poseer la capacidad de leer textos en inglés científico comprendiendo su contenido.</li> </ul>					
<b>BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entropías clásicas: concepto y aplicaciones científicas y tecnológicas.</li> <li>• Formalismo de la matriz densidad. Qubitología.</li> <li>• Entrelazamiento cuántico. Descomposición de Schmidt. Purificación.</li> <li>• Entropías cuánticas. Medidas de entrelazamiento. Desigualdades de Bell.</li> <li>• Comunicación cuántica: teorema de no-clonación, criptografía y teleportación cuánticas</li> <li>• Computación cuántica.</li> </ul>					
<b>COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS</b>					



## Generales

- CT1: Capacidad de análisis y síntesis.
- CT2: Capacidad de organización y planificación.
- CT5: Capacidad de gestión de la información.
- CT8: Razonamiento crítico.
- CT9: Aprendizaje autónomo.

## Específicas

- CE1: Conocimiento y comprensión de los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- UCE3.2: Capacidad de profundizar en la aplicación de los conocimientos físicos y matemáticos en el contexto general de la Información Cuántica.
- CE6: Capacidad para elaborar proyectos de iniciación a la investigación científica en el ámbito de la Información Cuántica.
- CE7: Capacidad de transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.



## OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

### Resultados del aprendizaje

- Tras cursar satisfactoriamente la asignatura, el alumno:
  - a) Conocería:
    - Las principales cuestiones sobre fundamentos de la mecánica cuántica, la información clásica y cuántica, la comunicación cuántica, la computación cuántica.
    - El significado del entrelazamiento cuántico como fenómeno científico y herramienta tecnológica.
    - Nociones básicas sobre la concepción cuántica de la medida y los principales desarrollos teóricos relacionados.
    - Algunos de los más recientes desarrollos experimentales en el campo.
    - Las principales aplicaciones de la materia.
  - b) Debería:
    - Haber percibido la gran revolución conceptual que ha supuesto la teoría cuántica.
    - Haber comprendido los actuales debates interpretativos abiertos sobre la teoría cuántica y sus nuevos desarrollos teóricos generados, y haber realizado exposiciones coherentes sobre ellos.
    - Ser capaz de abordar la principal bibliografía relacionada, comprendiendo los problemas planteados y las implementaciones experimentales acometidas.
    - Haber comprendido la trascendencia sobre las aplicaciones actuales más importantes de la Información Cuántica, Computación Cuántica y la Comunicación Cuántica, y ser capaz de realizar explicaciones coherentes sobre ellas.



## TEMARIO

1. **Información clásica.** Entropías de una distribución de probabilidad discreta y continua. Entropías de Shannon, Rényi y Tsallis. Información mútua. Aplicaciones científicas y tecnológicas.

2. **Información Cuántica.** Formalismo del operador densidad. Concepto y contenido de información. Bits cuánticos y su implementación física. La esfera de Bloch. Sistemas de dos y más qubits. Medidas de información y de entrelazamiento. Descomposición de Schmidt. Purificaciones. Fidelidad. Aplicaciones.

3. **Comunicación Cuántica.** Procesamiento de la información cuántica con fotones. La paradoja EPR y las desigualdades de Bell. Criptografía y Teleportación cuánticas: protocolos y aplicaciones.

4. **Computación Cuántica.** Puertas lógicas cuánticas. Redes cuánticas. Principios generales. Paralelismo cuántico. Algoritmos cuánticos. Átomos e iones atrapados. Computadores cuánticos de gran tamaño.

**Apéndices.** Métodos de cálculo de la interacción átomos e iones con láseres. Mecánica cuántica elemental: espacio de Hilbert, notación de Dirac, operadores, vectores y matrices, autovalores y autovectores. Producto tensorial de espacios de Hilbert.

## BIBLIOGRAFÍA

- S.M. Barnett, *Quantum Information* (Oxford U.P., Oxford, 2009)
- B. Schumacher & M.D. Westmoreland, *Quantum Processes, Systems and Information*. (Cambridge University Press, Cambridge, 2010).
- N. Nielsen & I.L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information* (Cambridge U. P., Cambridge, 2010).
- M. M. Wilde, *Quantum Information Theory* (Cambridge U.P., Cambridge, 2013)
- J.A. Jones & D. Jaksch, *Quantum Information, Computation and Communication* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2012).
- I. Bengtsson & C. Zyczkowski, *Geometry of Quantum States: An Introduction to Quantum Entanglement* (Cambridge U. P., Cambridge, 2006).
- G. Benenti, G. Casati, and G. Strini, *Principles of Quantum Computation and Information*. Vols. I and II (World Scientific, Singapore, 2007).
- V. Vedral, *Introduction to Quantum Information Science*. (Oxford U.P., Oxford, 2006)
- G. Jaeger, *Quantum Information: An Overview* (Springer, Berlin, 2007)
- A. Albert et al, *Quantum Information. An Introduction to Basic Theoretical Concepts and Experiments*; Springer; Berlin, 2001.
- S. Braunstein, ed., *Quantum Computing. Where do we want to go tomorrow?* (Wiley-VCH; Weinheim, 1999)
- W.H. Steeb, *Problems & Solutions in Quantum Computing & Quantum Information* (World Scientific, Singapore, 2004).
- D. McMahon, *Quantum Computing Explained* (Wiley, N.Y., 2008)



### Bibliografía adicional:

- B. D'Espagnat. *Veiled Reality. An Analysis of Present-day Quantum Mechanical Concepts*. (Addison-Wesley, N.Y., 1995).
- P. Busch, P.J. Lahti & Mittelstaedt, *The Quantum Theory of Measurement* (Springer-Verlag, Heidelberg, 1991).
- J.A. Wheeler & W.H. Zurek, ed., *Quantum Theory and Measurement* (Princeton Univ. , Princeton, 1983).
- A. Galindo & P. Pascual. *Mecánica Cuántica*. (Eudema; Madrid, 1989).
- J. Mehra & H. Rechenberg. *The Historical Development of Quantum Mechanics*, 6 volúmenes. (Springer-Verlag, Nueva York, 1982).

### ENLACES RECOMENDADOS

- John Preskill, <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph219/#lecture> o simplemente <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>
- A. Galindo, "Del bit al qubit": <http://teorica.fis.ucm.es/~agt/conferencias/leccionweb.pdf>
- Quantum Computing in Nature: <http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7280/full/463441a.html>
- Grupos de investigación: <http://faeuat0.us.es/QIGUS/links.htm>, [www.quantumoptics.net](http://www.quantumoptics.net) , <http://www.iqoqi.at/en/>, y [www.qubit.org](http://www.qubit.org).

### METODOLOGÍA DOCENTE

- **Metodología y distribución créditos:**  
Clases teóricas: 3 ECTS  
Clases prácticas, problemas y seminarios: 2 ECTS  
Tutorías y exámenes: 1 ECTS

### PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Tema 1: cuatro semanas  
Tema 2: cinco semanas  
Tema 3: cuatro semanas  
Tema 4: dos semanas.

Este programa de actividades tiene carácter tentativo, orientativo y aproximado.

### EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)



- La evaluación de la asignatura será continuada y responderá a la ponderación de los dos apartados siguientes (que contribuirán a la nota final con porcentajes del 60 y 40 %, respectivamente):
  - Asistencia y participación proactiva en las clases. Elaboración correcta de los problemas y trabajos de clase propuestos por el profesor a lo largo del curso y su adecuada exposición en seminarios.
  - Superación satisfactoria global de dos exámenes parciales.
- Evaluación única final. Aquellos estudiantes que, siguiendo la Normativa de la UGR en los términos y plazos que en ella se exigen, se acojan a esta modalidad de evaluación, realizarán un examen que incluirá cuestiones teórico-prácticas.

#### **INFORMACIÓN ADICIONAL**

