

SEMESTRE	CRÉDITOS	CARÁCTER	TIPO DE ENSEÑANZA	IDIOMA DE IMPARTICIÓN
1º	6	Optativa	Presencial / Semipresencial / Virtual	Español
<b>MÓDULO</b>		Física Teórica y Matemática		
<b>MATERIA</b>		Información, Computación y Tecnologías Cuánticas		
<b>CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO</b>		Escuela Internacional de Posgrado		
<b>MÁSTER EN EL QUE SE IMPARTE</b>		<b>Máster Universitario en Física y Matemáticas FisyMat</b>		
<b>CENTRO EN EL QUE SE IMPARTE LA DOCENCIA</b>		Facultad de Ciencias		
<b>PROFESORES<sup>(1)</sup></b>				
<b>González Férez, María Rosario</b>				
<b>DIRECCIÓN</b>		Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear, 3ª planta, Facultad de Ciencias Sección de Físicas. Despacho nº 143. Correo electrónico: rogonzal@ugr.es		
<b>TUTORÍAS</b>		M y J 10:00 a 13:00		
<b>Sánchez-Dehesa Jesús</b>				
<b>DIRECCIÓN</b>		Dpto. Física Atómica Molecular y Nuclear, 3ª planta, Facultad de Ciencias Sección de Físicas. Despacho nº 132. Correo electrónico: dehesa@ugr.es		
<b>TUTORÍAS</b>		M y X 9:00-12:00		
<b>COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS</b>				
<b>COMPETENCIAS BÁSICAS Y GENERALES</b>				
<p>CG2 - Capacidad de generar y desarrollar de forma independiente propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional en el ámbito científico de la Física y Matemáticas</p> <p>CG3 - Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos</p>				

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" ([http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/))

G04 - Saber comunicarse con la comunidad académica y científica en su conjunto, con la empresa y con la sociedad en general acerca de la Física y/o Matemáticas y sus implicaciones académicas, productivas o sociales

CG5 - Adquirir la capacidad de desarrollar un trabajo de investigación científica de forma independiente y en toda su extensión. Ser capaz de buscar y asimilar bibliografía científica, formular las hipótesis, plantear y desarrollar problemas y elaborar de conclusiones de los resultados obtenidos

### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

CE1 - Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las herramientas disponibles y de las restricciones de tiempo y recursos

CE2 - Desarrollar la capacidad de decidir las técnicas adecuadas para resolver un problema concreto con especial énfasis en aquellos problemas asociados a la Modelización en Ciencias e Ingeniería, Astrofísica, Física, y Matemáticas

CE4 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica

CE5 - Saber obtener e interpretar datos de carácter físico y/o matemático que puedan ser aplicados en otras ramas del conocimiento

CE6 - Demostrar la capacidad necesaria para realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de resultados e ideas nuevas y complejas en el campo de la astrofísica, física, matemáticas y biomatemáticas

CE8 - Capacidad de modelar, interpretar y predecir a partir de observaciones experimentales y datos numéricos

### COMPETENCIAS TRANSVERSALES

CT1 - Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor

CT3 - Desarrollar el razonamiento crítico y la capacidad de crítica y autocrítica

CT4 - Comprender y reforzar la responsabilidad y el compromiso éticos y deontológicos en el desempeño de la actividad profesional e investigadora y como ciudadano

CT5 - Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo)

### OBJETIVOS O RESULTADOS DE APRENDIZAJE (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

- Los principios teóricos y la significación física del formalismo de la matriz densidad, enfatizando los aspectos teórico-informacionales y sus aplicaciones en información, computación y tecnologías cuánticas
- El concepto cuantitativo de información, con las correspondientes medidas entrópico-informacionales, y con su significado y aplicaciones físicas.
- las medidas entrópicas clásicas y cuánticas, así como las medidas de complejidad asociadas
- los conceptos y técnicas de la Física de Condensados, particularmente los condensados de Bose-Einstein, y de gases cuánticos. Estos elementos son el fundamento de muchos de los desarrollos actuales en óptica cuántica y en diversas tecnologías cuánticas.
- el fenómeno del entrelazamiento (entanglement) cuántico, sus propiedades, y sus aplicaciones en contextos científicos (p.ej., desorden interno en sistemas atómicos y moleculares) y tecnológicos (por ej., metrología, óptica y simulación cuánticas, y teleportación, criptografía y distribución de claves cuánticas).
- Las propiedades y características más importantes de los gases cuánticos fermiónicos y bosónicos.

**El alumno será capaz de:**



- Analizar el desorden interno de los sistemas cuánticos finitos por medio de entropías y medidas de complejidad clásicas y cuánticas, con énfasis en las medidas de entrelazamiento de tipo von Neumann y generalizaciones.
- Estudiar las correlaciones de los sistemas compuestos por medio del entrelazamiento cuántico entre sus partículas constituyentes.
- Aplicar las medidas de entrelazamiento cuántico a problemas científico-tecnológicos diversos relativos, tales como a la distribución segura de claves secretas a grandes distancias, los dispositivos de comunicación y computación cuánticas.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN LA MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL TÍTULO)

- Entrelazamiento y correlaciones cuánticas en sistemas compuestos.
- Medidas de entrelazamiento en sistemas de partículas idénticas. Aplicación a sistemas, procesos y fenómenos atómicos y moleculares.
- Dinámica cuántica de sistemas abiertos. Ecuación de Lindblad. Markovianidad cuántica.
- Distribución de claves cuánticas (QKD).
- Computación cuántica y procesos de decoherencia y corrección de errores.
- Condensados de Bose-Einstein: ecuación de Gross-Pitaevskii.
- Gases cuánticos: aproximaciones teóricas
- Aplicaciones en metrología cuántica, óptica cuántica y simulación cuánticas

#### TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

##### TEMARIO TEÓRICO:

- Información cuántica. Formalismo matemático. Medidas proyectivas y generalizadas. Sistemas bipartitos.
- Entrelazamiento y correlaciones cuánticas. Entropías y medidas de complejidad clásicas y cuánticas.
- Entrelazamiento cuántico de sistemas compuestos multipartitos. Criterios de separabilidad.
- Aplicaciones a sistemas multielectrónicos.
- Evolución de sistemas cuánticos cerrados y abiertos. Descripción teórica y aplicaciones dinámicas.
- Gases cuánticos: Descripción teórica.
- Tecnologías cuánticas y aplicaciones.

#### BIBLIOGRAFÍA

##### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- A. Bergou y M. Hillery, Introduction to the Quantum Information Processing (Springer, 2013)
- J.A. Jones y D. Jaksch, Quantum Information, Computation and Communication (Cambridge U. Press, 2012)
- E.G. Riffel, Quantum Computing: A Gentle Introduction (M.I.T. Press, 2011)
- V. Vedral, Introduction to Quantum Information Science. (Oxford U.P., Oxford, 2006)
- H.T. Williams, Discrete Quantum Mechanics (Morgan and Claypool Publishers, 2015)
- N. Nielsen and I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge U. P., 2010).
- Quantum Optics: An Introduction, Marlan O. Scully and M. Suhail Zubairy, (Cambridge University Press 1997)
- Quantum Gas Experiments: Exploring Many-Body States, Päivi Törmä and Klaus Sengstock, World Scientific Publishing



- Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases, C. J. Pethick and H. Smith (Cambridge University Press 2008)
- Bose-Einstein Condensation, L. Pitaevskii and S. Stringari, (Oxford University Press)

#### ENLACES RECOMENDADOS (OPCIONAL)

- John Preskill, Lecture notes on Quantum Computation; available online at <http://www.theory.caltech.edu/people/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: [www.qubit.org](http://www.qubit.org) ; [www.quantumoptics.net](http://www.quantumoptics.net) ; <http://faeuat0.us.es/QIGUS/links.htm>; <http://www.pcqc.fr/>; <http://oxfordquantum.org/>
- [www.quantiki.org](http://www.quantiki.org) ; una wiki-cuántica
- Quantum manifesto of the European Union. A New Era of Technology (Marzo 2016).

#### METODOLOGÍA DOCENTE

- Lección magistral
- Resolución de problemas y estudio de casos prácticos
- Seminarios
- Tutorías académicas
- Realización de trabajos individuales o en grupos
- Análisis de fuentes y documentos
- Sesiones de discusión y debate

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

##### CONVOCATORIA ORDINARIA

El artículo 17 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que la convocatoria ordinaria estará basada preferentemente en la evaluación continua del estudiante, excepto para quienes se les haya reconocido el derecho a la evaluación única final.

- Valoración de las pruebas, exámenes, ejercicios, prácticas y/o problemas realizados individualmente o en grupo a lo largo del curso: entre 10% y 20.0%
- Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y/o memorias realizadas de forma individual o en grupo: 50 %
- Realización de exámenes parciales o finales escritos: entre 0% y 20%
- Valoración de la asistencia y participación del alumno en clase y en los seminarios, y sus aportaciones en las actividades desarrolladas: entre 10% y 20%

##### CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

El artículo 19 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que los estudiantes que no hayan superado la asignatura en la convocatoria ordinaria dispondrán de una convocatoria extraordinaria. A ella podrán concurrir todos los estudiantes, con independencia de haber seguido o no un proceso de evaluación continua. De esta forma, el estudiante que no haya realizado la evaluación continua tendrá la posibilidad de obtener el 100% de la calificación mediante la realización de una prueba y/o trabajo.

- Examen final de toda la asignatura: 100%

#### DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

El artículo 8 de la Normativa de Evaluación y Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada establece que podrán acogerse a la evaluación única final, el estudiante que no pueda cumplir con el



método de evaluación continua por causas justificadas.

Para acogerse a la evaluación única final, el estudiante, en las dos primeras semanas de impartición de la asignatura o en las dos semanas siguientes a su matriculación si ésta se ha producido con posterioridad al inicio de las clases o por causa sobrevenidas. Lo solicitará, a través del procedimiento electrónico, a la Coordinación del Máster, quien dará traslado al profesorado correspondiente, alegando y acreditando las razones que le asisten para no poder seguir el sistema de evaluación continua.

La evaluación en tal caso consistirá en:

- Examen final de toda la asignatura: 100%

## ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)

### ATENCIÓN TUTORIAL

**HORARIO**  
(Según lo establecido en el POD)

**HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL**  
(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

Según lo establecido en el POD.

Prof. RGF: M, J de 10:00 a 13:00

[http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/\\*/\\_show/c33ebe092b8849c33167e572a79e0f9a](http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/_show/c33ebe092b8849c33167e572a79e0f9a)

Prof. JSD: M y X 9:00-12:00

- Google Meet, FAQ con respuestas accesibles a los alumnos, PRADO Wiki, correo electrónico.
- Las tutorías individuales tendrán lugar previa petición del estudiante. El profesor podrá proponer tutorías en grupo si lo estima oportuno en caso de que hubiera que impartir clases virtuales en modo asíncrono.

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

- La proporción entre clases virtuales y presenciales dependerá de las posibilidades del centro y de las circunstancias sanitarias.
- Las clases no presenciales se impartirán preferiblemente en el horario previsto y de manera síncrona a través de la plataforma Google Meet (o de aquella otra que dicte la UGR en su momento).
- En caso de que, por incompatibilidades de horarios, las clases tuvieran que ser asíncronas:
- Las grabaciones de las clases estarán accesibles a los alumnos durante un periodo de tiempo limitado.
- Se dedicará al menos una clase síncrona semanal al repaso de las clases asíncronas y como tutoría en grupo que posibilite el contacto con el alumno.
- Los apuntes detallados de la asignatura estarán accesibles a todos los alumnos a través de PRADO, Consigna UGR y/o Google Drive.

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)

#### Convocatoria Ordinaria

Se mantendrán las siguientes proporciones:

- Valoración de las pruebas, exámenes, ejercicios, prácticas y/o problemas realizados individualmente o en grupo a lo largo del curso: entre 10.0% y 20%
- Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y/o memorias realizadas de forma individual o en grupo: 50 %
- Realización de exámenes parciales o finales escritos: entre 0% y 20%
- Valoración de la asistencia y participación del alumno en clase y en los seminarios, y sus



aportaciones en las actividades desarrolladas: entre 10% y 20%	
<b>Convocatoria Extraordinaria</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Examen final de toda la asignatura: 100%</li> </ul>	
<b>Evaluación Única Final</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Examen final de toda la asignatura: 100%</li> </ul>	
<b>ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)</b>	
<b>ATENCIÓN TUTORIAL</b>	
<b>HORARIO</b> (Según lo establecido en el POD)	<b>HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL</b> (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
<p>Según lo establecido en el POD.</p> <p>Prof. RGF: M, J de 10:00 a 13:00  <a href="http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/c33ebe092b8849c33167e572a79e0f9a">http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/c33ebe092b8849c33167e572a79e0f9a</a></p> <p>Prof. JSD: M y X 9:00-12:00</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el escenario B las tutorías individuales se atenderán mediante Google Meet o correo electrónico previa petición del alumno. El profesor podrá proponer tutorías en grupo si lo estima oportuno, especialmente en caso de que hubiera que impartir clases virtuales en modo asíncrono.</li> </ul>
<b>MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Todas las clases serán no presenciales; se impartirán preferiblemente en el horario previsto y de manera síncrona a través de la plataforma Google Meet (o de aquella otra que dicte la UGR en su momento).</li> <li>En caso de que, por incompatibilidades de horarios, las clases tuvieran que ser asíncronas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Las grabaciones de las clases estarán accesibles a los alumnos durante un periodo de tiempo limitado.</li> <li>Se dedicará al menos una clase síncrona semanal al repaso de las clases asíncronas y como tutoría en grupo que posibilite el contacto con el alumno.</li> </ul> </li> <li>Los apuntes detallados de la asignatura estarán accesibles a todos los alumnos a través de PRADO, Consigna UGR y/o Google Drive.</li> </ul>	
<b>MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)</b>	
<b>Convocatoria Ordinaria</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se incrementará el peso de la entrega de trabajos y problemas propuestos por el profesor al 50%.</li> <li>El 50% restante de la calificación se determinará mediante un examen de problemas y conocimientos teóricos a realizar mediante Google Meet y Prado.</li> </ul>	
<b>Convocatoria Extraordinaria</b>	



- 
- La convocatoria extraordinaria consistirá en las mismas pruebas que la evaluación única final.

#### **Evaluación Única Final**

- La convocatoria extraordinaria consistirá en las mismas pruebas que la evaluación única final.

