

| SEMESTRE | CRÉDITOS | CARÁCTER | TIPO DE ENSEÑANZA | IDIOMA DE IMPARTICIÓN |
|--|----------|---|-------------------|-----------------------|
| 2º | 6 | Optativa | Presencial | Español |
| MÓDULO | | Nanotecnología: Física y Aplicaciones | | |
| MATERIA | | | | |
| CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO | | Escuela Internacional de Posgrado | | |
| MÁSTER EN EL QUE SE IMPARTE | | Máster Universitario en Física: Radiaciones, Nanotecnología, Partículas y Astrofísica. | | |
| CENTRO EN EL QUE SE IMPARTE LA DOCENCIA | | Facultad de Ciencias | | |
| PROFESORES ⁽¹⁾ | | | | |
| D^a María Cruz Boscá Díaz-Pintado | | | | |
| DIRECCIÓN | | Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear. Facultad de Ciencias, 3ª planta. Despacho nº127. Correo electrónico: bosca@ugr.es | | |
| TUTORÍAS | | Horario de tutorías de Prof. M^a Cruz Boscá (directorio UGR). | | |
| D^a Carmen García Recio | | | | |
| DIRECCIÓN | | Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear. Facultad de Ciencias, 3ª planta. Despacho nº 131. Correo electrónico: g_recio@ugr.es | | |
| TUTORÍAS | | Horario de tutorías de Prof. Carmen García Recio (directorio UGR). | | |
| COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS | | | | |
| COMPETENCIAS BÁSICAS Y GENERALES | | | | |

¹ 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/))

- CG4 - Capacidad de expresar y defender en público los resultados y conclusiones obtenidos como resultado del proceso de aprendizaje. Deberá desarrollar y dominar las técnicas de comunicación oral ante cualquier auditorio. Aprender a utilizar sus potencialidades personales para presentar resultados públicamente. Adquisición del convencimiento de que su conocimiento del trabajo realizado le convierte de inmediato en foco de interés y atención.
- CG5 - Capacidad de generación de propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.
- 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 autónomo.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE1 - Capacidad de interpretar datos procedentes de la observación experimental o la simulación numérica.
- CE2 - Capacidad de considerar rigurosamente las limitaciones e incertidumbres en los resultados y de los métodos que pueden aplicarse para minimizarlas.
- CE3 - Capacidad de profundizar en los distintos campos de la Física y de identificar los aspectos que se encuentran en los límites del conocimiento.
- CE4 - Capacidad de formular hipótesis, idear experimentos, manejar métodos de cálculo y simulación numérica y desarrollar modelos.

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

Como resultado de su aprendizaje:

-El alumno debería saber/comprender:

- Las bases teóricas cuánticas de la física moderna, especialmente en su aplicación a fenómenos experimentales de reciente aparición.
- La importancia de las nuevas aplicaciones derivadas de la reciente fenomenología relacionada.

-El alumno debería ser capaz de:



- Adquirir un dominio de la disciplina que le permita iniciarse en nuevos campos a través del estudio independiente.
- Desarrollar un pensamiento crítico que le permita juzgar la corrección y adecuación de la información distribuida en los diversos canales de información científica.
- Resolver los problemas planteados, aplicando los métodos matemáticos y numéricos requeridos.
- Captar lo esencial de la aplicación de la teoría cuántica a algunas nuevas tecnologías en desarrollo.

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

Contextualidad de los observables cuánticos. Correlaciones no locales. Óptica cuántica. Coherencia. Nuevos experimentos cruciales en física cuántica. Fotones en información cuántica. Criptografía cuántica. Computación cuántica.

TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

TEMARIO TEÓRICO:

- 1. Contextualidad y no localidad de Bell.** Teoremas de Einstein-Podolsky-Rosen, de Bell y de Bell-Kochen-Specker. Realismo local y correlaciones cuánticas. Entrelazamiento.
- 2. Óptica cuántica.** Coherencia. Tipologías de luz. Interferometría. Experimentos con fotones entrelazados.
- 3. Nuevos experimentos en física cuántica.** Complementariedad. Teletransporte. Elección retardada.
- 4. Computación cuántica.** Puertas y circuitos cuánticos. Algoritmos cuánticos: transformada de Fourier cuántica. Algoritmos de búsqueda, algoritmo de Grover. Algoritmos de factorización, algoritmo de Shor.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- Bertlmann, R. A. and Zeilinger, A.; *Quantum [Un]speakables. From Bell to Quantum Information*. Springer; 2002. ISBN: 3-540-42756-2.
- Espagnat, B. D'; *Veiled Reality. An analysis of Present-day Quantum Mechanical Concepts*. Addison-Wesley, 1995.
- Fox, M.; *Quantum Optic. An introduction*. Oxford Univ. Press; Oxford, 2004. ISBN: 0-19-856672-7, 978-0-19-856672-4.
- Garrison, J. C. and R. Y. Chiao, *Quantum Optics*, Oxford Univ. Press, Oxford, 2008. ISBN: 978-0-19-850886-1.
- Gerry, C. C. and Knight, P. L., *Introductory Quantum Optics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2005. ISBN: 0-521-82035-9.
- Home, D., Kar, G. and Majumdar A. S.; *75 years of quantum entanglement: Foundations and Information Theoretic Applications*. American Institute of Physics; New York, 2011. ISBN: 978-0-7354-0945-3.
- Jaeger, Gregg. *Quantum Information, an overview*. Springer, 2007. ISBN: 0-387-35725-4.
- Nielsen, Michael A. & Chuang, Isaac L.; *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press; Cambridge, 2010. ISBN: 978-1-107-00217-3.



- Paul, H.; *Introduction to Quantum Optics. From light Quanta to Quantum Teleportation*. Cambridge Univ. Press; Cambridge, 2004. ISBN: 0-521-83563-1.
- Yeung, Raymond W.; *A first course in information theory*. Kluwer Academic / Plenum Publishers; 2002. ISBN: 0-306-46791-7, 978-0-306-46791-2.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- Baggot, J.; *The meaning of quantum theory*, Oxford Univ., Oxford, 1992.
- Boscá, M.C.; *Computación, teletransporte y criptografía cuánticas*, RBA, 2017.
- Miller, A.I., ed.; *Sixty-two Years of Uncertainty. Historical, Philosophical, and Physical Inquiries into the Foundations of Quantum Mechanics*, NATO ASI Series, Series B: Physics Vol. 226, Plenum, Nueva York, 1990.
- V.V.A.A.; *Misterios de la Física Cuántica*, Investigación y Ciencia, Temas 10, 1997.

ENLACES RECOMENDADOS (OPCIONAL)

- E-prints: <http://arxiv.org/archive/quant-ph>
<http://vcq.quantum.at/publications/all-publications.html>
- Quantum Computing in *Nature*:
<http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7280/full/463441a.html>
- Noticias: <http://faeuat0.us.es/Qubit/>
- Grupos de investigación:
<http://faeuat0.us.es/QIGUS/links.htm> , www.quantumoptics.net y <http://oxfordquantum.org/>

Cursos relacionados (con apuntes):

- <http://www.fisicacuantica.es>
- [Ph219/CS219 Quantum Computation](http://www.ph219.org/)
- <http://www.cse.iitd.ernet.in/~suban/quantum/>
- <https://people.eecs.berkeley.edu/~vazirani/>
- <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/>

METODOLOGÍA DOCENTE

- Lección magistral (clases teóricas-expositivas). Con el fin de transmitir los contenidos de las materias del módulo motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y formándole una mentalidad crítica.
- Actividades prácticas (clases prácticas). Para desarrollar en el alumnado las habilidades instrumentales de la materia.
- Seminarios. Con la finalidad de desarrollar en el alumnado las competencias cognitivas y procedimentales de la materia.
- Tutorías académicas. Para orientar al alumnado, profundizar en distintos aspectos de la materia y orientar la formación académica integral del estudiante.
- Estudio y trabajo autónomo del alumnado. Imprescindible para favorecer en el estudiante la capacidad de autorregular su aprendizaje, planificándolo, diseñándolo, evaluándolo y adecuándolo a sus especiales condiciones e intereses.
- Estudio y trabajo en grupo. Procurando fomentar en los estudiantes la generación e intercambio de ideas, la identificación y análisis de diferentes puntos de vista sobre una temática, la generalización o transferencia de conocimiento y la valoración crítica del mismo.



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

CONVOCATORIA ORDINARIA

-La evaluación continua se realizará mediante algunos de entre los siguientes ítems:

- El seguimiento del trabajo de los alumnos, la resolución de problemas y el desarrollo de proyectos individuales o en grupo.
- La evaluación de las entregas de los informes o memorias realizadas por los alumnos.
- La evaluación de la realización, exposición y defensa de los trabajos realizados por el alumnado durante el curso, incluyendo en su caso un trabajo final de la materia, realizado de forma individual por cada alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores.

-La evaluación continua culminará en una calificación final que, en la convocatoria ordinaria, se obtendrá según un baremo en el que se integrarán a partes iguales al menos dos de los anteriores ítems.

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

-La evaluación en la convocatoria extraordinaria culminará en una calificación final que se obtendrá según un baremo en el que contribuirán a partes iguales:

- a) La nota obtenida en un examen, oral o escrito, sobre los contenidos del programa completo de la asignatura;
- b) La evaluación de la memoria de un trabajo realizado de forma individual por cada alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores.

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

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL:

- De acuerdo con la “Normativa de evaluación y calificación” de la Universidad de Granada, para acogerse a la evaluación única final el estudiante deberá solicitarlo al Coordinador del Máster, en el plazo establecido en la normativa y a través del procedimiento electrónico habilitado, alegando y acreditando las razones que le asisten para no poder seguir el sistema de evaluación continua.
- La evaluación única final se efectuará en un solo acto académico y consistirá, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad de Granada, en la realización de un examen, que podrá ser oral o escrito, y en el que se tendrá que: a) responder correctamente a una serie de cuestiones de teoría, y b) resolver algunos problemas de aplicación, referentes en todo caso al programa oficial de la asignatura. Dicho examen aportará el 100% de la calificación final.

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)



| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Prof. D^a. María C. Boscá: -según POD: semestre 2, miércoles de 11,30 a 14,30h. y jueves de 16 a 18h. y de 20 a 21h. -atención personal: bien por correo electrónico, bien mediante videollamada, con cita concertada previamente con cada alumno en el horario que conviniere a las dos partes. -enlace a tutorías de M.C. Boscá en directorio UGR. ● Prof. D^a. Carmen García Recio: 2º cuatrimestre: M 17:00-19:00, J 18:00-19:00, V 9:30-12:30. -enlace a tutorías C. García Recio en directorio de UGR. | <ul style="list-style-type: none"> ● Se contactaría por correo electrónico con los profesores para resolver dudas y, en caso necesario, para concertar tutorías en línea, que se desarrollarían usando las herramientas recomendadas y/o proporcionadas por la UGR. ● Prof. D^a. María C. Boscá: -correo electrónico: bosca@ugr.es. -de forma preferente, exposición y respuesta de dudas en los correspondientes foros temáticos de la plataforma PRADO, para que todos los alumnos dispongan de las explicaciones; en su caso, contacto personal por correo electrónico y/o videollamada. ● Prof. D^a. Carmen García Recio: -correo electrónico: g_recio@ugr.es. -de forma preferente, exposición y respuesta de dudas en los correspondientes foros temáticos de la plataforma PRADO, para que todos los alumnos dispongan de las explicaciones; en su caso, contacto personal por correo electrónico y/o videollamada. |
|---|---|

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

- En este escenario, y dada la relación entre el número previsible de alumnos matriculados y la capacidad de las aulas disponibles, con alta probabilidad sería posible mantener todas las actividades previstas en la modalidad de docencia presencial.
- En el improbable caso de que no pudiesen asistir todos los alumnos a clase presencial de forma simultánea, se habilitarían los medios que proporcionase la Universidad para permitir también el seguimiento de las clases mediante videoconferencias.

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

Convocatoria Ordinaria

- La evaluación final ordinaria se realizaría preferentemente de forma presencial; en caso de que no pudiesen asistir todos los alumnos de forma presencial simultánea, se habilitarían los medios que proporcionase la Universidad para permitir su desarrollo mediante videoconferencia.
- En consecuencia, la evaluación continua se realizaría mediante algunos de los siguientes ítems:
 - El seguimiento del trabajo individual de cada alumno; la resolución de problemas y el desarrollo de proyectos individuales o en grupo.
 - La evaluación de las entregas de los informes o memorias realizadas por los alumnos durante el curso, que serían presentados bien de forma presencial, bien por videoconferencia, según el contexto.
 - La evaluación de la realización, exposición y defensa de un trabajo final de la materia, realizado individualmente por cada alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores. Cada alumno deberá entregar a ambos profesores una memoria de este trabajo,



así como proceder a su exposición en sesión conjunta simultánea de estudiantes y profesores, bien de forma presencial, bien por videoconferencia. En esta sesión, se podrán formular preguntas sobre el contenido del trabajo.

- Herramienta: en su caso, las videoconferencias se desarrollarían usando los medios telemáticos recomendados y/o proporcionados por la UGR para este fin.
- La evaluación continua culminará en una calificación final que se obtendrá según un baremo en el que se integrarán, a partes iguales, al menos dos de los anteriores ítems.

Convocatoria Extraordinaria

- La evaluación final extraordinaria se realizaría, dependiendo del contexto sanitario, bien de forma presencial, bien mediante videoconferencia, que se desarrollará en su caso usando los medios telemáticos recomendados y/o proporcionados por la UGR para este fin.
- La evaluación en la convocatoria extraordinaria culminará en una calificación final que se obtendrá según un baremo en el que contribuirán a partes iguales:
 - a) La calificación obtenida en un examen, oral o escrito, sobre los contenidos del programa completo de la asignatura; y
 - b) La evaluación de la memoria de un trabajo realizado individualmente por el alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores.

Evaluación Única Final

- La evaluación única final se efectuará en un solo acto académico y consistirá, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad de Granada, en la realización de un examen que podrá ser oral o escrito, y que se realizará, según el contexto sanitario, bien de forma presencial, bien mediante videoconferencia, utilizando en su caso usando los medios telemáticos recomendados y/o proporcionados por la UGR para este fin.
- En dicho examen se tendrá que: a) responder correctamente a una serie de cuestiones de teoría, y b) resolver algunos problemas de aplicación, referentes en todo caso al programa oficial de la asignatura.
- Dicho examen aportará el 100% de la calificación final.

ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)

ATENCIÓN TUTORIAL

HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

- Prof. D^a. María C. Boscá:
-según POD: semestre 2, semestre 2, miércoles de 11,30 a 14,30h. y jueves de 16 a 18h. y de 20 a 21h.
-atención personal bien por correo electrónico, bien mediante videollamada, con cita concertada

HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL

(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

- Se contactaría por correo electrónico con los profesores para resolver dudas y, en caso necesario, para concertar tutorías en línea, que se desarrollarían usando las



| | |
|--|---|
| <p>previamente con cada alumno en el horario que conviniere a las dos partes.</p> <p>-enlace a tutorías de M.C. Boscá en directorio UGR.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Prof. D^a. Carmen García Recio: 2º cuatrimestre: M 17:00-19:00, J 18:00-19:00, V 9:30-12:30. <p>-enlace a tutorías C. García Recio en directorio de UGR.</p> | <p>herramientas recomendadas y/o proporcionadas por la UGR.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Prof. D^a. María C. Boscá: -correo electrónico: bosca@ugr.es. -de forma preferente, exposición y respuesta de dudas en los correspondientes foros temáticos de la plataforma PRADO, para que todos los alumnos dispongan de las explicaciones; en su caso, contacto personal por correo electrónico y/o videollamada. ● Prof. D^a. Carmen García Recio: -correo electrónico: g_recio@ugr.es. -de forma preferente, exposición y respuesta de dudas en los correspondientes foros temáticos de la plataforma PRADO, para que todos los alumnos dispongan de las explicaciones; en su caso, contacto personal por correo electrónico y/o videollamada. |
| MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Se mantendrían todas las actividades previstas en la docencia presencial, que pasarían a desarrollarse en su mayoría mediante videoconferencias con los estudiantes. | |
| MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final) | |
| Convocatoria Ordinaria | |
| <ul style="list-style-type: none"> ● La evaluación final ordinaria se realizaría de la misma forma prevista en esta guía docente para el escenario A, aunque se cambiaría la forma de seguimiento de los alumnos y de presentación de sus trabajos, de modo que se sustituirían las actividades presenciales por videoconferencias. ● En consecuencia, la evaluación continua se realizaría mediante algunos de los siguientes ítems: <ul style="list-style-type: none"> -El seguimiento del trabajo individual de cada alumno; la resolución de problemas y el desarrollo de proyectos individuales o en grupo. -La evaluación de las entregas de los informes o memorias realizadas por los alumnos durante el curso, que serían presentados por videoconferencia. -La evaluación de la realización, exposición y defensa de un trabajo final de la materia, realizado individualmente por cada alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores. Cada alumno deberá entregar a ambos profesores una memoria de este trabajo, así como proceder a su exposición en sesión conjunta simultánea por videoconferencia de estudiantes y profesores. En esta sesión, se podrán formular preguntas sobre el contenido del trabajo. | |



- Herramienta: las videoconferencias se desarrollarían usando los medios telemáticos recomendados y/o proporcionados por la UGR para este fin.
- La evaluación continua culminará en una calificación final que se obtendrá según un baremo en el que se integrarán, a partes iguales, al menos dos de los anteriores ítems.

Convocatoria Extraordinaria

- La evaluación final extraordinaria se realizaría de la misma forma prevista en esta guía docente en el caso del escenario A, aunque se cambiaría la forma de seguimiento de los alumnos y de presentación de sus trabajos, de modo que se sustituirían las actividades presenciales por videoconferencias.
- En consecuencia, la evaluación en la convocatoria extraordinaria culminará en una calificación final que se obtendrá según un baremo en el que contribuirán a partes iguales:
 - a) La calificación obtenida en un examen, oral o escrito, sobre los contenidos del programa completo de la asignatura; y
 - b) La evaluación de la memoria de un trabajo realizado individualmente por el alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores.

-Para la realización de ambos ítems anteriores se utilizará la siguiente herramienta: videoconferencias que se desarrollarán usando los medios telemáticos recomendados y/o proporcionados por la UGR para este fin.

Evaluación Única Final

- La evaluación única final se efectuará en un solo acto académico y consistirá, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad de Granada, en la realización de un examen que podrá ser oral o escrito, y que se realizará mediante videoconferencia.
- En dicho examen se tendrá que: a) responder correctamente a una serie de cuestiones de teoría, y b) resolver algunos problemas de aplicación, referentes en todo caso al programa oficial de la asignatura.
- Dicho examen aportará el 100% de la calificación final.

