

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
ELECTRODINÁMICA Y NANOELÉCTRÓNICA	NANOELÉCTRÓNICA	4º	2º	6	Optativa
PROFESORES⁽¹⁾			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS (Dirección postal, teléfono, correo electrónico, etc.)		
<ul style="list-style-type: none"> Andrés Godoy Medina 			Dpto. Electrónica y Tecnología de Computadores. Facultad de Ciencias. Despacho nº 16. Tfno. 958243227. Correo electrónico: agodoy at ugr.es		
			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS⁽¹⁾		
			Lunes y martes de 11 a 13 horas. Jueves de 9 a 12h. https://prado.ugr.es		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en Física			Cumplimentar con el texto correspondiente, si procede		
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)					
Para poder cursar esta asignatura, se recomienda que el alumno haya superado las materias: Electromagnetismo, Física Cuántica, Física Estadística y Física del Estado Sólido.					
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)					
<p>Sistemas electrónicos de dimensionalidad reducida: pozos cuánticos, hilos cuánticos y puntos cuánticos. Cálculo de la densidad de estados electrónicos (DOS) en ese tipo de nanoestructuras semiconductoras. Transporte de carga en moléculas, nanohilos y pozos cuánticos. Dispositivos electrónicos relevantes basados en nanoestructuras: Transistores de hilo cuántico, single electron transistor (SET).</p>					

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/ncg7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/))

Cálculo de la estructura de bandas (E-k) utilizando el método de las ligaduras fuertes (Tight Binding). Aplicación al grafeno y los nanotubos de carbono.

Memorias semiconductoras (DRAM, SRAM, Flash, RRAM). Termoelectricidad.

COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

- **Competencias Generales:**

CT1: Capacidad de análisis y síntesis

CT2: Capacidad de organización y planificación

CT5: Capacidad de gestión de la información

CT6: Resolución de problemas

CT8: Razonamiento crítico

CT9: Aprendizaje autónomo

- **Competencias Específicas de la Asignatura:**

CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.

CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.

CE4: Medir, interpretar y diseñar experiencias en el laboratorio o en el entorno.

CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.

CE7: Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.

CE9: Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

El alumno adquirirá:

- Capacidad de análisis y síntesis.
- Habilidad para la resolución de problemas.
- Razonamiento crítico.
- Creatividad.
- Iniciativa y espíritu emprendedor.

El alumno sabrá / comprenderá:

- Las bases físicas que rigen la electrostática y el transporte de carga en nanodispositivos electrónicos.
- Las escalas y órdenes de magnitud propios de la nanoelectrónica.
- Las diferencias entre transporte balístico y difusivo.
- Las características de los sistemas electrónicos confinados en una, dos o tres dimensiones.

El alumno será capaz de:

- Comparar datos experimentales con modelos físicos disponibles para revisar su validez y sugerir cambios con objeto de mejorar la concordancia de los modelos con los datos.
- Iniciarse en nuevos campos y materias de la nanoelectrónica a través de su trabajo independiente.
- Realizar las aproximaciones requeridas con objeto de reducir la complejidad del problema hasta un nivel manejable.
- Desarrollar sus propios modelos numéricos para la simulación de nanodispositivos electrónicos.

TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

TEMARIO TEÓRICO:

Tema 1. The quantum particle

1.1 The motivation for nanoelectronics, device scaling



- 1.2 Review of waves, phase and interference, wavefunctions
 - 1.3 Wavepackets and operators
 - 1.4 Momentum, energy and the uncertainty principle
 - 1.5 Schrödinger equation, particle in a box
 - 1.6 Piecewise potentials, tunneling
- Tema 2. The Quantum Particle
- 2.1 Fermi statistics, current, metals and insulators
 - 2.2 Density of states, periodic boundary conditions
 - 2.3 Density of states in 0-d to 3-d structures
- Tema 3. Two Terminal Quantum Dot Devices
- 3.1 Equilibrium in two terminal molecular devices
 - 3.2 Capacitance models of electrostatics
 - 3.3 Current flow under bias in two terminal molecular devices
 - 3.4 Charging
- Tema 4. Two Terminal Quantum Wire Devices
- 4.1 Current flow in quantum wires, the quantum limit of conductance
 - 4.2 Landauer theory
 - 4.3 Ohm's law and the Drude model
- Tema 5. Field Effect Transistors
- 5.1 Field effect transistors (FETs)
 - 5.2 Ballistic quantum wire FETs
 - 5.3 Ballistic quantum well FETs
 - 5.4 Conventional MOSFETs
- Tema 6. The Electronic Structure of Materials Devices
- 6.1 Hybrid orbitals, introduction to tight binding
 - 6.2 Examples of tight binding calculations
 - 6.3 Periodic materials, Bloch functions
 - 6.4 Semiconductors and insulators
 - 6.5 Tight binding in periodic materials
 - 6.6 Carbon nanotubes
- Tema 7. Semiconductor memories
- 7.1 Flash – Non Volatile Memories
 - 7.2 Dynamic Random Access Memory (DRAM)
 - 7.3 Static Random Access Memory (SRAM)
 - 7.4 Resistive RAM (RRAM)
- Tema 8. Fundamental Limits in Computation
- 8.1 CMOS, power delay product and scaling
 - 8.2 Review of CMOS
 - 8.3 Thermodynamic limits and reversible computing

TEMARIO PRÁCTICO:

- Capacitors. Small signal models of metal-molecule junctions.
- Numerical methods for self-consistent I-V calculations
- Different numerical tools (software) can be used by the students.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:



- Marc Baldo. "Introduction to Nanoelectronics", http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-701-introduction-to-nanoelectronics-spring-2010/readings/MIT6_701S10_front.pdf
- Electronics from the Bottom Up: A New Approach to Nanoelectronic Devices and Materials <http://nanohub.org/topics/ElectronicsFromTheBottomUp>

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- upriyo Datta. "Quantum Transport: Atom to Transistor", Cambridge University Press, 2005.
- Supriyo Datta. "Electronic Transport in Mesoscopic Systems", Cambridge University Press, 1995.

ENLACES RECOMENDADOS

<http://www.nanohub.org/>; <http://www.edx.org/>

METODOLOGÍA DOCENTE

ACTIVIDAD FORMATIVA: Lección magistral (Clases teóricas-expositivas)

- Descripción: Presentación en el aula de los conceptos fundamentales y desarrollo de los contenidos propuestos.
- Propósito: Transmitir los contenidos de las materias de la asignatura motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y formarle una mentalidad crítica.
- Contenido en ECTS: 30 horas presenciales (3 ECTS)

ACTIVIDAD FORMATIVA Actividades prácticas (Laboratorio)

- Descripción: Actividades a través de las cuales se pretende mostrar al alumnado cómo actuar a partir de la aplicación de los conocimientos adquiridos.
- Propósito: Desarrollo en el alumnado de las habilidades instrumentales de la materia.
- Contenido en ECTS: 14 horas presenciales (1,4 ECTS).

ACTIVIDAD FORMATIVA: Seminarios y problemas

- Descripción: Modalidad organizativa de los procesos de enseñanza y aprendizaje donde tratar en profundidad una temática relacionada con la materia. Incorpora actividades basadas en la indagación, el debate, la reflexión y el intercambio.
- Propósito: Desarrollo en el alumnado de las competencias cognitivas y procedimentales de la materia.
- Contenido en ECTS: 14 horas presenciales (1,4 ECTS).

ACTIVIDAD FORMATIVA: Actividades no presenciales

Actividades no presenciales individuales (Estudio y trabajo autónomo)

- Descripción: 1) Actividades (guiadas y no guiadas) propuestas por el profesor a través de las cuales y de forma individual se profundiza en aspectos concretos de la materia posibilitando al estudiante avanzar en la adquisición de determinados conocimientos y procedimientos de la materia, 2) Estudio individualizado de los contenidos de la materia 3) Actividades evaluativas (informes, exámenes, ...)
- Propósito: Favorecer en el estudiante la capacidad para autorregular su aprendizaje, planificándolo, diseñándolo, evaluándolo y adecuándolo a sus especiales condiciones e intereses.

Actividades no presenciales grupales (Estudio y trabajo en grupo)

- Descripción: 1) Actividades (guiadas y no guiadas) propuestas por el profesor a través de las cuáles y de forma grupal se profundiza en aspectos concretos de la materia posibilitando a los estudiantes avanzar en la adquisición de determinados conocimientos y procedimientos de la materia.
- Propósito: Favorecer 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.
- Contenido en ECTS: 90 horas no presenciales (3,6 ECTS)

• **ACTIVIDAD FORMATIVA: Tutorías académicas**

- Descripción: manera de organizar los procesos de enseñanza y aprendizaje que se basa en la interacción directa entre el estudiante y el profesor.
- Propósito: 1) Orientan el trabajo autónomo y grupal del alumnado, 2) profundizar en distintos aspectos de la materia y



3) orientar la formación académica-integral del estudiante.

- Contenido en ECTS: 7,5 horas presenciales, grupales e individuales (0,3 ECTS)

• **ACTIVIDAD EVALUADORA: Examen**

- Descripción: Prueba escrita en la que el estudiante debe resolver las cuestiones planteadas.

- Propósito: Evaluar el grado de asimilación de los conceptos y metodologías explicadas.

- Contenido en ECTS: 2,5 horas presenciales, grupales e individuales (0,1 ECTS)

• **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE**

- Las actividades formativas propuestas se desarrollarán desde una metodología participativa y aplicada que se centra en el trabajo del estudiante (presencial y no presencial/individual y grupal). Las clases teóricas, los seminarios, las clases prácticas, las tutorías, el estudio y trabajo autónomo y el grupal son las maneras de organizar los procesos de enseñanza y aprendizaje de esta materia.

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

• Con objeto de evaluar la adquisición de los contenidos y competencias a desarrollar en la materia, se utilizará un sistema de evaluación diversificado, seleccionando las técnicas de evaluación más adecuadas en cada momento, que permita poner de manifiesto los diferentes conocimientos y capacidades adquiridos por el alumnado al cursar la asignatura. De entre las siguientes técnicas evaluativas se utilizarán las siguientes:

- Para la parte teórica se realizarán exámenes finales o parciales, sesiones de evaluación y entregas de ejercicios sobre el desarrollo y los resultados de las actividades propuestas. La ponderación de este bloque será de entre el 65% y el 85%.

- Para la parte práctica se realizarán prácticas de laboratorio, resolución de problemas y desarrollo de proyectos (individuales o en grupo), y se valorarán las entregas de los informes/memorias realizados por los alumnos, o en su caso las entrevistas personales con los alumnos y las sesiones de evaluación realizadas en el mismo laboratorio. La ponderación de este bloque será de entre el 15% y el 30%.

- En su caso, la parte de trabajo autónomo y los seminarios se evaluarán teniendo en cuenta la asistencia a los seminarios, los problemas propuestos que hayan sido resueltos y entregados por los alumnos, en su caso, las entrevistas efectuadas durante el curso y la presentación oral de los trabajos desarrollados. La ponderación de estos será de entre el 0% y el 10%.

• La calificación global corresponderá a la puntuación ponderada de los diferentes aspectos y actividades que integran el sistema de evaluación. Así, el resultado de la evaluación será una calificación numérica obtenida mediante la suma ponderada de las calificaciones correspondientes a una parte teórica, una parte práctica y, en su caso, una parte relacionada con el trabajo autónomo de los alumnos, los seminarios impartidos y el aprendizaje basado en proyectos.

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"

Según se contempla en la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada" aquellos estudiantes que, en los supuestos contemplados en dicha normativa, no puedan cumplir con el método de evaluación continua, podrán solicitar mediante procedimiento electrónico al Director del Departamento, 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 la asignatura, el acogerse a la evaluación única final. En tal caso, se tendrán en cuenta los siguientes apartados:

• El 80% de la calificación final se basará en la valoración obtenida mediante la realización de un examen final en el que se evaluarán los conocimientos y competencias adquiridas, tanto de los contenidos teóricos como de las habilidades para la resolución de problemas. Este examen se realizará de forma escrita e individualizada y coincidirá con la convocatoria ordinaria de la asignatura.

• El 20% de la calificación final se basará en la evaluación de las prácticas mediante un examen. El resultado de la



misma supondrá un 20% de la calificación final.

ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)

ATENCIÓN TUTORIAL

HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

Lunes y martes de 11 a 13 horas. Jueves de 9 a 12h.

<https://prado.ugr.es>

HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL

(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

En escenario semipresencial, salvo excepciones, se atenderán las tutorías por videoconferencia (Google Meet) o correo electrónico oficial. Las tutorías individuales tendrán lugar previa petición del estudiante. El profesor podrá proponer tutorías grupales, obligatorias u optativas, si lo estima oportuno como herramienta de retorno formativo 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 dependería del centro y circunstancias sanitarias. En las clases virtuales se concentraría la enseñanza de índole teórica, en las presenciales se primaría la impartición de problemas.
- Las sesiones prácticas se realizan con ordenador, por lo que, preferentemente, se impartirán online para evitar contagios debidos a uso de ordenadores comunes de la ETSAG.
- Las clases virtuales se impartirán utilizando las plataformas Google Meet o las que dicte la UGR en su momento. Se primará la impartición síncrona, aunque las circunstancias sanitarias (enfermedad del profesor o familiar, conciliación familiar,...) podrían imponer un escenario asíncrono, en cuyo caso se grabarían las clases presenciales, que serían compartidas por Google drive y se complementarían con actuaciones de seguimiento y retorno formativo específicas para ese fin (tutorías, tareas, entregas,...)
- Las plataformas descritas (Prado, Google Meet, Consigna UGR, Google Drive a través de cuenta @go.ugr, correo institucional,...) son las actualmente autorizadas por la UGR. Podrían verse modificadas si las instrucciones de la UGR al respecto cambiasen durante el curso.
- Como medida adicional, se prestaría especial atención en facilitar material docente a los estudiantes a través de la plataforma Prado, Consigna UGR y/o Google Drive

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

Convocatoria Ordinaria

- Instrumentos habilitados por la UGR para docencia y evaluación virtual.
- No hay modificaciones en los ítems ni en los criterios de evaluación.

Convocatoria Extraordinaria

- Examen escrito del temario de teoría y de las prácticas de laboratorio (será presencial o síncrono vía PRADO según las circunstancias)

Evaluación Única Final



- Examen escrito del temario de teoría y de las prácticas de laboratorio (será presencial o síncrono vía PRADO según las circunstancias)

ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)

ATENCIÓN TUTORIAL

HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

Lunes y martes de 11 a 13 horas. Jueves de 9 a 12h.

<https://prado.ugr.es>

HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL

(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

Telemáticos a través de los medios habilitados por la UGR.

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

- Virtualización completa de la exposición teórica, de seminarios y de los trabajos (estudiantes).
- Entrega telemática de las tareas solicitadas
- Virtualización de las prácticas de laboratorio.
- Se podrán producir modificaciones de los horarios para adaptarlos a la nueva situación generada. Dichos horarios, estarán contemplados en el plan de contingencia del Centro para cada uno de los escenarios.
- Examen escrito telemático.
- Se usarán las herramientas habilitadas por la UGR para la docencia virtual.

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

Convocatoria Ordinaria

- Instrumentos habilitados por la UGR para docencia y evaluación virtual.
- No hay modificaciones en los ítems ni en los criterios de evaluación.

Convocatoria Extraordinaria

- Examen escrito del temario de teoría y de las prácticas de laboratorio telemático vía PRADO

Evaluación Única Final

- Examen escrito del temario de teoría y de las prácticas de laboratorio telemático vía PRADO

INFORMACIÓN ADICIONAL (Si procede)

Se facilitará la comunicación electrónica entre el estudiante y el profesor a través de la plataforma web de apoyo a la docencia PRADO (<http://prado.ugr.es/>)

