

GUIA DOCENTE DE LA ASIGNATURA
NANOELECTRÓNICA

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
ELECTRODINÁMICA Y NANOELECTRÓNICA	NANOELECTRÓNICA	4º	2º	6	Optativa
PROFESOR(ES)			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS		
<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: agody@ugr.es		
			HORARIO DE TUTORÍAS		
			Lunes y miércoles de 12 a 14h. Jueves de 11 a 13h		
			HORARIO DE TUTORÍAS		
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)					
Para poder cursar esta asignatura, se recomienda que el alumno haya superado las materias: Métodos Numéricos y Simulación, Electromagnetismo, Física Cuántica, Física Estadística y Física del Estado Sólido.					
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)					
Estados electrónicos en nanoestructuras semiconductoras: métodos de masa efectiva y de ligaduras fuertes (Tight Binding). Sistemas electrónicos de dimensionalidad reducida: pozos cuánticos, hilos cuánticos y puntos cuánticos. Transporte de carga en sistemas basados en nanoestructuras. Mecanismos de dispersión de portadores de carga. Dispositivos electrónicos relevantes basados en nanoestructuras: transistores de hilo cuántico, memorias de punto cuántico. Aplicaciones principales de los dispositivos basados en nanoestructuras.					



COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

• Competencias Transversales o Generales:

- G1- Capacidad de análisis y síntesis: Encontrar, analizar, criticar (razonamiento crítico), relacionar, estructurar y sintetizar información proveniente de diversas fuentes, así como integrar ideas y conocimientos.
- G2 - Capacidad de organización y planificación así como capacidad de gestión de la Información.
- G3 - Capacidad de comunicación oral y escrita en el ámbito académico y profesional con especial énfasis, en la redacción de documentación técnica.
- G4 - Capacidad para la resolución de problemas.
- G5 - Capacidad para tomar decisiones basadas en criterios objetivos (datos experimentales, científicos o de simulación disponibles) así como capacidad de argumentar y justificar lógicamente dichas decisiones, sabiendo aceptar otros puntos de vista.
- G6 - Capacidad para el uso y aplicación de las TIC en el ámbito académico y profesional.
- G7 - Capacidad de comunicación en lengua extranjera, particularmente en inglés.
- G8 - Capacidad de trabajo en equipo.
- G9 - Capacidad para el aprendizaje autónomo así como iniciativa y espíritu emprendedor.
- G10 - Motivación por la calidad y la mejora continua, actuando con rigor, responsabilidad y ética profesional.
- G11 - Capacidad para adaptarse a las tecnologías y a los futuros entornos actualizando las competencias profesionales.
- G12 - Capacidad para innovar y generar nuevas ideas.
- G13 - Sensibilidad hacia temas medioambientales.
- G14 - Respeto a los derechos fundamentales y de igualdad entre hombres y mujeres.
- G15 - Capacidad para proyectar los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridos para promover una sociedad basada en los valores de la libertad, la justicia, la igualdad y el pluralismo.

• 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.
- 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 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. Fundamental Limits in Computations

- 7.1 CMOS, power delay product and scaling
- 7.2 Review of CMOS
- 7.3 Thermodynamic limits and reversible computing



TEMARIO PRÁCTICO:

Seminarios/Talleres

- Numerical methods for self-consistent IV calculations

Prácticas de Laboratorio

Práctica 1: Fourier transforms. Wavepacket propagation.

Práctica 2: Definition of group velocity and dispersion relation. Fermi statistics.

Práctica 3: Capacitors. Small signal models of metal-molecule junctions.

Práctica 4: Tight binding definitions. Hydrogen atom.

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>
- V. V. Mitin, .V.A. Kochelap, M.A. Stroscio. "Introduction to Nanoelectronics", Cambridge University Press, 2008.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- D. Essen, P. Palestri, L. Selmi. "Nanoscale MOS Transistors", Cambridge University Press, 2011.
- Supriyo 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/>

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.

PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Segundo cuatrimestre	Temario	Actividades presenciales					Actividades no presenciales				
		Sesiones teóricas (horas)	Sesiones prácticas (horas)	Seminarios y Problemas (horas)	Exámenes (horas)	Etc.	Tutorías individuales (horas)	Tutorías colectivas (horas)	Estudio y trabajo individual del alumno (horas)	Trabajo en grupo (horas)	Etc.
Semana 1	T1	2	1	1			4		6		



Semana 2	T1	2	1	1			4		5	1	
Semana 3	T2	2	1	1			4		5	1	
Semana 4	T2	2	1	1			4		6		
Semana 5	T3 / P1	2	1	1			3	1	5	1	
Semana 6	T3 / P2	2	1	1			4		5	1	
Semana 7	T3 / P3	2	1	1			4		6		
Semana 8	T4	2	1	1			4		5	1	
Semana 9	T4	2	1	1	1		4		5	1	
Semana 10	T4 / P4	2	1	1			3	1	6		
Semana 11	T4	2	1	1			4		5	1	
Semana 12	T5 / P5	2	1	1			4		5	1	
Semana 13	T6 / P6	2	1	1			4		6		
Semana 14	T6 / P6	2	1	1			4		5	1	
Semana 15	T6	2			2		2	2	5	1	
Total horas		30	14	14	2		56	4	80	10	

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 del 65 %.

- 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. La ponderación de este bloque será del 25 %.

- 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 del 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.

INFORMACIÓN ADICIONAL

