



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
ZACATECAS**

***FRANCISCO GARCÍA SALINAS***

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE  
LA LUZ Y LA MATERIA**  
**(MCyTLM)**

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA DE LA LUZ Y LA MATERIA**  
**(LUMAT)**

## Responsables del Proyecto

Dr. Cuauhtémoc Aruajo Andrade

Dr. Andrey Chubykalo

Dr. David Armando Contreras Solorio

Dr. Agustín Enciso Muñoz

Dr. Amado Augusto Espinosa Garrido

Dr. Alejandro González Sánchez

Dr. Alejandro Gutiérrez Rodríguez

Dr. Jesús Madrigal Melchor

Dr. Juan Carlos Martínez Orozco

Dr. Sergio Molina Valdovinos

Dr. Iván Moreno Hernández

Dr. José Samuel Pérez Huerta

M. en C. Juan Manuel Rivera Juárez

Dr. Isaac Rodríguez Vargas

Dr. Tonatiuh Saucedo Anaya

Dr. Jaime Raúl Suárez López

Dra. Perla Xochitl Viveros Méndez

En este documento se presentan los rasgos principales del programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia. Este documento está organizado en cuatro grandes grupos, los cuales son: Estructura y personal Académico del Programa, Estudiantes, Infraestructura del Programa, y Resultados y Vinculación.

## 1. Estructura y Personal Académico del Programa

### 1.1. Plan de estudios

En este apartado se describe el programa de posgrado en Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, señalando la orientación, objetivos, metas, estrategias, contenidos y mapa curricular que sustentan al programa.

#### 1.1.1. Justificación del programa

1.1.1.1. Estudios de la demanda de trabajo

1.1.1.2. Análisis comparativo con otros planes de estudio similares

1.1.1.3. Justificación

Tal y como se manifiesta en diferentes apartados de la Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Zacatecas, vigente a partir del 14 de mayo del 2006 hasta el presente, el gobierno estatal expresa en el Artículo I, Fracción VII interés por: "Integrar, incrementar y consolidar la capacidad del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado, mediante la organización, el estímulo y el reconocimiento de la comunidad científica, así como la creación de centros, grupos y redes de investigación". Así mismo, en el Artículo 6, Fracción IV se ha señalado que le corresponde al Ejecutivo del Estado; "Integrar, fortalecer y consolidar el Sistema, orientando recursos que incrementen su capacidad mediante la creación de centros, grupos y redes de Investigación, el fortalecimiento de su infraestructura, la multiplicación de proyectos de Investigación, el impulso a la formación e integración de científicos y tecnólogos de alto nivel académico y la vinculación de sus

resultados a fin de constituirle en instrumento promotor del desarrollo de la entidad". Fiel a estos lineamientos, el Gobierno del Estado impulsa conjuntamente, a través del Consejo Zácatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación, y de fondos de inversión aportados por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Coordinación Estratégica para el Desarrollo del Estado de Zacatecas, la Secretaría de Educación y Cultura, entre otras la creación de un Parque Científico y Tecnológico, a fin de albergar diferentes centros de investigación y desarrollo prioritarios y pertinentes, para la región y la sociedad.

Por su parte, la Universidad Autónoma de Zacatecas tiene una participación preponderante en estos objetivos, siendo la institución de educación superior más importante del Estado, y la que se destaca por su contribución a la ciencia y tecnología además de ser la de mayor impacto social, educativo y económico del estado. En su interior, la UAZ cuenta con los recursos humanos de gran calidad para llevar a cabo investigación básica, pero también para desarrollar nuevas áreas de tecnología e innovación. Es así que al seno de la Universidad Autónoma de Zacatecas surge el interés por contribuir en estos objetivos, con la creación de un programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia** como parte de la Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, la cual asume la responsabilidad de fomentar el desarrollo científico, tecnológico y de innovación en tres áreas fundamentales como son; a) Óptica y fotónica, b) Materia Condensada, y c) Modelación Matemática y Super Cómputo. Es pertinente enfatizar que uno de sus principales objetivos del programa de Maestría, es contribuir a la formación de recursos humanos de alta calidad que se inserten en la vida productiva del Estado y de la Nación.

La Óptica y Fotónica, la modelación matemática, así como la materia condensada y las energías renovables son áreas de la física que han impactado significativamente en los descubrimientos científicos y tecnológicos más importantes de los últimos 60 años. Alrededor del 70 % de los Premios

Nobel en Física son soportados por estas disciplinas científicas, sin tomar en consideración aquellos en otras áreas que fueron otorgados usando la tecnología proveniente de estas como base. Dichas disciplinas representan en muchos países avanzados áreas científicas-tecnológicas estratégicas para el impulso y desarrollo científico, tecnológico y de Innovación, con un impacto contundente en el crecimiento de sus economías; las cuales han mostrado ser, no solo disciplinas en las que muchas áreas de todas las ramas de la Ciencia y Tecnología están y estarán basadas, sino también son disciplinas que actúan como agentes innovadores y facilitadores del vínculo entre ciencia, tecnología, innovación e industria y sociedad. Dicha condición ha llevado a varios Consejos, Ministerios y Secretarías de Ciencia, Tecnología e Innovación de diferentes países, a reconocerlas como disciplinas estratégicas para un futuro con crecimiento sostenido.

En México existen diferentes grupos cultivando las disciplinas científicas ya mencionadas; dentro los centros más importantes por sus investigaciones y número de integrantes están la UNAM, la UASLP, ITESM (campus Monterrey), CICESE (Ensenada, BCN), INAOE (Tonantzintla, Puebla), el Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. (CIO), CINVESTAV, BUAP, entre otros.

Este modelo exitoso de Centro de Investigaciones en Universidades Públicas y Privadas debe replicarse en otras entidades de la República Mexicana, y sobre todo en aquellas que requieren de conocimientos, tecnología e innovación (como es el caso de Zacatecas) en Óptica, Fotónica, energías renovables, con el apoyo de el estudio de la física básica en materia condensada y de la generación de modelos matemáticos *ad doc*, las cuales son disciplinas transversales facilitadoras en todas las áreas del conocimiento humano. Así, esta propuesta de proyecto de **Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia** está fundada en la creación de valor socioeconómico a través de la generación de conocimiento de frontera, en el estado de Zacatecas, como

parte de su labor de divulgación, diseminación y transferencia del conocimiento. La Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) cuenta con un grupo de investigadores especialistas en las áreas. Su motivación, entusiasmo, productividad y calidad científica les ha permitido pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores (siendo el 85% del nucleo básico propuesto). Todos ellos están comprometidos con el crecimiento de su estado y reconocen que para generar un verdadero desarrollo e innovación científico-tecnológico se tiene que ser actor principal en la búsqueda de soluciones a los múltiples problemas y demandas que el estado de Zacatecas y que sus regiones de influencia necesitan, con el objetivo principal de lograr un crecimiento socioeconómico sostenido, justo y digno. Reconocen que no se puede ser imitador de tecnología, si no generadores de conocimiento propio, acorde a las necesidades del estado y del país.

Son por estas razones, que es altamente pertinente y viable la **Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia** de la Universidad Autónoma de Zacatecas, la cual es albergada en la Unidad Académica de Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia.

### **Misión**

Formar profesionales capaces de promover y desarrollar la innovación científica y tecnológica en áreas de la física aplicada, que cuenten con los conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente del nivel superior de cualquier institución educativa; capaces de aplicar sus conocimientos en el sector productivo y laboratorios de investigación; desempeñar funciones de asesoría; contar con los conocimientos necesarios para integrarse como estudiante a un programa de doctorado de excelencia académica. Involucrar a los estudiantes de posgrado en los diferentes proyectos de investigación científica, tecnológica y de vinculación con el sector productivo local y nacional.

## Visión

La MCyTLM es una maestría consolidada y pertenece al padrón de CONACyT de Posgrados de Calidad, cuenta con la Certificación Internacional ISO 9001:2015; es generadora de recursos humanos de alta calidad insertados en los sectores académico, tecnológico y productivo. Es fuente de recursos humanos calificados para su inserción en estudios doctorales de alta calidad.

### 1.1.2. Objetivos

Los objetivos del programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia es formar estudiantes con competencias genéricas como:

- Capacidad de análisis y síntesis.
- Espíritu innovador y emprendedor.
- Capacidad de aplicar los conocimientos en la solución de problemas científicos, tecnológicos y de innovación.
- Desarrollar habilidad oral y escrita en su lengua materna.
- Habilidad para comunicarse en un segundo idioma.
- Conocimientos de computación.
- Habilidades para la investigación.
- Capacidad de adaptación a diversas situaciones.
- Capacidad para trabajar en equipo o en forma individual.

- Liderazgo.
- Capacidad para trabajar de manera interdisciplinaria.
- Capacidad para comunicarse con personas no expertas en el campo.
- Capacidad para trabajar en un contexto internacional.
- Compromiso ético, social y con el medio ambiente.

Para lograr estos objetivos se implementa un sistema basado en créditos académicos que es un sistema que permite planear y manejar mejor el tiempo necesario que le toma al estudiante obtener las competencias antes mencionadas. El sistema de créditos académicos es acumulativo y basado en SATCA, otorgando créditos académicos a las actividades académicas realizadas que contempla el presente programa, como son cursos básicos y optativos, cursos de investigación y seminarios, participación en congresos nacionales e internacionales, así como las estancias académicas nacionales y/o internacionales incluida la acreditación de la tesis de maestría.

#### 1.1.3. Perfil de ingreso

Haber terminado estudios de Licenciatura en Ciencias, Ingeniería o áreas afines con promedio igual o mayor a 8.

Los procedimientos y requisitos son:

- a) Se hará una revisión curricular por parte del Consejo Académico del Posgrado de la MCyTLM, quien recibirá y evaluará el perfil del aspirante y será el responsable de ver si cumple con el perfil de ingreso.

- b) Aprobar los exámenes de admisión de Física y Matemáticas con un promedio mayor o igual a 8.
- c) Entrevista con el Consejo Académico de Posgrado donde el estudiante expondrá sus motivos e intereses para ingresar a la Maestría.
- d) En caso de cumplir con los puntos anteriores el aspirante es aceptado al Programa de Maestría y se procederá a los trámites escolares correspondientes.
- e) El estudiante, una vez aceptado en el programa de Maestría, deberá presentar un examen de conocimiento del idioma inglés, validando un puntaje de 400 TOFEL pbt o equivalente (ver Tabla a continuación). Esta evaluación será utilizada exclusivamente como un elemento de diagnóstico en el desarrollo futuro del estudiante.

Una vez aceptado el estudiante se le asignará un Comité Tutorial. El objetivo de este Comité es velar por el cumplimiento de las actividades académicas asignadas al estudiante. El Comité Tutorial estará constituido por tres investigadores de reconocido prestigio, siendo uno o dos de ellos el asesor o coasesor de tesis, quienes se reunirán durante cada semestre de manera mensual para analizar y en su caso validar las actividades académicas realizadas por el estudiante, asimismo aprobará el plan de trabajo propuesto para el semestre.

#### 1.1.3.1. Competencias por desarrollar en el estudiante

El estudiante desarrollará competencias genéricas como:

- Capacidad de análisis y síntesis.

- Espíritu innovador y emprendedor.
- Capacidad de aplicar los conocimientos en la solución de problemas científicos, tecnológicos y de innovación.
- Desarrollar habilidad oral y escrita en su lengua materna.
- Habilidad para comunicarse en un segundo idioma.
- Conocimientos de computación.
- Habilidades para la investigación.
- Capacidad de adaptación a diversas situaciones.
- Capacidad para trabajar en equipo o en forma individual.
- Liderazgo.
- Capacidad para trabajar de manera interdisciplinaria.
- Capacidad para comunicarse con personas no expertas en el campo.
- Capacidad para trabajar en un contexto internacional.
- Compromiso ético, social y con el medio ambiente.

Para lograr estos objetivos se implementa un sistema basado en créditos académicos que es un sistema que permite planear y manejar mejor el tiempo necesario que le toma al estudiante obtener las competencias antes mencionadas. El sistema de créditos académicos es acumulativo y basado en SATCA, otorgando créditos académicos de las actividades académicas realizadas que contempla el presente programa, como lo son cursos básicos y optativos, cursos de investigación y seminarios, así como las estancias académicas nacionales y/o internacionales incluida la acreditación de la tesis de maestría.

#### 1.1.4. Perfil de egreso

Los estudiantes egresados del programa académico de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia (MCyTLM) tienen un perfil con las siguientes características:

- a) Capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en la resolución de problemas complejos de naturaleza científica o tecnológica en su área de especialización.
- b) Formación sólida para aplicar sus conocimientos y criterios profesionales en el sector productivo y desempeñar cargos ejecutivos y funciones de asesoría.
- c) Conocimientos profundos integrarse como estudiante en un programa de doctorado de excelencia académica afín a su especialidad.
- d) Conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente de nivel superior de cualquier institución educativa.

#### Requisitos académicos de egreso de la MCyTLM

- a) Haber cubierto todos los cursos y seminarios establecidos en el mapa curricular; la calificación mínima aprobatoria es 8 (ocho).
- b) Haber presentado al menos uno de sus trabajos de investigación en un congreso regional, nacional o internacional.
- c) Además de las actividades necesarias para el seguimiento y correcta formación en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia como lo son: la presentación y defensa del proyecto de tesis, asistencia y/o presentación a los seminarios de investigación, reuniones con los comités tutoriales y la aceptación y defensa de su tesis, o en su defecto, la publicación de un artículo en revista indexada.

- d) Que se cumplan todos los trámites establecidos en la reglamentación universitaria.
- e) Aprobar el examen de grado.

#### 1.1.5. Mapa curricular

##### 1.1.5.1. Organización curricular

###### Semestre I

- Matemáticas Aplicadas
- Física General
- Física Computacional
- Seminario de Protocolo

###### Semestre II

- Física Moderna y Contemporánea
- Optativa 1 (Con opción de movilidad)
- Optativa 2 (Con opción de movilidad)
- Seminario de Investigación I (Con opción de movilidad)

###### Semestre III

- Investigación II (Con opción de movilidad)
- Seminario de Investigación II (Con opción de movilidad)

###### Semestre IV

- Seminario de Investigación
- Examen de Grado
- Acreditación de Inglés. (Con opción de movilidad)

En la Tabla 1 se muestra la estructura curricular de la Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, donde se puede observar el número de horas de trabajo y los créditos correspondientes, los cuales están basados en los criterios SATCA.

**Tabla 1:** Estructura General del Plan de Estudios de la Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia.

Sem	Actividad Académica	(D) h/s/m (x16 semanas)	(AAII) h/s/m (x16 semanas)	(TCPS) h/s/m (h/Semestre)	Horas Totales /Créditos
1	Cursos de Formación Básica I	6(90)h=6c	4(60 h)=3c		9
	Cursos de Formación Básica II	6(90)h=6c	4(60 h)=3c		9
	Cursos de Formación Básica III	6(90)h=6c	4(60 h)=3c		9
	Seminario de Protocolo		10(150 h)=8c		8
	Total semestre	18(270 h)= 18c	22(330 h)=17c		600/35
2	Cursos de Formación Básica III	6(90)h=6c	4(60 h)=3c		9
	Optativo de formación Específica I	6(90)h=6c	4(60 h)=3c		9
	Optativo de formación Específica II	6(90)h=6c	4(60 h)=3c		9
	Seminario de Investigación I		10(150 h)=8c		8
	Total semestre	18(270 h)= 18c	22(330 h)=17c		600/35
3	Investigación II		18(270 h)=13c	7(105 h)=2c	15
	Seminario de Investigación II		8(120 h)=6c	7(105 h) =2c	8

	Total de semestre		24(390 h)= 20c	16(210 h) =4c	600/23
4	Examen de Grado y Seminario		20(300 h)=15c	10(150 h)=3c	18
	Acreditación de Ingles (B1 CEFR)	5(75)h=5c	5(75 h)=4c		9
	Total de semestre	5(75)h=5c	25(375 h)= 19c	10(150 h) =3c	600/27
	Totales	(615 h)=41c	(1425 h)=72c	(360h)=7c	2,400/120

### **Asignaturas de formación básica (Anexo A)**

Las asignaturas de formación básica son:

- Matemáticas Aplicadas
- Física General
- Física Computacional
- Física Moderna y Contemporánea

### **Asignaturas Optativas por LGAC (Anexo B)**

Dependiendo de la LGAC en la que el estudiante decida especializarse deberá cursar dos materias de este bloque.

Seminarios de Investigación

El plan de estudios de la MCyTLM cuenta con las materias: Seminario de protocolo (Semestre 1), Seminario de Investigación I (Semestre 2), Seminario de Investigación II (Semestre 3) y Examen de grado y Seminario (Semestre 4).

Estas materias se enfocan en el planteamiento, desarrollo y conclusión de un tema de investigación en el que el estudiante trabajará para cumplir con los objetivos y metas del plan de estudios.

#### 1.1.6. Actualización del plan de estudios

El plan de estudios será revisado y actualizado, en su caso, cada 2 años por el Consejo Académico de Posgrado (CAP). En estos análisis se busca evaluar la pertinencia de los contenidos temáticos de los cursos, así como las LGAC's que definen de manera implícita el contenido de las materias optativas.

Un mecanismo de validación de estos análisis son las encuestas que se realizarán a los estudiantes cada fin de semestre y del seguimiento de egresados. Ver Anexo C. (preguntas control por el CAP, encuesta estudiantes fin curso, encuesta egresados)

#### 1.1.7. Opciones de graduación

Además de las actividades necesarias para el seguimiento y correcta formación en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia como lo son: la presentación y defensa del proyecto de tesis, asistencia y/o presentación a los seminarios de investigación, y las reuniones con los comités tutoriales, existen dos modalidades de graduación, una es por defensa de su tesis, o por la publicación de un artículo de investigación en revista indexada.

Evaluación proceso de tesis.(reglamento general escolar marca solo tesis, que artículo se presente y defienda como tesis)

#### 1.1.8. Idioma

Una vez aceptado en el programa de Maestría, el estudiante deberá presentar un examen de conocimiento del idioma inglés, el cual debe de validair el nivel A2

CERF o equivalente. Esta evaluación será utilizada exclusivamente como un elemento de diagnóstico en el desarrollo futuro del estudiante, ya que, en el cuarto semestre existe una materia en la cual se otorgn créditos, para la acreditación del idioma Inglés.

TOEIC	TOEFL Paper	TOEFL CBT	TOEFL IBT	IELTS	Cambridge Exam	CEFR	VEC Online Score
0 - 250	0 - 310	0 - 30	0 - 8	0 - 1.0			0 - 34
	310 - 343	33 - 60	9 - 18	1.0 - 1.5		A1	35 - 38
255 - 400	347 - 393	63 - 90	19 - 29	2.0 - 2.5		A1	39 - 45
	397 - 433	93 - 120	30 - 40	3.0 - 3.5	KET (IELTS 3.0)	A2	
405 - 600	437 - 473	123 - 150	41 - 52	4.0	PET (IELTS 3.5)	B1	46 - 53
	477 - 510	153 - 180	53 - 64	4.5 - 5.0	PET (IELTS 4.5)	B1 (IELTS 4.5)	54 - 57
605 - 780	513 - 547	183 - 210	65 - 78	5.5 - 6.0	FCE (IELTS 5.0)	B2 (IELTS 5.0)	58 - 65
	550 - 587	213 - 240	79 - 95	6.5 - 7.0	CAE	C1	66 - 73
785 - 990	590 - 677	243 - 300	96 - 120	7.5 - 9.0	CPE	C2	74 - 81
Top Score	Top Score	Top Score	Top Score	Top Score	Top Score	Top Level	Top Score
990	677	300	120	9	100	C2	100

A (Usuario básico)	A1 (Acceso)	Es capaz de comprender y utilizar expresiones cotidianas de uso muy frecuente así como frases sencillas destinadas a satisfacer necesidades de tipo inmediato. Puede presentarse a sí mismo y a otros, pedir y dar información personal básica sobre su domicilio, sus pertenencias y las personas que conoce. Puede relacionarse de forma elemental siempre que su interlocutor hable despacio y con claridad y esté dispuesto a cooperar.
	A2	Es capaz de comprender frases y expresiones de uso frecuente relacionadas con áreas de experiencia que le son especialmente relevantes (información básica sobre sí mismo y su familia, compras, lugares de interés,

<b>(Plataforma)</b>			
<b>B</b>  <b>(Usuario independiente)</b>	<b>B1</b>  <b>(Intermedio)</b>		
		ocupaciones, etc). Sabe comunicarse a la hora de llevar a cabo tareas simples y cotidianas que no requieran más que intercambios sencillos y directos de información sobre cuestiones que le son conocidas o habituales. Sabe describir en términos sencillos aspectos de su pasado y su entorno así como cuestiones relacionadas con sus necesidades inmediatas.	
<b>B2</b>  <b>(Intermedio alto)</b>		Es capaz de comprender los puntos principales de textos claros y en lengua estándar si tratan sobre cuestiones que le son conocidas, ya sea en situaciones de trabajo, de estudio o de ocio. Sabe desenvolverse en la mayor parte de las situaciones que pueden surgir durante un viaje por zonas donde se utiliza la lengua. Es capaz de producir textos sencillos y coherentes sobre temas que le son familiares o en los que tiene un interés personal. Puede describir experiencias, acontecimientos, deseos y aspiraciones, así como justificar brevemente sus opiniones o explicar sus planes.	
<b>C</b>  <b>(Usuario competente)</b>	<b>C1</b>  <b>(Dominio operativo eficaz)</b>	Es capaz de entender las ideas principales de textos complejos que traten de temas tanto concretos como abstractos, incluso si son de carácter técnico siempre que estén dentro de su campo de especialización. Puede relacionarse con hablantes nativos con un grado suficiente de fluidez y naturalidad de modo que la comunicación se realice sin esfuerzo por parte de ninguno de los interlocutores. Puede producir textos claros y detallados sobre temas diversos así como defender un punto de vista sobre temas generales indicando los pros y los contras de las distintas opciones.	
		Es capaz de comprender una amplia variedad de textos extensos y con cierto nivel de exigencia, así como reconocer en ellos sentidos implícitos. Sabe expresarse de forma fluida y espontánea sin muestras muy evidentes de esfuerzo para encontrar la expresión adecuada. Puede hacer un uso flexible y efectivo del idioma para fines sociales, académicos y profesionales. Puede producir textos claros, bien estructurados y detallados sobre temas de cierta complejidad, mostrando un uso correcto de los mecanismos de organización, articulación y cohesión del texto.	

C2	Es capaz de comprender con facilidad prácticamente todo lo que oye o lee. Sabe reconstruir la información y los argumentos procedentes de diversas fuentes, ya sean en lengua hablada o escrita, y presentarlos de manera coherente y resumida. Puede expresarse espontáneamente, con gran fluidez y con un grado de precisión que le permite diferenciar pequeños matices de significado incluso en situaciones de mayor complejidad.
(Maestría)	

#### 1.1.9. Actividades complementarias del plan de estudios

El programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, al estar soportada en su mayoría por profesores-investigadores con nombramiento del SNI, promueven de manera activa la participación de sus estudiantes en congresos nacionales e internacionales, así como la asistencia a escuelas de verano, conferencias semanales y pláticas de divulgación científicas, Innovación y tecnología.

### 1.2. Proceso de enseñanza-aprendizaje

En este apartado se describe la metodología de enseñanza aprendizaje del programa de posgrado en Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia.

#### 1.2.1. Flexibilidad curricular

El plan de estudios de la MCyTLM está basado en créditos académicos que es un sistema que permite planear y manejar mejor el tiempo necesario que le toma al estudiante obtener las competencias planeadas. El sistema de créditos académicos es acumulativo y basado en SATCA, otorgando créditos académicos de las actividades académicas realizadas que contempla el presente programa, como lo son cursos básicos y optativos, cursos de investigación y seminarios, así como las estancias académicas nacionales y/o internacionales incluida la acreditación de la tesis de maestría.

### 1.2.2. Evaluación del desempeño académico de los estudiantes

#### **Materias**

Las evaluaciones correspondientes a las materias de formación básica y materias optativas son mediante exámenes escritos u orales, proyectos finales, exposiciones de temas selectos, todo lo anterior a través de una plataforma web (Google classroom, Moodle, entre otros) o por escrito en entrega directa. El profesor titular del curso elegirá cualquiera de las formas antes mencionadas, conforme al tipo de curso, para realizar la evaluación. Independientemente de los criterios elegidos por el profesor al final del curso se deberá contar con un portafolio de evidencias, electrónico o físico.

#### **Seminarios de Investigación**

El seminario de investigación se evalúa mediante trabajo continuo durante el semestre y una sesión plenaria al término del semestre; quién otorga la calificación es el comité tutorial. En esta evaluación los estudiantes exponen sus avances ante el comité tutorial y posiblemente también ante investigadores invitados, quienes sugieren recomendaciones para enriquecer y mejorar el trabajo, fomentando el diálogo y el intercambio de ideas. Esta actividad otorga 8 créditos (ver Tabla 1) y se considera que es una actividad propia del campo profesional supervisada. Se genera evidencia (portafolio) a través de las actas de las reuniones del comité tutorial.

### **1.3. Núcleo académico básico**

En este apartado se introducen a los miembros del núcleo académico básico que conforma al programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia, así como se enumeran sus distinciones y capacidades académicas. En el Anexo D se muestran las cartas de aceptación para conformar el núcleo básico de MCyTLM.

**1.3.1. Perfil del núcleo académico básico**

<b>Profesor-Investigador</b>	<b>SNI</b>	<b>PRODEP</b>
Araujo Andrade Cuauhtémoc	2	PTC
Chubykalo Andrey	N	PTC
Contreras Solorio David Armando	2	PTC
Enciso Muñoz Agustín	1	PTC
Espinosa Garrido Amado Augusto	1	PTC
González Sánchez Alejandro	N	PTC
Gutiérrez Rodríguez Alejandro Birgilio	2	PTC
Madrigal Melchor Jesús	1	PTC
Martínez Orozco Juan Carlos	2	PTC
Molina Valdovinos Sergio	N	PTC
Moreno Hernández Iván	3	PTC
Pérez Huerta José Samuel	C	PTC
Rivera Juárez Juan Manuel	N	PTC
Rodríguez Vargas Isaac	2	PTC
Saucedo Anaya Tonatiuh	1	PTC
Suárez López Jaime Raúl	1	PTC
Viveros Méndez Perla Xochil	1	PTC

**1.3.2. Distinciones académicas**

Ver punto anterior

**1.3.3. Apertura y capacidad de interlocución**

<b>Profesor-Investigador</b>	<b>Grado</b>	<b>Institución</b>
Araujo Andrade Cuauhtémoc	Dr.	IPICYT
Chubykalo Andrey	Dr.	Academia de Ciencias de Ucrania
Contreras Solorio David Armando	Dr.	UASLP
Enciso Muñoz Agustín	Dr.	UASLP
Espinosa Garrido Amado Augusto	Dr.	Universidad Amistad de los Pueblos (Rusia)
González Sánchez Alejandro	Dr.	SUSSEX UNIVERSITY
Gutiérrez Rodríguez Alejandro Birgilio	Dr.	BUAP
Madrigal Melchor Jesús	Dr.	BUAP
Martínez Orozco Juan Carlos	Dr.	UAEM
Molina Valdovinos Sergio	Dr.	CINVESTAV
Moreno Hernández Iván	Dr.	CIO
Pérez Huerta José Samuel	Dr.	UNAM
Rivera Juárez Juan Manuel	Mtro.	Universidad de la Habana
Rodríguez Vargas Isaac	Dr.	UAEM
Saucedo Anaya Tonatiuh	Dr.	CIO
Suárez López Jaime Raúl	Dr.	UNAM
Viveros Méndez Perla Xochil	Dr.	CINVESTAV

#### 1.3.4. Organización académica y programa de superación

##### Colegio de profesores

El Colegio de Profesores está constituido por el colectivo de profesores del programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia. Es un órgano encargado de discutir los programas académicos de la MCyTLM, la planeación de actividades de docencia e investigación y asuntos generales del programa. Las resoluciones del Colegio podrán ser llevadas al Consejo Académico de Unidad e instancias superiores de organización y normatividad para su discusión y aprobación.

##### Cuerpos académicos

La MCyTLM, está soportada por tres líneas de generación y aplicación del conocimiento, las cuales se agrupan por cuerpos académicos, organizados de la siguiente forma.

- Óptica y Fotónica
- Materia condensada
- Modelación matemática y super cómputo

#### Evaluación docente

Los docentes del programa de MCyTLM son evaluados al término de cada semestre por los estudiantes y por CAP (ver Anexo C).

#### Movilidad de los Profesores-Investigadores

El programa contempla que, de manera permanente, se tengan profesores visitantes a través de programas posdoctorales o de estancias de investigación, vía proyectos personales o institucionales como PRODEP y CONACYT. La movilidad de los profesores pertenecientes al núcleo básico de la MCyTLM

estarán sujetas a los mecanismos establecidos por la institución como, años sabáticos y permisos de estancias académicas (cortas o largas).

#### **1.4. Líneas de generación y/o aplicación del conocimiento**

Las líneas individuales de generación y aplicación de conocimiento (LGAC) de los Profesores-Investigadores que participan en programa son consistentes con las líneas de investigación de la MCyTLM. En cada línea se encuentran profesores investigadores que pertenecen al SNI y/o que cuentan con el perfil deseable PRODEP, además de realizar actividades de docencia a nivel licenciatura y posgrado.

##### **Óptica y Fotónica**

La Óptica y Fotónica son disciplinas de la Física que no sólo han mantenido su vigencia los últimos años, sino que han repuntando tanto en aplicaciones tecnológicas como en el entendimiento de fenómenos fundamentales. Los descubrimientos científicos y tecnológicos más importantes de los últimos 60 años son y/o están basados en estas disciplinas. Alrededor del 40 % de los Premios Nóbel en Física son en Óptica y/o Fotónica, sin tomar en consideración aquéllos en otras áreas que fueron otorgados usando instrumentación óptica como base. Ambas disciplinas representan en muchos países avanzados áreas científicas estratégicas para el impulso y desarrollo científico, tecnológico y de Innovación, con un impacto contundente en el crecimiento de sus economías. La Óptica y Fotónica han mostrado ser no sólo disciplinas en las que muchas áreas de todas las ramas de la Ciencia y Tecnología están y estarán basadas, sino también son disciplinas que actúan como agentes innovadores y facilitadores del vínculo entre ciencia, tecnología, innovación e industria y sociedad. Dicha condición ha llevado a varios Consejos, Ministerios y Secretarías de Ciencia, Tecnología e Innovación

de diferentes países a reconocerlas como disciplinas estratégicas para un futuro con crecimiento sostenido.

La Óptica y Fotónica estudian de manera general la generación de luz, su propagación, detección e interacción de radiación con la materia, así como fenómenos no lineales, entre otros. Los objetivos principales de esta línea son el estudio de:

- a) Holografía
- b) Metrología Óptica
- c) Radiometría
- d) Diseño Óptico
- e) Instrumentación Óptica
- f) Interferometría, Láseres
- g) LEDs, Visión
- h) Iluminación
- i) Procesamiento de Imágenes
- j) Teoría Electromagnética
- k) Propiedades ópticas de metamateriales
- l) Nanoóptica
- m) Óptica no lineal
- n) Fotónica
- o) Sistemas Coloidales

- p) Cristales Líquidos
- q) Simulación molecular

**Integrantes**

Araujo Andrade Cuauhtémoc  
Moreno Hernández Iván  
Pérez Huerta José Samuel  
Saucedo Anaya Tonatiuh  
Viveros Méndez Perla Xóchitl

## Materia Condensada

El desarrollo tecnológico va de la mano con la investigación a nivel fundamental de las propiedades físicas de la materia condensada. Tal estudio se lleva a cabo a diferentes escalas, desde sistemas macroscópicos con un gran número de átomos, hasta sistemas nanoscópicos con unos cuántos átomos y donde dominan los fenómenos cuánticos de las partículas elementales. En esta línea de investigación se estudian las propiedades electrónicas ópticas y magnéticas de materiales. En particular se estudian las propiedades de transporte de sistemas alta y baja dimensionalidad, como el grafeno, que ha cobrado gran relevancia recientemente y que promete ser un material que revolucione la tecnología en los próximos años. También se estudian las propiedades ópticas no lineales de puntos cuánticos, nanoestructuras semiconductoras con múltiples aplicaciones, así como las propiedades termoeléctricas de los materiales.

Asimismo, estamos interesados en el estudio de materiales cuyas propiedades los hacen candidatos para su uso en la generación de energías renovables. En Zacatecas ésta línea de investigación forma parte de la Agenda de Innovación y actualmente en el país se desarrollan investigaciones en: celdas de combustible, energía fotovoltaica, sistemas termosolares de concentración, bioenergía, tecnología eólica, explotación y exploración de recursos geotérmicos hidrotermales, entre otros.

Los objetivos principales de esta línea son:

- a) Estudio de sistemas nanoestructurados con potenciales aplicaciones tecnológicas.

- b) Cálculo de propiedades electrónicas, ópticas y magnéticas de sistemas de baja dimensionalidad tales como puntos cuánticos y grafeno.
- c) Diseño y optimización de celdas solares. Estudio de celdas solares de nueva generación con nuevos materiales de bajo costo e impacto ambiental, así como coadyuvantes de alta eficiencia en las celdas.
- d) Estudio en general de generación de diversos tipos de energías renovables.
- e) Estudio de la propagación de ondas electromagnéticas y acústicas en sistemas multicapas.
- f) Estudio de materiales con aplicaciones en espintrónica.

Integrantes:

Contreras Solorio David Armando

Enciso Muñoz Agustín

Madrigal Melchor Jesús

Martínez Orozco Juan Carlos

Molina Valdovinos Sergio

Rivera Juárez Juan Manuel

Rodríguez Vargas Isaac

Suárez López Jaime Raúl

## Modelación Matemática y Súper Cómputo

La modelación matemática se define como una descripción desde el punto de vista de las matemáticas para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, correlaciones entre variables para estudiar comportamientos de sistemas y fenómenos físicos complejos, ante situaciones difíciles de observar en la realidad. A través de la modelación matemática, analítica y numérica se pueden entender mejor los procesos evolutivos de fenómenos físicos en los que intervienen una gran cantidad de variables, aportando un gran valor predictivo.

Nuestro Estado –al igual que el país- encara una serie de problemas de importancia estratégica, cuyo estudio y resolución implican retos que pueden ser atacados desde la modelación matemática: energía renovable, recursos hídricos y medio ambientales, física de materiales, ciencia básica por mencionar solo algunos. Por tanto, esta LGAC está dirigida a fortalecer con conocimientos la modelación matemática de procesos y fenómenos físicos que permitan abordar problemas concretos que la ciencia y la tecnología demandan.

En esta LGAC se desarrollarán modelos matemáticos que incluyen:

- a) Soluciones inusuales a las ecuaciones de Maxwell.
- b) La posible existencia de señales superlumínicas.
- c) La coherencia entre las definiciones de las magnitudes que caracterizan las propiedades energéticas del campo electromagnético.
- d) Propiedades y producción de neutrinos y su importancia en el problema de la materia oscura.
- e) Producción de bosones de Higgs en los actuales y futuros colisionadores de física de partículas elementales.

- f) Modelos de evolución estelar.
- g) Modelos de galaxias y estructura en gran escala del Universo.
- h) Modelos de los sesgos observacionales que puede tener los telescopios en diferentes longitudes de onda.

Integrantes:

Chubykalo Andrey

Espinosa Garrido Amado Augusto

González Sánchez Alejandro

Gutiérrez Rodríguez Alejandro Birgilio

#### 1.4.1. Congruencia entre los objetivos del plan de estudios y el perfil de egreso con las LGA

Como se menciono en el perfil de egreso el estudiante debe de presentar su trabajo de investigación, resultados de su trabajo de tesis, en diferentes foros académicos nacionales o internacionales, así como el poder publicar sus resultados en un artículo de investigación en una revista indexada reconocida por CONACyT, ver punto 1.1.4.

#### 1.4.2. Participación de estudiantes y profesores en proyectos derivados de las líneas de investigación o de trabajo profesional

Dependiendo de la LGAC en la que el estudiante decida especializarse deberá cursar dos materias de este bloque, ver Anexo B. Una vez que el estudiante de maestría comienza formalmente sus estudios, desarrollará en conjunto con su asesor un protocolo de proyecto de investigación, sobre el cuál desarrollará su tesis.

## 2. Estudiantes

En esta categoría se describen los diferentes criterios para que al estudiante aceptado al programa de MCyTLM se le garantice una formación de excelencia. Esto se hará mediante un seguimiento puntual desde que el estudiante manifiesta su interés por ingresar al programa, por lo que el programa incluye mecanismos de seguimiento en cada una de las etapas que conforman al programa.

### 2.1. Ingreso de los estudiantes

Proceso fundamental para garantizar que los estudiantes que ingresen al programa tengan las habilidades mínimas requeridas para garantizar éxito.

#### 2.1.1. El proceso de admisión

Haber terminado estudios de Licenciatura en Ciencias, Ingeniería o áreas afines con promedio igual o mayor a 8. Los procedimientos y requisitos son:

- a) Se hará una revisión curricular por parte del Consejo Académico del Posgrado de la MCyTLM, quien recibirá y evaluará el perfil del aspirante y será el responsable de ver si cumple con el perfil de ingreso.
- b) Aprobar los exámenes de admisión en la modalidad que disponga el Consejo Académico de Posgrado, con un resultado mayor o igual a 8.
- c) Entrevista con el Consejo Académico de Posgrado donde el estudiante expondrá sus motivos e intereses para ingresar a la Maestría.
- d) En caso de cumplir con los puntos anteriores el aspirante es aceptado al Programa de Maestría y se procederá a los trámites escolares correspondientes.
- e) El estudiante debe validar un nivel de inglés equivalente a B1 CERF, ver punto 1.1.8.

## 2.2. Seguimiento de la trayectoria académica de los estudiantes

### 2.2.1. Tutorias

Una vez aceptado el estudiante se le asignará un Comité Tutorial. El objetivo de este Comité es velar por el cumplimiento de las actividades académicas asignadas al estudiante. El Comité Tutorial estará constituido por tres investigadores de reconocido prestigio, siendo uno o dos de ellos el asesor o coasesor de tesis, quienes se reunirán durante cada semestre de manera mensual para analizar y en su caso validar las actividades académicas realizadas por el estudiante, asimismo aprobará el plan de trabajo propuesto para el semestre.

Comités tutoriales:

La estructura operativa del Programa Académico de Maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia será responsabilidad del Consejo Académico de Posgrado (CAP), de los Comités Tutoriales (CT) y del Departamento Escolar (DE). El Comité Tutorial será asignado por el CAP con el aval del Consejo de Unidad y estará integrado por el director de tesis o por el co-asesor interno, por un Tutor Académico y por un Par Académico pudiendo ser externo a la institución, todos ellos especialistas en la línea de investigación.

## 2.3. Movilidad de estudiantes

### 2.3.1. Investigación

El estudiante de maestría podrá realizar parte de su trabajo, teórico o experimental, mediante estancias de investigación en centros o instituciones del país o el extranjero. Se llevarán a cabo en los lugares seleccionados entre el asesor y el estudiante de maestría avalado por el CAP y se evaluará con los reportes de dichas estancias.

## 2.4. Dedicación de los estudiantes al programa

El programa de MCyTLM requiere estudiantes de tiempo completo y apegarse a los criterios de CONACyT en lo que respecta a su posibilidad de desarrollar actividades extras.

### 2.4.1. Posgrado con orientación a la investigación

De acuerdo al plan de estudio, el estudiante de tiempo completo dedicará 2400 horas distribuidas en 120 créditos, durante 2 años.

### 3. Infraestructura del Programa

#### 3.1. Espacios, laboratorios, talleres y equipamiento

##### 3.1.1. Espacios

##### 3.1.2. Laboratorio y talleres

##### **Laboratorio de Interferometría Holográfica**

Investigador responsable: Dr. Tonatiuh Saucedo Anaya

Material y Equipo

- Mesa Holográfica con sistema anti vibraciones
- Laser Nd:YAG (single mode) de 532nm de Longitud de Onda y 500mW de potencia de salida.
- 50m de Fibras Ópticas mono modal (a 532nm).
- Cortador de fibra
- Cámara CCD “Pulnix” monocromática, alta resolución (1028X1124 pixel).
- Cámara CMOS “Pixelin” monocromática, alta resolución (1028X1124 pixel).
- Varias Lentes
- Varios espejos
- Atenuadores de luz
- Pupilas mecánicas
- Divisores de haz cúbicos
- Divisores de haz planos

- Componentes opto-mecánicas
- Compresor de aire
- Tres computadoras
- Gabinetes
- Mesas
- Sillas

### **Laboratorio de Óptica Aplicada**

Investigador responsable: Dr. Iván Moreno Hernández

#### **Material y Equipo**

- 2 Mesas de laboratorio metalizadas con tornillos de nivelación. (El espacio de piso que ocupa cada una es 126cmX61cm)
- 2 Estantes metalizados para materiales. (El espacio de piso que ocupa cada uno es 123cmX46cm)
- 1 Mesa de trabajo metalizada con llantas. (El espacio de piso que ocupa es 46cmX76cm.)
- 1 Locker grande. (El espacio de piso que ocupa es 90cmX40cm.)
- 3 Mesas de trabajo. (El espacio de piso que ocupa cada una es 120cmX60cm.)
- 1 Escritorio para PC. (El espacio de piso que ocupa es 79cmX48cm.)
- 2 Bancos de trabajo. (El espacio de piso que ocupa cada uno es 30cmX30cm.)

- 1 Mueble de madera para almacenamiento. (El espacio de piso que ocupa es 125cmX50cm.)
- 2 Sillas. (El espacio de piso que ocupa cada una es 50cmX50cm.)
- 1 espectrómetro USB2000 OceanOptics VIS-NIR 350-1000nm.
- Accesorios de medición espectral OceanOptics, que incluyen: una fuente de luz LS-1-CAL-INT calibradora de flujo luminoso relativo, una esfera integradora de emisión FOIS-1, un corrector de efecto coseno CC-3UV con material difusor, y el software de aplicaciones OOIrrad-C.
- 1 espectrómetro integrado portátil Newport UV-VIS 250-680 nm, con una esfera integradora de 12.5 mm SPH-IRR-12.5.
- 1 Cámara científica 3CCD Hitachi HF-F31F a color;
- 1 Lente con zoom 10x para cámara científica.
- 1 Lente telefoto zoom
- 1 Cámara científica CMOS blanco y negro;
- 1 Montura óptica rotatoria con motor de pasos, Edmund Optics M55-327.
- 1 Microscopio de Inspección 20X/40X
- 1 Microscopio de Medición directa 100
- 1 Sistema de Medición fotométrico-radiométrico
- 1 Esfera integradora de flujo luminoso de 6 in de diámetro.
- 1 Posicionador mecánico milimétrico z Edmund Optics 55-025.
- 1 Montura rotatoria graduada Edmund Optics M55-030.

- 1 Base óptica de trabajo Newport M-RG-25-2, de precisión científica de 70×180 cm.
- 2 Bases ópticas de trabajo Newport M-GP-22 de 70×70 cm;
- Amplio surtido de postes y monturas mecánicas.
- 1 Riel óptico de 50 cm M54-929 con accesorios.
- 1 Difusor holográfico Lambertiano 5x5 cm.
- 1 Placa Difusora 20x25cm.
- 1 Placa de cuarto de onda a 488 nm, Thorlabs WPQ05M-488.
- 1 Placa de cuarto de onda a 532 nm, Thorlabs WPQ05M-532.
- 1 Placa de cuarto de onda a 633 nm, Thorlabs WPQ05M-633.
- 1 Diafragma mecánico.
- 1 Placa Polarizadora Polaroid de espectro ancho,
- 1 Filtro neutro de intensidad fija.
- 1 Filtro neutro de intensidad variable, Edmund Optics NT41-960.
- 1 Filtro neutro de intensidad a pasos de 0-3, Edmund Optics NT47-527.
- 3 Voltímetros digitales.
- 3 Fuentes de corriente eléctrica regulada.
- 1 Fuente de voltaje variable sintonizable.

## Laboratorio de Espectroscopías Ópticas

Investigador responsable Dr. Cuauhtémoc Araujo Hernández

### Equipo:

- Monocromador modelo iHR320 de la compañía Yvon Jovin HORIBA.
- Espectrómetro de fluorescencia modelo USB4000-FL de la compañía Ocean Optics.
- Espectrómetro de absorción UV/Vis modelo USB4000 de la compañía OceanOptics.
- Lámpara de Halógeno Deuterio Tungsteno modelo DH 2000 BAL de la compañía Ocean Optics.
- Lámpara de halógeno Tungsteno modelo LS-1 de la compañía Ocean Optics.
- Fibras ópticas diversas para mediciones por reflectancia difusa y por transmisión

### OTRO EQUIPO

- Colorímetro: De la empresa Radian Zemax se adquirió un colorímetro de la serie PM, modelo IC-PMI2, de 12 bits en rango dinámico (4,096 niveles de gris), con una resolución espacial de 1600x1200 pixeles. Este equipo incluye un software para el control y análisis de datos, Una lente zoom electrónica y un soporte mecánico de tres ejes.
- Cámara ultra rápida: De la empresa PCO se adquirió una cámara rápida de alta resolución para uso científico. El modelo de la cámara es PCO-dimax-HS4, de 12 bits en rango dinámico (4,096 niveles de gris), y con una

resolución espacial de 2000x2000 pixeles. tienen una velocidad de captura de 7000 cuadros por segundo a una resolución de 1000x1000.

- Láser coherente de alta potencia: De la empresa COHERENT se adquirió un Laser de estado sólido de luz altamente coherente (single frequency) modelo Verdi G SLM, que emite luz a 532nm de longitud de onda con una potencia de salida de hasta 5Watts.L
- Cámara de alta resolución. El modelo de las cámara es PCO-pixelfligh, de 16 bits en rango dinámico y con una resolución espacial de 1000x1200 pixeles.
- Láser pulsado de alta energía de radiación: De la empresa INNOLAS, útil para aplicaciones de eventos físicos ultrarrápidos
- Mesas anti-vibraciones (Holográficas) y plataformas: para sujetar componentes opto mecánicas
- Proyectores de luz: para el montaje de arreglos metrológicos en el área de luz estructurada
- Componentes ópticas y mecánicas: Como lo son lentes simples, divisores de haz, atenuadores de luz, polarizadores, objetivos de microscopio, fibra óptica, etc., en componentes mecánicas se tiene; porta lentes, sujetadores de fibra óptica, etc.
- Equipo de cómputo y electrónica como sería: Osciloscopios, multímetros, generador de pulsos, además de un potenciómetro usado para medir la cantidad de luz radiada.
- Un laser coherente de baja potencia y de longitud de onda de 488nm, ideal para trabajar en sistemas de análisis de objetos microscópicos.

### 3.2. Biblioteca y tecnologías de la información y comunicación

En este criterio se describen las bases de datos a las que los miembros del programa MCyTLM tienen acceso para el buen desarrollo de sus actividades de docencia, investigación y vinculación, así como el buen desarrollo de las actividades administrativas.

#### 3.2.1. Biblioteca y Acervos

El Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Zacatecas, ofrece los siguientes servicios a estudiantes, investigadores, académicos, trabajadores de la UAZ; así como a la sociedad en general:

1. Básicos (Préstamo en sala, a domicilio e interbibliotecario)
2. Servicios de documentación (Búsquedas temáticas en bases de datos,
3. Recuperación de documentos, Compilación de bibliografías y diseminación selectiva de información)

4. Desarrollo de habilidades informacionales (Inducción bibliotecarios, acceso a bases de datos y a la carta)

Para proporcionar estos servicios, sus acervos se encuentran integrados por diferentes colecciones (General, Consulta, Publicaciones periódicas, audiovisuales, Gubernamental, INEGI, Zacatecas, y especiales).

### 3.2.2. Redes y bases de datos

A partir del año 2010 se crea el Consorcio Nacional de Recursos Informativos en Ciencia y Tecnología (CONRICyT), organismo responsable desde entonces de proveer de bases de datos a las Universidades Públicas e Instituciones de Educación Superior; en el caso que nos ocupa, nuestra institución tiene acceso a las siguientes bases:

- ACS( Chemistry for life)
- AIP (American Institute of Physics)
- AMS (American Mathematical Society)
- APS (Physics)
- JAMA (The Journal of American Medical Association)
- Annual reviews
- Bio one
- EBSCO (Academic Search Complete, Business Source Complete, Fuente Académica, Medie Latina)
- Elsevier
- Emerald
- Gale Cengage Learning
- IOP (Institute of Physics)
- Nature
- Oxford University Press

- Science
- Springer Link
- Thomson Reuters (ISI Web of Science, WOS back files web of science, Journal Citation)
- Wiley

Las cuales pueden ser consultadas a través de la página web de la Coordinación de Bibliotecas: <http://bibliotecas.uaz.edu.mx>, en su apartado de Biblioteca Virtual.

### 3.2.3. Equipamiento

Además del equipo de laboratorio descrito en la sección de *Laboratorios y talleres equipados*, se cuenta con un cluster de 12 nodos, cada nodo con 4 núcleos en el que los estudiantes inscritos en la MCyTLM podrán desarrollar los cálculos numéricos y de simulación requeridos sus investigaciones.

## 4. Resultados y Vinculación

### 4.1. Trascendencia, cobertura y evolución del programa

- 4.1.1. Alcance y tendencia de los resultados del programa
- 4.1.2. Cobertura del programa
- 4.1.3. Pertinencia del programa
- 4.1.4. Satisfacción de los egresados

### 4.2. Efectividad del posgrado

- 4.2.1. Eficacia terminal y graduación

### 4.3. Contribución al conocimiento

- 4.3.1. Investigación y desarrollo
- 4.3.2. Tecnología e innovación
- 4.3.3. Dirección de tesis o trabajo terminal
- 4.3.4. Publicación de los resultados de la tesis de maestría
- 4.3.5. Participación de estudiantes y profesores en encuentros académicos
- 4.3.6. Retroalimentación de estudiantes y profesores en encuentros académicos
- 4.3.7. Estancias posdoctorales

### 4.4. Vinculación

- 4.4.1. Beneficios
- 4.4.2. Intercambio académico

### 4.5. Financiamiento

- 4.5.1. Recursos aplicados a la vinculación
- 4.5.2. Ingresos extraordinarios

## Anexo A

### ASIGNATURAS DE FORMACIÓN BÁSICA MCyTLM

## Matemáticas Aplicadas

---

- Número de créditos: 10
- Semestre: 1
- Horas a la semana: 10
- Teoría: 6
- Práctica: 4
- Autoestudio: 6
- Requisitos: Ninguno
- Clave: AFB-1
- Asignatura: Básica
- Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

---

Descripción de la asignatura: El objetivo de este curso es enseñar los principios fundamentales del cálculo diferencial e integral en funciones de una y varias variables. El estudiante aprenderá a describir el comportamiento de funciones analizando la existencia de máximos y mínimos. Aprenderá a calcular superficies y volúmenes y longitud de curvas parametrizadas. Así mismo, se adiestrará al alumno en las herramientas fundamentales y sus aplicaciones del Análisis de Fourier

Contenido:

- Cálculo diferencial e integral en una variable y aplicaciones.
- Vectores.
- Cálculo diferencial en varias variables y aplicaciones.
- Cálculo integral en varias variables y aplicaciones.
- Análisis de Fourier y aplicaciones.

Índice temático:

1. **Cálculo diferencial e integral de una variable y sus aplicaciones.** Definición y significado de derivada e integral. Máximos y mínimos de una función. Técnicas de derivación. Técnicas de integración. Aplicaciones de la derivada. Aplicaciones de integrales.
2. **Vectores.** Definición de vector. Algebra de vectores. Producto punto y aplicaciones. Producto externo y sus aplicaciones.

3. **Cálculo diferencial en varias variables y aplicaciones.** Sistemas de coordenadas. Trayectorias y curvas. Velocidad y tangente a una trayectoria. Recta tangente. Diferenciación de trayectorias. Integración. Longitud de arco. Diferencial de la longitud de arco. Longitud de curvas. Derivadas parciales. Diferenciación. Propiedades de la derivada. Interpretación geométrica de las derivadas parciales de una función. Derivación de funciones implícitas. Derivadas parciales de órdenes superiores. Superficies y líneas de nivel. Gradientes y derivadas direccionales. Fórmula de Taylor. Máximos y mínimos de una función de varias variables. Campos vectoriales, rotacional, gradiente, divergencia. Aplicaciones.
4. **Cálculo integral en varias variables.** Regiones de Integración: Tipo I, II, III. Cambio de orden de integración. Integrales dobles. Integrales triples. Cálculo de áreas y volúmenes mediante integrales múltiples. Integrales dobles en coordenadas polares. Integral de trayectoria y de línea. Parametrizaciones y reparametrizaciones en curvas y superficies. Integrales de funciones escalares sobre superficie. Integrales de funciones vectoriales sobre superficie. Teorema de Green. Teorema de la Divergencia. Teorema de Stokes. Campos conservativos. Teorema de Gauss. Aplicaciones.
5. **Análisis de Fourier.** Aplicaciones en la Tecnología. Sucesiones y series. Convergencia uniforme de sucesiones de funciones. Convergencia uniforme de series de funciones. Coeficientes de Fourier. Períodos arbitrarios. Paridad y desarrollo en semiintervalos. Series de Fourier complejas. Propiedades de la transformada de Fourier. Aplicaciones.

### Bibliografía:

- J. Marsden, A. J. Tromba, "Cálculo Vectorial, 5a. Edición", Adison- Wesley, Iberoamericana, 2003.
- T. M. Apostol, "Calculus, Vol. 2, 1ra. Edición", Reverté Mexicana, México D. F., 1985.
- M. Spivak, "Cálculo en Variedades", Editorial Reverte, Barcelona 1987. 4. Haaser, LaSalle, Sullivan, "Análisis matemático", México, 1989.
- G. B. Thomas, R. L. Finney; "Cálculo, varias variables", 9a edición, Addison Wesley Longman, 2000.
- R. E. Larson, R. P. Hostetler, B. H. Edwards; "Cálculo", McGraw-Hill, Vol I y II, Sexta Edición, 2001.
- T. W. Korner. Fourier Analysis. Cambridge University Press, 1988

## Física General

---

- Número de créditos: 10
- Semestre: 1
- Horas a la semana: 10
- Teoría: 6
- Práctica: 4
- Autoestudio: 6
- Requisitos: Ninguno
- Clave: AFB-2
- Asignatura: Básica
- Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

---

Descripción de la asignatura: El objetivo de este curso es revisar una serie de temas de la física, relevantes para el entendimiento de fenómenos físicos más complejos y sus aplicaciones en temas de investigación de frontera.

Contenido:

- Las leyes de Newton.
- Oscilaciones y ondas.
- Sistemas de partículas.
- Fuerzas centrales
- Elementos de Mecánica de Fluidos
- Elementos de electrodinámica

Índice temático:

1. **Las leyes de Newton.** Las leyes de Newton. Movimiento de una partícula sujeta a una fuerza constante. Movimiento de una partícula sujeta a una fuerza dependiente de la velocidad. Movimiento de una partícula sujeta una fuerza dependiente de la posición. La fricción estática y cinética. Movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos y magnéticos.
2. **Oscilaciones y ondas.** El oscilador armónico simple no amortiguado. El oscilador armónico amortiguado. El oscilador armónico impulsado. La invariancia adiabática. Oscilaciones no armónicas. La cuerda vibrante. Propagación de una onda en una cuerda.

3. **Sistemas de partículas.** Leyes de conservación. El problema de dos cuerpos. El problema de N cuerpos. Choques. Movimiento de objetos de masa variable.
4. **Fuerzas centrales.** La ley de la gravitación. La fuerza gravitacional entre una esfera y una partícula. Las leyes de Kepler. Energía potencial en un campo gravitacional. Energía potencial en un campo de fuerzas centrales. La ecuación de la energía para un campo central de fuerzas. Energía orbital en un campo que varía como  $1/r^2$ . El potencial efectivo y las órbitas permitidas. Movimiento en un campo de fuerzas repulsivo. Órbitas cercanamente circulares. Estabilidad de las órbitas.
5. **Elementos de Mecánica de Fluidos.** Ecuación de Euler. Primeras integrales de la ecuación de Euler. Fluidos viscosos. Relaciones de escala. Ondas hidrodinámicas y hidromagnéticas. Vorticidad. Turbulencia.
6. **Elementos de electrodinámica.** Las ecuaciones de Maxwell y su significado físico. Leyes de conservación. Ondas electromagnéticas. Ondas electromagnéticas en el vacío y en medios lineales. Absorción y dispersión. Radiación. Radiación dipolar eléctrica y magnética. Partículas cargadas.

**Bibliografía:**

- J. Norwood. Mecánica clásica a nivel intermedio. , Prentice-Hall International, 1980
- G.r. Fowles and G. L. Cassiday. Analytical Mechanics. Saunders College Publishers, 5ta. Edition, 1993.
- J. B. Marion. Dinámica clásica de las partículas y sistemas. Editorial Reverte, S.A., 2000.
- Jorge V. José y Eugene J. Saletan, Classical dynamics: a contemporary approach. Cambridge U. P., 1998
- Neil Rasband S., Dynamics. John Wiley and Sons, 1983.
- Matzner, R. A. and Shepley, L. S. Classical mechanics, Prentice Hall, 1991.
- F. M. White. Fluid Mechanics. McGraw-Hill, Inc. 3ra. Edition, 1994.
- D. J. Griffiths. Introduction to Electrodynamics. Prentice-Hall, Inc. 5ta. Edition, 1999.
- R. H. Good and T. J. Nelson. Classical Theory of Electric and Magnetic Fields. Academic Press, 2nd Edition, 1994.

## Física Computacional

---

- Número de créditos: 10
- Semestre recomendado: 1
- Horas a la semana: 10
- Teoría: 6
- Práctica: 4
- Autoestudio: 6
- Requisitos: Ninguno
- Clave: AFB-3
- Asignatura: Básica
- Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

---

Descripción de la asignatura: La mayoría de los problemas en Física y en la Física aplicada son imposibles de resolverse de forma analítica. La Física Computacional y Modelado es una alternativa para resolver problemas de forma numérica y por simulación. Los métodos numéricos se basan principalmente en el formalismo matemático para resolver sistemas de ecuaciones algebraicas y ecuaciones diferenciales tanto ordinarias como parciales, las cuales están presentes en las leyes y los principios fundamentales de la Física. Mientras que la simulación se basa en la teoría de la mecánica estadística. En esta última, se requiere del modelado para describir tanto la forma como el potencial de interacción de las moléculas que conforman el sistema de estudio.

Contenido:

- Cálculo Numérico
- Ecuaciones diferenciales ordinarias
- Métodos numéricos para matrices
- Ecuaciones diferenciales parciales
- Simulación de Dinámica molecular
- Modelado de sistemas continuos

Índice temático:

1. **Cálculo numérico:** Diferenciación numérica. Integración numérica. Raíces de una ecuación. Extremos de una función. Dispersión Clásica.
2. **Ecuaciones diferenciales ordinarias.** Problemas de valor inicial. Métodos de Euler y Picard. Métodos Predictor-Corrector. Método de Runge-Kutta. Problemas de eigenvalores y valores a la frontera. El método de disparo.
3. **Métodos Numéricos para matrices.** Matrices en Física-Matemática. Operaciones básicas de matrices. Sistemas de ecuaciones lineales. Ceros y extremos de funciones multivariadas. Problemas de eigenvalores. Método de Faddeev-Leverrier. Ceros complejos de un polinomio. Estructura electrónica de átomos. Algoritmo de Lanczos y el problema de muchos cuerpos. Matrices aleatorias. Análisis espectral. Análisis de Fourier y funciones ortogonales. Transformada de Fourier Discreta. Transformada rápida de Fourier. Transformada de Fourier en varias dimensiones. Análisis de paquete de onda. Transformada de un paquete de onda discreta. Funciones especiales. Cuadraturas Gaussianas.
4. **Ecuaciones diferenciales parciales.** Ecuaciones diferenciales parciales en física. Separación de variables. Discretización de una ecuación. El método de matrices para ecuaciones diferenciales. El método de relajación. Problemas de valores iniciales.
5. **Simulaciones de Dinámica Molecular.** Comportamiento general de un sistema clásico. Métodos Básicos para sistemas de muchos cuerpos. El algoritmo de Verlet. Estructura de clusters atómicos. El método de Gear predictor-corrector. Presión constante, temperatura y longitud de enlace. Estructura y dinámica de materiales reales. Dinámica molecular AB initio.
6. **Modelado de sistemas continuos.** Ecuaciones hidrodinámicas. El método básico de elemento finito. El método variacional de Ritz. Sistemas de dimensión superior. El método de elemento finito para ecuaciones no lineales. El método de partícula en celda. Hidrodinámica y Magnetohidrodinámica. El método de lattice Boltzmann.

Bibliografía:

- Tao Pang. “An introduction to Computational Physics”, Cambridge Publishing, 2006.
- S. S. M. Wong, “Computational Methods in Physics and Engineering”, World Scientific, 1997.

## Física moderna y contemporánea

---

- Número de créditos: 10
- Semestre recomendado: 2
- Horas a la semana: 10
- Teoría: 6
- Práctica: 4
- Autoestudio: 6
- Requisitos: Física General, Matemáticas Aplicadas
- Clave: AFB-4
- Asignatura: Básica
- Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

---

Descripción de la asignatura: La mecánica cuántica y la mecánica estadística son teorías físicas de naturaleza probabilísticas, las cuales están basadas en postulados fundamentales. Estas teorías nos permiten describir los sistemas desde un punto microscópico, es decir, se toma el carácter molecular de la materia. El estudiante adquirirá un entendimiento profundo sobre los postulados de la Mecánica Cuántica y la Mecánica Estadística, será capaz de resolver la ecuación de Schrödinger de forma analítica para diferentes sistemas, así como también será capaz de discernir y resolver problemas utilizando la estadística clásica y las estadísticas cuánticas.

Contenido:

- Mecánica Cuántica
- Mecánica Estadística

Índice temático:

1. **Mecánica Cuántica.** Postulados de la mecánica cuántica y ecuación de Schrödinger. Normalización. Momento. El principio de incertidumbre. Estados estacionarios. El pozo cuadrado infinito. El oscilador armónico. La partícula libre. La función delta de potencial. Espacio de Hilbert.

Observables. Eigenfunciones de un operador hermitiano. Ecuación de Schrödinger en coordenadas esféricas. El átomo de hidrógeno. El momento angular. Espín.

2. **Mecánica Estadística.** Postulados de la Mecánica Estadística. Ensamble microcanónico y su conexión con la termodinámica. Ensamble canónico y su conexión con la termodinámica. Ensamble gran canónico y su conexión con la termodinámica. Fluctuaciones.
3. **Estadísticas de Boltzmann, Fermi-Dirac y Bose-Einstein.** Estadística de Boltzmann. Estadística de Fermi-Dirac. Estadística de Bose-Einstein.

Bibliografía básica:

- D. J. Griffiths, “Introduction to Quantum Mechanics”, PEARSON Prentice Hall, Second Edition.
- J. J. Sakurai, “Modern Quantum Mechanics”, Addison, Wesley, 1994.
- L. de la Peña, “Introducción a la Mecánica Cuántica”, Fondo de Cultura Económica, 1977.
- D. A. McQuarrie, “Statistical Mechanics”, University Science Books, USA, 2000.
- K. Huang, “Statistical Mechanics”, 2<sup>a</sup> ed., 1987.
- R. Kubo, “Statistical Mechanics”, G. S. Rushbrooke, Oxford at the Clarendon. Press.

## Anexo B

### ASIGNATURAS OPTATIVAS DE FORMACIÓN ESPECÍFICA POR LGAC

## Temas selectos de matemáticas

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos MCYTL: Matemáticas Aplicadas

Requisitos DCYTL: Ninguno

Clave: AFE-1

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

Descripción de la asignatura: Contenido abierto en el área de matemáticas previamente aprobado por el Comité Académico de Posgrado (CAP).

## Temas selectos de laboratorio

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos MCYTL: Ninguno

Requisitos DCYTL: Ninguno

Clave: AFE-2

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

Descripción de la asignatura: Contenido abierto en el área de laboratorio previamente aprobado por el Comité Académico de Posgrado (CAP).

## Temas selectos de física

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos MCYTL: Física general

Requisitos DCYTL: Ninguno

Clave: AFE-3

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

Descripción de la asignatura: Contenido abierto en el área de física previamente aprobado por el Comité Académico de Posgrado (CAP).

## Física computacional II

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos MCYTL: Física computacional

Requisitos DCYTL: Física computacional

Clave: AFE-4

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

Descripción de la asignatura: El problema de multiplicación de matrices aunque matemáticamente es sencillo, numéricamente es muy rico, y por lo tanto es de suma importancia estudiarlo. Esto es, cómo almacenar matrices simétricas, o cómo multiplicar matrices con muchos ceros, etc. Lo anterior nos ayudará a hacer algoritmos más eficientes. El estudiante debe lograr un entendimiento profundo sobre cómo se realizan los cálculos numéricos en matrices y que puedan lograr que éstos sean eficientes.

Contenido:

- Multiplicación de matrices
- Análisis matricial

- Eliminación gaussiana y sus variantes
- Ortogonalidad y mínimos cuadrados
- Cálculo matricial en paralelo
- Eigenvalores y eigenvectores
- Métodos iterativos para sistemas lineales

Índice temático:

1. Multiplicación de matrices.
2. Análisis matricial
3. Eliminación gaussiana y sus variantes
4. Ortogonalidad y mínimos cuadrados
5. Cálculo matricial en paralelo
6. Eigenvalores y eigenvectores
7. Métodos iterativos para sistemas lineales

Bibliografía

- Matrix Computations, Third Edition (1996), Gene H. Golub, Charles F. Van Loan, The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Fundamental of Matrix Computation, Second Edition (2002), David S. Watkins, Pure and Applied Mathematics, A Wiley-Interscience Series of text.
- Numerical Linear Algebra (2008), Grégoire Allaire and Sidi Mahmoud Kaber text in applied mathematics, Springer.

## Iluminación de estado sólido

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Temas Selectos de Sistemas Ópticos y Física General

Clave: AFE-5

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: La iluminación de estado sólido es un campo de investigación basado en la producción de luz altamente brillante mediante diodos emisores de luz o LEDs (Light Emitting Diodes). El estudiante aprenderá los fundamentos de iluminación de estado sólido. Comenzando por un repaso de histórico acerca de las diferentes etapas de la ciencia y tecnología de la iluminación. También se aprenderá los conceptos básicos sobre fuentes de luz convencionales y LEDs. Entrando más en detalle, el estudiante conocerá algunas de las técnicas de extracción de fotones en LEDs de alta potencia. El curso finaliza con un repaso de las tecnologías de producción de luz blanca altamente brillante y de sus múltiples aplicaciones.

Contenido:

- Historia de la ciencia y tecnología de la iluminación
- Fuentes clásicas de luz: incandescentes y fluorescentes
- Física de LEDs.
- Técnicas para extraer la luz de un LED

- Lámparas de LEDs de luz blanca
- Aplicaciones de lámparas de estado sólido

Índice temático:

1. Historia de la ciencia y tecnología de la iluminación.
2. Fuentes clásicas de luz: incandescentes y fluorescentes. Lamparas de filamento incandescente. Lámparas de Tungsteno. Lámparas fluorescentes. Lámparas de descarga de alta presión.
3. Física de LEDs. Electroluminiscencia. Mono uniones y heteroestructuras LED. Espectro de emisión del LED. Características físicas de emisión de luz LED.
4. Técnicas para extraer la luz de un LED. Fundamentos de extracción de luz. Moldeado geométrico de chip. Cristales fotónicos.
5. Lámparas de LEDs de luz blanca. LEDs con película de fósforo. LEDs multicolor. Lámparas multichip.
6. Aplicaciones de lámparas de estado sólido. Linternas y semáforos. Proyectores móviles. Pantallas LCD móviles: celulares. Pantallas LCD Televisión. Iluminación general.

Bibliografía básica:

- Introduction to Solid State Lighting, Zukauskas A., (Wiley-Interscience, New York, 2002).
- Light Emitting Diodes, Schubert E. F., (Cambridge University Press, Cambridge, 2003).
- Fundamentals of Photonics, B.E.A. Saleh, M.C. Teich (Wiley-Interscience, 2007). Cap. 17 Semiconductor Photon Sources

## Óptica de concentración e iluminación solar

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-6

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: La óptica de iluminación y de concentración de luz estudia los métodos de transferencia de radiación de manera eficiente y controlada. Se aplica en colectores solares, en sistemas de pantallas de TV, proyectores, sistemas de iluminación, etc. El estudiante aprenderá los métodos ópticos para maximizar la transferencia de energía radiante y para crear una distribución de iluminación deseada. Las clases serán tradicionales, en ellas el profesor expondrá los temas de aprendizaje durante la clase, propiciando y alentando la participación del estudiante por medio de preguntas y ejemplos.

Contenido:

- Introducción a la Óptica de Iluminación y a la Óptica de Colectores. Tipos de Ópticas. Óptica de No Formación de Imágenes. Panorámica General del Curso. Descripción del Proyecto Final del Curso.
- Introducción a la Óptica de Iluminación y a la Óptica de Colectores. Tipos de Ópticas. Óptica de no Formación de Imágenes. Panorámica General del Curso. Descripción del Proyecto Final del. CursoHistoria de la ciencia y tecnología de la iluminación. Fuentes clásicas de luz: incandescentes y fluorescentes. Física de LEDs.. Técnicas para extraer la luz de un LED.

Lámparas de LEDs de luz blanca. Aplicaciones de lámparas de estado sólido.

Índice temático:

1. Introducción a la óptica de iluminación y a la óptica de colectores. Tipos de Ópticas. Óptica de no Formación de Imágenes. Panorámica General del Curso. Descripción del Proyecto Final del. Curso Historia de la ciencia y tecnología de la iluminación. Fuentes clásicas de luz: incandescentes y fluorescentes. Física de LEDs.. Técnicas para extraer la luz de un LED. Lámparas de LEDs de luz blanca. Aplicaciones de lámparas de estado sólido
2. Conceptos y Cálculos Básicos. Radiometría y fotometría. Entendue y Luminancia. Fuentes de luz Lambertianas y no Lambertianas. Concentración de luz. Dilución de fuente-detector.
3. Métodos de Modelado Óptico y Software Especializado. Trazo de Rayos No Secuencial y Técnicas Monte Carlo. Panorámica general de las distintas opciones de software óptico especializado. Introducción al software óptico ASAP. Modelado de Fuentes de Radiación: LEDs, incandescentes, fluorescentes, etc.
4. Elemento Ópticos Básicos. Lente esférica y lente asférica. Lente Fresnel. Reflector cónico. Reflector involuto.
5. Concentración de luz. Tubo de luz cónico-rectangular. Concentrador parabólico compuesto. Concentrador de múltiples superficies. Concentrador de forma libre.
6. Iluminación uniforme. Iluminación Kohler / Abbe. Esfera integradora. Tubos de luz. Arreglo de lentes. Sistemas ópticos a la medida. Métodos de optimización con ASAP.
7. Óptica para producir patrones iluminación arbitrarios. Sistemas de múltiples fuentes. Difusores estructurados. Lente de forma libre.

Bibliografía

- J. Chaves, *Introduction to Nonimaging Optics*, CRC Press (2008).
- R. Winston, J. C. Miñano, P. Benítez, “*Nonimaging Optics*,” Elsevier Academic Press, (2004).
- W. Cassarly, *Nonimaging Optics*, “*Handbook of Optics: Volume III Classical Optics, Vision Optics, X Ray Optics*”, 2nd edition, W. L. Wolfe, Eds. Optical Society of America, McGraw-Hill, (2001).

## Radiometría y Fotometría

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-7

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: La Radiometría estudia las mediciones, cálculos y simulaciones de la transferencia de energía radiante de la luz. En particular, cuantifica cuánta energía se transfiere de una fuente de luz, a través de un medio, y a un detector. Cuando el detector es el ojo humano, a la radiometría se le llama fotometría. En este curso el alumno aprenderá los conceptos y definiciones básicas, los fundamentos de los detectores y en general a resolver problemas de radiometría y fotometría.

Contenido:

- Cantidades Radiométricas y Fotométricas.
- Energía y Flujo Radiante. Irradiancia y Exitancia.
- Intensidad Radiante.
- Radiancia.
- Cantidades Radiométricas Espectrales.
- Cantidades Fotométricas.

## Índice Temático

1. Cálculos Básicos de Transferencia de Radiación. Principio de la conservación de la radiancia. Tipos de fuentes de luz. Ley del cuadrado inverso. Transferencia de radiación con fuentes Lambertianas. Radiancia en una imagen.
2. Dispositivos medidores de luz. Fotodiodos. Cosenos correctores. Espectrofotómetros. Luxómetros. Cámaras CCD y CMOS.
3. Esferas Integradoras y Fotogoniómetros. Teoría radiométrica de esferas integradoras. Características de una esfera integradora: tamaño, rango espectral, accesorios y puertos. Mediciones con esfera integradora: Flujo total, reflectancia y transmitancia. Teoría de fotogoniómetros. Tipos de fotogoniómetros.
4. Algunos Modelos Radiométricos. Modelos del patrón de radiación LED. Modelos del espectro de emisión de luz LED. Modelos de reflexión de luz en superficies difusas.

## Bibliografía

- W. Ross McCluney, *Introduction to Radiometry and Photometry*, 1994, Ed. ARTECH HOUSE.
- J. M. Palmer, *The art of Radiometry*, (2009), Ed. SPIE PRESS.
- William L. Wolfe, *Introduction to Radiometry*, (1998), Ed. SPIE PRESS.
- E. Gomez-Gonzalez, *Apuntes de Radiometría y Fotometría*, Universidad de Sevilla, 2006.
- *Handbook of Optics*, Vol. 1-3, Second Edition, by Optical Society of America.

## Ciencia y tecnología del color

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-8

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: Las áreas de aplicación tecnológica incluyen a la computación, la ingeniería, la neurociencia y la medicina. La ciencia del color se aplica en el diseño y construcción de prácticamente cualquier cosa que usa el ser humano, tanto con propósitos estéticos como prácticos, por ejemplo: pantallas (TV, video juegos y computadoras), industria textil, industria fotográfica, medios de comunicación impresos, arte gráfico, arquitectura, monitoreo y diagnóstico médico, etc. El alumno aprenderá los conceptos, las definiciones y las herramientas básicas para el entendimiento profundo de la ciencia interdisciplinaria del color, que abarca la Física, la Fisiología y la Psicología. El curso aborda la ciencia y tecnología del color desde un punto de vista multidisciplinario, sin embargo la mayor parte se orientará a aplicaciones ópticas.

### Índice temático

1. Introducción a la Ciencia del color y fuentes de luz. Naturaleza del color. Perspectiva histórica de teorías pasadas y presentes. Fuentes Emisoras de Luz: El Sol, radiadores térmicos, lámparas de descarga eléctrica, fuentes incandescentes, diodos emisores de luz, y el Láser.

2. Física del color. Incandescencia. Transiciones atómicas en gases excitados. Vibraciones y rotaciones moleculares. Color metálico. Emisión fotoeléctrica en semiconductores. Procesos ópticos de interferencia, difracción, dispersión y esparcimiento.
3. Teoría Tricomática y Espacios de Representación del color. Funciones de igualación de color. Valores triestímulos RGB. Coordenadas cromáticas r-g-b. Ecuaciones calorimétricas. Valores triestímulos CIE 1931 XYZ. Coordenadas cromáticas CIE 1931 (x,y,z). Iluminantes y observables estándar. Mezclas de colores: Metámeros y sistemas de fuentes RGB.
4. Visión humana en color. Estructura del ojo humano. Funciones de respuesta visual. Efectos cromáticos de estímulo visual.
5. Aplicaciones Modernas de la Ciencia del color. Reproducción de colores en pantallas de TV. Reproducción de colores en pantallas de teléfonos móviles y laptops. Color en la naturaleza por cristales fotónicos. Dispositivos de medición del color. Sistemas modernos de iluminación basados en LEDs y OLEDs.

### Bibliografía

- Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, Second Edition, SPIE Press (2011).
- The Science of Color, S. K. Shevell, 2<sup>a</sup>. Ed., Elsevier Press (2003).
- Color Science, G. Wyszecki, Wiley Series in Pure and Applied Optics; 2th Edition (2000).

### Teoría de líquidos

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-9

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: La materia blanda es una área de la física en donde se estudian sistemas en la escala mesoscópica. Muchos sistemas se encuentran en esta área como son los coloides y los cristales líquidos, los cuales son de importancia tanto para la ciencia como para la tecnología. En esta materia se proporcionarán al estudiante los fundamentos de la teoría de líquidos, la cual permite entender varios de los sistemas incluidos en la materia blanda.

Índice temático:

1. El estado líquido. Fuerzas intermoleculares. Métodos experimentales.
2. Mecánica estadística y funciones de distribución moleculares. Ecuación de Liouville y la jerarquía BBGKY. Promedio en el tiempo y promedio en el ensamble. Ensambls isotérmico-isobárico. Potencial químico y el ensamble gran canónico. Densidades de partículas en equilibrio y funciones de distribución. La jerarquía de YBG y la ecuación de Born-Green. Fluctuaciones.
3. Expansión diagramática. Gas imperfecto y segundo coeficiente del virial. Diferenciación de una funcional. Diagramas. La expansión del virial y la ecuación de estado.
4. Teorías de funciones de distribución. El factor de estructura estática. La función de correlación directa de Ornstein-Zernike. Expansión diagramática de las funciones a pares. Expansiones funcionales y ecuaciones integrales. La expansión del virial y la ecuación de estado. La ecuación de estado de un fluido de esferas duras.
5. Teoría de perturbaciones. Introducción al modelo de Van der Waals. Tratamiento de partículas de coraza suave. Fluido de Lennard Jones. Perturbaciones de largo alcance. Mezclas de líquidos. Teoría de funcionales de la densidad en fluidos homogéneos.

6. Funciones de correlación dependientes del tiempo. Propiedades generales de las funciones de correlación dependientes del tiempo. La función de velocidad de autocorrelación y la autodifusión. Movimiento Browniano y la función de Langevine generalizada. Correlaciones en el espacio y el tiempo. Dispersión inelástica de neutrones. Teoría de respuesta lineal. Propiedades de funciones de respuesta. Aplicaciones al formalismo de respuesta lineal. Teorías de campo medio y funciones de densidad de respuesta.
7. Hidrodinámica y coeficientes de transportes. Fluctuaciones térmicas a grandes longitudes y bajas frecuencias. Dependencia en el espacio del auto movimiento. La ecuación de Navier Stokes y el modo colectivo hidrodinámico. Correlaciones transversas. Modos colectivos hidrodinámicos. Fluctuaciones hidrodinámicas en mezclas binarias. Hidrodinámica generalizada y análisis a tiempos largos.
8. Teoría microscópica y funciones de correlación dependientes del tiempo. Formalismo del operador de proyección. Funciones de autocorrelación. Modos colectivos transversos. Fluctuaciones de la densidad. Teoría de modos acoplados. Descripción del espacio fase y fluctuaciones dependientes del tiempo. Ecuaciones cinética exacta para funciones de correlación en el espacio fase. Teoría cinética para hidrodinámica. Teoría cinética de líquidos.
9. Líquidos iónicos. Clases y modelos de líquidos iónicos. Estructura estática: apantallamiento y ordenamiento en la carga. Teoría de estructura iónica de a pares.

## Bibliografía

- Jean Pierre Hansen and Ian R. McDonald, “Theory of simple liquids, Academic Press, 1990.
- Donald A. Mc. Quarrie, “Statistical Mechanics”, Editorial, Harper & Row.
- David Chandler, “Introduction to Modern Statistical Mechanics, Oxford”, 1987.

## Simulación Molecular

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-10

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: La materia blanda es una área de la física en donde se estudian sistemas en la escala mesoscópica. Muchos sistemas se encuentran en esta área como son los coloides y los cristales líquidos, los cuales son de importancia tanto para la ciencia como para la tecnología. En esta materia se proporcionarán al estudiante los métodos básicos de simulación molecular para materia blanda.

Índice temático:

1. Introducción. Modelado vs Simulación. Teoría vs Experimento. Modelos para simulación molecular. Estocástico vs Determinista.
2. Fundamentos. Trayectorias en el espacio fase. Clasificación de sistemas dinámicos. Como las colisiones afectan la estabilidad de las trayectorias. Cálculo de propiedades termodinámicas. Funciones de distribución. Condiciones de frontera periódicas. Condiciones de mínima imagen.
3. Método de Monte Carlo. Ensamble canónico.
4. Dinámica Molecular.

5. Dinámica Browniana.
6. Propiedades Estáticas. Propiedades termodinámicas simples. Funciones de respuesta Termodinámica. Propiedades entropicas. Estructura estática.
7. Propiedades dinámicas. Función de correlación dependiente del tiempo. Coeficientes de transporte. Estructura dinámica.

### Bibliografía

- Jean Pierre Hansen and Ian R. McDonald, “Theory of simple liquids, Academic Press, 1990.
- M. P. Allen and D. J. Tildesley, Computer simulation of liquids. Clarendon Press, Oxford, 1987.
- D. Frenkel “Understanding molecular simulation” , Academic Press. 2001.
- J. M. Haile, “Molecular dynamics simulation”, John Wiley & sons, inc. 1992.

## Cálculo de las interacciones de largo alcance

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-11

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: OF

Descripción de la asignatura: Varios de los potenciales útiles para describir las interacciones entre partículas en la física son de naturaleza de largo alcance, entre ellos están el potencial de Coulomb y el potencial gravitacional. En esta materia se estudiarán los métodos utilizados para calcular estas interacciones.

Índice temático:

1. Introducción. Convergencia de los potenciales de largo alcance.
2. Método de Ewald para sistemas en bulto.
3. Método de Wolf para sistemas en bulto.
4. Método de Ewald para Slabs.
5. Método de Ewald para bulto adaptado a Slabs.
6. Método de Wolf para bulto adaptado a Slabs.

Bibliografía

- Jean Pierre Hansen and Ian R. McDonald, "Theory of simple liquids, Academic Press, 1990.

- M. P. Allen and D. J. Tildesley, Computer simulation of liquids. Clarendon Press, Oxford, 1987.
- D. Frenkel “Understanding molecular simulation” , Academic Press. 2001.
- J. M. Haile, “Molecular dynamics simulation”, John Wiley & sons, inc. 1992.

## Astronomía extragaláctica y cosmología

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-12

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MM

Descripción de la asignatura. Las galaxias son tema de síntesis astronómica donde confluyen las grandes escalas del Universo con las escalas galácticas e intergalácticas. En el tema convergen varias ramas de la Astronomía: cosmología, medio interestelar, dinámica, formación y evolución de estrellas y galaxias, astrofísica de altas energías, que nos dan una descripción del Universo a gran escala y qué física y fenómenos son los que le han dado la estructura que observamos. Se cubrirán también diversos temas, no muy profundamente, para que el estudiante llegue a apreciar, entender y discutir los problemas actuales de astronomía extragaláctica y cosmología.

Contenido:

- Características observacionales de las galaxias.
- Física de las galaxias.
- Galaxias peculiares y núcleos activos de galaxias.
- Cúmulos de galaxias y la estructura en gran escala del Universo.
- Modelos cosmológicos estándares.

- Métodos de la cosmología observacional.
- Formación de las estructuras cósmicas.

Índice temático:

1. Características observacionales de las galaxias. Esquemas de clasificación morfológica. Propiedades fotométricas y espectrales de galaxias normales; magnitudes, colores, brillo superficial, isofotas, luminosidades absolutas, diámetros fotométricos. Poblaciones estelares y medio interestelar de los diferentes tipos morfológicos. La relación de Tully-Fisher. La relación de Faber-Jackson. Composición y evolución química. Propiedades de las galaxias en radio, infrarrojo, UV, rayos x y rayos gamma. Materia oscura. Grupos y cúmulos de galaxias. Función de luminosidad de galaxias enanas y de bajo brillo superficial.
2. Física de las galaxias. Sistemas en equilibrio; cúmulos globulares, galaxias elípticas y discos galácticos. Determinación de masas y del cociente masa a luminosidad de galaxias espirales y elípticas. Detección de materia. Galaxias barradas e irregulares. Formación estelar en otras galaxias. La conexión halo-disco. Función inicial de masa.
3. Galaxias peculiares y núcleos activos de galaxias. Propiedades de los diferentes núcleos activos de galaxias. Distribuciónpectral de la energía. Galaxias huésped y actividad inducida. El modelo unificado. Implicaciones cosmológicas y evolución.
4. Cúmulos de galaxias y la estructura en gran escala del Universo. Propiedades estructurales y dinámicas de los cúmulos de galaxias. Relación morfología densidad. Interacción entre las galaxias en cúmulos. Función de correlación entre galaxias. Formación de la estructura del Universo a gran escala; Observaciones y simulaciones numéricas. El Universo en el infrarrojo, en rayos x, en microondas y el visible.
5. Modelos cosmológicos estándares. Las ecuaciones de Einstein. Los modelos de Friedmann. La evolución térmica del Universo. Nucleosíntesis. Bariogénesis. Inflación. El espectro primordial de las fluctuaciones. La radiación de fondo. Evolución lineal y no lineal del espectro de fluctuaciones;

formación de las estructuras cósmicas. Energía oscura y la necesidad de una constante cosmológica.

6. Métodos de la cosmología observacional. Confrontación de los modelos cosmológicos con las observaciones. Determinación de los parámetros cosmológicos. Determinación de distancias. Lentes gravitacionales. Conteo de galaxias y la función de Press-Schechter. La radiación de fondo.
7. Formación de las estructuras cósmicas. Teoría lineal de las perturbaciones. Procesos disipativos de la materia bariónica y oscura. Evolución no lineal de las perturbaciones. Materia oscura fría con constante cosmológica. Adquisición de momento angular. Formación de galaxias, cúmulos y estructura filamentaria.

Bibliografía:

- Appenzeller, Y., Habing, H.J. y Lena, P. (eds) "Evolution of Galaxies Astronomical Observations" Lecture Notes in Physics 333, Springer Verlag, Berlín, 1989.
- Blandford, R.D., Netzer, H., y Woltjer, L. "Active Galactic Nuclei", Springer-Verlag, Berlín, 1990.
- Gilmore, G., "The Milky Way as a Galaxy", Univ. Science Books, Mill Valley, Cal., 1990
- Kolb, E.W., Turner, M.S. "The Early Universe" Addison Wesley Publishing Co., California, 1990.
- Linde, A.D., "Inflation and Quantum Cosmology", Academic Press. Inc., Boston, 1990.
- Ohanian, H.C., Ruffini, R. "Gravitation and Spacetime", Second Edition, W.W. Norton & Company, New York, 1994.
- Padmanabhan, T. "Structure Formation in the Universe", Cambridge Univ.Press., Cambridge, 1993.

- Peebles, P.J.E. "Physical Cosmology" Princeton Univ. Press., Princeton, 1993.
- Sandage, A., Sandage, M. y Kristina, J. "Galaxies and the Universe: Volume IX of Stars and Stellar Systems" Univ. of Chicago Press, Chicago, 1975.

Bibliografía complementaria:

- Tinsley, B.M. y Larson, R. "The Evolution of Galaxies and Stellar Populations", New Haven, Yale Univ. Printing Service, Yale, 1977.
- Vorontsov-Vel'yaminov, B.A., "Extragalactic Astronomy", Harwood Academic.
- Publishers, Chur, Switzerland, 1987.
- Weinberg, S. "Gravitation and Cosmology", Wiley, New York, 1972.

## Estructura galáctica y dinámica estelar

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-13

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MM

Descripción de la asignatura: Proporcionar las bases físicas, observacionales y teóricas para el análisis de la cinemática y la dinámica de sistemas estelares, y de la estructura orbital, de su contenido en estrellas y gas de las galaxias.

Contenido:

- La distribución espacial de las estrellas.
- Cinemática estelar.
- Rotación galáctica.
- La estructura de la galaxia.
- Dinámica estelar y galáctica.

Índice temático:

1. La distribución espacial de las estrellas. Distribución análisis de las estrellas en nuestra vecindad. Efectos de absorción. Función de densidad y de luminosidad estelar. El espectro de masas estelares.
2. Cinemática estelar. Distancias, movimientos propios y velocidades radiales. Determinación del movimiento del Sol y del sistema local de reposo (SLR). Movimiento del SLR en la galaxia y el elipsoide de velocidades. Estrellas de alta velocidad y velocidades residuales.
3. Rotación galáctica. Cinemática de la rotación. Las constantes de Oort y su significado físico. Determinación de las constantes locales de la rotación; A, B, W y Ro. Las observaciones en radio y en el óptico para la determinación de una ley general de rotación. Aplicación a la determinación de distancias. La curva de rotación en otras galaxias.
4. La estructura de la galaxia. La distribución del gas. Evidencia observacional y cinemática de la estructura espiral en nuestra y otras galaxias. Distribución estelar y de los elementos químicos en el disco, el bulbo y halo galácticos. Propiedades estructurales globales; el núcleo, el bulbo, el disco y el halo. Determinación de algunos modelos de potenciales galácticos.
5. Dinámica estelar y galáctica. El problema fundamental de la dinámica estelar. La ecuación de Boltzmann y el teorema de Jeans. Ecuaciones de la hidrodinámica estelar. Potenciales de esferoides y discos. Modelos auto consistentes y estructura orbital de galaxias. Dinámica de la estructura espiral; ondas de densidad. Dinámica de cúmulos estelares; mezcla orbital, relajación, estado de equilibrio virial, disolución. Ecuación de Fokker-Planck. Fricción dinámica y catástrofe gravo térmica.

Bibliografía básica:

- Binney, J. y Tremaine, S. "Galactic Dynamics" Princeton Series in Astrophysics, Princeton University Press, Princeton, 1987.
- King, I. "Galactic Dynamics" San Francisco, 1996.
- Gilmore, G., y Carswell, R. "The Galaxy" Dordrecht, Reidel, 1987.

- Mihalas, D. y Binney, J. "Galactic Astronomy" Freeman, San Francisco, 1981.

Bibliografía complementaria:

- Shapiro, S.L. & Teukolsky, S.A. "Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars", Wiley-Interscience, New York, 1983.
- Gilmore, G., King, I., y Van Der Kruit, P. "The Milky Way as a Galaxy" University Science Books, Mill Valley, California, 1989.
- Ogorodnikov, K.F. "Dynamics of Stellar Systems" Pergamon, London, 1965.
- Van Woerden, H., Allen, R.J., y Burton, W.B. "The Milky Way Galaxy, Simp. 106, IAU" Dordrecht, Reidel, 1985.
- Spitzer, L. "Dynamical Evolution of Globular Clusters" Princeton University Press, Princeton, 1987.

## Relatividad general

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-14

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MM

Descripción de la asignatura: La Cosmología, la ciencia del Universo, se ha convertido en una de las ramas de la ciencia más populares y respetadas en la actualidad. La gran riqueza de investigaciones teóricas y de observaciones tanto a nivel astrofísico como cosmológico, han puesto a este tema en la frontera de la Física teórica moderna. El objetivo del curso será el impartir el conocimiento de la teoría de la relatividad general, o bien, la teoría de Einstein de la gravitación, la cual es la base para entender a la cosmología moderna. Se contempla entender los principios y postulados tanto geométricos como físicos que sirven para formular dicha teoría y se pretende generar discusiones sobre las soluciones generales a las ecuaciones de Einstein, poniendo especial énfasis en soluciones de tipo cosmológico. Se discutirán los postulados sobre los cuales está fundamentado el modelo cosmológico estándar. Después se abordaran distintas soluciones cosmológicas a las ecuaciones de campo de Einstein, las cuales representan distintos modelos cosmológicos para el Universo que tienen características y propiedades espacio temporales muy particulares. Dichos modelos son de gran relevancia en la cosmología ya que modelan distintas etapas y/o regiones del Universo durante su evolución.

Contenido:

- Variedades y campos tensoriales.
- Curvatura.
- Ecuaciones de Einstein.
- Solución de Schwarzschild.
- Cosmología.
- Distintas formulaciones de la relatividad general.
- Tópicos avanzados.

Índice temático:

1. Variedades y campos tensoriales. Variedades. Planos tangentes y cotangentes. Tensores. Tensor métrico. Notación tensorial abstracta.
2. Curvatura. Transporte paralelo y derivación covariante. Curvatura. Identidades de Bianchi. Geodésicas. Técnicas para el cálculo de curvatura.
3. Ecuaciones de Einstein. Covarianza. Relatividad general. Límite Newtoniano. Radiación gravitacional.
4. Solución de Schwarzschild. Derivación de la solución de Schwarzschild. Soluciones en el interior. Geodésicas para el espacio de Schwarzschild. Corrimiento al rojo gravitacional. Desviación de la luz. Extensión de Kruskal.
5. Cosmología. Homogeneidad e isotropía. Dinámica de un universo homogéneo e isotrópico. Corrimiento al rojo cosmológico. Horizontes. Evolución de nuestro universo.
6. Distintas formulaciones de la relatividad general. Homogeneidad e isotropía. Dinámica de un universo homogéneo e isotrópico. Corrimiento al rojo cosmológico. Horizontes. Evolución de nuestro universo.
7. Tópicos avanzados. Modelos cosmológicos. Agujeros negros.

Bibliografía básica:

- R. M. Wald, General relativity (University of Chicago Press, 1984).
- C. W. Misner, K. S. Thorne, and J. A. Wheeler, Gravitation (Freeman, 1973).

Bibliografía complementaria:

- B. O'Neill, Semi-Riemannian Geometry With Applications to Relativity (Volume 103 Pure and Applied Mathematics) (Academic Press, 1983).
- C. T. J. Dodson, and T. Poston, Tensor Geometry: The Geometric Viewpoint and its Uses (Graduate Texts in Mathematics) (Springer, 1991).
- M. Nakahara, Geometry, Topology and Physics, Second Edition (Graduate Student Series in Physics) (Taylor & Francis, 2003)
- S. W. Hawking and G. F. R. Ellis, The Large Scale Structure of Space-Time (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) (Cambridge University Press, 1975)
- T. Thiemann, Modern Canonical Quantum General Relativity (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) (Cambridge University Press, 2008).

## Teoría cuántica de campo

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-15

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MM

Descripción de la asignatura: La intención primordial del curso, es introducir al estudiante en el desarrollo de algunas teorías de campos invariantes ante las transformaciones de Lorentz a nivel cuántico. Se pondrá especial énfasis en los aspectos cuánticos que pueden ser descritos en términos clásicos, y se manejará como ejemplo central al campo electromagnético. Se tiene contemplado, además, formalizar las bases para llevar a cabo la cuantización de los tipos esenciales de campos dinámicos que juegan un papel importante en la Física de altas energías, a saber: los campos escalar, espinorial (Dirac) y vectorial (esencial en la cuantización de la electrodinámica). La invarianza de las teorías de campo se discutirá en términos de lagrangianos y del teorema de Noether. Se introducirán además teorías de norma no-Abelianas como generalización de la electrodinámica maxwelliana. Algunos puntos importantes serán la formulación de la cuantización a través de integrales de trayectoria y el estudio de las reglas de Feynman, así como los propagadores asociados a los campos de norma. Así mismo, se pretende impactar en las Líneas de Física-Matemática y Cuantización, siendo que ambas Líneas se relacionan con estructuras de interés para teorías de norma y que están contempladas como parte de dichas líneas. El estudiante se verá por lo tanto beneficiado al considerar la cuantización de teorías de norma por los métodos de teoría cuántica de campos y dará cuenta de que los problemas que

enfrenta su cuantización serán imprescindibles para el desarrollo de las habilidades necesarias en el estudiante para llevar a cabo cuantización de teorías de norma por diversos métodos tanto canónicos como geométricos.

Contenido:

- Ecuaciones para una partícula.
- Simetrías y campos de norma.
- Cuantización canónica.
- Integrales de trayectoria.
- Reglas de Feynman.
- Modelo de Weinberg-Salam.
- Renormalización.

Índice temático:

1. Ecuaciones para una partícula. Ecuación de Klein-Gordon. Representaciones del grupo de Lorentz. Ecuación de Dirac. Grupo de Poincaré. Ecuaciones de Maxwell y Proca. Ecuaciones de Yang-Mills.
2. Simetrías y campos de norma. Formulación lagrangiana. Formulación hamiltoniana. Teorema de Noether. Campo escalar. Campo electromagnético. Campo de Yang-Mills. Geometría de los campos de norma.
3. Cuantización canónica. Campo de Klein-Gordon. Campo de Dirac. Campo electromagnético. Campo vectorial masivo.
4. Integrales de trayectoria. Formulación de la mecánica cuántica por integrales de trayectoria. Teoría de perturbaciones. Matriz S. Dispersión de Coulomb. Propiedades de las integrales de trayectoria.
5. Reglas de Feynman. Derivación e integración funcional. Funcionales generadores para el campo escalar.

6. Funciones de Green para la partícula libre. Funcionales generadores para campos interactuando.
7. Teorías  $\varphi^4$ . Funcionales generadores para diagramas conexos. Propagadores. Método de Faddeev-Popov. Auto-energía y funciones vértice. Identidades de Ward-Takahashi. Transformación de Becchi-Rouet-Stora.
8. Modelo de Weinberg-Salam. Teorema de Goldstone. Rompimiento espontáneo de simetrías de norma.
9. Modelo de Weinberg-Salam.
10. Renormalización. Divergencias en teorías  $\varphi^4$ . Regularización dimensional en teorías  $\varphi^4$ . Renormalización de teorías  $\varphi^4$ . Grupo de renormalización. Divergencias y regularización dimensional para QED. Renormalización para QED.

Bibliografía básica:

- L. H. Ryder, Quantum field theory (Cambridge University Press, 1996).
- M. Kaku, Quantum field theory (Oxford University Press, 1993).

Bibliografía complementaria:

- M. E. Peskin and D. V. Schroeder, An introduction to quantum field theory (Addison- Wesley, 1996).
- E. Zeidler, Quantum Field Theory Vol II: Quantum Electrodynamics: A Bridge between mathematicians and physicistss (Springer, 2009).
- M. Maggiore, A modern introduction to Quantum Field Theory (Oxford Master Series in Statistical, computational and theoretical Physics) (Oxford University Press, 2005)

- S. Weinberg, The Quantum Theory of fields Vol I: Foundations (Cambridge University Press, 2005).
- T. Thiemann, Modern Canonical Quantum General Relativity (Cambridge Monographs on Mathematical Physics) (Cambridge University Press, 2008).

## Teorías de norma en física de partículas

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-16

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MM

**Descripción de la asignatura:** El estudio de las Teorías de Norma es crucial para la comprensión de ramas tan diversas de la física actual como lo son la Física de las Partículas Elementales, los Modelos Nucleares y la Cosmología. Los conocimientos y habilidades que se adquieren a través del estudio de esta asignatura, permiten acceder a una de las fronteras más activas de la física contemporánea, además de constituir una primera aproximación de una teoría física que combina la Mecánica Cuántica, la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica Relativista. El estudiante adquirirá los conocimientos y habilidades necesarias para comprender el contenido físico de las teorías de norma. Podrá calcular secciones eficaces de los procesos más simples de la interacción de la materia con la radiación e interpretar los resultados de experimentos que involucran partículas de altas energías. Esta materia tiene relación con las ligas de generación y aplicación del conocimiento de: propiedades electromagnéticas del neutrino y con la producción de bosones vectoriales y bosones de Higgs.

Contenido:

- Simetría Global no-Abeliana.
- Simetría de Gauge Local no-Abeliana.

- Rompimiento Espontáneo de una Simetría Global.
- Rompimiento Espontáneo de una Simetría Local.
- Fenomenología de Interacciones Débiles.
- La Teoría de Gauge de Weinberg-Salam-Glashow de las Interacciones Electrodébiles.

Índice temático:

1. Simetría Global no-Abeliana. La simetría de sabor  $SU(2)$ . La simetría de sabor  $SU(3)$ . Simetría global no-Abeliana en lagrangianos de teoría cuántica de campos.
2. Simetría de Gauge Local no-Abeliana. Simetría local  $SU(2)$ : la derivada covariante e interacciones con materia. Derivada covariante y transformación de coordenadas. Curvatura geométrica y el tensor intensidad de campo de gauge. Simetría local  $SU(3)$ . Simetría local no-Abeliana en lagrangianos de teoría cuántica de campos.
3. Rompimiento Espontáneo de una Simetría Global. Introducción. El teorema de Fabri-Picasso. Simetría rota espontáneamente en física de materia condensada. El ferromagnetismo. Teorema de Goldstone. Simetría global  $SU(1)$  rota espontáneamente. Simetría global no-Abeliana rota espontáneamente.
4. Rompimiento Espontáneo de una Simetría Local. Partículas vectoriales sin masa y partículas vectoriales masivas. Rompimiento espontáneo de una simetría local  $U(1)$ . Rompimiento espontáneo de una simetría local  $SU(2) \times U(1)$ .
5. Fenomenología de Interacciones Débiles. Teoría de Fermi del decaimiento beta nuclear. Violación de paridad en interacciones débiles. Teoría V-A: quiralidad y helicidad. Número leptónico. Teoría corriente-corriente para interacciones débiles de leptones. Cálculo de la sección eficaz  $\nu_e \mu^- \rightarrow \bar{\nu}_e \mu^+$ . Corriente neutra débil leptónica.

6. La Teoría de Gauge de Weinberg-Salam-Glashow de las Interacciones Electrodébiles. Isospín débil e hipercarga: el grupo  $SU(2) \times U(1)$  de las interacciones electrodébiles. La corriente leptónica. La corriente de quarks. Predicciones simples a nivel árbol. El descubrimiento de  $W^+$  y  $Z$  en el CERN. La masa de fermiones. Mezcla de tres familias. El Quark top. El sector de Higgs.

Bibliografía básica:

- J. R. Aitchison, A. J. G. Hey. *Gauge Theories in Particle Physics*, Institute of Physics Publishing, 2004.

Bibliografía complementaria:

- H. M. Pilkuhn, *Relativistic Quantum Mechanics*, Springer, 2003.
- W. Greiner, J. Reinhardt, *Quantum Electrodynamics*, Springer 1994.
- Halzen, A. D. Martin, *Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*, Wiley, 1984.

## Mecánica cuántica aplicada

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-17

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudia los principios de la mecánica cuántica y su aplicación en potenciales modelo, al átomo de hidrógeno y átomos multielectrónicos, así como diversos métodos aproximados de solución de la ecuación de Schrödinger.

Índice temático:

1. La ecuación de Schrödinger: Antecedentes históricos de la mecánica cuántica. El principio de incertidumbre. La ecuación de Schrödinger dependiente e independiente del tiempo. Partículas en potenciales finitos e infinitos: El pozo cuadrado finito e infinito. El oscilador armónico. La partícula libre.
2. Estructura atómica: Los espectros de átomos hidrogenoides. Estructura atómica. El espín del electrón. Transiciones espectrales y reglas de selección.
3. Estructura de átomos multielectrónicos: La aproximación orbital. Periodicidad de las propiedades atómicas. Reglas de Hund.
4. Métodos aproximados: Teoría de perturbaciones independiente del tiempo. El principio variacional. La aproximación WKB. Aproximación adiabática.

Bibliografía:

- Elementos de fisicoquímica. Peter Williams Atkins.
- Química cuántica (5ta edición). Ira N. Levine. Prentice Hall (2001).
- Introduction to quantum mechanics (2nd edition). David J. Grffiths. Pearson education (2005).
- Quantum mechanics (2nd edition). Eugene Merzbacher. Wiley & Sons (1970).
- Quantum physics (3rd edition). Stephen Gasiorowicz. Wiley (2003).
- Applied quantum mechanics. W. A. Harrison. World Scientific.
- Quantum Mechanics For Engineering: Materials Science and Applied Physics. H. Kroemer. Prentice Hall
- Quantum Mechanics for Scientists and Engineers 1st Edition. D. A. B. Miller. Cambridge.

## Ciencia de materiales

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-18

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudia la materia condensada según su composición química y su estructura cristalina, y sus implicaciones en las propiedades termodinámicas y mecánicas de los materiales.

### Índice temático:

1. Composición química de materiales: Clasificación de los elementos químicos. Enlaces atómicos. Clasificación de materiales y sus propiedades.
2. Sólidos amorfos: Distancia interatómica. Celda de Wigner-Seitz. Materiales amorfos macromoleculares.
3. Sólidos cristalinos: Red cristalina. Direcciones y planos cristalográficos. Densidad atómica. Redes de Bravais.
4. Equilibrio termodinámico: Noción de fase termodinámica. Constituyentes y constitución de una mezcla. Regla de Gibbs. Mezclas a dos y tres constituyentes. Diagramas de fase.
5. Vibraciones de la red: Modos normales. Efecto Mösbauer. Modos ópticos. Capacidad calorífica de sólidos.

6. Propiedades mecánicas: Deformación y elasticidad de sólidos. Deformación plástica de sólidos. Fatiga y ruptura.

Bibliografía:

- Química cuántica (5ta edición). Ira N. Levine. Prentice Hall (2001).
- Solid state physics (8th edition). Charles Kittel. Wiley & Sons (2005).
- Mecanica de materiales (8va edición). Russell C. Hibbeler. Pearson (2011).

## Química del estado sólido

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-19

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

**Descripción del Curso:** En este curso se estudian los conceptos básicos de química inorgánica y orgánica, las propiedades cuánticas de los átomos y su relación con la tabla periódica. Se estudian los diferentes tipos de enlace y su relación con las propiedades electrónicas de los materiales.

Índice temático:

1. Conceptos fundamentales: Átomo, elementos químicos (estables y radiactivos), isótopos, molécula y cristal. Defectos en un cristal. Compuesto, isómero, fórmula mínima y fórmula molecular. Dalton. Número atómico y masa atómica y molecular. Concepto de mol, Número de Avogadro.
2. Periodicidad química: Tabla periódica, grupos y períodos. Números cuánticos. Configuración electrónica. Apantallamiento, carga nuclear efectiva, número de oxidación, valencia. Propiedades electrónicas (energía de ionización y afinidad electrónica). El tamaño de los átomos (radio atómico, radio iónico, radio covalente, radio metálico). Electronegatividad.
3. Enlace químico: Regla del octeto. Enlace covalente y sus propiedades. Teoría de enlace valencia y orbitales moleculares. Enlace iónico y sus propiedades (campo cristalino, ciclo de Born-Haber). Enlace metálico y sus propiedades. Otras fuerzas químicas (puente de hidrógeno y de Van der Waals).

4. Oxidación-reducción: Reacciones químicas de oxidación-reducción. Estados de oxidación. Notación iónica en las ecuaciones. Balanceo de ecuaciones de oxidación reducción.
5. Soluciones: Soluto y disolvente. Unidades de concentración (molaridad, normalidad, molalidad, porcentaje en peso y volumen, partes por millón, etc). Solubilidad en solventes polares y apolares. pH.
6. Ácidos y bases: Definición de ácido y base. Ionización del agua, hidrólisis. Soluciones tampón (buffer) e indicadores.
7. Introducción a la química orgánica: Elementos del grupo del carbono. Nomenclatura (alcanos, alquenos, alquinos y aromáticos). Grupos funcionales.

Bibliografía:

- Química. Raymond Chang. Edit. McGraw-Hill (2002).
- Química cuántica (5ta edición). Ira N. Levine. Prentice Hall (2001).
- Química Inorgánica Principios de Estructura y Reactividad. Huheey J. E. Harla (1981).
- Estructura Atómica. Garritz A. y Chamizo J. Addison-Wesley Iberoamericana (1994).
- Principios de Química Inorgánica. Manku G. S. Mc-Graw Hill (1992).

## Propiedades electrónicas de sólidos

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-20

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

**Descripción del Curso:** En este curso se estudian las propiedades electrónicas de materiales metálicos, semiconductores y aislantes. Se parte desde el estudio del átomo de hidrógeno y moléculas diatómicas dando lugar a conceptos aplicables a materiales en dos y tres dimensiones.

Índice temático:

1. Introducción: El átomo de hidrógeno. Metales, semiconductores y aislantes.
2. La molécula diatómica: La molécula diatómica homonuclear: la molécula de hidrógeno. La molécula diatómica heteronuclear.
3. Electronegatividad. Energía de enlace y orden de enlace.
4. Sistemas finitos e infinitos: Cadenas moleculares y el espacio k. Orden de enlace en un sistema infinito. Densidad de estados local y total. Bandas de energía y energía de enlace. El teorema de los momentos. La aleación binaria.
5. Sistemas bidimensionales y tridimensionales: El sólido visto como una molécula gigante. La red cuadrada. La red cúbica. Las zonas de Brillouin para las redes fcc y bcc. La ecuación de movimiento para un electrón bajo la presencia de un campo externo. El concepto de hueco. La superficie de Fermi. La densidad de estados en cristales bidimensionales y tridimensionales. La

matriz de densidad, orden de enlace y la energía de enlace. El teorema de los momentos aplicado a los cristales bidimensionales y tridimensionales.

6. Brechas de energía: La cadena infinita con dos estados s por átomo. Brechas de energía en una cadena lineal de una aleación binaria. Distorsiones de Peierls. Metales, aislantes y el enlace metálico.
7. Enlace s-p: el caso del silicio: Enlace s-p entre dos átomos de silicio. Dependencia angular de las integrales de saltos asociados a los enlaces s-p y p-p. Híbridos sp. Modelos simples de la estructura electrónica del silicio con coordinación tetraédrica. Estructura de bandas del silicio empleando una base atómica mínima. Orden de enlace y energía de enlace en el silicio empleando una base atómica mínima.
8. Teoría del electrón libre: Aproximación del electrón libre. Electrones dentro de una caja. Densidad de estados. Bandas de energía en las aproximaciones del electrón libre y calculadas a partir de la combinación lineal de orbitales atómicos. Modelo del electrón casi libre. Pseudopotenciales. Apantallamiento. Correlación e intercambio.
9. Propiedades de los metales dentro de la aproximación del electrón libre: Estadística de Fermi-Dirac. Potencial de contacto. Calor específico electrónico. Conductividad eléctrica. Conductividad térmica. La ley de Wiedeman-Franz. Efecto Hall. Energía de cohesión en metales simples. Diferencias energéticas estructurales.
10. Metales de transición: El modelo de Friedel. Potenciales de Finnis-Sinclair. Enlaces d-d. Estructura cristalina en la familia de los metales de transición. Enlace en las aleaciones metálicas.

#### Bibliografía:

- Electronic Structure of Materials 1st. Edition. Sutton A.P. Oxford Science Pub. (1994).
- Introduction to Solid State Physics 6th edition. Kittel C. John Wiley & Sons (1986).

- Física del Estado Sólido y de Semiconductores. Mckelvey J.P. Editorial Limusa (1980).
- Solid State Physics. Ashcroft N.W. and Mermin N.D. Holt-Saunders International Editions (1975).
- Principles of the Theory of Solids. Ziman J. M. Cambridge University Press, 2nd. Edition (1972).
- Electronic Structure and the Properties of Solids. Harrison W.A. Dover Publications (1989).

## Materiales ópticos y dispositivos

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-21

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

**Descripción del Curso:** En este curso se estudia la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. A partir de consideraciones ondulatorias y corpusculares, se estudian diversos fenómenos como la reflexión, la absorción, la transmisión de luz y su relación con las propiedades electrónicas del material.

### Índice temático:

1. Ecuaciones de Maxwell y los fotones: Ecuaciones de Maxwell. Radiación electromagnética en el vacío. Radiación electromagnética en la materia. Óptica lineal. Ondas longitudinales y transversales. Fotones y algunos aspectos de la mecánica cuántica. Función dieléctrica. Teoría microscópica de la función dieléctrica.
2. Interacción de la luz con la materia: Aspectos macroscópicos de los sólidos. Condiciones a la frontera. Leyes de la reflexión y refracción. Reflexión y transmisión en una interfaz. Extinción y absorción de luz. Absorción estimulada y emisión espontánea. Procesos de absorción óptica. Portadores libres. Absorción por la red. Absorción intrínseca. Por excitones. Absorción extrínseca. Transiciones interbanda. Transiciones directas permitidas. Transiciones directas prohibidas. Transiciones indirectas.

3. Conjunto de osciladores desacoplados: Ecuaciones de movimiento y la función dieléctrica. Correcciones por mecánica cuántica. Espectro de la función dieléctrica. Espectros de reflexión y transmisión.
4. El concepto de polariton: Polariton una nueva cuasi partícula. La relación de dispersión de polaritones.
5. Relaciones de dispersión: Relaciones de Kramer-Kronig. Relaciones entre constantes ópticas.
6. Excitones: Excitones de Waier y Frenkel. Correcciones al modelo del excitón simple. Influencia de la dimensionalidad. El fonón-polaritón como un ejemplo. Espectro de reflexión, dispersión Raman y de Brillouin. Propiedades ópticas de excitones. Acoplamiento exciton-foton. Espectros de reflexión, transmisión y luminiscencia. Excitón ligado y multiexcitones. Pares donor-aceptor y transiciones relacionadas.
7. Espectroscopías ópticas: Ultravioleta-visible. Infrarrojo. Raman. Fotoluminiscencia.

Bibliografía:

- Wooten F., Optical Properties of Solids, Academic Press, N.Y., 1972.
- Klingshirn K.F., Semiconductor Optics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.
- Pankove J.I., Optical Processes In Semiconductors, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1971.
- Yu P.Y. and Cardona M., Fundamentals Of Semiconductors, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996.
- Bube R.H., Electronic Properties of Crystalline Solids (An Introduction to Fundamentals), Academic Press, N.Y., 1974.
- Chuang S.L., Physics of Optoelectronic Devices, Wiley Series in Pure and Applied Optics, 1995.

- Ropp R.C., Luminescence and the Solid State, Studies in Inorganic Chemistry, Elsevier Science Pub., Amsterdam, 1991.
- Claus Klingshirn, Semiconductor Optics, Springer Study edition, N Y 1997.
- S. Nudelman and S.S. Mitra eds., NATO ASI series, Plenum Press New York 19699.
- W. Schafer and M. Wegener, Semiconductor optics and transport Phenomena, Springer, Berlin, 2002.
- Y. Toyosawa, Optical processes in solids, Cambridge, Universiti Press, Cambrigge, 2003.
- H. Kalt and M. Hetterich, Series in Solid State Sciences, 146, 2004.

## Fundamentos de magnetismo en materia condensada

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-22

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudia el origen del comportamiento magnético de los materiales, diversos fenómenos colectivos asociados al espín electrónico y sus aplicaciones tecnológicas.

Índice temático:

1. Introducción: Conceptos básicos y magnetostática. Corriente eléctrica y campo magnético. Ley de Ampere. Ley de Biot-Savart. Momento magnético, inducción magnética, flujo magnético, magnetización, permeabilidad y susceptibilidad magnética. Clasificación de materiales por susceptibilidad magnética. El campo de desmagnetización, factores de desmagnetización, energía magnetostática. Unidades magnéticas: sistemas cgs, SI.
2. Origen atómico del momento magnético: Átomo de hidrógeno y números cuánticos. Efecto Zeeman, espín electrónico, principio de exclusión de Pauli, acoplamiento Russell-Saunders, reglas de Hund. Modelo vectorial del átomo.
3. Diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo: Efecto diamagnético, susceptibilidad diamagnética, superconductores y efecto Meissner. Teoría de Langevin del paramagnetismo, ley de Curie, paramagnetismo de Pauli. Teoría del campo molecular del ferromagnetismo, Ley de Curie-Weiss, magnetización

espontánea, curva de Slater-Pauling, magnetismo de electrones itinerantes. Antiferromagnetismo, ferrimagnetismo.

4. La interacción de intercambio: Intercambio directo. El hamiltoniano de Heisenberg, curva de Bethe-Slater. Intercambio indirecto. Doble intercambio, superintercambio, interacción RKKY. El modelo de Ising. Ondas de espín.
5. Anisotropía magnética: Anisotropía magnetocristalina. El campo cristalino. Energía de anisotropía, simetría cúbica y uniaxial. Magnetostricción. Modelo de un solo ión, anisotropía de átomos 3d y 4f. Anisotropía de forma. Anisotropía inducida.
6. Dominios magnéticos y pared de dominio: Formación de dominios magnéticos. Pared de dominio magnético: estructuras, energía, ancho. Técnicas de observación de dominios magnéticos.
7. Mecanismos de magnetización: Partículas monodominio. Teoría de Stoner-Wohlfarth. Movilidad de pared de dominio. Deformación reversible, desplazamiento irreversible, anclaje de pared. Rotación de espín. Histéresis.
8. Materiales magnéticos: Clasificación de materiales magnéticos basados en el campo coercitivo. Materiales magnéticos suaves. Aleaciones cristalinas. Aleaciones amorfas. Ferritas. Aplicaciones. Materiales magnéticos duros. Aleaciones cristalinas. Ferritas. Superímanes. Materiales para grabación magnética. Películas delgadas y multicapas. Magnetoresistencia y válvulas de espín.

## Bibliografía

- O'Handley R.C., *Modern Magnetic Materials*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- Buschow K.H.J., De Boer F.R., *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2003.

- Valenzuela R., Magnetic Ceramics, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
- Chikazumi S., Physics of ferromagnetism, Oxford: Clarendon Press, New York, 1997.
- Cullity B.D., Introduction to magnetic materials, Addison-Wesley, Massachusetts, 1972.
- Betancourt I., Editor, Magnetic materials: Current topics in amorphous wires, hard magnetic alloys, ceramics, characterization and modeling, Research SignPost, Kerala, 2007.

## Aspectos fundamentales de la energía y su generación

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-23

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudia el concepto físico de energía. Se estudian las fuentes de energía fósil, los problemas relacionados con éstas, así como diversas alternativas de energías renovables.

Índice temático:

1. Introducción al concepto de energía.
2. Problemática de la generación global de energí.:
3. Energía mecánica:
4. Conservación de energía.
5. Calor y trabajo:
6. Conservación de energía en una casa y control de transferencia de calor.
7. Energía solar: características y uso en calentamiento.
8. Energía de combustibles fósiles.
9. Contaminación del aire y uso de energía.
10. Calentamiento global y contaminación térmica.

11. Electricidad: circuitos y superconductores.
12. Electromagnetismo y generación de electricidad.
13. Electricidad del Sol, viento y agua.
14. El átomo y la estructura nuclear.
15. Fisión nuclear.
16. Usos y efectos de la radiación.
17. Fusión nuclear.
18. Energía de la biomasa.
19. Energía geotérmica, de olas y de mareas.
20. Energía y transporte.
21. Almacenamiento de energía.

Bibliografía:

- Energy: its use and environment, 5a Ed. R. Hinrichs, M. H. Kleinbach. Brooks/Cole.
- Energy and the environment, 2a ed. R. A. Ristinen, J. P. Kraushaar. Wiley.
- Energy in nature and society: General energetics of complex systems. V. Smil. (MIT Press) First Edition (1st printing) Edition.
- Energy storage: Fundamentals, materials and applications. R. Huggins. Springer.

## Termodinámica de la radiación térmica

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-24

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

**Descripción del Curso:** En este curso se estudiará la radiación térmica, su transporte de energía, sus propiedades termodinámicas, así como diversos fenómenos asociados a ésta y su relación con sistemas de generación de energía renovable.

Índice temático:

1. Definiciones de termodinámica general.
2. Termodinámica de la materia.
3. Leyes de la radiación.
4. Leyes de análisis termodinámico.
5. Propiedades termodinámicas del gas de fotones.
6. Energía de emisión.
7. Flujo de radiación.
8. Espectro de radiación de una superficie.
9. Energía de radiación.

10. Análisis termodinámico del calor del Sol.
11. Análisis termodinámico de una central de energía solar.
12. Análisis termodinámico de la fotosíntesis.
13. Análisis termodinámico del efecto fotovoltaico.

Bibliografía:

- Engineering thermodynamics of thermal radiation. R. Petela. McGraw Hill.
- Thermal radiation heat transfer. J. R. Howell, M. Pinar Mengüç, R. Siegel. CRC Press.
- Radiative heat transfer. M. F. Modest. Academic Press.

## Ciencia y tecnología de semiconductores

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-25

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudian las propiedades electrónicas de materiales semiconductores, sus tipos y sus aplicaciones tecnológicas, en particular en celdas solares y en diodos emisores de luz (LED).

Índice temático:

1. Física de semiconductores.
2. Materiales semiconductores.
3. Energía de Fermi y huecos.
4. Semiconductores de gap directo e indirecto.
5. Dinámica de equilibrio y fuera del equilibrio.
6. Cuasi energías de Fermi.
7. El diodo p-n.
8. Emisión y absorción de fotones.
9. La celda solar.

10. El diodo emisor de luz (LED).

11. Semiconductores orgánicos: OLEDs y celdas solares.

Bibliografía:

- Principles of solar cells, LEDs and diodes: The role of the pn junction. A Kitai. Wiley.
- The PN junction diode. G. W. Neudeck. Addison-Wesley.
- Physics of p-n Junctions and Semiconductor Devices. S. M. Ryvkin. Springer.
- Semiconductor devices: Physics and technology. S. M. Sze, M. K. Lee. Wiley.

## Energía fotovoltaica

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-26

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudian los fundamentos físicos del funcionamiento de una celda solar como generador de energía fotovoltaica. Se consideran tanto los primeros sistemas basados en silicio como los sistemas más recientes con mejor eficiencia.

Índice temático:

1. Historia de la celda solar y el problema energético.
2. Fotones.
3. Electrones y huecos en semiconductores.
4. Generación y recombinación.
5. Diversos tipos de uniones, la unión p-n.
6. Celdas solares basadas en la unión p-n.
7. Otros tipos de celdas solares.
8. Celdas solares novedosas.
9. Límites a la conversión de energía en celdas solares.

10. Estrategias para aumentar la eficiencia de las celdas solares.

Bibliografía:

- The physics of solar cells. J. Nelson. Imperial College Press.
- Physics of solar cells: From basic principles to advanced concepts. P. Würfel. Wiley-VCH.
- Fotovoltaicos: fundamentos y aplicaciones. O. Vigil, L. Hernández, G. Santana. IPN.
- Solar energy: An introduction. Michael E. Mackay. Oxford.
- Solar cell device physics. S. Fonash. Academic Press.
- High-efficiency solar cells: physics, materials and devices. X. Wang, Z. M. Wang. Springer.
- Materials Concepts for Solar Cells. T. Dittrich. Imperial College.
- Solar Cell Materials: Developing Technologies (Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications). A. Willoughby, G. J. Coniber.
- Solar Cell Nanotechnology 1st Edition. A. Tiwari, R. Boukherroub, M. Sharon. Wiley.
- Perovskites and Related Mixed Oxides: Concepts and Applications 1st Edition 2016. P. Granger, V. I. Parvelescu, S. Kaliaguine, W. Prellier. Wiley-VCH.
- Hole Conductor Free Perovskite-based Solar Cells (Springer Briefs in Applied Sciences and Technology) 1st ed. 2016 Edition. L. Etgar.
- Organic-Inorganic Halide Perovskite Photovoltaics: From Fundamentals to Device Architectures 1st ed. 2016 Edition. N.G. Park, M. Grätzel, T. Miyasaka, Editores. Springer.
- Quantum dot solar cells: 15 (Lecture notes in nanoscale science and technology). J. Wu, Z. M. Wang. Springer.

- Hybrid Solar Cells Based on Quantum Dots and Polymers. Y. Zhou. Scholars Press.
- Organic Solar Cells: Device Physics, Processing, Degradation, and Prevention. P. Kumar. CRC Press.

## Aspectos tecnológicos de celdas solares

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-27

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

**Descripción del Curso:** En este curso se estudia el aspecto tecnológico del desarrollo de celdas solares, su clasificación basada en su desempeño y los diversos factores que van en detrimento de su posible explotación comercial.

### Índice temático:

1. Historia cronológica y avances científicos en el desarrollo de la tecnología de celdas solares.
2. Expresiones de diseño y parámetros de desempeño crítico para celdas solares.
3. Clasificación de celdas solares basada en desempeño, complejidad de diseño y costos de fabricación.
4. Técnicas para aumentar la eficiencia de conversión.
5. Uso de materiales exóticos y configuraciones de diseño avanzado para un desempeño óptimo.
6. Paneles fotovoltaicos, diseño y estructuras. Fallas y degradación.
7. Conexiones de celdas solares en el panel fotovoltaico.

8. Sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la red.

Bibliografía:

- Solar cell technology and applications. A. R. Jha. CRC Press.
- Fotovoltaicos: fundamentos y aplicaciones. O. Vigil, L. Hernández, G. Santana. IPN.
- Solar energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems. O. Isabella, K. Jäger, A. Smets, R. V. Swaaij, M. Zeman. UIT Cambridge.

## Tópicos de generación de energía renovable

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-28

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se proporciona un panorama general de las fuentes de energía renovable como alternativas al uso de energías fósiles.

Índice temático:

1. Energía térmica solar.
2. Energía solar para desalar agua.
3. Electrólisis del agua y desdoblamiento fotoelectroquímico del agua.
4. Síntesis de hidrocarburos mediante energía solar.
5. Energía eólica.
6. Energía geotérmica.
7. Energía de las olas.
8. Energía de las mareas.
9. Energía de la biomasa.
10. Otras formas de generación de energía renovable.

Bibliografía:

- Solar energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems. O. Isabella, K. Jäger, A. Smets, R. V. Swaaij, M. Zeman. UIT Cambridge.
- Renewable energy resources, 3d Ed. J. Twidell, T. Weir. Routledge (Taylor & Francis).
- Early Transition Metal Carbide Catalyst for Fischer-Tropsch Synthesis: Hydrocarbon synthesis activity for metal carbide catalysts. H. Nguyen, A. Adesoji. VDM Verlag.
- Design and fabrication of semiconductor photocatalyst for photocatalytic reduction of CO<sub>2</sub> to solar fuel. X. Li et al. Sci. China Mater. 57, 70 (2014). Doi: 10.1007/s40843-0003-1.
- High-Rate Solar Photocatalytic Conversion of CO<sub>2</sub> and Water Vapor to Hydrocarbon Fuels. O. K. Varghese et al. Nano Lett., 2009, 9 (2), pp 731–737

## Nanotecnología y fenómenos de transporte en sistemas nanoestructurados

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-29

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se hace una introducción al estudio de las propiedades electrónicas y en particular de transporte de sistemas a escalas nanométricas con potenciales aplicaciones tecnológicas.

Índice temático:

1. Introducción a la nanotecnología: Nanomateriales y nanotecnología. Nano versus miniaturización. Longitudes características.
2. Conceptos básicos de la mecánica cuántica: Onda. Cuantización de la energía. Función de onda para el átomo de hidrógeno. Fenómenos cuánticos.
3. Nanoestructuras cuánticas semiconductoras: La física de semiconductores de baja dimensionalidad. Nanoestructuras cuánticas semiconductoras y superredes.
4. Transporte electrónico y propiedades ópticas de nanoestructuras: Transporte en campos eléctricos en nanoestructuras. Transporte en campos magnéticos en nanoestructuras. Procesos optoelectrónicos en heteroestructuras cuánticas.
5. Fenómenos a escala nanométrica: Magnetismo a escala nanométrica. Nanomecánica y nanotribología. Transporte térmico a la nanoescala y

nanofluidos. Química a escala nanométrica. Biología y ciencias médicas a escala nanométrica.

6. Nanomateriales: Nanoestructuras metálicas. Nanoestructuras poliméricas. Nanocompositos. Nanoestructuras cerámicas.
7. Nanoestructuras: Quantum dots y superredes cuánticas. Cristales fotónicos. Nanoestructuras basadas en carbono. Nanocintas y nanoalambres. Nanoestructuras autoensambladas.

Bibliografía:

- Martínez-Duart J.M., Martín-Palma R.J., and Agulló-Rueda F., *Nanotechnology for Microelectronics and Optoelectronics*, Elsevier, U.K., 2006.
- Morris D.G., *Mechanical Behaviour of Nanostructure Materials*, Trans. Tech. Publications, Suiza, 1998.
- Hari Singh Nalwa (Editor), *Magnetic Nanostructures*. American Scientific Publishers, 2002.
- Wolf E.L., *Nanophysics and Nanotechnology: An introduction to modern concepts in Nanoscience*, Wiley-VCH Verlag, 2004.

## Sistemas mesoscópicos

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-30

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudian sistemas microscópicos cuyas propiedades físicas son diferentes a un material en bulto. En particular se estudian diversos fenómenos que ocurren en tales sistemas y que son relevantes en dispositivos electrónicos.

Índice temático:

1. Estados electrónicos en semiconductores. Diagrama de bandas de heterouniones.
2. Densidad de estados electrónicos en cero, uno, dos y tres dimensiones.
3. Transporte electrónico clásico, ecuación de Boltzmann.
4. Efecto de tamaño en la aproximación clásica para la conductividad de una placa metálica delgada.
5. Efecto Hall clásico. Magnetoresistencia.
6. Cuantización de estados electrónicos en un campo magnético. Niveles de Landau.

7. El efecto de Haas-van Alfen.
8. El efecto Aharonov-Bohm.
9. El efecto Hall cuántico.
10. Cuantización de la conductancia: Contacto puntual.
11. Conductores desordenados. Localización de Anderson.
12. Correcciones a la conductancia debido a la localización débil.
13. Fluctuaciones de la conductancia.

Bibliografía:

- S. Datta, *Electronic Transport in Mesoscopic Systems* (Cambridge, 1995).
- S.W.J. Beenakker and H. Van Houten, *Quantum Transport in Semiconductor Nanostructures in Solid State Physics*, vol. 44 (1991).
- A.A. Abrikosov, *Introduction to the Theory of Normal Metals*, 2nd edition (1996).
- M.J. Kelly, *Low-Dimensional Semiconductors. Materials, Physics, Technology, Devices* (Clarendon Press, Oxford, 1995).

## Espintrónica

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-31

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudia el uso no sólo de la carga eléctrica, sino que también del espín de los electrones en el diseño de nuevos sistemas electrónicos. Se estudian sus fundamentos físicos, diversos fenómenos colectivos y sus aplicaciones a sistemas tales como transistores basados en el espín.

Índice temático:

1. Mecánica cuántica del espín: Matrices de Pauli y sus eigenvectores. Espinores. La ecuación de Pauli. La ecuación de Dirac.
2. La esfera de Bloch: El espinor y el qubit. El concepto de esfera de Bloch. Matriz de giro de espín. Evolución de espinores sobre la esfera de Bloch. La fórmula de Rabi.
3. Matriz de densidad: Estados puros. Propiedades de la matriz de densidad. Estados mixtos. Evolución temporal de la matriz de densidad. Tiempos de relajación y ecuaciones de Bloch.
4. Interacción espín-órbita: Interacciones espín-órbita en un sólido. Interacciones de Rashba y Dresselhaus. Subbandas magneto-eléctricas en estructuras cuánticas confinadas. Relaciones de dispersión. Tipos de efecto Hall.

5. Relajación del espín: Mecanismos de relajación de espín. Relajación de espín en un punto cuántico.
6. Interacción de intercambio: Partículas idénticas y el principio de exclusión de Pauli. Las aproximaciones de Hartree y de Hartree-Fock. Interacción de intercambio y ferromagnetismo. El hamiltoniano de Heisenberg.
7. Transporte de espín en sólidos: Modelo de difusión-arrastre. El modelo semi-clásico. Decaimiento temporal y espacial de la polarización de espín.
8. Dispositivos espintrónicos: Válvula de espín. Magnetoresistencia gigante. Transistores basados en el espín: SPINFET, SBJT.

Bibliografía:

- Introduction to spintronics. Supriyo Bandyopadhyay, Marc Cahay. CRC Press (2008).
- Spintronics, from materials to devices. Claudia Felser, Gerhard H. Fecher. Springer (2013).
- Nanomagnetism and spintronics (2nd edition). Teruya Shinjo. Elsevier (2014).
- Spintronics in nanoscale devices. Eric R. Heding, Yong S. Joe. CRC Press (2014).

## Óptica no lineal

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-32

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

**Descripción del Curso:** Este curso pretende dar una descripción detallada de los principios físicos que subyacen a la óptica no lineal, la cual trata del estudio de la interacción de luz láser intensa cuando interacciona con la materia. En particular se revisarán conceptos como susceptibilidad óptica no lineal, tanto su tratamiento clásico como cuántico. Se derivarán relaciones para diferentes propiedades físicas de interés experimental y con potencial aplicación tecnológica.

Índice temático:

1. La susceptibilidad óptica no lineal: Introducción a la óptica no lineal. Descripción de procesos ópticos no lineales. Definición formal de la susceptibilidad óptica no lineal. Susceptibilidad no lineal de un oscilador clásico inarmónico. Propiedades de la susceptibilidad no lineal. Descripción en el dominio temporal de las no linealidades ópticas. Relaciones de Kramers-Kronig en óptica lineal y no lineal.
2. Descripción ondulatoria de las interacciones ópticas no lineales: La ecuación de onda para medios ópticos no lineales. Las ecuaciones de onda acopladas para la generación de suma de frecuencias. Coincidencia de fases. Las relaciones Manley-Rowe. Generación de Suma de Frecuencias. Generación de Segundo Armónico. Generación de diferencia de frecuencias y amplificación

paramétrica. Osciladores ópticos paramétricos. Interacciones ópticas no lineales con haces gaussianos enfocados. Óptica no lineal en la interfaces.

3. Teoría mecánico-cuántica de la susceptibilidad óptica no lineal: Introducción. Cálculo Schrödinger de la susceptibilidad óptica no lineal. Formalismo de matriz densidad en mecánica cuántica. Solución perturbativa de la ecuación de movimiento de matriz densidad. Cálculos con matriz densidad de: Susceptibilidad lineal, Susceptibilidad de segundo orden, susceptibilidad de tercer orden. Transparencia electromagnéticamente inducida. Correcciones de campos locales a la susceptibilidad óptica no lineal.
4. El índice de refracción dependiente de la intensidad: Descripciones del índice de refracción dependiente de la intensidad. Naturaleza tensorial de la susceptibilidad de tercer orden. Nolinealidades electrónicas no resonantes. Nolinealidades debidas a orientaciones moleculares. Efectos ópticos no lineales térmicos. Nolinealidades en semiconductores.
5. Origen molecular de la respuesta óptica no lineal: Susceptibilidades no lineales calculadas usando la teoría de perturbaciones independiente del tiempo. Modelos semi-empíricos de la susceptibilidad óptica no lineal: Modelos de Boling, Glass y Qwyong. Propiedades ópticas no lineales de polímeros conjugados. Óptica no lineal de medios quirales. Optica no lineal de cristales líquidos.
6. Óptica No lineal en la aproximación de dos niveles: Introducción. Ecuaciones de matriz densidad para el movimiento de un átomo de dos niveles. Respuesta de estado estacionario para un átomo de dos niveles a un campo monocromático. Ecuaciones de Bloch ópticas. Oscilaciones Rabi y estados atómicos cubiertos (dressed atomic states). Mezclado de ondas ópticas en un sistemas de dos niveles.

Bibliografía:

- Robert W. Boyd, Nonlinear Optics, third edition, Academic Press, 2008.
- Partha P. Banerjee, Nonlinear Optics – Theory, Numerical Modeling and Applications, Marcel Dekker Ink, 2004.
- Guang S. He. Nonlinear Optics and Photonics, Oxford University Press, 2015.

- E. Rosencher and B. Vinter, *Optoelectronics*, Cambridge University Press 2002.

## Tópicos en grafeno y otros materiales bidimensionales

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-33

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudian las propiedades electrónicas, ópticas, topológicas y de transporte del grafeno y de la bicapa de grafeno, así como de otros materiales bidimensionales tales como el siliceno, el fosforeno, el estaneno, el MOS2 y el BN, todos ellos con propiedades físicas que los hacen potenciales elementos en diversos dispositivos tecnológicos.

Índice temático:

1. Estructura electrónica del grafeno: Hamiltoniano efectivo. Niveles de Landau. Brechas prohibidas en grafeno.
2. Diamagnetismo orbital: Singularidad en la susceptibilidad. Respuesta a campos magnéticos no uniformes.
3. Propiedades ópticas: Absorción óptica y la constante de estructura fina.
4. Propiedades de transporte: Conductividad de Boltzmann. Aproximaciones autoconsistentes de Born.
5. Bicapa de grafeno: Propiedades electrónicas. Brecha prohibida. Propiedades ópticas y de transporte. Multicapas de grafeno.

6. Propiedades topológicas: Simetría quiral. Duplicación de Dirac. Conductividad de Hall de fermiones de Dirac en campos magnéticos. Efecto Hall óptico. Efecto Hall cuántico fraccionario en grafeno.
7. Otros materiales bidimensionales: Siliceno. Fosforeno. Estaneno. MOS2. BN.

Bibliografía:

- Physics of Graphene. Hideo Aoki, Mildred S. Dresselhaus. Springer (2014).
- Graphene, an introduction to the fundamentals and industrial applications. Madhuri Sharon, Maheshwar Sharon. Wiley (2015).
- Graphene-based energy devices. A. Rashid bin Mohd Yussof. Wiley (2015).

## Propiedades acústicas en medios materiales

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-34

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso de estudiaron la propagación de ondas acústicas en diferentes tipos de medios, tales como gases, líquidos y sólidos. Además se analizarán las propiedades de propagación de ondas acústicas en medios multicapas.

Índice temático:

1. Ecuaciones básicas para procesos ondulatorios en fluidos y sólidos: Sonido en medios fluidos en medios estratificados. Ondas armónicas. Ondas elásticas en sólidos isotrópicos.
2. Ondas planas acústicas en medios fluidos estratificados: Ondas inhomogéneas planas. Reflexión entre dos medios homogéneos. Reflexión de capas planas. Coeficientes de reflexión y transmisión. Impedancia de ondas armónicas en medios estratificados que se mueven.
3. Reflexión de ondas plana monocromática en medios continuos en capas: Perfiles solubles  $k(z)$  de la ecuación hypergeométrica confluente. Reflexión de onda plana desde una capa de Epstein. Soluciones exactas para medios con estratificación continua.
4. Reflexión de onda plana desde fronteras de sólidos: Ondas planas en semiespacios elásticos con una frontera libre. Reflexión de interfaces sólido-

sólido y sólido-líquido. Reflexión desde un sistema de sólidos estratificados. Ondas superficiales y ondas que decaen.

5. Reflexión de pulsos de sonido: Leyes de conservación. Cambio de la forma de pulso. Reflexión total de un pulso en un medio continuo estratificados.
6. Ondas acústicas en un medio anisotrópico absorbente: Absorción de sonido. Medio elástico anisotrópico. Propiedades elásticas de medios finamente estratificados.

Bibliografía:

- Acoustics of Layered Media I: Plane and quasiplane waves. L. M. Brekhovskikh, O. A. Godin. Springer.
- Acoustic metamaterials and phononic crystals. Pierre Deymier. Springer (2013).
- Physical acoustics in the solid state. Bruno Lüthi. Springer (2007).

## Propagación de Ondas: Método de Matriz de Transferencia

Número de créditos: 10

Horas a la semana: 10

Teoría: 6

Práctica: 4

Autoestudio: 6

Requisitos: Ninguno

Clave: AFE-35

Asignatura: Optativa

Materia asociada a la Línea de investigación: MCyER

Descripción del Curso: En este curso se estudia las propiedades de la matriz de transferencia y se aplica a la propagación de ondas electrónicas y ópticas en diferentes sistemas multicapas.

Índice temático:

1. Propiedades de la Matriz de Transferencia: Experimento de dispersión, matriz de dispersión y de transferencia, amplitudes de reflexión y transmisión, y propiedades de la matriz de transferencia.
2. Potenciales rectangulares: Matriz de transferencia para un potencial rectangular, coeficientes de transmisión, tunelamiento, densidad de corriente y estados ligados.
3. Potenciales Modelo: Potencial sencillo tipo, dos potenciales repulsivos tipo, estados ligados de un potencial doble tipo, N barreras idénticas tipo.
4. Modelo Kronig-Penney y Tight Binding: Modelo periódico, bandas permitidas, densidad de estados, Función de onda, impureza sencilla, transmisión a través de impurezas.
5. Transmisión y reflexión de ondas electromagnéticas planas: Coeficientes de reflexión y transmisión, interfaz entre dos medios dieléctricos, interfaz entre un

dieléctrico y un metal, condiciones de transmisión y reflexión total, polarización TE y TM, coeficientes de transmisión y reflexión para una placa, placa dieléctrica, placa metálica.

6. Ondas superficiales: Ondas superficiales en la interfaz entre dos medios, modos superficiales en una placa.
7. Medios electromagnéticos estratificados: cristales fotónicos, estructura de bandas de cristales fotónicos.
8. Tópicos especiales: materiales izquierdos, interfaz dieléctrico-grafeno-dieléctrico.

Bibliografía:

- Wave propagation: from electrons to photonic crystals and left-handed materials, Peter Markos and Costas M. Soukoulis. Princeton University Press (2008).
- Optical waves in Layered Media, Pochi Yeh, Wiley-Interscience (2005)

## Computación Científica

- Número de créditos: 10
- Semestre recomendado: 1
- Horas a la semana: 10
- Teoría: 6
- Práctica: 4
- Autoestudio: 6
- Requisitos: Ninguno
- Clave: AFE-36
- Asignatura: Optativa
- Materia asociada a la Línea de investigación: OF, MCyER, MM

Descripción de la asignatura: El curso da una introducción a los lenguajes de programación y a las técnicas usadas por los científicos en las áreas de física e ingeniería. Los lenguajes para estudiar son FORTRAN, C, C++, Python, y Mathematica. El énfasis del curso se enfoca en el diseño de programas, desarrollo de algoritmos y su verificación, y las ventajas y desventajas comparativas entre los diferentes lenguajes de programación ofrecidos.

Contenido:

1. Algoritmos
2. FORTRAN
3. C y C++
4. Python
5. Mathematica
6. Graficado avanzado: gnuplot y matplotlib

### Índice Temático

1. Algoritmos: Formulación de problemas, desarrollo de algoritmos, implementación de algoritmos, y verificación de algoritmos. Estructura y documentación.
2. FORTRAN: creación del programa, compilación y ligado, variables y parámetros, control de flujo, subrutinas y funciones, estructura y documentación, uso de librerías, comunicación interna y externa, e interacción con otros lenguajes.

3. C y C++: Representación de datos a través de arreglos, apuntadores, estructura de datos, llamada de funciones, pasar argumentos a funciones, Input-Output, llamadas a sistema y señales. Encapsulación e inheritancia, operadores polimorficos.
4. Python: Bases de python, numpy, scylab, matplotlib, python avanzado.
5. Mathematica: ¿Qué es y que puedo hacer con mathematica?, estructura de mathematica, símbolos, números exactos y números máquina, listas, vectores y matrices. Cálculo numérico y cálculo simbólico, graficado, importando y exportando información.
6. Graficado por scripts: Elementos de Gnuplot, Matplotlib.

Bibliografía:

1. Introduction to Programming with FORTRAN 4th Ed., Ian Chivers, Jane Sleighholme, 2018, Springer.
2. The C Programming Language: ANSI C Version 2Th Ed., B. W. Kernighan and B. M. Ritchie, 2012, Prentice Hall.
3. The C++ Programming Language 4Th Ed., Bjarne Stroustrup, 2013, Addison-Wesley Professional
4. Introduction to Computation and Programming Using Python: With Application to Understanding Data, John V. Guttag, 2016, MIT Press.
5. Numerical Python: Scientific Computing and Data Science Applications with Numpy, Scipy and Matplotlib, 2th Ed., Robert Johansson, 2019, APRESS.
6. Hands-On Start to Wolfram Mathematica: And Programming with the Wolfram Language, Cliff Hastings, Kelvin Mischo, Michael Morrison, 2016, Wolfram Media Inc.

## Anexo C

### INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN A DOCENTES, PREGUNTAS CONTROL CAP Y INSTRUMENTO DE SEGUIMIENTO DE EGRESADOS

## Instrumento I, Evaluación Docente por parte de los Estudiantes

1. ¿Tuvo dificultades para obtener la información que deseaba?
2. ¿Considera que el curso cumplió con sus expectativas?
3. ¿El tiempo que se utiliza por sesión lo considera adecuado?
4. El profesor explica de manera clara los contenidos del curso.

1	2	3	4	5
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Relaciona los contenidos del curso con otras áreas.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

6. El docente resuelve las dudas planteadas

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

7. El docente propone ejemplos o ejercicios que vinculen el curso con la práctica profesional.

1

2

3

4

5

8. El docente explica la utilidad de los contenidos teóricos y prácticos para la actividad profesional.

1

2

3

4

5

9. El docente cumple con los acuerdos establecidos al inicio del curso.

1

2

3

4

5

10. Durante el curso, el docente establece estrategias adecuadas necesarias para lograr el aprendizaje deseado.

1

2

3

4

5

11. El programa presentado al principio del curso se cumple completamente.

1

2

3

4

5

12. El docente incluye experiencias de aprendizaje en lugares diferentes al aula (talleres, laboratorios, empresa, comunidad, etcétera).

1

2

3

4

5

13. El docente utiliza para el aprendizaje las herramientas de interacción de las tecnologías de la información y comunicación actuales.

1

2

3

4

5

14. El docente organiza actividades que me permitan ejercitarme en mi expresión oral y escrita.

1

2

3

4

5

**15. El docente relaciona los contenidos del curso con la industria y la sociedad a nivel local, regional, nacional e internacional.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**16. El docente usa ejemplos y casos relacionados con la vida real.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**17. El docente adapta las actividades para atender los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**18. El docente promueve el autodidactismo y la investigación.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**19. El docente promueve actividades participativas que me permiten colaborar con mis compañeros con una actitud positiva.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**20. El docente estimula la reflexión sobre la manera en que aprendes.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**21. El docente se involucra en las actividades propuestas al grupo.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**22. El docente presenta y expone las clases de manera organizada y estructurada.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**23. El docente utiliza diversas estrategias, métodos, medios y materiales.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**24. El docente muestra compromiso y entusiasmo en sus actividades docentes.**

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**25. El docente propicia el desarrollo de un ambiente de respeto y confianza.**

1

2

3

4

5

**26. El docente propicia la curiosidad y el deseo de aprender.**

1

2

3

4

5

**27. El docente reconoce los éxitos y logros en las actividades de aprendizaje.**

1

2

3

4

5

**28. Existe la impresión de que el docente toma represalias con algunos estudiantes.**

1

2

3

4

5

**29. El docente hace interesante la asignatura.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**30. El docente identifica los conocimientos y habilidades de los estudiantes al inicio de la asignatura o de cada unidad.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**31. El docente proporciona la información para realizar adecuadamente las actividades de evaluación.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**32. El docente toma en cuenta las actividades realizadas y los productos como evidencias para la calificación y acreditación de la asignatura.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**33. El docente toma en cuenta los resultados de la evaluación (asesorías, trabajos complementarios, búsqueda de información, etcétera) para realizar las mejoras en el aprendizaje.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**34. El docente da a conocer las calificaciones en el plazo establecido.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**35. El docente da oportunidad de mejorar los resultados de la evaluación de aprendizaje.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**36. El docente muestra apertura para la corrección de errores de apreciación y evaluación.**

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

**37. El docente otorga calificaciones imparciales.**

1

2

3

4

5

**38. El docente desarrolla la clase en un clima de apertura y entendimiento.**

1

2

3

4

5

**39. El docente escucha y toma en cuenta las opiniones de los estudiantes.**

1

2

3

4

5

**40. El docente muestra congruencia entre lo que dice y lo que hace.**

1

2

3

4

5

**41. El docente asiste a clases regular y puntualmente.**

1

2

3

4

5

**42. El docente fomenta la importancia de contribuir a la conservación del medio ambiente.**

1

2

3

4

5

**43. El docente promueve mantener limpias y ordenadas las instalaciones.**

1

2

3

4

5

**44. El docente es accesible y está dispuesto a brindarle ayuda académica.**

1

2

3

4

5

**45. El docente emplea las tecnologías de la información y de la comunicación como un medio que facilita el aprendizaje de los estudiantes.**

1

2

3

4

5

**46. El docente promueve el uso de diversas herramientas, particularmente las digitales, para gestionar (recabar, procesar, evaluar y usar) información.**

1

2

3

4

5

**47. El docente promueve el uso seguro, legal y ético de la información digital.**

1

2

3

4

5

**48. En general pienso que es un buen docente.**

1

2

3

4

5

**49. Estoy satisfecho por mi nivel de desempeño y aprendizaje logrado gracias a la labor docente.**

1

2

3

4

5

50. Yo recomendaría a este docente.

1

2

3

4

5

## Instrumento II, Evaluación Docente por parte de los Estudiantes

Totalmente en desacuerdo (1) En desacuerdo (2) En duda (3) De acuerdo (4) Totalmente de acuerdo (5)

1 2 3 4 5

1. Al empezar las clases se plantearon los objetivos y el programa detallado del curso
2. El (la) profesor(a) ha cumplido hasta ahora con el programa planteado para el curso
3. El (la) profesor(a) se expresa con claridad
4. El (la) profesor(a) sintetiza o resalta los puntos principales
5. La forma en que se lleva a cabo esta clase me ayuda a aprender
6. El (la) profesor(a) promueve que los alumnos expresen sus ideas y cuestionamientos
7. El (la) profesor(a) atiende adecuadamente las preguntas y opiniones de los estudiantes
8. El (la) profesor(a) promueve que los estudiantes piensen por sí mismos
9. Al empezar las clases se plantearon los criterios y mecanismos de evaluación
10. La evaluación se ha realizado conforme a los criterios y mecanismos planteados al principio del curso
11. El (la) profesor(a) ha entregado oportunamente los resultados de trabajo y exámenes
12. El (la) profesor(a) demuestra conocimiento actualizado de su materia
13. He aprendido algo valioso en este curso
14. Me gustaría cursar otra materia con este (a) profesor (a)
  
15. Marque todos los aspectos en los que considere que este curso le ha ayudado:
  - a) Dominar temas relacionados con el ejercicio de mi profesión

- b) Buscar problemas a las necesidades sociales que se presentan en el campo de mi profesión
- c) Fundamentar mejor mis juicios sobre el valor de las obras o de las acciones humanas
- d) Desarrollar mi capacidad para comunicarme o para utilizar distintos recursos de comunicación
- e) Desarrollar mi capacidad de investigar o platear y resolver problemas
- f) Desarrollar mis capacidades creativas o de innovación
- g) Desarrollar mi capacidad de planear y dirigir el trabajo de un equipo
- h) Conocerme mejor a mí mismo o aclararme lo que quiero lograr en el futuro
- i) Enriquecer mi concepto de la persona humana y de lo que contribuye a su desarrollo

16. Señale las actividades que con mayor frecuencia se han realizado en el curso:

- k) Exposición del profesor
- l) Exposición de los alumnos
- m) Solución de problemas o estudios de caso
- n) Discusión o debates basados en lecturas o trabajos realizados previamente
- o) Desarrollo de trabajos, dibujos, proyectos o prácticas bajo la supervisión del profesor
- p) Visitas a empresas o a otras organizaciones o prácticas de campo
- q) Trabajo en equipo
- r) Otra (por favor anote cuál)

17. En promedio, ¿cuántas horas a la semana le ha dedicado a esta materia fuera de clase (lectura, tareas, ejercicios, trabajo, estudio para exámenes, trabajo en equipo, etc.)?

- a) Cero horas
- b) Menos que las horas de clase pero más que cero
- c) La misma cantidad que las horas de clase
- d) Más que las horas de clase

18. ¿Qué calificación final espera obtener en este curso?

1) 5	2) 6	3) 7
4) 8	5) 9	6) 10
7) Otra		

19. Por favor escriba aquí sus comentarios o sugerencias para el profesor

## **Preguntas Control por CAP para vigencia de cursos de formación básica y formativa**

El CAP de la maestría en Ciencia y Tecnología de la Luz y la Materia se reunirá al inicio de las actividades del programa para, que de manera colegiada, diseñe el instrumento para evaluar la vigencia de los cursos de formación básica y formativa.

## **Seguimiento de Egresados**

El programa de seguimiento de egresados se realizará a través del portal oficial de la Universidad Autónoma de Zacatecas, por medio del departamento de Vinculación Universitaria. Las direcciones web correspondientes son las siguientes:

<http://www.uaz.edu.mx/infoEgresados/>

<http://www.uaz.edu.mx/seguimiento/>