

22-23

GRADO EN FÍSICA  
SEGUNDO CURSO

# GUÍA DE ESTUDIO COMPLETA



## FUNDAMENTOS DE FÍSICA III

CÓDIGO 61042018

UNED

22-23

FUNDAMENTOS DE FÍSICA III

CÓDIGO 61042018

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN  
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA  
EQUIPO DOCENTE  
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE  
TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS  
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE  
RESULTADOS DE APRENDIZAJE  
CONTENIDOS  
METODOLOGÍA  
PLAN DE TRABAJO  
SISTEMA DE EVALUACIÓN  
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA  
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA  
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA  
GLOSARIO

Nombre de la asignatura	FUNDAMENTOS DE FÍSICA III
Código	61042018
Curso académico	2022/2023
Departamento	FÍSICA INTERDISCIPLINAR
Título en que se imparte	GRADO EN FÍSICA
Curso	SEGUNDO CURSO
Periodo	SEMESTRE 1
Tipo	OBLIGATORIAS
Nº ETCS	6
Horas	150.0
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura **Fundamentos de Física III** se encuentra situada dentro de la materia de Ampliación de Fundamentos de Física, en el primer semestre del segundo curso del Plan de Estudios del Grado en Física que se imparte en la UNED. La asignatura tiene un interés formativo, al igual que las asignaturas «Fundamentos de Física I» y «Fundamentos de Física II», desarrolladas en el primer curso de este Grado.

El contenido incluido en **Fundamentos de Física III** se sustenta en la parte de la Física que se desarrolló en el siglo XX. A esta parte de la Física se la suele denominar «Física Moderna», y aglutina el desarrollo de fenómenos físicos recientes, en especial aquellos relacionados de una forma u otra con la Física Cuántica. En resumen, el contenido de esta asignatura se basa en tres grandes apartados: Física Cuántica, Teoría de la Relatividad Especial y Estructura de la Materia.

Para superar esta asignatura los estudiantes deben comprender las leyes y principios en los que se fundamentan los fenómenos presentados, entender con claridad cómo se producen y cómo es necesario recurrir a nuevos planteamientos para su explicación. El estudiante estudiará los motivos por los que, en ocasiones, se recurre a modelos más sencillos para conseguir una mejor comprensión y comparar los resultados obtenidos cuando se abordan modelos más próximos a la realidad. Por último, se debe aprender la formalización matemática de los modelos que permita obtener resultados para que, desde una posición crítica, esto puedan ser discutidos de acuerdo con los resultados experimentales.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Es muy importante que los alumnos que acceden al estudio de **Fundamentos de Física III** tengan determinados conocimientos previos de Física. En concreto es imprescindible que hayan superado las asignaturas **Fundamentos de Física I** y **Fundamentos de Física II**, así como **las asignaturas de matemáticas básicas del grado**, en concreto son necesarios conocimientos básicos de cálculo en una y varias variables, Álgebra, resolución de ecuaciones diferenciales sencillas y cálculo básico con números complejos (recomendable estar cursando o haber cursado **Métodos Matemáticos II**). Así mismo, es recomendable tener nociones de cálculo de errores a la hora de analizar datos de cara a alguna de las

pruebas de evaluación (haber cursado **Técnicas Experimentales I**). En resumen, **no se recomienda cursar esta asignatura sin haber completado las asignaturas relacionadas del primer curso del grado y sin estar matriculado en asignaturas del segundo curso**. De esta manera, podrán obtener el rendimiento adecuado en el estudio de esta nueva disciplina.

Este nivel de conocimientos es muy importante desde una doble perspectiva. Por un lado, para disponer de los conceptos, leyes y principios que configuran la «Física Clásica» y sobre las que se construirán otros nuevos. Por otro, porque esta nueva construcción se sustenta en un ciertos conocimientos matemáticos sin los cuales no es posible entender los nuevos desarrollos.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

PABLO DOMINGUEZ GARCIA  
pdominguez@fisfun.uned.es  
91398-9345  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA INTERDISCIPLINAR

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

OSCAR GALVEZ GONZALEZ (Coordinador de asignatura)  
oscar.galvez@ccia.uned.es  
91398-6343  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA INTERDISCIPLINAR

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

CESAR FERNANDEZ RAMIREZ  
cefera@ccia.uned.es  
913988902  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICA INTERDISCIPLINAR

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Las tareas de **tutorización** y seguimiento se harán, principalmente, a través de las herramientas de comunicación del curso virtual (foros de debate). Los alumnos dispondrán de Tutoría Virtual y Tutor Presencial en su Centro Asociado.

Por otra parte, los estudiantes podrán siempre entrar en contacto con los **profesores de la asignatura** por medio del correo electrónico, curso virtual y teléfono. Se recomienda en cualquier caso usar el curso virtual para cualquier duda sobre los contenidos de la asignatura.

**Dr. D. Óscar Gálvez González.**

Correo: oscar.galvez@ccia.uned.es

Despacho: 0.23 (Centro Asociado de Las Rozas - Facultad de Ciencias)

Avda. Esparta s/n, 28232 - Las Rozas

Teléfono: 91 398 6346.

**Horario guardia: Lunes de 10 a 14**

**Dr. D. Pablo Domínguez García**

Correo: pdominguez@fisfun.uned.es

Teléfono: 91 398 9345.

Despacho: 0.09 (Centro Asociado de Las Rozas - Facultad de Ciencias)

Avda. Esparta s/n, 28232 - Las Rozas

**Horario guardia: Miércoles, de 10h a 14h**

**Dr. D. César Fernández Ramírez.**

Correo: cefera@ccia.uned.es

Teléfono: 91 398 8902.

Despacho: 0.09 (Centro Asociado de Las Rozas - Facultad de Ciencias)

Avda. Esparta s/n, 28232 - Las Rozas

**Horario guardia: Lunes, de 10:30h a 14:30h**

## TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS

En el enlace que aparece a continuación se muestran los centros asociados y extensiones en las que se imparten tutorías de la asignatura. Estas pueden ser:

- Tutorías de centro o presenciales:** se puede asistir físicamente en un aula o despacho del centro asociado.

- Tutorías campus/intercampus:** se puede acceder vía internet.

Consultar horarios de tutorización de la asignatura 61042018

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

En esta asignatura el estudiante desarrollará, además, las siguientes competencias generales del Grado:

**Competencias generales:**

CG01	Capacidad de análisis y síntesis
CG02	Capacidad de organización y planificación
CG03	Comunicación oral y escrita en la lengua nativa
CG07	Resolución de problemas
CG09	Razonamiento crítico
CG10	Aprendizaje autónomo

En esta asignatura el estudiante adquirirá las siguientes competencias específicas del Grado en Física:

**Competencias específicas:**

CE01

Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes: su estructura lógica y matemática, su soporte experimental y los fenómenos que describen; en especial, tener un buen conocimiento de los fundamentos de la física moderna

CE02

Saber combinar los diferentes modos de aproximación a un mismo fenómeno u objeto de estudio a través de teorías pertenecientes a áreas diferentes

CE03

Tener una idea de cómo surgieron las ideas y los descubrimientos físicos más importantes, cómo han evolucionado y cómo han influido en el pensamiento y en el entorno natural y social de las personas

CE07

Ser capaz de identificar los principios físicos esenciales que intervienen en un fenómeno y hacer un modelo matemático del mismo; ser capaz de hacer estimaciones de órdenes de magnitud y, en consecuencia, hacer aproximaciones razonables que permitan simplificar el modelo sin perder los aspectos esenciales del mismo

CE09

Adquirir una comprensión de la naturaleza y de los modos de la investigación física y de cómo ésta es aplicable a muchos campos no pertenecientes a la física, tanto para la comprensión de los fenómenos como para el diseño de experimentos para poner a prueba las soluciones o las mejoras propuestas

CE10

Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía sobre física y demás literatura técnica, así como cualesquiera otras fuentes de información relevantes para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Tras el estudio de esta asignatura, los estudiantes habrán adquirido conocimientos suficientes para ampliar o profundizar en ellos mediante el estudio de otras asignaturas más concretas o específicas.

En **Fundamentos de Física III** los resultados del aprendizaje son los que relacionamos a continuación:

- Conocer la constancia de la velocidad de la luz y los experimentos que la ponen de manifiesto.
- Entender las transformaciones de coordenadas de Lorentz
- Entender la contracción de longitudes y la dilatación de tiempos.
- Entender la combinación de energía y momento lineal como un vector en cuatro dimensiones, y la formulación tetradimensional de las leyes de conservación.
- Aplicar las leyes de conservación relativistas a la colisión de partículas a gran velocidad.
- Conocer el principio de equivalencia.
- Conocer el concepto de cuerpo negro.
- Conocer la ley de Planck para la densidad de energía de un cuerpo negro.
- Entender la incompatibilidad de la ley de Planck con el principio clásico de equipartición.
- Saber deducir la ley de desplazamiento y la ley de Stefan-Boltzman a partir de la ley de Planck.

- Conocer la fenomenología del efecto fotoeléctrico.
- Conocer el concepto de fotón como explicación del efecto fotoeléctrico.
- Conocer la teoría corpuscular de la luz, y la energía y el momento asociados a un fotón.
- Entender la colisión entre partículas materiales cargadas y fotones.
- Conocer los experimentos que ponen de manifiesto la naturaleza ondulatoria de las partículas materiales.
- Entender la relación entre momento y longitud de onda de de Broglie.
- Entender la difracción de partículas.
- Conocer la fenomenología de los espectros de la luz emitida por los átomos.
- Entender la idea de cuantificación de niveles energéticos en un átomo.
- Explicar las líneas espectrales del hidrógeno a partir del modelo de Bohr.
- Estimar el orden de magnitud de los niveles energéticos atómicos.
- Entender la relación entre órbitas atómica y longitud de onda de de Broglie de los electrones.
- Conocer la composición general de un núcleo atómico.
- Conocer la relación entre energías atómicas y nucleares.
- Entender la idea de defecto de masa y energía de enlace
- Entender la estabilidad de los núcleos a partir de la curva de energía de enlace por nucleón.
- Conocer los mecanismos de fisión y fusión nuclear.
- Conocer los distintos tipos de desintegración nuclear y las leyes generales que los gobiernan.
- Conocer los diferentes tipos de interacciones y de las partículas entre las que actúan.
- Conocer la estructura general del modelo estándar de partículas elementales.
- Conocer los principales números cuánticos y sus leyes de conservación.
- Aplicar las leyes de conservación de los números cuánticos a las reacciones entre partículas.
- Tipos de estrellas.
- Mecanismos de generación de energía en estrellas
- Evolución estelar
- Estructura del universo: galaxias, cúmulos galácticos, cúasares,...
- Materia visible y materia oscura.
- Escala de distancias cosmológica.
- Ley de Hubble.
- Expansión del Universo.
- La radiación cósmica de fondo como radiación de cuerpo negro.



## CONTENIDOS

### BLOQUE 1.- Física cuántica. Temas 1 y 2.

#### Resultados del aprendizaje:

- Conocer el concepto de cuerpo negro.
- Establecer la Ley de Planck para la energía de un cuerpo negro.
- Diferenciar entre ondas y partículas.
- Comprender la dualidad onda-partícula.
- Definir un fotón y las magnitudes físicas asociadas al mismo.
- Comprender el efecto fotoeléctrico.
- Conocer la ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico.
- Conocer la dispersión de Compton y sus aplicaciones.
- Comprender la colisión entre partículas cargadas y fotones.
- Conocer los experimentos que ponen de manifiesto la naturaleza ondulatoria de las partículas materiales.
- Establecer la hipótesis de Louis de Broglie.
- Entender la cuantización del momento cinético del átomo de hidrógeno.
- Comprender la difracción de partículas.
- Comprender los niveles energéticos del átomo de hidrógeno.
- Comprender la cuantización de la energía en los átomos.
- Enunciar el Principio de Indeterminación.
- Establecer las consecuencias del Principio de Incertidumbre.
- Definir los valores esperados a partir de la función de onda.
- Escribir la ecuación de Schrödinger tanto dependiente como independiente del tiempo.
- Conocer el significado de la función de onda.
- Calcular los niveles de energía para una partícula confinada en una caja.
- Analizar el comportamiento mecánico cuántico de una partícula en un pozo de potencial.
- Utilizar los principios de la Física Cuántica para estudiar un oscilador armónico.
- Comparar los resultados proporcionados por la Física Cuántica con los obtenidos con la Física Clásica.
- Aplicar y resolver la ecuación de Schrödinger para una partícula en un pozo potencial rectangular e infinito.
- Aplicar y resolver la ecuación de Schrödinger en un pozo de potencial finito.
- Determinar las funciones de onda y niveles de energía en un oscilador armónico.
- Comprender la reflexión y transmisión de las ondas electrónicas
- Entender el efecto túnel cuántico.

#### Contextualización:

Desde el principio, debe quedar claro que el interés de esta asignatura versa, sustancialmente, sobre una cuestión bien clásica, la estructura de la materia y podemos añadir que se efectúa desde una perspectiva tanto microscópica como macroscópica, planteamiento, por otra parte, principal preocupación de la Física desde sus inicios. En este estudio, lamentablemente, no podemos aplicar los métodos de análisis siempre utilizados, por tratarse de un mundo, por ejemplo, extremadamente pequeño en el que las herramientas y los conceptos utilizados con anterioridad no sirven. El esfuerzo realizado ha proporcionado los instrumentos apropiados presentados en estos dos primeros temas del programa de la asignatura. Nos referimos a la Física Cuántica que se refiere al “conocimiento físico” del mundo atómico y subatómico. Hemos estudiado los conceptos “nuevos” procurando relacionarlos con la Física estudiada en los cursos anteriores y poniendo en evidencia que los recursos matemáticos son diferentes pues se aplican en condiciones diferentes. Los procedimientos conceptuales y matemáticos, ahora presentados los vamos a utilizar en el desarrollo del programa de la asignatura, que es un programa de Física con independencia de la época de su nacimiento, con una continuidad clara que iremos poniendo de manifiesto en el desarrollo de esta Guía de Estudio.

### **Orientaciones sobre los contenidos de los temas:**

Parece conveniente recordar que la Física es una ciencia que, mediante un conocimiento crítico, intenta describir la realidad del Universo y sus componentes, así mismo, proporciona una explicación recurriendo a leyes y proposiciones universales que deben establecer, bajo qué condiciones se producirán ciertos hechos, permitiendo la predicción de los fenómenos físicos. En otras palabras, la preocupación de la Física, como disciplina científica, no solamente se limita al estudio de los elementos materiales que constituyen la naturaleza próxima y también del Universo, sino también su origen y su evolución, mediante los modelos analítico-teóricos expresados con la precisión proporcionada por las matemáticas. Nuestra preocupación, como hemos apuntado, en el desarrollo de esta asignatura, es dedicarla a la denominada Física Moderna y la iniciamos con los primeros temas dedicados a la mecánica cuántica. Parece existir acuerdo entre los historiadores de la ciencia, en considerar que, esta denominación o calificativo, comenzó en el año 1900 cuando, en la Sociedad de Física de la Academia de Ciencias de Berlín, Max Planck, intenta explicar las dificultades encontradas al comprender la teoría de la radiación térmica. Nació, de esta manera, la Física Cuántica, a la que dedicamos los dos primeros temas del programa. En los comienzos, se consideraba que la Tierra era el centro del Universo y alrededor de ella se hallaban el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas. Transcurridos algunos siglos, se contemplaron razones científicas para reconocer que la Tierra y los planetas giraban alrededor del Sol, más adelante el Sol pasa a ser considerado como una más entre las miles de millones de estrellas que constituían la Vía Láctea y que ésta era sólo una entre las

muchas de galaxias del Universo. Desde este primer modelo, la imagen del Universo, así como su conocimiento fue perfeccionado y difundido sin fronteras. La situación fue tal que, a finales del siglo XIX, los científicos estaban convencidos de que el estudio de la Física estaba próximo a acabarse pues no quedaba casi nada por descubrir y se comprendían perfectamente todos los fenómenos físicos conocidos. Desde una perspectiva actual, lógicamente, era un planteamiento erróneo.

La Física a que nos acabamos de referir ha pasado a la Historia de la Ciencia con la denominación de Física Clásica o Física Newtoniana, como recuerdo a Newton, autor de las leyes del movimiento y de la ley de la gravedad que permitieron comprender el movimiento de la Tierra y la estructura del sistema solar. Estos conocimientos físicos se pueden considerar como deterministas, es decir, conociendo las características iniciales de un sistema se puede predecir su estado futuro. Como decíamos fue en 1900 cuando Planck propone una nueva idea que denominó cuanto para designar la existencia de unidades de energía indivisibles, concepto imposible de contemplar en la Física Clásica que consideraba a la energía como un continuo (la energía podía adquirir cualquier valor). La palabra cuanto procede del latín quantum y significa “cantidad” y así se justifica el nombre de Física Cuántica o Mecánica Cuántica (en otro momento, nos acercaremos sobre la diferencia entre ambos términos). Esta parte o rama de la Física estudia los fenómenos físicos que suceden en la escala atómica o subatómica, el comportamiento de las partículas que constituyen la materia, así como, las fuerzas por las que se rigen. En un principio, la Física Cuántica presentaba alguna dificultad para ser entendida y aceptada pues no trabajaba con certezas, como sucede en la Física Clásica, lo hace con probabilidades. Así, por ejemplo, en 1927 se estableció el Principio de Incertidumbre que habla de la imposibilidad de medir exactamente la posición y la velocidad de una partícula al mismo tiempo y, en consecuencia, sólo se pueden conocer las probabilidades de que una partícula se encuentre en un determinado lugar con una velocidad dada. De lo dicho no puede desprenderse una marginación de la Física Clásica, todo lo contrario, sigue siendo válida y utilizada para explicar y predecir fenómenos a escala terrestre y del Sistema Solar pero no funciona, como hemos anticipado, cuando se trata a nivel atómico o subatómico. La Física Cuántica explica claramente lo que sucede en el mundo de lo muy pequeño.

En otro momento de este curso estudiaremos la Teoría de la Relatividad, creada por Albert Einstein, que aporta los instrumentos adecuados para estudiar los fenómenos físicos que suceden cuando las velocidades son muy grandes (comparables con la velocidad de la luz) y a enormes distancias. En el momento oportuno plantearemos las circunstancias que dieron lugar a esta teoría einsteniana. El Bloque 1 con el que iniciamos el estudio de esta asignatura se refiere a la Física Cuántica que tiene una estrecha relación con el estudio de los fenómenos físicos que suceden a escala atómica o subatómica y cuyo origen se relaciona con la radiación del cuerpo negro. En 1898, lord Kelvin (1824-1907) pronunciaba

un discurso en el que señalaba que “la Física estaba acabada”, pensaba que todas las grandes ideas habían sido formuladas. Solamente faltaban algunas constantes por medir. No obstante, quedaban dos problemas importantes por resolver, el primero, relacionado con la radiación del cuerpo negro que permitió a Max Planck (1858-1947), en 1900, introducir la idea de cuantización de la energía en los intercambios de energía entre la radiación y la materia que sería el inicio de la Física Cuántica a la que vamos a dedicar los dos primeros temas del programa de Fundamentos de Física III. El otro problema que quedaba pendiente se refería a los extraños resultados de los experimentos de Michelson (1852-1955), desentrañados, en 1905, al proponer los fundamentos de la teoría de la relatividad a la que, como hemos apuntado, trataremos en un momento posterior.

Tanto la Física Cuántica como la Teoría de la Relatividad constituyen el fundamento de la denominada Física Moderna aunque, como veremos, no es lo único. A pesar del riesgo que supone simplificar, anunciamos que ambas teorías permiten estudiar la Física Moderna. Volvemos al problema de la radiación del cuerpo negro a la que acabamos de referirnos. A finales del siglo XIX se conocía una importante cantidad de medidas fiables y precisas sobre la radiación emitida por un pequeño orificio hecho en una cavidad mantenida a una temperatura constante. Por una parte, era evidente que la intensidad de la radiación emitida variaba con la frecuencia de la misma y, además, para una frecuencia dada la intensidad de la radiación sólo dependía de la temperatura. Algunos físicos alemanes preocupados de estos problemas, procuraron realizar cuidadosas medidas llegando a la conclusión de que la curva de intensidad en función de la frecuencia se parecía a la propuesta por Maxwell para la distribución de velocidades de las moléculas de un gas contenido en un recipiente a determinada temperatura. Incluso, parecía existir cierta aceptación sobre una propuesta experimental que se ajustaba bien cuando la frecuencia era alta pero no ocurría lo mismo cuando los datos se referían a frecuencias bajas.

Los físicos ingleses Rayleigh (1842-1919) y Jeans (1877-1946) recurrieron al electromagnetismo clásico para explicar un fenómeno que consideraban fundamental. A pesar de los esfuerzos realizados el resultado obtenido para bajas frecuencias no coincidía con el conseguido para frecuencias altas. Estas experiencias llegaron a la denominada “catástrofe ultravioleta” y que, en palabras sencillas, significa que la teoría clásica predecía una intensidad infinita para frecuencias más allá de la región ultravioleta. La solución fue dada por Planck cuando, en 1900, propone que los intercambios de energía entre la radiación y materia tienen lugar en forma cuantizada, en múltiplos enteros de una constante —luego se llamaría constante de Planck- multiplicada por la frecuencia de la radiación. Con esta propuesta se desbarataba la idea de catástrofe ultravioleta pues, en la región de alta frecuencia los cuantos de energía son tan grandes que sólo unos pocos modos vibracionales se pueden excitar con una probabilidad apreciable. Al aumentar la frecuencia, disminuye el número de modos que se excitan, llegando a ser nulo cuando las frecuencias son muy altas.

Antes de continuar conviene hacer una referencia a otros experimentos que tampoco pudieron ser explicados recurriendo a la Física Clásica, para proporcionar una visión completa acerca de la idea de la cuantización en la Física. Así, por ejemplo, a mediados del siglo XVIII se había visto que la radiación emitida por gases calentados no era un continuo sino que se podía observar que aparecía un espectro de líneas brillantes diferentes para cada gas. Por otra parte, Thomas Melvill (1697-1778) fue el primero que descompuso una onda luminosa recurriendo a un prisma y, también, observó el espectro de líneas brillantes en gases calientes. Más conocidas fueron las experiencias de Blamer (1825-1898) acerca de las frecuencias emitidas por el hidrógeno en la región visible del espectro electromagnético. También pudo determinar una expresión matemática que proporcionaba las longitudes de onda medidas en el hidrógeno. Si bien, para decirlo todo, estos datos no fueron aceptados adecuadamente por el mundo de la ciencia que, pensó, se trataba de un juego matemático.

Además, los datos experimentales se ajustaban adecuadamente a la expresión deducida por Planck que, parece ser, en principio no estaba plenamente convencido de su hipótesis. No obstante, algunos físicos pensaron que tenía razón y lo aplicaron para estudiar el llamado efecto fotoeléctrico, observado por primera vez por Hertz en las postrimerías del siglo XIX, aunque fue estudiado con cierta rigurosidad, a principios del siglo siguiente, por Lenard (1862-1947). La conclusión a que éste había llegado ponía de manifiesto que los electrones más energéticos emitidos tenían la misma energía con independencia de la intensidad de la radiación incidente. Esta conclusión no podía explicarse recurriendo a las teorías físicas clásicas pues al ser la radiación incidente una onda electromagnética, el campo electromagnético asociado actuaba sobre los electrones ligados del metal fotosensible y, en consecuencia, la fuerza que actuaba sobre el electrón era proporcional al campo eléctrico, pero la amplitud del campo lo es al cuadrado y es directamente proporcional a la intensidad de la onda luminosa. De esta manera, cuando aumenta la intensidad de la luz aumenta la amplitud de la onda y, entonces, la fuerza ejercida sobre el electrón es mayor. Se concluye que el electrón debería ser emitido con una velocidad mayor, situación que no se apreciaba. La solución definitiva fue dada por Einstein, para ello combinó el concepto corpuscular de la luz con la hipótesis de Planck y concluyó que no sólo los intercambios de energía entre la radiación y la materia estaban cuantizados sino que la propia radiación no era más que un conjunto de corpúsculos o partículas. Las denominó fotones que transportaban una energía determinada (constante de Planck por la frecuencia). Esta aportación fue definitiva para la teoría cuántica. Un aumento de intensidad de la luz significa un aumento en el número de fotones, todos ellos de la misma energía. Aceptando este planteamiento para explicar el efecto fotoeléctrico: un fotón es absorbido completamente por el metal y toda su energía se transfiere a un electrón.

Esta situación de indeterminación o indecisión acerca de la cuantización de la materia era muy rudimentaria pues apenas se tenía un conocimiento preciso sobre los constituyentes de la materia. Como hemos señalado la aportación de Planck fue decisiva, pero con la intención de ilustrar este relato histórico, vamos a mencionar algunos descubrimientos científicos, probablemente conocidos de nuestros estudiantes, a los que prestaremos la atención apropiada en momentos posteriores del curso. Así, por ejemplo, J.J. Thomson (1856-1940), a finales del siglo XIX, descubrió que los rayos catódicos estaban constituidos por partículas con una determinada relación entre la carga y la masa que se denominaron electrones. El descubrimiento del electrón y el de la radioactividad permitieron que Ernest Rutherford (1871-1937) hiciera la primera propuesta de una estructura atómica, con una parte central, núcleo, muy pequeña dotada con una carga positiva y a su alrededor se situaban los electrones (carga negativa) a una distancia considerable. Era un “modelo planetario” del átomo que presentaba una imagen razonable pero su explicación no era definitiva pues presentaba graves problemas de estabilidad desde la perspectiva de la Física Clásica. La primera teoría definitiva se debe a Niels Bohr (1885-1962) al postular un modelo para el átomo de hidrógeno, manteniendo la idea planetaria, pero añadiendo la consideración de unas órbitas estacionarias caracterizadas por el hecho de que el electrón no irradiaba energía. Las órbitas permitidas correspondían a aquellas en las que el momento angular se relacionaba con la constante de Planck de una manera determinada. A esta conclusión llegó Bohr, como parece evidente, teniendo presente las ideas de Planck y Einstein, concluyendo que el átomo sólo emitía o absorbía energía cuando el electrón pasaba de una órbita permitida a otra.

El modelo de Bohr fue un éxito y, en seguida, aparecieron otros modelos relacionados con él que intentaban mejorar el conocimiento de la estructura atómica. Se abrieron diferentes frentes de investigación, muchos de ellos relacionados con el comportamiento del electrón, algunos de ellos ligados con el denominado efecto Zeeman (división de las líneas espectrales de un elemento en presencia de su campo magnético) cuya explicación definitiva se debe a los físicos holandeses Uhlenbeck (1900-1988) y Goudsmit (1902-1978) al señalar que el efecto Zeeman se puede explicar por el hecho de que los electrones no se encontraban todos en el mismo estado fundamental. La explicación se vio favorecida por el Principio de Exclusión, enunciado por Pauli (1900-1958), y utilizado por Bohr para establecer y explicar la tabla periódica de elementos. Entonces quedó claro que las propiedades de los distintos elementos se relacionaban con la distribución electrónica en la corteza de su estructura atómica. Las aportaciones de Einstein y de Planck ponían de manifiesto un carácter dual para la radiación y era un aspecto característico de la misma que no se ponía de manifiesto en la materia. El testigo lo recogió Louis de Broglie (1892-1983) al incorporar la idea de que la dualidad onda-corpúsculo se podía extender a la materia y, en consecuencia, atribuye a las partículas un carácter ondulatorio. Einstein apoyó estas ideas, pero no se

pudieron comprobar hasta observar experimentalmente la difracción de electrones, realizada por Davisson (1881-1958) y Germer (1896-1971), que mostró imágenes de interferencia características de las ondas, confirmando la hipótesis de De Broglie. A este respecto, parece razonable mencionar a J.J. Thomson (1856-1940) por poner de manifiesto la naturaleza corpuscular del electrón al medir la relación carga-masa del electrón y, curiosamente, su hijo G.P. Thomson (1892-1935), muchos años después, reconfirmó definitivamente su carácter ondulatorio mediante la realización de nuevos experimentos de difracción con rayos catódicos.

Esta descripción de marcado carácter histórico nos sirve para situar la Física Cuántica en el verdadero contexto que vamos a desarrollar en los dos primeros temas del programa de Fundamentos de Física III del que nos ocupamos a continuación. Los conceptos de onda y partícula fueron incorporados en el mundo de la Física a finales del siglo XIX sin dificultades especiales en su aceptación. Así, por ejemplo, la luz, considerada como una onda, intercambiaba energía en cantidades discretas o cuantos, característica asociada a las interacciones de las partículas. Cuando se descubrieron los electrones, eran partículas, presentaban los fenómenos de interferencia y de difracción cuando se propagaban por el espacio tal como sucede con las ondas. Esta situación no parece complicada pero conviene recordarla, al iniciar el tema primero, en la descripción física de “onda” y de “partícula”. Después recordamos algunas cuestiones, ya conocidas, sobre la naturaleza de la luz para poder concluir que como la luz intercambia energía en cantidades discretas, se puede concluir que la energía luminosa no es continua pues se encuentra cuantizada. El estudio de la naturaleza corpuscular de la luz nos conduce al concepto de una partícula denominada fotón. Los fenómenos corpusculares de la luz se comprenden estudiando los fenómenos conocidos como efecto fotoeléctrico que permite entender la aparición del fotón y la dispersión de Compton cuyos resultados se encuentran ligados al efecto fotoeléctrico. La primera aplicación del concepto de fotón sirvió para explicar su existencia, proceso en el que toda la energía del fotón se transfiere a un electrón. Por el contrario, en la dispersión de Compton sólo una parte de la energía del fotón se transfiere a un electrón y, además, permite explicar los resultados de la dispersión de los rayos X por electrones libres. A continuación nos ocupamos de las ondas materiales u ondas de materia que al margen de cualquier matización posterior, en principio, asimilamos a las partículas cuando nos referimos a su condición ondulatoria. Nos preocupa entender este concepto, así como sus características, empezando estableciendo las hipótesis de De Broglie para seguir con la interferencia y difracción de electrones. De estos planteamientos concluimos que, dadas las propiedades ondulatorias de los electrones y como la energía se encuentra asociada a la frecuencia de una onda estacionaria, comprobaremos que su energía también está cuantizada, es decir, no puede variar de forma continua sólo toma valores discretos. Esta idea, le permitió a Erwin Schrödinger, en 1926, formular la denominada Mecánica

Ondulatoria que, con la aportación de otros científicos, constituiría la Teoría Cuántica o Mecánica cuántica. En definitiva este procedimiento es una teoría matemática que permite describir el movimiento de una partícula mediante una función de onda que es la solución de una ecuación de onda o ecuación de Schrödinger, cuya forma o estructura depende de las fuerzas que actúan sobre la partícula, descritas por las funciones de energía potencial asociadas a estas fuerzas.

La interpretación de la función de onda es nuestra siguiente preocupación, pues proporciona información valiosa acerca de la partícula. Por ejemplo, la densidad de probabilidad es la probabilidad por unidad de volumen, de encontrar la partícula en un elemento de volumen y se relaciona con la función de onda. Así mismo, mediante la condición de normalización se imponen determinadas restricciones a las posibles soluciones de la ecuación de Schrödinger.

Para terminar este primer tema tratamos algunos sistemas físicos con la intención de entender mejor el sentido de la Física Cuántica y poner de manifiesto que es el fundamento para comprender los sistemas atómicos y subatómicos. El estudio de otros sistemas cuantizados como el oscilador armónico (que desde una perspectiva diferente trataremos así mismo en el segundo tema) y el átomo de hidrógeno pueden aportar ideas claras y sugerentes de esta parte de la Física. El segundo tema del programa de esta asignatura se dedica plenamente a diferentes aplicaciones de la ecuación de Schrödinger. La ecuación de Schrödinger es tan fundamental en la Física Cuántica como las leyes de Newton o las ecuaciones de Maxwell en la Física Clásica por ello se justifica plenamente dedicar un tema a estudiar su significado y las aplicaciones de esta ecuación en diferentes situaciones y sistemas cuánticos-mecánicos que, además, permitirá entender mejor la “nueva Física”. Como pondremos de manifiesto, en algunas situaciones, puede parecer que presenta un claro desacuerdo con la idea clásica de la Física.

Esta ecuación nos permite entender la dualidad onda-partícula analizada en el tema primero y nos ayuda a predecir, con bases teóricas, los niveles de energía de un determinado elemento y que, gracias al modelo de átomo de Bohr para el hidrógeno, se pueden combinar los principios clásicos con nuevas ideas inconsistentes con la Física Clásica por lo que es necesario plantear las desviaciones drásticas respecto a los conceptos clásicos. En definitiva, la Mecánica Cuántica, cuya estructuración como disciplina científica comienza en 1920, nos permite ampliar o profundizar el concepto de dualidad onda-partícula. No se modela una partícula, por ejemplo, de una manera determinada e inherente, al no poder ser descrita un punto o posición y una velocidad perfectamente definida, sino que, además, tiene un comportamiento ondulatorio. Nos proponemos, comprender los átomos y las moléculas, su estructura de espectros y el comportamiento químico, entre otras propiedades. Así, ponemos de manifiesto una unidad en la descripción válida tanto para la partícula como para la radiación. Pondremos de manifiesto que la ecuación de Schrödinger es una “ecuación de



onda” cuyo concepto y estructura ha sido estudiado en cursos anteriores (por ejemplo, recordar la ecuación de onda de un movimiento armónico). En esta ocasión se trata, en general, de una ecuación en derivadas parciales en el espacio y en el tiempo, así como de la energía potencial (en este caso es dependiente del tiempo). Se puede establecer esta ecuación de manera que sea independiente del tiempo situación que, por ejemplo, puede darse cuando nos referimos a las ondas estacionarias caracterizadas por una energía potencial dependiente solamente de la posición de la partícula.

Cuando las partículas se comportan como ondas se puede describir su comportamiento mediante una función de onda que es una solución de la ecuación de Schrödinger y permite determinar los niveles de energía posibles para un sistema. Algo importante que nos puede facilitar la función de onda es la “probabilidad” de encontrar una partícula en una región determinada y, por otra parte, un resultado sorprendente al existir una probabilidad distinta de cero para que las partículas microscópicas puedan atravesar barreras delgadas de potencial, fenómeno sin una explicación clásica. Como hemos anticipado, en primer lugar, presentamos la Ecuación de Schrödinger en situaciones sencillas como es el problema de una partícula en una caja para continuar estudiando la situación en la cual la partícula se encuentra confinada en una región del espacio y estudiaremos la forma en que las condiciones de contorno permiten explicar la “cuantización de la energía”. Nos referimos a dos problemas típicos como es el estudio de una partícula en un pozo de potencial rectangular e infinito cuya resolución la planteamos mediante la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo, un caso semejante se refiere al estudio de una partícula en un pozo rectangular finito. A continuación determinamos la función de onda y los niveles energéticos para un sistema conocido en la Física Clásica como es el oscilador armónico que también tiene su interés en los fenómenos cuánticos. Basta recordar que este dispositivo consiste en una masa que oscila entre dos posiciones y que, como sabemos, en función del valor de su energía potencial puede realizar pequeñas oscilaciones alrededor de una posición de equilibrio estable (esta situación tiene interés, pues reproduce la oscilación en algunas moléculas biatómicas), estableciendo para esta situación la ecuación de Schrödinger y obteniendo su solución general se puede estudiar su función de onda y los niveles energéticos de este modelo.

Como tendremos ocasión de mostrar, los fenómenos presentados se han relacionado con problemas de estados ligados para los cuales la energía potencial es mayor que la energía total en ciertos valores de la posición de la partícula. Ahora, para concluir este tema de carácter práctico, presentamos algunos casos sencillos de estados no ligados en los cuales la energía total del sistema es mayor que la energía potencial. Esta situación tiene especial interés para estudiar algunas propiedades de las ondas electrónicas como puede ser, por ejemplo, los fenómenos de reflexión y refracción, íntimamente ligados con el fenómeno conocido como “penetración de una barrera”, en la que una partícula incide con una energía

inferior a la energía potencial, caracterizada por la barrera, que intenta atravesar. En los términos explicados por la Física Clásica la partícula sería siempre reflejada, sin embargo, en términos cuánticos la situación es diferente. Una onda incidente en estas condiciones su energía no decrece de inmediato a cero sino que lo hace exponencialmente y, en consecuencia, existe cierta probabilidad de que la partícula pueda atravesar la barrera. Tendremos ocasión de explicar este fenómeno con el lenguaje adecuado y preciso en el desarrollo del tema pues se trata de un efecto muy conocido e importante denominado efecto túnel cuántico.

## BLOQUE 2.- Estructura de la materia. Temas 3, 4 y 5.

### Resultados del aprendizaje:

- Comprender la estructura física de un átomo.
- Conocer el modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno.
- Utilizar el modelo de Bohr para explicar el espectro discreto de los átomos de hidrógeno.
- Establecer la teoría cuántica de los átomos.
- Relacionar la teoría cuántica de los átomos con la ecuación de Schrödinger.
- Resolver la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo para el átomo de hidrógeno.
- Comprobar que la función de onda en el átomo de hidrógeno depende de los números cuánticos  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  y  $m_s$ .
- Enunciar el principio de exclusión de Pauli y analizar sus posibles relaciones con los números cuánticos.
- Establecer la Tabla periódica de los elementos aplicando el principio de exclusión de Pauli y las restricciones que deben cumplir los números cuánticos.
- Entender el efecto espín órbita.
- Comprender el desdoblamiento de las líneas espectrales o estructura fina en los espectros atómicos.
- Aprender a caracterizar los espectros atómicos y diferenciar entre los espectros ópticos y los espectros de rayos X.
- Comprender la estructura de las moléculas.
- Definir y comprender los diferentes enlaces que permiten la formación de moléculas.
- Entender la emisión de radiación electromagnética de las moléculas y aprender a caracterizar esta emisión.
- Conocer el origen de la energía interna de una molécula.
- Diferenciar las moléculas biatómicas de las poliatómicas.
- Caracterizar los espectros moleculares.
- Conocer la estructura de los sólidos.

- Entender el concepto de energía potencial en relación con la estructura de un sólido.
- Comprender el modelo microscópico de la conducción eléctrica.
- Diferenciar entre la interpretación clásica y la cuántica en el modelo de conducción eléctrica.
- Conocer el gas de electrones de Fermi.
- Establecer la teoría de bandas de sólidos.
- Definir a los semiconductores.
- Entender el fenómeno de superconductividad.

**Contextualización:**

En este apartado de “Contextualización” intentamos dar continuidad a los temas tratados. Entendemos que esta continuidad tiene un especial significado en este estudio dedicado a la “Física Moderna” que, como hemos anticipado, parece ser el resultado de la yuxtaposición de diferentes cuestiones físicas, con independencia del momento de su inclusión en el mundo científico. Hemos visto en los dos primeros temas que la Mecánica Cuántica se trata de una “herramienta” más completa para estudiar diferentes cuestiones que no es posible realizar con los instrumentos matemáticos anteriores y con los conocimientos físicos que poseíamos. Recurriendo a palabras más sencillas, podemos considerar que cuando un científico se acerca a un nuevo fenómeno o aspecto físico, para estudiarlo o comprenderlo, en primer lugar, recurre a los conocimientos así como a los algoritmos matemáticos conocidos para llegar a una explicación coherente y satisfactoria.

Cuando el procedimiento no se puede llevar a buen destino, es imprescindible incorporar nuevas consideraciones, nuevos modelos y aspectos matemáticos innovadores que permitan expresar con la precisión adecuada los aspectos innovadores. El estudio de la estructura de la materia, que ahora presentamos, se diseña en dos niveles. En el primero, de carácter externo o macroscópico, del que resulta unos conocimientos o comportamientos físicos de fácil formulación. Salvando las distancias, nos referimos a aspectos físicos sencillos: el color, la dureza, la elasticidad, la densidad, etc. Son cuestiones o aspectos de sencilla apreciación. Por el contrario, el otro nivel de conocimiento, se refiere a lo microscópico, cuya apreciación requiere un tratamiento diferente y una explicación diferente. En las cuestiones que vamos tratar en este tema comenzamos con los aspectos generales de la materia. Es decir, nos referimos a fenómenos que tienen lugar en las “dimensiones pequeñas”, cuya explicación es diferente.

**Orientaciones sobre los contenidos de los temas:**

En una primera aproximación, podemos suponer que cualquier persona puede diferenciar el tipo de objetos que nos rodean, incluso, agruparlos y diferenciarlos en sólidos, líquidos y gases. En un segundo paso, es fácil distinguir algunos aspectos físicos y químicos, como la dureza, la conductividad eléctrica, color, densidad, etc. Ahora, queremos presentar otros aspectos más profundos, es decir, su estructura interna, para ello, analizaremos los

componentes o partículas que forman parte de los átomos y las moléculas, sin olvidar la estructura de los sólidos.

Nuestro interés inicial es conocer la composición de la estructura atómica y subatómica que es gobernada con las leyes de la Mecánica cuántica estudiada en los temas anteriores. Este estudio, como es fácil de imaginar, se desarrolló en el campo de la Física hacia mediados del siglo XX cuando se habían asentado los desarrollos cuánticos, hasta el punto que constituyó una nueva disciplina física, Física del estado sólido, que pronto adquirió gran significación tanto desde el punto de vista teórico como tecnológico. En la actualidad, la Física ha llegado a un grado muy elevado de detalle al determinar y conocer el comportamiento de partículas muy pequeñas así como la posibilidad de diseñar nuevas partículas para una finalidad determinada. Nos referimos a la Nanociencia que estudia los nuevos fenómenos que suceden en los objetos de tamaño nanométrico (un nanometro es una millonésima de milímetro) mundo que es gobernado mediante las leyes de la mecánica cuántica. Así mismo, en paralelo, se debe considerar la Nanotecnología que se relaciona con el aprovechamiento o aplicaciones de la nanociencia en la que convergen, además, de la Física, otras ciencias como la Química, la Biología y la Ingeniería.

Se suele considerar que el nacimiento de la Nanociencia surgió en 1959 cuando Richard Feymann pronunciaba una charla titulada “Hay mucho sitio al fondo”, se preguntó, por primera vez, por el potencial tecnológico que supondría la manipulación de las estructuras en la “nanoescala”. El comienzo tuvo lugar en 1981 gracias a la invención del Microscopio de Efecto Tunel (Scanning Tunneling Microscope), en siglas STM, instrumento que permitió visualizar y manipular los átomos de una forma relativamente sencilla por primera vez. Desde entonces se aprecia un desarrollo exponencial que ha permitido el desarrollo de materiales presentes en nuestra vida cotidiana. Por ejemplo, en las cabezas lectoras de los discos duros y lectores de MP3s, entre otros. La utilización del STM permitió a los investigadores comprender los extraños fenómenos que tienen lugar cuando interaccionan los átomos y las moléculas con la superficie de otros materiales. En esta actividad científica, como hemos apuntado, se han incorporado otras disciplinas científicas, trabajando en problemas tan relevantes como el grafeno, diseño de nano partículas para la biomedicina, moléculas funcionales o en nanoóptica, entre otros.

A continuación ilustramos lo dicho con algunas referencias acerca de la importancia y la significación de la nanociencia. Así, por ejemplo, el grafeno es un material descubierto en 2004, formado por una estructura laminar plana, cuyo espesor es de un átomo, compuesta por átomos de carbono densamente empaquetados en una red cristalina en forma de panal de abeja mediante enlaces covalente y constituido a partir de la superposición de un cierto tipo de carbonos. La capacidad de conducción del grafeno es muy superior a la de los metales y, en consecuencia, su utilización implica un ahorro de energía. Se aplica en informática, electrónica y comunicaciones. Las aplicaciones en el campo de la medicina de la

nanociencia son muy importantes. Algunos ejemplos: búsqueda de nuevas moléculas con capacidad antitumoral, tratamientos de enfermedades del sistema nervioso central, nuevos antibióticos, fármacos para las “enfermedades olvidadas”, tratamiento para el Parkinson (trastorno neurológico que supone la reducción significativa de dopamina que produce impulsos nerviosos incontrolados) mediante la creación de neuronas obtenidas a partir de células madre que se introducen en áreas específicas del cerebro.

De esta manera, hemos puesto de manifiesto la importancia de la estructura de la materia en el desarrollo de la Física y la enorme variedad de caminos que se abren frente a estos conocimientos de indudable beneficio social en la vida cotidiana. Así mismo, también es necesario destacar su importancia para el desarrollo científico la integración de diferentes ramas científicas.

Los tres temas que constituyen este segundo Bloque los dedicamos al estudio de la estructura de la materia, comenzando por el sistema más sencillo, el átomo, continuando con el estudio de la molécula, considerada, en principio, como un conglomerado de átomos, diferentes o iguales, para concluir con la estructura, sin duda, más compleja, que corresponde al sólido. Este camino, de lo más sencillo a lo más complejo, pensamos que coincide con el proceso de aprendizaje seguido por los estudiantes de esta asignatura en los estudios previos realizados. Como no puede ser de otra manera, intentamos mejorar o completar los conocimientos adquiridos y, siempre que sea posible, recurriremos a las leyes de la Mecánica Cuántica para su completa explicación; no obstante, como la utilización de los conceptos cuánticos son limitados, también utilizaremos otras aproximaciones con la finalidad de conseguir la mejor descripción posible.

El átomo es una estructura básica de los más de cien elementos químicos conocidos y es característico de cada uno de ellos. Los átomos se diferencian mediante el número atómico,  $Z$ , que coincide con el número de electrones que posee y que, también, es igual al número de protones. Una primera clasificación posible de los elementos es la realizada atendiendo al número atómico así, por ejemplo, cuando  $Z = 1$  el elemento es el hidrógeno y es el elemento más ligero; a continuación, viene el que corresponde al  $Z = 2$ , asociado al helio, después, le sigue el litio en que  $Z = 3$ . Proceso que se puede extender a todos los elementos que constituyen la Tabla Periódica de los elementos que, en este tema estudiaremos con algún detalle.

Las partículas que constituyen la estructura del átomo son de tres clases: electrones, protones y neutrones. Se distribuyen en dos partes: la corteza y el núcleo. La primera está formada, únicamente, por electrones situados en diferentes órbitas en torno a un núcleo en que se ubican los protones y los neutrones y en el que consideramos concentrada toda la masa del átomo. Como veremos, se trata de dimensiones muy pequeñas, por ejemplo, el radio nuclear oscila entre 1 y 10 fm [fm representa una magnitud física denominada fentometro o fermi ,  $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ ] y la distancia entre el núcleo y los electrones es en

torno a 0,1 nm (100 000 fm). El número de electrones así como su distribución en un átomo se relaciona con las propiedades físicas y químicas del elemento a que pertenece. El núcleo posee carga positiva (está constituido por protones -positivos- y los neutrones –sin carga eléctrica); el núcleo del elemento de número atómico  $Z$ , tiene una carga positiva  $+Ze$  ( $e$  es la carga del electrón) y la carga negativa de la corteza para el mismo elemento es  $-Ze$ ; por tanto, los átomos son elementos eléctricamente neutros. Los átomos pueden ganar o perder electrones y, entonces, se convierten en iones (están eléctricamente cargados).

Es frecuente que en Física se recurra a modelos para estudiar diferentes sistemas que permiten una primera aproximación a su mejor comprensión. De esta manera procedemos para el estudio del átomo, recurrimos al Modelo de Bohr del átomo de hidrógeno, propuesto por Niels Bohr a principios del siglo XX. Es un modelo semiclásico diseñado para dar una explicación a los espectros electromagnéticos emitidos por los átomos de hidrógeno, tiene algunas deficiencias pero se ha utilizado con éxito para explicar los fenómenos atómicos como la estructura de los átomos. Nosotros también empezaremos estudiando este modelo de Bohr para comprender la estructura atómica. El paso siguiente será aplicar algunas cuestiones cuánticas a este modelo, con lo que obtendremos la teoría cuántica del átomo de hidrógeno, que nos permitirá establecer los niveles energéticos del hidrógeno, definiremos los números cuánticos y, para finalizar, estudiaremos el efecto espín-órbita así como la estructura fina. Veremos el proceso de construcción y funcionamiento de la Tabla Periódica de los elementos y para terminar haremos referencia a determinados aspectos relacionados con los espectros ópticos y espectros de rayos X.

El tema 4 lo dedicamos al estudio de las moléculas. Conocemos que la mayor parte de los átomos se unen entre sí dando lugar a moléculas o sólidos de diferente naturaleza. Así, por ejemplo, algunas moléculas se pueden encontrar combinadas, con entidad propia, como sucede con las moléculas de oxígeno,  $O_2$ , y nitrógeno,  $N_2$ . En otras ocasiones, se pueden combinar distintos átomos para formar otras sustancias que, pueden ser, sólidas o líquidas. Una buena ayuda para precisar el concepto de molécula es considerar que se trata del constituyente más pequeño de una sustancia que conserva sus propiedades químicas. Iniciaremos el estudio de las moléculas deteniéndonos en los diferentes tipos de enlace molecular (iónico, covalente y Van der Waals, entre otros), haremos una referencia a un tipo especial de moléculas, como las moléculas biatómicas, de especial interés como tendremos ocasión de poner de manifiesto y, además, sobre ellas trataremos de aplicar algunas de las leyes cuánticas vistas en este curso. Terminaremos el tema con algunas referencias a los espectros moleculares.

Como hemos dicho, el último tema de este bloque, lo dedicamos a los sólidos cuyo estudio es más complejo y que abordaremos con algunas limitaciones. Existe cierto acuerdo entre los estudiosos de la historia de la Física, en considerar que el estudio de los sólidos comenzó a principios del siglo XX con la elaboración de un modelo microscópico de la

conducción eléctrica. Este modelo explicaba satisfactoriamente que la intensidad de corriente eléctrica debe ser proporcional a la diferencia de potencial, tal como indica la ley de Ohm, así mismo, establece que la resistividad eléctrica de cualquier conductor se vincula con la velocidad media y el recorrido libre medio de los electrones libres en el interior del conductor. Aplicando la Física Clásica, se aprecia cierta discordancia entre los valores calculados y los valores medidos de la resistividad y, por otra parte, tampoco concuerda su dependencia entre la temperatura pronosticada y la observada. La explicación clásica no proporciona una explicación correcta acerca de la resistividad de los metales. Mediante el planteamiento clásico tampoco obtenemos información sobre los diferentes tipos de sólidos. Nos referimos a que existen sólidos que son conductores, otros que son aislantes y otros semiconductores (materiales con una resistividad intermedia entre la de los conductores y aislantes). Esta situación nos obliga a recurrir a la interpretación cuántica para el valor y la dependencia con la temperatura de la resistividad para obtener una predicción correcta. Por otra parte, esta teoría nos puede permitir determinar los diferentes tipos de sólidos.

### BLOQUE 3.- Relatividad especial. Tema 6.

#### **Resultados del aprendizaje:**

- Comprender el significado físico del éter.
  - Entender la importancia de la velocidad de la luz en Física.
  - Conocer algún procedimiento para medir la velocidad de la luz.
  - Diferenciar sistemas de referencia inerciales y no inerciales.
  - Comprender los principios de la Teoría Especial de la Relatividad.
  - Conocer los problemas de la Física que resuelve la teoría especial de la Relatividad.
  - Conocer y aplicar la transformación de Lorentz.
  - Calcular la transformación inversa de Lorentz.
  - Conocer en qué condiciones se establece la dilatación del tiempo así como sus consecuencias en los fenómenos físicos.
  - Determinar la dilatación del tiempo.
  - Conocer en qué condiciones tiene lugar la contracción de longitudes así como sus consecuencias en los fenómenos físicos.
  - Establecer el efecto Doppler relativista.
  - Conocer el fenómeno de sincronización relativista.
  - Definir la simultaneidad relativista.
- 
- Entender por qué distintos observadores pueden discernir acerca de si dos sucesos son simultáneos.

- Aplicar el fenómeno de sincronización a los relojes.
- Entender la manera en que la relatividad predice que los relojes que se mueven se hacen lentos y la evidencia experimental que lo confirma.
- Comprender la paradoja de los gemelos.
- Establecer la transformación relativista de velocidades.
- Entender el procedimiento de cómo la velocidad de un objeto depende del sistema de referencia desde el que se observa.
- Diferenciar la “velocidad relativa de las velocidades no relativistas”..
- Definir el momento lineal relativista.
- Establecer la conservación del momento lineal relativista.
- Definir la energía relativista.
- Establecer el principio de conservación relativista.
- Diferenciar entre energía en reposo y energía relativista.
- Definir la masa y la energía en los fenómenos relativistas.

**Contextualización:**

La Teoría Especial de la Relatividad, junto con la Teoría Cuántica o Mecánica Cuántica, estudiada al comienzo de esta asignatura, son las más importantes teorías físicas aparecidas en los comienzos del siglo XX. Ambas han aportado importantes herramientas para el estudio y mejor comprensión de la naturaleza así como un desarrollo tecnológico nada despreciable.

La Relatividad se refiere, en esencia, a la comparación entre las medidas realizadas en diferentes sistemas de referencia inerciales que se mueven con velocidad constante uno respecto a otros. Sus consecuencias se pueden aplicar a diferentes fenómenos físicos recurriendo a unas herramientas matemáticas sencillas. En 1916, Einstein formuló una Teoría General de la Relatividad referida a los sistemas de referencia acelerados y a la gravitación, cuyo desarrollo matemático y conceptual no parecen apropiados para estudiar en esta asignatura. Ya hemos visto que la Mecánica Cuántica es imprescindible para mejor comprender la estructura de la materia, sobre todo, la referida a la dimensión atómica o subatómica. Dicho en un lenguaje coloquial, se refiere al mundo pequeño o muy pequeño que por los procedimientos normales no somos capaces de apreciar o diferenciar. Por el contrario, la relatividad se inclina por los fenómenos de grandes dimensiones y por las grandes velocidades, también complicadas de estimar con los procedimientos habituales de observación. Como tendremos ocasión de poner de manifiesto la Relatividad se puede aplicar a todas las ramas de la Física, así mismo, pondremos de manifiesto las diferencias existentes, en algunos fenómenos físicos al utilizar las doctrinas relativistas y no emplearlas.



**Orientaciones sobre los contenidos de los temas:**

Con cierta imprecisión se atribuye la Teoría de la Relatividad a Albert Einstein, tal vez uno de los grandes científicos de todos los tiempos, cuando en 1905 publicó un artículo, que se refiere a la comparación entre las medidas realizadas en diferentes sistemas de referencias inerciales que se mueven con velocidad constante unos respecto a otros. Sus resultados se aplican en gran variedad de problemas científicos y tecnológicos. A esta primera teoría se conoce como Teoría Especial de la Relatividad (TRE) y a ella nos vamos a referir en el presente curso. No obstante, diez años después, enunció la conocida como Teoría general de la relatividad (TGR), por este motivo hemos hecho, al comenzar, una alusión a la “imprecisión” pues se trata de dos teorías totalmente diferentes. La TRG se ocupa de los sistemas de referencia acelerados y de la gravedad y se aplica, especialmente, en los fenómenos relacionados con la gravitación y la cosmología. La complejidad matemática y, en cierto modo, también conceptual, nos inclina a no abordarla en esta signatura ni en este curso académico.

Cuando se habla, tanto de la TRE como de la Mecánica Cuántica, es frecuente añadir que suponen un salto o rotura respecto a la Física Clásica e, incluso, se hace alguna alusión a la dificultad de su comprensión por parecer muy separada de esta. Las leyes de Newton establecen que los conceptos físicos de tiempo y espacio son iguales para diferentes observadores de un mismo fenómeno físico. Estas ideas newtonianas se rompían cuando la observación de un mismo fenómeno podría diferir, así ocurría, por ejemplo, cuando de los dos observadores, si uno de ellos estuviera moviéndose relativamente con respecto al otro a velocidades próximas a las de la luz. La física newtoniana no podía explicar esta situación que había sido observada por un prestigioso físico holandés, Lorentz, que con anterioridad a la aparición de la TRE había puesto de manifiesto que el electromagnetismo tampoco encajaba en esa Física. Además, mientras que un observador apreciaba la inexistencia de un campo magnético, otro podía observar dicho campo magnético en el mismo espacio físico.

Este modelo newtoniano permaneció hasta el siglo XIX en el que al ponerse de manifiesto las interacciones electromagnéticas entre partículas cargadas en movimiento para su explicación era necesario recurrir a fuerzas dependientes de la velocidad y de la aceleración que daría lugar al establecimiento del concepto de campo electromagnético aportado por los trabajos de Faraday y de Maxwell. Era consecuencia de la existencia de los campos eléctricos y campos magnéticos, ligados a las partículas cargadas, concebidos como estados de un medio mecánico, éter electromecánico que, en principio, era explicado mediante modelos mecánicos del mismo, no en vano, la visión mecánica newtoniana de los fenómenos físicos había arraigado con fuerza en el mundo de la ciencia. Al final, el establecimiento de las Ecuaciones de Maxwell facilitó una descripción completa de los estados de los campos eléctrico y magnético en el espacio así como la variación con el

tiempo.

Las ecuaciones de Maxwell relacionan los vectores campo eléctrico y campo magnético con sus agentes productores (cargas y corrientes eléctricas, campos variables). Están constituidas por las cuatro leyes experimentales que gobiernan los fenómenos relacionados con la Electricidad y el Magnetismo: Coulomb, Gauss, Biot y Savart, Ampère-Faraday. Todas ellas, con excepción de la última, se cumplen en todos los fenómenos magnéticos. La ley de Ampère no es aplicable a las denominadas corrientes discontinuas (las que se producen, por ejemplo, en la carga y descarga de un condensador). Maxwell generalizó esta ley introduciendo el concepto de corriente de desplazamiento. De estas ecuaciones, Maxwell dedujo el concepto de ondas electromagnéticas originadas mediante la aceleración de cargas eléctricas y fueron producidas experimentalmente, por primera vez, por Hertz en 1887.

En los primeros años del siglo XX, Lorentz (1853-1928), preocupado por las cuestiones aportadas por Maxwell, llega a la conclusión de que los campos eléctricos y magnéticos se podían considerar como estados fundamentales del éter y se podían explicar mediante las Ecuaciones de Maxwell. Con este planteamiento, las partículas cargadas verificaban las leyes mecánicas del movimiento newtonianas, si bien, las fuerzas podían ser eléctricas o magnéticas, eran ejercidas por el éter y, además, las partículas cargadas creaban estos campos debido a la presencia y movimiento a través del éter. Esta postura de Lorentz, desde una perspectiva contemporánea, se puede considerar como una postura de compromiso al aceptar la visión mecánica del mundo aplicada a las partículas cargadas al tiempo que se consideraba al éter como un elemento más de la realidad, independiente y no explicable mecánicamente. En estos momentos de la evolución de la Física que hemos descrito, en relación con nuestro interés, podemos resumir que, en los comienzos del siglo XX, estaba claro que la luz era una radiación u onda electromagnética que se propagaba con una velocidad que depende de las características físicas del medio en que se propaga. Esta situación despertó el interés de los científicos en estudiar fenómenos ópticos encaminados en aclarar la estructura de la luz, es decir, dilucidar si su naturaleza era ondulatoria o corpuscular.

Recordamos que desde la ciencia griega, la propagación de la luz supone que la luz era un transporte de energía que proviene de la fuente productora. Esta imagen fue dada por Pitágoras (582-507 aC) al considerar este proceso como un chorro de partículas emitidas desde la fuente emisora y, además, considera que la propagación de la luz se realiza en línea recta y puede atravesar el vacío. Por otra parte, en el siglo XVII surgen las primeras teorías acerca de la estructura o naturaleza de la luz que considera la luz como una onda que se propagaba en un medio físico denominado éter, cuya estructura no estaba completamente definida. Sus impulsores fueron los científicos Robert Hooke (1635-1703) y Christiaan Huygens (1629-1695). Al mismo tiempo, existía la teoría corpuscular que

consideraba, como hemos anticipado, a la luz formada por pequeños corpúsculos cuyo impulsor fue Newton (1643-1727), si bien nunca se comprometió con alguna de las dos teorías de la luz pues en determinados experimentos por él diseñados, solamente se podía explicar satisfactoriamente recurriendo a la existencia del éter, considerado como un medio que interaccionaba con los corpúsculos constituyentes de la luz (así ocurría, por ejemplo, con los anillos de Newton).

Estas dos teorías, corpuscular y ondulatoria, son las únicas perfectamente definidas que se ocuparon de describir la naturaleza de la luz y su propagación. Durante muchos años, ambas teorías eran consideradas como exclusivas, pues aceptar una suponía el rechazo de la otra. En la actualidad, la situación es diferente, pues el comportamiento de la luz se puede incluir en uno u otro modelo, situación a la que nos hemos referido con anterioridad. Como se ha apuntado, en un principio, parecía que la explicación de la teoría ondulatoria de la luz estaba ligada a la existencia de un medio o soporte, el éter luminífero, para su propagación. Esta cuestión fue objeto de interés para muchos científicos con la doble finalidad de entender conceptualmente al éter y determinar su comportamiento en la propagación de la luz. Así, por ejemplo, recordamos que en 1800, Thomas Young (1773-1892) realiza una propuesta en la que el éter desempeña un papel determinante, al considerar que, la diferencia de la velocidad de la luz, en los distintos medios es una consecuencia de la diferente “cantidad del éter” en los distintos medios. Considera que al propagarse la luz como una onda, el movimiento de la Tierra a través del éter no afecta a este medio solamente es el soporte de las ondas luminosas. Es decir, la Tierra no arrastra, en su movimiento, al éter y viene a decir que el éter luminífero impregna a la sustancia de todos los cuerpos materiales ejerciendo una resistencia más o menos grande.

De lo dicho, se desprende, por una parte, la carencia de un conocimiento preciso acerca de la realidad física del éter, pues parece “algo indeterminado” que, tanto se puede incluir o formar parte de la sustancia de otros cuerpos y, también, ocupa el espacio interestelar, en el cual se propagan las ondas luminosas y se mueven los planetas, entre ellos, se encuentra la Tierra. A nuestro entender, parece existir una especial preocupación para comprender o discernir sobre la posibilidad del arrastre del éter por la Tierra en su movimiento. Sin duda, era el problema que más atraía, situación que puede entenderse, dada la influencia fuerte de las teorías newtonianas pues parecía imposible ocultar cualquier idea que pudiera ensombrecer al fundador de la misma.

El camino recorrido fue largo y lleno de aportaciones en el que no consideramos oportuno detenernos, solamente nos detenemos en el año 1845, cuando C.G. Stokes (1819-1903), considera que el éter es arrastrado por la Tierra de manera análoga a como lo hacen las capas de un fluido debido a la fricción cuando se mueve en su interior. Poco después, Lorentz pudo demostrar que este resultado era incompatible con el movimiento existente en las proximidades de la Tierra. La Tierra no arrastra en su movimiento al éter pero existe un

cierto arrastre parcial. Esto es, la Tierra se mueve con respecto al éter y, por tanto, el tiempo que tarda un rayo de luz en recorrer la distancia entre dos puntos de la superficie de la Tierra es diferente según lo haga en el sentido del movimiento de la Tierra o en sentido opuesto. Además, se puede justificar que cuando un rayo de luz va y vuelve por el mismo camino, el efecto del movimiento de la Tierra es muy pequeño. La perspectiva actual es bien diferente, no se encuentra ligada a los fenómenos ópticos sino a los fenómenos electromagnéticos y a las Ecuaciones de Maxwell, así como, a la determinación del movimiento de un sistema con respecto al éter, utilizado en la teoría electromagnética de Maxwell que, como sabemos, nació en un contexto ajeno pues lo hizo en el ámbito de la óptica. En este punto, debemos situar el nacimiento de la Teoría Especial de la Relatividad que fue profundamente innovador e impensable en el contexto científico de ese momento.

En 1905, en la prestigiosa revista alemana científica *Annalen der Physik*, aparece un artículo titulado *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, cuyo autor era un desconocido no perteneciente a ninguno de los centros de investigación relevantes del momento. El autor era Albert Einstein (1894-1955), alemán que había estudiado en el Instituto Politécnico de Zurich y realizaba un trabajo técnico en la Oficina de Patentes de Berna. Este artículo fue recibido en el mundo de la ciencia con cierta sorpresa y, en principio, fue entendido por un número reducido de científicos. El contenido de este artículo constituye la Teoría Especial de la Relatividad. Muchos años después Einstein escribió y publicó un texto, *Notas autobiográficas*, en el que dice que su intención al escribirlo era desarrollar una electrodinámica de los cuerpos móviles fundamentada en las teorías electrodinámicas de Maxwell para los cuerpos en reposo. Recurriendo a sus propias palabras dice La teoría de la relatividad especial debe su creación a las ecuaciones de Maxwell del campo electromagnético. Y a la inversa: estas últimas no son captadas formalmente de modo satisfactorio sino a través de la teoría especial de la relatividad.

Recurrimos a la “Introducción” del artículo “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, para encontrar la clave de un mejor entendimiento de esta nueva teoría. Dice: Ejemplos semejantes, como los intentos fallidos de constatar un movimiento de la Tierra relativo al “medio luminoso”, conducen a la sospecha de que el concepto de reposo absoluto no corresponde a ninguna propiedad de los fenómenos, no solo en la mecánica, sino también en la electrodinámica; por el contrario a que más bien son válidas las mismas leyes electrodinámicas y ópticas en los sistemas de coordenadas en los que son válidas las ecuaciones mecánicas, como se ha probado para las magnitudes de primer orden. Queremos elevar esta sospecha (cuyo contenido llamaremos... “Principio de la Relatividad”) a hipótesis, y además introducir la hipótesis, solo aparentemente incompatible con ella, de que la luz se propaga en el espacio vacío siempre con una velocidad determinada independientemente del estado de movimiento del cuerpo emisor. Estas dos hipótesis bastan para obtener una electrodinámica de los cuerpos en movimiento sencilla y libre de

contradicciones, basada en la teoría de Maxwell para los cuerpos en reposo. La introducción de un “éter luminoso” aparecerá como superflua puesto que, según el desarrollo que presentaremos, ni se introducirá un “espacio absolutamente en reposo” con propiedades especiales, ni se asignará un vector velocidad a un punto del espacio en el cual tienen lugar los procesos electromagnéticos. En el presente tema estudiaremos la Teoría Especial de la Relatividad y comprobaremos que supone plantear revisiones drásticas a los conceptos newtonianos de espacio y tiempo. Esta teoría supone cambios de gran alcance en nuestra comprensión de la naturaleza.

Anticipamos que muchos de los resultados que presentamos en este capítulo pueden contradecir nuestra intuición pero, en todos los casos, la teoría concuerda sólidamente con las observaciones experimentales. Al margen de posteriores matizaciones podemos señalar que la nueva teoría se encuentra fundamentada en dos principios sencillos: a) Las leyes de la Física son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales y b) la velocidad de la luz es la misma en todos los sistemas de referencia inerciales. De estos principios se deducen implicaciones de gran trascendencia.

Como hemos indicado solamente estudiamos la Teoría Especial de la Relatividad (en algunos textos se denomina Teoría Restringida de la Relatividad). Comenzamos con un recordatorio de algunas cuestiones de la mecánica newtoniana que nos permitirá establecer algunas características de los sistemas de referencia tanto inerciales como no inerciales para definir la relatividad newtoniana, sustentada en el principio de la imposibilidad de detectar el movimiento absoluto. Planteamos, a continuación, algunas consideraciones acerca de la velocidad de luz y presentamos algunas características físicas sobre el éter y las dificultades que supone su consideración en el estudio de ciertos fenómenos físicos. Explicamos, a continuación los “Postulados de Einstein” de sencillo enunciado pero que permiten el estudio de, por ejemplo, la dilatación del tiempo, la contracción de longitudes y el efecto Doppler relativista, cuya versión clásica es conocida por el estudiante. Previamente, como soporte matemático habremos establecido las ecuaciones de la transformación de Lorentz y plantearemos las diferencias con las ecuaciones de la transformación de Galileo. Seguimos analizando los conceptos de sincronización y simultaneidad que acompañamos de aplicaciones de interés para comprender los fenómenos físicos desde una nueva perspectiva. Para finalizar reformulamos algunas magnitudes físicas desde el punto de vista relativista: momento lineal, energía, leyes de conservación, masa y energía.

#### BLOQUE 4.- Física Nuclear y de Partículas.Temas 7 y 8.

##### **Resultados del aprendizaje:**

- Conocer la composición general de un núcleo atómico.
- Definir el tamaño, la forma y la densidad de un núcleo atómico.
- Conocer la relación entre energías atómicas y nucleares.
- Entender la idea de defecto de masa y energía de enlace.
- Entender la estabilidad de los núcleos a partir de la curva de energía de enlace por nucleón.
- Explicar el fenómeno de la radiactividad.
- Conocer los mecanismos de fisión y fusión nuclear.
- Conocer los distintos tipos de desintegración nuclear.
- Caracterizar las leyes generales que gobiernan las diferentes desintegraciones nucleares.
- Entender las reacciones nucleares.
- Diferenciar entre reacción nuclear exotérmica y reacción nuclear endotérmica.
- Caracterizar las reacciones nucleares.
- Entender el funcionamiento de un reactor nuclear.
- Entender y caracterizar las interacciones básicas.
- Comprender el significado de las partículas elementales.
- Definir las dos familias fundamentales de las partículas elementales.
- Definir los hadrones.
- Enunciar las leyes de conservación por las que se rigen las partículas elementales.
- Diferenciar entre partículas y antipartículas.
- Conocer la estructura general del modelo estándar de partículas elementales.
- Conocer los principales números cuánticos.

**Contextualización:**

El estudio de la estructura del núcleo, parte fundamental del átomo, permite llegar a una nueva dimensión del estudio de la estructura de la materia. Cada átomo contiene un núcleo, situado en su centro, con una densidad elevada con carga positiva y contiene la mayor parte de su masa a pesar de su pequeño tamaño. Tal vez pueda sorprender, en un primer estudio, la existencia de una fuerza nuclear que garantiza su forma y algunas propiedades fundamentales. Sin duda el conocimiento del núcleo atómico incorpora una dimensión diferente al concepto primario del átomo, al margen de su dimensión. Es muy importante la posibilidad que presentan algunos núcleos de desintegrarse, transformándose de manera espontánea en otras estructuras, mediante diferentes procesos. Esta parte de la Física Moderna supone un aporte decisivo para llegar a un completo conocimiento de la estructura de nuestro entorno y del Universo.

**Orientaciones sobre los contenidos de los temas:**

Con el Bloque 4 profundizamos en el conocimiento de la estructura de la materia, nos ocupamos de analizar la composición física del núcleo, así como sus propiedades y posibles

aplicaciones. Para terminar nos ocupamos de las partículas elementales, las partículas más pequeñas existentes en el mundo físico, aprenderemos a caracterizarlas y veremos el papel que desempeñan en el mejor conocimiento del Universo, mediante el estudio de algunos modelos especialmente diseñados con esta finalidad. Como se desprende del título del Bloque vamos a estudiar la denominada Física Nuclear, de indiscutible significado en el Física del siglo XX. Para empezar, consideramos oportuno, situar este estudio en su contexto histórico. Tal vez, el primer acontecimiento nuclear estremecedor que permanece en la memoria de todos, tuvo lugar el 17 de agosto de 1945 cuando el gobierno norteamericano hizo explotar en la ciudad japonesa de Hiroshima, un artefacto llamado bomba atómica, con una potencia superior a la de todos los explosivos conocidos entonces. Dos días después, otro artefacto semejante explotó en Nagasaki. Fue el final de la segunda Guerra Mundial.

Estas explosiones eran la culminación de una historia que había comenzado 50 años antes, cuando en 1896 el físico francés Becquerel (1852-1908) había descubierto la radiactividad, un poco por casualidad. Este científico dejó inadvertidamente sobre una mesa de su laboratorio unas sales de uranio con las que estaba trabajando, junto a unas placas fotográficas que aparecieron misteriosamente veladas, a pesar de estar protegidas de la luz. Después de algunos ensayos, llegó a la conclusión de que el uranio era el responsable de este fenómeno. La explicación dada, era considerar que el uranio emitía una radiación análoga a la luminosa, pues velaba la placa fotográfica, pero más intensa, ya que era capaz de atravesar la envoltura que protegía a la placa. Este descubrimiento, no se podía explicar recurriendo a los conocimientos de la Física existente entonces y, desencadenó en el mundo de la ciencia un interés que finalizaría con un planteamiento nuevo sobre la naturaleza íntima de la materia.

Poco tiempo después, el matrimonio Pierre (1859-1906) y Marie (1867-1934) Curie, encontró que el torio emitía el mismo tipo de radiación que el uranio y que su intensidad era independiente del compuesto químico en el que se encontrara; es decir, se trataba de una propiedad a nivel atómico. Trabajando en estas cuestiones los Curie detectaron en un mineral de uranio (pechblenda de St. Joachimstal) una radiación de intensidad superior que correspondía a su contenido de uranio, lo que les llevó a pensar en la posible existencia de otro elemento radiactivo. Mediante diferentes técnicas de separación química obtuvieron una pequeña cantidad de un nuevo elemento radiactivo, el radio. Su actividad era un millón de veces superior a la del uranio. En este momento, aparece en escena la figura de Rutherford (1871-1937) que fue el primero en analizar la naturaleza de las radiaciones emitidas por los cuerpos radiactivos. Llegó a la conclusión de que la radiación emitida por una pequeña cantidad de una sal de radio se descomponía en tres componentes bajo la acción de un campo eléctrico. Como en principio, eran de naturaleza desconocida, las denominó alfa, beta y gamma. Estudios posteriores le permitieron identificar los rayos alfa con partículas

cargadas con electricidad positiva, mientras que los rayos beta eran partículas cargadas con electricidad negativa. La radiación gamma no experimentaba ninguna desviación mediante un campo magnético, pensó que carecía de naturaleza corpuscular y la asemeja a la luz o a los rayos X. Posteriores investigaciones permitieron a Rutherford determinar que las radiaciones beta eran electrones y las radiaciones alfa estaban constituidas por núcleos de helio. En el paso siguiente de las investigaciones de Rutherford, pensó que las partículas descubiertas podían ser un buen recurso o herramienta para obtener un mejor conocimiento de la estructura de la materia. En efecto, llegó al conocimiento interno del átomo. Para ello, aprovechó la velocidad con que dichas partículas son emitidas por los cuerpos radiactivos, las utilizó como proyectiles para bombardear delgadas láminas metálicas. Pensaba que el análisis de la interacción entre las partículas alfa y los átomos de la lámina permitirían deducir algunas características básicas de aquellos. Su conclusión o interpretación fue considerar que los átomos debían estar constituidos por una región central, el núcleo, donde se ubicaba la masa del átomo, su carga era positiva y debía estar neutralizada por una nube de electrones distribuidos alrededor del núcleo. Esta descripción se puede asociar a un pequeño sistema solar. Esta conclusión significaba que los átomos no eran macizos y, en consecuencia, la materia se encontraba llena de huecos. Lo explicaba porque en sus experimentos la mayoría de las partículas alfa podían atravesar las láminas sin sufrir ninguna interacción. Además, suponía que los electrones debían de mantenerse girando alrededor del núcleo, para que la fuerza centrífuga de su rotación impidiera que fueran atraídos por el núcleo, como corresponde a cargas eléctricas de distinto signo.

El modelo atómico de Rutherford presentaba alguna incorrección que se puede entender fácilmente. Como los electrones se encuentran en movimiento alrededor del núcleo y, por tanto, con una cierta aceleración centrífuga, deberían emitir radiación que es semejante a decir energía y, de esta manera, disminuir su velocidad y acercarse o precipitarse sobre el núcleo. Esta teoría era contraria a la realidad de la naturaleza que se comportaba como totalmente estable. La resolución de esta dificultad fue dada por Niels Bohr (1885-1962) cuando trasladó los principios de la Mecánica Cuántica al modelo de Rutherford. Así, señala que los electrones podrían estar girando en ciertas órbitas estacionarias desde las cuales no emitirían radiación alguna. Con este planteamiento, queda definitivamente desterrada la idea daltoniana del átomo como indivisible, simple e inerte. Es sustituido por un modelo más complejo en el que tenían lugar ciertas manifestaciones energéticas.

A los científicos que hemos considerado protagonistas de la historia que estamos contando, habría que añadir otros igualmente importantes que, sin duda, formaron uno de los planteles más importante de científicos que protagonizaron una época de la Historia de la Física más interesante. Sin entrar en detalle, nos vamos a referir a los más destacados. Por ejemplo, Enrico Fermi (1901-1954), fue el primero en fisiónar un átomo y construir el primer reactor nuclear y Robert Oppenheimer (1904-1967) director del programa que permitió la



construcción de las primeras bombas atómicas, entre otros muchos.

Una de las experiencias interesante de recordar fue realizada por el ya citado Rutherford cuando al bombardear nitrógeno con partículas alfa observó que se producía oxígeno e hidrógeno, experiencia repetida por el físico alemán Bothe (1891-1957) observando que al bombardear berilio con partículas alfa se produjo una radiación de gran poder penetrante. Este fenómeno fue continuado por el matrimonio Frederic Joliot (1900-1958) e Irene Curie (1897-1956) pero la solución definitiva fue aportada por Chadwick. Se trataba de una nueva partícula, a la que bautizó con el nombre de neutrón. Según este descubrimiento, el núcleo estaría constituido por un agrupamiento de protones y de neutrones, mantenidos unidos mediante unas fuerzas especiales que debían ser de una intensidad mayor que la repulsión existente entre los protones. El neutrón pronto fue un proyectil de adecuadas características para provocar reacciones nucleares, pues al carecer de carga eléctrica, podía aproximarse a los núcleos sin experimentar ninguna repulsión y, en consecuencia, no era necesario comunicarle una gran velocidad. Este tipo de procesos permitió la transformación de un elemento en otro cumpliéndose, en cierta manera, el viejo sueño de los alquimistas. Con posterioridad el matrimonio Joliot-Curie continuaron realizando experimentos de este tipo y consiguieron el descubrimiento de la radiactividad artificial. Para ello, bombardearon aluminio con partículas alfa procedentes de una muestra de polonio, se obtenían neutrones más otro elemento, identificado químicamente como fósforo, no existente en forma libre en la naturaleza, que se desintegraba a lo largo de un intervalo de tiempo de algunos minutos emitiendo positrones [partículas descubiertas por David Anderson (1905-1991)]. De esta manera, por primera vez, se podían construir elementos radiactivos artificiales, resultado de gran importancia pues rompiendo o construyendo átomos se podían obtener reacciones en cadena con una importante liberación de energía.

Este breve relato, puede considerarse como una gran innovación en el mundo de la física. La gran energía liberada en la fisión procedía de la disminución de la masa en la reacción, fenómeno que explicó, perfectamente, la Teoría de la Relatividad Especial. El segundo tema de este Bloque se dedica a las partículas elementales que supone abordar los objetos más pequeños del mundo físico. Este estudio presenta algunas particularidades interesantes como tendremos ocasión de poner de manifiesto, por ejemplo, veremos que más allá del átomo existen partículas que, en unos casos, se pueden explicar mediante las leyes de la Física ya conocidas pero, en otros, es necesario recurrir a otros procedimientos. El conocimiento de las partículas elementales nos permitirá entender mejor la estructura de nuestro Universo. Comenzamos el estudio de los temas destinados a la Física Nuclear analizando la estructura del núcleo así como sus propiedades: tamaño, forma y densidad; masa y energía de enlace. A continuación explicamos el fenómeno de la radiactividad y las magnitudes físicas que caracteriza este fenómeno, para luego analizar las características de las desintegraciones alfa, beta y gamma. Después presentamos las reacciones nucleares

dedicando especial atención a las reacciones con neutrones. Para finalizar, señalamos la diferencia entre los fenómenos de fisión y fusión, así como el funcionamiento de un reactor nuclear.

Para estudiar las partículas elementales comenzamos describiendo las diferentes maneras existentes para su clasificación. A continuación presentamos el modelo estándar que es la teoría más aceptada de las partículas elementales, según la cual toda la materia de la naturaleza se puede agrupar en dos grandes familias de partículas elementales, los leptones y los quarks.

## BLOQUE 5.- Astrofísica y Cosmología. Tema 9.

### Resultados del aprendizaje (optativo):

- Conocer los conceptos básicos de la teoría de la Relatividad General.
- Conocer la Teoría del Big Bang.
- Comprender el significado del corrimiento hacia el rojo de las líneas del espectro para las galaxias lejanas.
- Valorar la importancia de la expansión del Universo descubierta por Hubble.
- Analizar el descubrimiento de Arno Penzias y Robert Wilson del Ruido de Fondo Cósmico y ver sus implicaciones cosmológicas.
- Explicar el diagrama H –R.
- Conocer que las estrellas tienen una naturaleza física, una estructura y están en continua evolución.
- Explicar las diferentes reacciones nucleares que se dan a lo largo de la vida de las estrellas.
- Conocer la forma en la que mueren las estrellas masivas.
- Conocer la problemática de la formación de las Galaxias.
- Analizar la implicación de los agujeros negros supermasivos y de los cuásares en la evolución galáctica.
- Conocer algunas teorías sobre la Evolución del Universo.
- Analizar las posibles formas de muerte del Universo.
- Analizar la implicación de la energía oscura en la evolución del Universo.

### Contextualización:

La Astrofísica y la Cosmología tratan de explicar el origen y evolución del Universo y comprender la naturaleza física, estructura y evolución de los astros. Así pues, para su estudio necesitamos todas las herramientas que nos proporcionan la Física, tanto la clásica como la moderna y la tecnología actual. Es necesario conocer la Física clásica, la Relatividad Especial y General, la Física Cuántica, así como la Física Nuclear para comprender las reacciones nucleares que se dan en los corazones de las estrellas y explican su energía. Cuanto más profundicemos en el conocimiento del Cosmos mayor será la

complejidad de la Física y el lenguaje matemático que habremos de utilizar. Así, en cursos superiores del Grado en Física se podrán cursar asignaturas optativas de Astronomía y Astrofísica para llegar a una mayor comprensión del Universo.

### **Orientaciones sobre los contenidos de los temas:**

Debido a la gran cantidad de temario que se desarrolla en esta asignatura, con la dificultad que supone asimilar ciertos conceptos por primera vez, se considera el Bloque 5 de la asignatura como optativo. De esta manera, el estudiante podrá estudiar o profundizar de forma independiente sobre estos temas. Como se comentará más adelante, esta parte del temario puede ser evaluada a través de trabajos personales realizados por el estudiante u otro tipo de pruebas complementarias.

## **METODOLOGÍA**

La asignatura **Fundamentos de Física III** se desarrolla de acuerdo a la metodología de la enseñanza a distancia propia de la UNED, donde tiene una gran importancia el trabajo autónomo del estudiante, ajustado a sus condiciones personales y profesionales. No obstante, se ofrece apoyo docente a través del curso virtual y los foros correspondientes. En el curso virtual se facilitan herramientas de trabajo para obtener un adecuado aprovechamiento en el estudio y procedimientos para plantear dudas al equipo docente o a su profesor Tutor.

Para el desarrollo del trabajo autónomo del estudiante se le recomienda un texto básico, donde disponen además de ejercicios resueltos. El equipo docente de esta asignatura pondrá a disposición de los estudiantes en el curso virtual distintos documentos para la preparación de la asignatura. Entre estos se encuentran aclaraciones de algunos conceptos, tutorías web a cargo de los profesores-tutores de la asignatura, así como una extensa colección de ejercicios resueltos acerca de todos los temas de la asignatura.

## **PLAN DE TRABAJO**

En el cómputo de horas se incluyen el tiempo dedicado a las horas lectivas, horas de estudio, tutorías, seminarios, trabajos, prácticas o proyectos, así como las exigidas para la preparación y realización de exámenes y evaluaciones.

**TEMA:** Tema 1. Física Cuántica - 18 Horas

**Lecturas** (9h): Naturaleza corpuscular de la luz. Hipótesis de Luis de Broglie. Función de onda. Principio de Indeterminación. Ondas estacionarias y cuantización de la energía.

**Actividades** (9h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión

**TEMA: Tema 2. Ecuación de Schrödinger - 18 Horas**

**Lecturas** (9h): Ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo. Oscilador armónico.

Niveles energéticos. Reflexión y transmisión de ondas electrónicas. Ecuación de Schrödinger en tres dimensiones y para dos partículas idénticas.

**Actividades** (9h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión

**TEMA: Tema 3. Átomos - 14 Horas**

**Lecturas** (7h): El átomo de hidrógeno. Teoría cuántica del átomo de hidrógeno. Efecto espín-órbita. La tabla periódica de los elementos. Espectros ópticos y de Rayos X.

**Actividades** (7h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión.

**TEMA: Tema 4. Moléculas - 14 Horas**

**Lecturas** (7h): Enlaces moleculares. Moléculas poliatómicas. Espectros de emisión y de absorción.

**Actividades** (7h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión

**TEMA: Tema 5. Sólidos - 14 Horas**

**Lecturas** (7h): Estructura. Conducción eléctrica. Electrones libres. Teoría cuántica de la conducción eléctrica. Teoría de bandas de los sólidos. Semiconductores. Uniones y dispositivos semiconductores. Superconductividad. La distribución de Fermi-Dirac.

**Actividades** (7h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión

**TEMA: Tema 6 Relatividad Especial. - 18 Horas**

**Lecturas** (9h): Relatividad newtoniana. Postulados de Einstein. Transformación de Lorentz. Simultaneidad. Transformación de velocidades. Momento lineal relativista. Energía relativista.

**Actividades** (9h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión.

**TEMA: Tema 7. Física Nuclear - 14 Horas**

**Lecturas** (7h): Propiedades de los núcleos. Radiactividad. Reacciones nucleares. Fisión y fusión.

**Actividades** (7h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión.

**TEMA: Tema 8. Partículas Elementales - 14 Horas**

**Lecturas** (7h): Hadrones y leptones. Espín y antipartículas. Leyes de conservación. Quarks. Partículas de campo, teoría electrodébil y Modelo estándar.

**Actividades** (7h): Resolver problemas y cuestiones sobre el tema en cuestión

**TEMA: Tema 9 (Optativo). Astrofísica, Relatividad General y Cosmología - 7 Horas**

**Lecturas** (7h): Relatividad General. La evolución del universo. Conceptos básicos de Astrofísica

**PEC: Física Cuántica - 5 Horas**

Prueba de evaluación continua referente a los primeros temas de la asignatura. Tratará de un ejercicio a resolver en casa y a entregar en un plazo determinado de tiempo (ver **sistema de evaluación**)

**PEC: Astrofísica - 10 Horas**

Debido a que la parte de Astrofísica y Cosmología de la asignatura se considera optativa, está será evaluada a través de la evaluación continua. Se propondrá entonces al menos una PEC relativa a este tema donde el estudiante podrá estudiar e investigar a iniciativa propia un tema relacionado con Astrofísica y Cosmología propuesto por el equipo docente (ver **sistema de evaluación**)

**OTRAS ACTIVIDADES: Pruebas optativas - 2 Horas**

Podrán ofrecerse pruebas optativas sencillas que servirán para subir nota en caso de aprobar la asignatura. Estas pruebas pueden ser, por ejemplo, informes basados en datos obtenidos a través. simulaciones remotas o laboratorios online (ver **sistema de evaluación**)

**PRUEBA PRESENCIAL: 2 horas**

**Total Horas ECTS introducidas aquí : 150**

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	4
Duración del examen	120 (minutos)
Material permitido en el examen	

Calculadora científica no programable. Las constantes físicas necesarias para la resolución de ejercicios se proporcionarán en una tabla en el enunciado del examen.

#### Criterios de evaluación

Resolución correcta y bien expresada de los problemas del examen.

% del examen sobre la nota final	80
Nota del examen para aprobar sin PEC	5
Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC	10
Nota mínima en el examen para sumar la PEC	4

#### Comentarios y observaciones

El tanto por ciento que cuenta el examen sobre la nota final podrá ser 80, 90 o 100%, según el número de PECs realizadas. El número de ejercicios en el examen presencial podrá ser 3 o 4, dependiendo de la complejidad de los mismos.

### PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC? Si

#### Descripción

**PEC1:** Prueba de evaluación continua sobre Física Cuántica. Consiste en la resolución de uno o varios problemas en casa que se entregará en el curso virtual y que será corregido por los profesores tutores.

**PEC2:** La segunda prueba de evaluación continua consiste en la redacción de un trabajo acerca de un tema de Astrofísica. El tema sobre el que tratará el trabajo, longitud del mismo, formato, la fecha límite de entrega y cómo debe ser evaluado por parte de los profesores-tutores se definirá en el curso virtual.

#### Criterios de evaluación

**PEC1:** Resolución correcta de los ejercicios.

**PEC2:** Profundidad científica y originalidad del texto. Variedad y calidad de las fuentes empleadas en la bibliografía. Claridad en las explicaciones, narrativa, ortografía.

Ponderación de la PEC en la nota final	0, 10 o 20%
Fecha aproximada de entrega	PEC1: noviembre; PEC2: antes de primera semana de exámenes

#### Comentarios y observaciones

**OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES**

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? Si

## Descripción

Podrán ofrecerse prácticas virtuales adicionales que contarán como nota adicional en la asignatura. Estas prácticas consistirán en simulaciones online en donde el estudiante realizará una práctica de acuerdo con un guión proporcionado como si se tratase de una práctica de laboratorio. El estudiante realizará un pequeño informe que será corregido por los tutores de la asignatura. El estudiante debe tener nociones de cálculo de errores y análisis de datos (Técnicas Experimentales I) para realizar esta práctica.

## Criterios de evaluación

Resolución correcta del ejercicio.

Ponderación en la nota final

Máximo 0,5 puntos en caso de aprobar la asignatura.

Fecha aproximada de entrega

Después de vacaciones de Navidad

Comentarios y observaciones

Este tipo de prueba proporcionará una puntuación adicional que se sumará a la obtenida en el total de la asignatura siempre que se haya obtenido al menos un 4 sobre 10 en el examen presencial y que en la prueba se haya obtenido al menos un 5/10 en la calificación de los tutores.

**¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

**Instrucciones para la realización de las actividades:**

La mejor recomendación para superar esta asignatura es el esfuerzo continuado, seguir la programación presentada, avanzar en los conocimientos despacio pero sin pausa. Recomendamos, estudiar a lo largo de todo el semestre y no dejarlo para el último momento, próximo a la realización de las Pruebas Presenciales, acumulando los conocimientos aprendidos sin tiempo para asentarlos. Es evidente que no se puede generalizar sobre la organización del estudio de esta asignatura o cualquier otra, depende de las circunstancias personales de cada estudiante. No obstante, teniendo presente el tiempo disponible es aconsejable hacer una planificación ajustada a su realidad. Para llegar a esta planificación la que nosotros proponemos en esta Guía de estudio le puede ayudar.

Las pruebas de evaluación continua de esta asignatura son en cualquier caso optativas. Es posible realizar cualquiera de ellas de forma independiente. La nota total del examen presencial (obligatorio) será de un 80%, 90% o 100% dependiendo de si se realizan las dos PECs, una sola de las dos, o ninguna (respectivamente).

La posibilidad de no realizar ninguna PEC es especialmente aconsejada para los estudiantes que, por diferentes causas, no puedan realizar las actividades propuestas a lo largo del curso y, en consecuencia, no pueden seguir una evaluación continua. Tengan en cuenta que la nota de las PECs es una parte proporcional de la nota, no una nota añadida sobre la nota del examen, de forma que presentarse a las PECs puede incluso reducir la nota si no se ha preparado la asignatura adecuadamente. Existe una prueba optativa que si añade nota.

**Aclaraciones acerca de la evaluación continua:**

Debido a que la parte de Astrofísica y Cosmología de la asignatura se considera optativa, esta será evaluada a través de la evaluación continua. Se propondrá entonces al menos una PEC relativa a este tema donde el estudiante podrá estudiar e investigar a iniciativa propia un tema relacionado con Astrofísica y Cosmología propuesto por el equipo docente.

La nota de la evaluación continua solamente se tendrá en cuenta si la nota del examen presencial es igual a un 4 sobre 10 o superior.

Las notas de las PECs se guardan durante el curso académico, de forma que si se suspende el examen presencial en la convocatoria ordinaria, estas notas quedan reservadas para la convocatoria extraordinaria. No se guardarán las notas de las PECs de un curso a otro.

Dado el carácter de evaluación continua de las PECs, no se podrán entregar ninguna de estas pruebas fuera del semestre al que corresponde el curso (no está permitido entregar nada en septiembre).

**Prácticas virtuales adicionales:**

Podrán ofrecerse prácticas virtuales adicionales que contarán como nota adicional en la asignatura. Estas prácticas consistirán en simulaciones online en donde el estudiante realizará una práctica de acuerdo con un guión



proporcionado como si se tratase de una práctica de laboratorio. El estudiante realizará un pequeño informe que será corregido por los tutores de la asignatura. El estudiante debe tener nociones de cálculo de errores y análisis de datos (Técnicas Experimentales I) para realizar esta práctica.

Este tipo de prueba proporcionará una puntuación adicional que se sumará a la obtenida en el total de la asignatura siempre que se haya obtenido al menos un 4 sobre 10 en el examen presencial y que en la prueba se haya obtenido al menos un 5/10 en la calificación de los tutores.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9788429144260

Título:FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, FÍSICA MODERNA. (6ª)

Autor/es:Mosca, G. ; Tipler, P. A. ;

Editorial:REVERTE

El programa de la asignatura de **Fundamentos de Física III** se puede estudiar, en su totalidad, con el texto siguiente:

**TIPLER, P. A. y MOSCA, G.,**

**Física para la ciencia y la tecnología, Física Moderna.**

**Editorial Reverté. Barcelona, 2010, 6ª Edición (reimpresión: enero 2011)**

**ISBN: 978-84-291-4426-0 (volumen Física Moderna)**

Esta obra se presenta de dos maneras diferentes: una edición en dos ejemplares y otra edición dividida en seis volúmenes.

Si el estudiante se decide por la edición en dos volúmenes, el contenido del programa se encuentra en el segundo volumen. En el caso de que se opte por la otra edición el programa se desarrolla, en su totalidad, en el volumen VI titulado Física Moderna.

Si se utiliza una edición anterior puede apreciarse una pequeña variación en algunos temas pero no importante para el estudio del temario propuesto.

El estudiante puede recurrir a cualquier otro texto para preparar esta asignatura de los que habitualmente se consideran como de «Física introductoria», dedicado a la Física Moderna y que se suelen utilizar en los primeros años de los estudios universitarios.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9789702401766

Título:FUNDAMENTOS DE FISICA (VOL. II) (6ª ED.)

Autor/es:Halliday, David ; Resnick, Robert J. ; Walker, Jearl ;

Editorial:CECSA

ISBN(13):9789706864253

Título:FÍSICA PARA CIENCIAS E INGENIERÍAS. VOLUMEN II (6ª)

Autor/es:Jewett, J. ; Serway, Raymond A. ;

Editorial:THOMSON PARANINFO,S.A.

**Título:** FÍSICA PARA INGENIERÍA Y CIENCIAS (vol II)

**Autores:** Ohanian, Hans C.; Market, John T.

**Editorial:** MC GRAW HILL (3ª edición)

ISBN 978 970 10 6746 8

**Titulo:** MODERN PHYSICS

**Autores:** Tipler, Paul A.; Llewellyn, Ralph A.

**Editorial:** W. H. Freeman and Company ( Fifth Edition)

ISBN 978-0-7167-7550-8

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

A través del curso virtual se pondrá a disposición del estudiante diverso material de apoyo para su proceso de aprendizaje: problemas resueltos, ejercicios, etc. Con ello el estudiante podrá desarrollar su capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas y cuestiones. Además se le proporcionarán direcciones de Internet para que pueda acceder al extenso material de divulgación que puede encontrarse acerca de los temas que se tratan en esta asignatura. Así mismo, el alumno puede contar con las bibliotecas de la UNED para consultas bibliográficas.

## GLOSARIO

Esta asignatura no dispone de glosario.

---

## IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.