

## Guía docente

# 240NU011 - 240NU011 - Fundamentos de la Ingeniería Nuclear y Protección Radiológica

Última modificación: 13/03/2025

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona

**Unidad que imparte:** 748 - FIS - Departamento de Física.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA NUCLEAR (Plan 2012). (Asignatura obligatoria).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (Plan 2014). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (Plan 2025). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2025

**Créditos ECTS:** 8.0

**Idiomas:** Inglés

## PROFESORADO

**Profesorado responsable:** FRANCISCO CALVIÑO TAVARES

**Otros:** Calviño Tavares, Francisco  
Batet Miracle, Lluís  
De Blas Del Hoyo, Alfredo  
Casanovas Hoste, Adria  
Duch Guillen, Maria Amor  
Mont Geli, Nil

## COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

### Específicas:

1. Conocimiento de los fundamentos de física nuclear necesarios para comprender la producción de energía mediante la fisión nuclear en cadena y la fusión.
2. Conocimiento de los mecanismos de interacción de la radiación ionizante con la materia y su relación con los diferentes fenómenos y aplicaciones de interés en la tecnología nuclear.
3. Capacidad de utilizar detectores de radiación ionizante, adecuados a la aplicación requerida, juntamente con la instrumentación asociada.
4. Capacidad de aplicar técnicas de protección radiológica para reducir los riesgos derivados del uso de las radiaciones ionizantes.
5. Capacidad de hacer uso de forma eficaz, comprender el funcionamiento y rangos de validez, e interpretar los resultados de códigos de cálculo del transporte de radiación electromagnética, partículas cargadas y neutrones.

## METODOLOGÍAS DOCENTES

MD.1. Contrato de aprendizaje: Acuerdo entre los profesores, y estudiantes para la consecución de unos resultados de aprendizaje, y unas competencias, mediante una secuencia de acciones a realizar, tanto por el profesor, como por el estudiante, a lo largo del período de duración de la materia. A nivel práctico es un resumen de este documento.

MD.2. Lección magistral: Presentación del profesor de síntesis de un tema, proceso, método, etc. Las exposiciones cubren conceptos teóricos, resolución de problemas tipo, descripción de procesos o procedimientos estándar, uso de instrumentos y códigos de cálculo, etc.

MD.3. Aprendizaje autónomo pautado: Desarrollo siguiendo unas instrucciones o pautas preestablecidas, que realiza el estudiante con la supervisión del profesor

MD.4. Aprendizaje cooperativo: Desarrollo de tareas por parte de un grupo reducido de alumnos que requiere -necesariamente- del trabajo de todos y cada uno de los miembros del grupo

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

El alumno será capaz de:

- Utilizar los modelos de la estructura atómica y nuclear para explicar el origen y naturaleza de las radiaciones atómicas y nucleares, y justificar la obtención de energía de origen nuclear.
- Utilizar las leyes que rigen la evolución temporal de las sustancias radiactivas para el cálculo de su actividad y las principales radiaciones emitidas
- Describir los principales mecanismos de interacción de las radiaciones atómicas y nucleares con la materia, y calcular y utilizar las magnitudes relacionadas con estas interacciones.
- Analizar la cinemática de procesos nucleares y derivar las expresiones que permiten calcular las energías y momentos lineales de los productos de reacciones y desintegraciones radiactivas
- Manejar con soltura el concepto, y los valores recogidos en bases de datos internacionalmente reconocidas, de sección eficaz, para realizar cálculos de tasa de reacción, probabilidad de interacción y otras magnitudes derivadas, aplicándolos a los procesos de interacción de la radiación con la materia y reacciones nucleares producidas por neutrones.
- Deducir y aplicar las ecuaciones que rigen la formación y evolución temporal de radionúclidos en el seno de un reactor nuclear
- Explicar los procesos físicos básicos de cada tipo de detector de radiaciones ionizantes
- Analizar cómo influyen los procesos de interacción de las partículas ionizantes en su detección
- Realizar medidas experimentales de las radiaciones ionizantes, analizar los resultados y determinar los errores estadísticos y sistemáticos asociados
- Adoptar criterios que permitan determinar con precisión las características de una fuente radiactiva separando la contribución del fondo asociado a la medida
- Seleccionar el sistema de detección más adecuado en función del tipo de radiación ionizante, y las magnitudes que se pretenden medir.
- Identificar las magnitudes empleadas en el área de la protección radiológica y definir las.
- Explicar, a nivel básico, los riesgos biológicos de las radiaciones ionizantes y la necesidad de la limitación de dosis y de las técnicas optimización
- Utilizar los principios básicos de justificación, limitación y optimización, del sistema internacional de protección radiológica, para argumentar que las prácticas que implican radiaciones ionizantes son compatibles con el bienestar global conseguido, frente a los riesgos individuales y la sostenibilidad.
- Calcular la dosis debida a radiaciones ionizantes más habituales en el emplazamiento de una central nuclear o una instalación radiactiva.
- Realizar correctamente cálculos simples de blindajes de las radiaciones, y contribuir trabajando en equipo a la realización de proyectos de blindaje complejos.
- Aplicar técnicas de protección radiológica para reducir los riesgos derivados del uso de las radiaciones ionizantes.
- Seleccionar justificadamente las técnicas adecuadas para la realización de la vigilancia dosimétrica individual del personal profesionalmente expuesto.
- Identificar los principales códigos disponibles para el cálculo de transporte de las radiaciones ionizantes, el tipo de partículas que son capaces de manejar, el rango de validez y la precisión de los mismos. Realizar cálculos sencillos utilizando esos códigos de cálculo

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	8,0	4.00
Horas aprendizaje autónomo	128,0	64.00
Horas grupo grande	64,0	32.00

**Dedicación total:** 200 h

## CONTENIDOS

### 1. Fundamentos de física atómica y nuclear. Radiactividad

#### Descripción:

Fundamentos

- 1.1. Modelos atómicos. Niveles de energía
- 1.2. Ionización y excitación
- 1.3. Radiaciones atómicas
- 1.4. Fluorescencia y fosforescencia
- 1.5. Rayos X
- 1.6. Masa, radio y carga nucleares
- 1.7. Modelos nucleares. Niveles de energía
- 1.8. Fuerzas nucleares
- 1.9. Estabilidad nuclear
- 1.10. Energía de enlace nuclear

Radiactividad

- 1.11. Procesos radiactivos
- 1.12. Leyes de la emisión radiactiva
- 1.13. Cadenas de desintegración
- 1.14. Radiactividad artificial. Activación
- 1.15. Radiactividad alfa
- 1.16. Radiactividad beta
- 1.17. Emisión de rayos gamma
- 1.18. Isomerismo nuclear y conversión interna

Exposición y ejercicios sobre estructura atómica y nuclear. Haciendo énfasis en los conceptos de niveles energéticos y estados fundamental y excitado.

Exposición y ejercicios sobre radiactividad, procesos radiactivos, ley de evolución temporal y emisiones de radionúclidos

#### Objetivos específicos:

Utilizar los modelos de la estructura atómica y nuclear para explicar el origen y naturaleza de las radiaciones atómicas y nucleares, y justificar la obtención de energía de origen nuclear.

Utilizar las leyes que rigen la evolución temporal de las sustancias radiactivas para el cálculo de su actividad y las principales radiaciones emitidas

#### Actividades vinculadas:

Clases expositivas

Resolución de ejercicios en clase

Trabajo autónomo. Ejercicios teóricos y prácticos

#### Dedicación: 20h

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 12h

## 2.1 Interacciones EM de partículas cargadas y fotones con la materia

### Descripción:

- 2.1.1 Mecanismos de pérdida de energía de las partículas cargadas
- 2.1.2 Ionización y excitación. Radiación de frenado
- 2.1.3 Poder de frenado. Transferencia lineal de energía
- 2.1.4 Alcance
- 2.1.5 Interacción de los fotones con la materia
- 2.1.6 Interacción de las partículas alfa
- 2.1.7 Interacción de las partículas beta
- 2.1.8 Efecto fotoeléctrico
- 2.1.9 Efecto Compton
- 2.1.10 Producción de pares
- 2.1.11 Atenuación y absorción de la radiación gamma

Descripción de las magnitudes que, en términos generales, caracterizan los campos de radiación y sus efectos sobre la materia (flujo, fluencia, sección eficaz, etc.).

Presentación de los mecanismos principales de interacción entre las partículas cargadas y la materia, y entre los fotones y la materia, poniendo énfasis en las bases de datos disponibles en el dominio público, en su interpretación y en su uso práctico.

Resolución de problemas

### Objetivos específicos:

Describir los principales mecanismos de interacción de las radiaciones atómicas y nucleares con la materia, y calcular y utilizar las magnitudes relacionadas con estas interacciones.

Distinguir entre radiación directa y indirectamente ionizante, y describir sus propiedades.

Identificar y describir los principales mecanismos de interacción entre las partículas cargadas y la materia.

Definir poder de frenado de las partículas cargadas y su relación con la energía depositada en un medio material.

Identificar y describir los principales mecanismos de interacción entre los fotones y la materia

### Actividades vinculadas:

Clases expositivas

Resolución de ejercicios en clase

Trabajo autónomo. Ejercicios teóricos y prácticos

### Dedicación: 20h

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 12h

## 2.2 Interacción de los neutrones con la materia

### Descripción:

Reacciones nucleares

2.2.1. Descripción

2.2.2. Leyes de conservación

2.2.3. Cinemática

2.2.4. Sección eficaz

2.2.5. Resonancias. Fórmula de Breit-Wigner

2.2.6. Modelos para el estudio de las reacciones nucleares

2.2.7. Modelo del núcleo compuesto

2.2.8. Modelo óptico

2.2.9. Modelo de Feshbach

2.2.10. Reacciones directas

2.2.11. Fuentes de neutrones

Interacciones neutrónicas

2.2.12. Clasificación de los neutrones según su energía.

2.2.13. Interacciones de los neutrones con la materia.

2.2.14. Difusión elástica e inelástica.

2.2.15. Captura radiante

2.2.16. Captura con emisión de partículas cargadas

Introducción a los conceptos más relevantes para el estudio de las reacciones nucleares inducidas por neutrones. Descripción de los modelos básicos de interacción nuclear que permiten entender cualitativamente el comportamiento de la Sección eficaz en función de la energía del neutrón incidente.

### Objetivos específicos:

- Describir los principales mecanismos de interacción de las radiaciones atómicas y nucleares con la materia, y calcular y utilizar las magnitudes relacionadas con estas interacciones.
- Analizar la cinemática de procesos nucleares y derivar las expresiones que permiten calcular las energías y momentos lineales de los productos de reacciones y desintegraciones radiactivas
- Manejar con soltura el concepto, y los valores recogidos en bases de datos internacionalmente reconocidas, de sección eficaz, para realizar cálculos de tasa de reacción, probabilidad de interacción y otras magnitudes derivadas, aplicándolos a los procesos de interacción de la radiación con la materia y reacciones nucleares producidas por neutrones.
- Deducir y aplicar las ecuaciones que rigen la formación y evolución temporal de radionúclidos en el seno de un reactor nuclear

### Actividades vinculadas:

Clases expositivas

Resolución de ejercicios en clase

Trabajo autónomo. Ejercicios teóricos y prácticos

Encargo de larga duración: Reto

### Dedicación: 48h

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Actividades dirigidas: 40h

### 3. Detección de la radiación ionizante

#### Descripción:

Estadística aplicada a la detección de la radiación

- 3.1. Naturaleza de las radiaciones ionizantes
- 3.2. Caracterización de los datos
- 3.3. Modelos estadísticos aplicables en la detección de la radiación
- 3.4. Error estadístico en los datos experimentales
- 3.5. Error estadístico en la medición de la detección
- 3.6. Límites de detección. Criterio de Currie
- 3.7. Distribución de probabilidad de intervalos de tiempo.

Características generales de los detectores de la radiación ionizante

- 3.8. Introducción.
- 3.9. Modelo de detector de la radiación. Detector como transductor eléctrico
- 3.10. Regímenes de operación de los detectores
- 3.11. Eficiencia
- 3.12. Tiempo muerto
- 3.13. Fundamentos de espectrometría

Detectores de la radiaciones ionizante

- 3.14. Introducción. Estructura del tema
- 3.15. Detectores de ionización gaseosa
- 3.16. Detectores de centelleo
- 3.17. Detectores de semiconductor

Descripción de los principios de la detección de la radiación ionizante, tipos de medición, estado del arte, naturaleza estocástica de la radiación y su influencia en su detección, fuentes de incertidumbre, fuentes de fondo de radiación y su influencia.

Introducción a la instrumentación básica requerida para detectar la radiación ionizante y los diversos modos de funcionamiento. Medidas de actividades, atenuaciones y características espectrométricas de diversas fuentes usando varios tipos de detectores.

#### Objetivos específicos:

- Explicar els processos físics bàsics de cada tipus de detector de radiacions ionitzants
- Analitzar com influeixen els processos d'interacció de les partícules ionitzants en la seva detecció
- Realitzar mesures experimentals de les radiacions ionitzants, analitzar els resultats i determinar els errors estadístics i sistemàtics associats
- Adoptar criteris que permetin determinar amb precisió les característiques d'una font radioactiva separant la contribució del fons associat a la mesura
- Seleccionar el sistema de detecció més adequat en funció del tipus de radiació ionitzant, i les magnituds que es pretenen mesurar.

#### Actividades vinculadas:

Clases expositivas  
Resolución de ejercicios en clase  
Trabajo en laboratorio  
Trabajo autónomo. Ejercicios teóricos, prácticos, informes  
Encargo de larga duración: Reto

**Dedicación:** 47h 20m

Grupo grande/Teoría: 6h

Grupo mediano/Prácticas: 8h

Grupo pequeño/Laboratorio: 33h 20m

### 4. Fundamentos de Protección Radiológica

#### Descripción:

Magnitudes y unidades radiológicas

- 4.1. Introducción, clasificación de las magnitudes
- 4.2. Magnitudes que definen el campo de radiación ionizante

4.3. Coeficientes de interacción (sección eficaz, coeficientes de interacción y transferencia de energía, transferencia lineal de energía)

4.4. Magnitudes dosimétricas utilizadas en protección radiológica

4.5. Magnitudes utilizadas en dosimetría externa y en dosimetría interna

Efectos biológicos de la radiación ionizante

4.6. Interacción de las radiaciones ionizantes sobre el material biológico

4.7. Efectos de las radiaciones ionizantes sobre las células y los tejidos

4.8. Efectos estocásticos de las radiaciones: carcinogénesis y efectos hereditarios

4.9. Radiobiología y radioprotección

Sistema internacional de protección radiológica

4.10. Principios de protección de los trabajadores

4.11. Protección radiológica de la población

4.12. Emergencias radiológicas. Intervenciones

4.13. Límites de dosis

Determinación de la dosis por irradiación externa

4.14. Dosimetría de partículas cargadas

4.15. Dosimetría de fotones

4.16. Dosimetría de neutrones

Cálculo de blindajes (modelos analíticos y semiempíricos)

4.17. Blindaje de partículas cargadas

4.18. Blindaje de radiación electromagnética

4.19. Blindaje de neutrones

4.20. Códigos de cálculo

Protección contra la irradiación externa

4.21. Términos fuente en el emplazamiento

4.22. Técnicas básicas de protección contra la irradiación externa

Vigilancia individual

4.23. Sistemas para la vigilancia de la dosimetría personal externa

4.24. Sistemas para la vigilancia de la dosimetría personal interna

Descripción de los principios teóricos en los que se sustenta la protección radiológica. Determinación experimental de magnitudes de interés radiológico. Resolución de problemas y casos típicos. Cálculo numérico de blindajes.

#### **Objetivos específicos:**

- Identificar las magnitudes empleadas en el área de la protección radiológica y definir las.
- Explicar, a nivel básico, los riesgos biológicos de las radiaciones ionizantes y la necesidad de la limitación de dosis y de las técnicas optimización
- Utilizar los principios básicos de justificación, limitación y optimización, del sistema internacional de protección radiológica, para argumentar que las prácticas que implican radiaciones ionizantes son compatibles con el bienestar global conseguido, frente a los riesgos individuales y la sostenibilidad.
- Calcular la dosis debida a radiaciones ionizantes más habituales en el emplazamiento de una central nuclear o una instalación radiactiva.
- Realizar correctamente cálculos simples de blindajes de las radiaciones, y contribuir trabajando en equipo a la realización de proyectos de blindaje complejos.
- Aplicar técnicas de protección radiológica para reducir los riesgos derivados del uso de las radiaciones ionizantes.
- Seleccionar justificadamente las técnicas adecuadas para la realización de la vigilancia dosimétrica individual del personal profesionalmente expuesto.
- Identificar los principales códigos disponibles para el cálculo de transporte de las radiaciones ionizantes, el tipo de partículas que son capaces de manejar, el rango de validez y la precisión de los mismos. Realizar cálculos sencillos utilizando esos códigos de cálculo

#### **Actividades vinculadas:**

Clases expositivas

Resolución de ejercicios y casos en clase

Trabajo autónomo. Ejercicios teóricos, prácticos, numéricos, informas

**Dedicación:** 64h

Grupo grande/Teoría: 14h

Grupo mediano/Prácticas: 10h

Aprendizaje autónomo: 40h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

**Instrumentos:**

IE. 1. Exámenes Escritos individuales o de grupo. Preguntas de desarrollo, Preguntas de respuesta múltiple (test), Resolución de problemas, etc.

IE. 3. Mini informes. Informes simples redactados individualmente o en grupo.

IE. 4. Informes formales. Documentos con una estructura predefinida en los que se abordan análisis de resultado experimentales, de códigos de cálculo, desarrollo de aspectos teóricos, resolución de problemas complejos, etc. Se elaborarán en grupo. Algunos incluirán presentaciones, de duración acotada, por parte de los estudiantes de los contenidos relevantes del informe.

IE.7. Valoración discrecional. Juicio de valor de los profesores sobre la globalidad del proceso de aprendizaje del alumno

**Esquema de calificación:**

20%: Encargos cortos. mini informes (10-15 en total)

30%: Encargos largos. Informes formales (5-7 en total) y presentaciones

10%: Encargos largos. Exámenes escritos individuales, después de algunos de los informes formales.

40%: Exámenes de mínimos. Sobre conceptos básicos de la asignatura. Debe obtenerse una calificación de 8 o más en cada pregunta. Habrá dos oportunidades para superar cada examen. Tres exámenes de mínimos

10%: Valoración discrecional. Este apartado se usará para mejorar la calificación en función de la implicación del estudiante en la asignatura.

## BIBLIOGRAFÍA

**Complementaria:**

- Knoll, Glenn F. Radiation detection and measurement. 4th ed. Hoboken: Wiley, cop. 2010. ISBN 9780470131480.

- Carron, N. J. An Introduction to the passage of energetic particles through matter [en línea]. Boca Raton: Taylor & Francis, cop. 2007 [Consulta: 01/10/2024]. Disponible a:

<https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=283193>. ISBN 0429137397.

- International Commission on Radiation Units and Measurements. Fundamental quantities and units for ionizing radiation. Bethesda: ICRU, 1998. ISBN 0913394599.

- Stopping powers for electrons and positrons. Bethesda, Maryland: ICRU, 1984. ISBN 0913394475.

- Tsoulfanidis, Nicholas; Landsberger, Sheldon. Measurement and detection of radiation. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press / Taylor & Francis Group, cop. 2011. ISBN 9780913392713.

- HS - Office of Health, Safety and Security. DOE-HDBK-1019/1-93, DOE Fundamentals Handbook, Nuclear Physics and Reactor Theory : Volume 1 of 2 [en línea]. Last updated. Washington: US DEpartment of Energy, 2015 [Consulta: 20/06/2024]. Disponible a: chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/<https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1019-bhdbk-1993-v1/@images/file>.

- HS - Office of Health, Safety and Security. DOE-HDBK-1019/2-93, DOE Fundamentals Handbook, Nuclear Physics and Reactor Theory, Volume 2 of 2 [en línea]. Last updated. Washington: U.S. Department of Energy, 2015 [Consulta: 20/06/2024]. Disponible a: chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/<https://www.standards.doe.gov/standards-documents/1000/1019-bhdbk-1993-v2/@images/file>.