

22-23

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA  
CUARTO CURSO

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA NUCLEAR

CÓDIGO 6890308-

UNED

22-23

FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA NUCLEAR

CÓDIGO 6890308-

# 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  
SISTEMA DE EVALUACIÓN  
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA  
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA  
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA  
PRÁCTICAS DE LABORATORIO

|                           |                                                 |
|---------------------------|-------------------------------------------------|
| Nombre de la asignatura   | FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA NUCLEAR               |
| Código                    | 6890308-                                        |
| Curso académico           | 2022/2023                                       |
| Departamento              | INGENIERÍA ENERGÉTICA                           |
| Título en que se imparte  | GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES |
| CURSO - PERIODO           | - CUARTO CURSO<br>- SEMESTRE 2                  |
| Título en que se imparte  | GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA               |
| CURSO - PERIODO           | - CUARTO CURSO<br>- SEMESTRE 2                  |
| Título en que se imparte  | GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA                    |
| CURSO - PERIODO           | - CUARTO CURSO<br>- SEMESTRE 2                  |
| Título en que se imparte  | GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA                   |
| CURSO - PERIODO           | - CUARTO CURSO<br>- SEMESTRE 2                  |
| Tipo                      | OPTATIVAS                                       |
| Nº ETCS                   | 5                                               |
| Horas                     | 125.0                                           |
| Idiomas en que se imparte | CASTELLANO                                      |

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura de Fundamentos de Ingeniería Nuclear es común a cuatro de los grados de ingeniería que se imparten en la ETS Ingenieros Industriales de la UNED, tiene carácter obligatorio en dos de ellos (Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales y Grado en Ingeniería de la Energía), y optativo en los otros dos (Grado en Ingeniería Mecánica y Grado en Ingeniería Eléctrica), tal y como se ve en la cabecera de esta guía, donde aparecen los créditos y horas equivalentes de trabajo del estudiante, y el semestre de impartición.

El objetivo general que se persigue es motivar al estudiante en su interés por el conocimiento de los procesos nucleares y de las aplicaciones o tecnologías que basados en los mismos se han desarrollado o están en fase de desarrollo, dirigidos a sustentar el bienestar de nuestro planeta y de todos sus habitantes, y que abarcan no sólo opciones energéticas (desde las tradicionales a las nuevas tendentes a la sostenibilidad), sino también las no energéticas, tales como la de salud humana, y otras muchas no consideradas en el curso como la agricultura, la alimentación, etc.

De acuerdo con lo mencionado, los contenidos de la asignatura pueden considerarse organizados en dos partes. En la primera de ellas (la cual incluye los contenidos del Bloque 1 de la asignatura) se estudian los conceptos y principios básicos de la fenomenología de los procesos nucleares y de la producción e interacción de las radiaciones ionizantes. Esta primera parte es la que podríamos considerar una introducción a los temas fundamentales de la ciencia nuclear. La segunda parte (que incluye los Bloques 2, 3, 4 y 5 de la asignatura) se orienta a describir y fundamentar las tecnologías que sustentan las principales aplicaciones de los procesos nucleares y las radiaciones. Esta parte es la que podríamos considerar como una introducción a las distintas tecnologías nucleares y de aplicación de la radiación. A este respecto se presta especial atención a las aplicaciones energéticas de los procesos nucleares, y para ello se describe la fuente de energía de fisión nuclear y distintas tecnologías concebidas para explotar su aprovechamiento, desde las actuales a las

avanzadas y todavía no implementadas. También se introducen las bases de la fuente de energía de fusión nuclear y de algunas de las tecnologías más prometedoras encaminadas a lograr su aprovechamiento para la producción de energía eléctrica desde una perspectiva de sostenibilidad. Por otra parte, se aborda también el estudio de las aplicaciones no energéticas, orientadas a campos tales como la industria, la investigación y sobre todo la medicina.

En el curso se subraya la idea de que, si bien las aplicaciones de las reacciones nucleares y la radiación son potencialmente muy beneficiosas, desgraciadamente no están exentas de riesgos, debidas a la presencia de productos radiactivos y radiaciones que pueden interaccionar con la naturaleza y las personas, y producir daños biológicos. En este contexto se introducen los conceptos fundamentales de la cultura de la seguridad nuclear, se plantean las estrategias ligadas a la gestión de los posibles residuos radiactivos que se generan en las distintas aplicaciones, y se presentan algunas de las cuestiones a tener en cuenta para evaluar las posibilidades de alcanzar una energía nuclear sostenible.

En el contexto de la I+D+i, señalar que dentro de los grandes retos hacia los que se quiere orientar la actividad de I+D+i en Europa y España durante los próximos años, las aplicaciones de los procesos nucleares y las fuentes de radiación tienen una cabida muy significativa en varios de ellos. Ver a este respecto documentos sobre:

1. EU research and innovation strategic plan, Horizon Europe (2021-2024)
2. European Atomic Energy Community (EURATOM) programme, Horizon Europe, for nuclear research and training activities (2021-2025)
3. Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027
4. Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación (2021-23)

Como en ellos puede observarse, las contribuciones esperadas a los retos de energía y salud son muy relevantes.

A nivel contextual, merece la pena hacer constar dos tipos de hechos: i) en España más del 20% de la energía eléctrica producida durante los últimos 10 años ha sido de origen nuclear, en concreto, la energía nuclear fue la segunda fuente de generación de energía eléctrica de España en 2021, con un 20,8 % de la producción, formando parte de la denominada energía de base, y ii) el enorme avance que en medicina han supuesto la gran variedad de pruebas de diagnóstico y tratamiento basadas en las propiedades nucleares de la materia.

Además, la Unión Europea, consciente de la necesidad de la conservación y actualización de las competencias en el ámbito nuclear, ante el riesgo real de pérdida de competencias nucleares para Europa, y de la dificultad para atraer y motivar a los jóvenes talentos hacia las organizaciones del sector nuclear, ha tomado medidas que se han concretado en la potenciación de la creación de Asociaciones de carácter europeo que hagan de interlocutores para dar respuesta a estas demandas, así como en lanzar Proyectos enmarcados dentro de los últimos programas de investigación y desarrollo de la Comisión Europea, actualmente llamado Horizon Europe (ver vínculos arriba indicados). En este contexto la Gestión del Conocimiento Nuclear ha ido cobrando una gran importancia, y con

ella la necesidad de trabajar en entornos multidisciplinares para lograr estos objetivos. Las dos asociaciones europeas más importantes son FuseNet (The European Fusion Education Network) y ENEN (The European Nuclear Education Network), la primera dedicada a la educación de la ciencia y tecnologías de la fusión nuclear, y la segunda dedicada a la educación de la ciencia y tecnologías nucleares restantes, fundamentalmente las concernientes a las tecnologías de fisión nuclear presentes y futuras, y a las basadas en las aplicaciones de las radiaciones ionizantes, y entre ellas sobre todo a la medicina. La UNED, bajo la responsabilidad de los profesores de esta asignatura, es miembro desatacado de estas Asociaciones y Proyectos europeos, un gran valor para los estudiantes que quieran iniciarse en la ciencia y tecnología nuclear en la UNED, así como en las temáticas multidisciplinares en el contexto de la Gestión del Conocimiento Nuclear, por las razones que seguidamente comentamos. Por lo que a proyectos europeos se refiere, los proyectos recientes más importantes centrados en la educación de la ciencia y tecnología nuclear en sentido amplio, encuadrados dentro de Horizonte 2020 y EURATOM, en los que ha participado la UNED, son: ANNETTE (Advanced Networking for Nuclear Education and Training and Transfer of Expertise) y ENEN PLUS (Attract, Retain and Develop New Nuclear Talents Beyond Academic Curricula).

Las Redes/Asociaciones Europeas de Formación Nuclear y los Proyectos Europeos de Formación Nuclear arriba indicados suministran una plataforma para la coordinación, integración y mejora de la educación y la formación europeas sobre la distintas Tecnologías nucleares y ciencia nuclear que las sustenta, para la iniciación, desarrollo e implementación de nuevas actividades dentro del marco de la UE, para el intercambio y diseminación de la información sobre educación en las distintas tecnologías nucleares, y para la movilidad de estudiantes de grado, máster y doctorado. En consecuencia, nuestros estudiantes podrían disponer de fondos para movilidad, y además se les posibilita la obtención de certificados internacionales con la realización de unos pocos créditos adicionales en otras instituciones que formen parte de las Redes mencionadas, tales como por el Master Europeo de Ciencia en Ingeniería Nuclear.

Esta asignatura le servirá de puerta de entrada si quisiera abordar la Especialidad de INGENIERÍA NUCLEAR del Máster Universitario en INGENIERÍA INDUSTRIAL, así como también posteriormente el Doctorado en TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES, para el que nuestro equipo de investigación del área de Ingeniería Nuclear del Departamento de ingeniería Energética de la UNED (grupo de investigación TECF3IR), con una reconocida calidad a nivel internacional, podría dirigirle su tesis doctoral dentro del ámbito nuclear. También puede interesarse por desarrollar su Proyecto Fin de Grado con nosotros en las temáticas propuestas por los profesores de esta asignatura, haciendo la solicitud correspondiente, y si lo desea poniéndose en contacto con nosotros previamente. Además del grupo de investigación citado, se ha constituido un grupo multidisciplinar en

temas de innovación educativa y cambio de cultura en el sector nuclear: INOOC (Innovative Open Online Culture in the Nuclear Field), con posibilidad de incorporar alumnos para desarrollar el Proyecto Fin de Grado.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Los conocimientos de física, cálculo y ecuaciones diferenciales que el alumno habrá adquirido cursando las asignaturas del grado correspondiente.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

RAFAEL JUAREZ MAÑAS (Coordinador de asignatura)

rjuarez@ind.uned.es

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

FRANCISCO M. OGANDO SERRANO

fogando@ind.uned.es

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

JUAN PABLO CATALAN PEREZ

jpcatalan@ind.uned.es

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

JAVIER SANZ GOZALO

jsanz@ind.uned.es

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

MERCEDES ALONSO RAMOS

malonso@ind.uned.es

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La tutorización se realizará fundamentalmente en línea, mediante la participación en los Foros de Debate de la plataforma virtual, si bien también pueden enviarse desde esta misma plataforma correos personales a los distintos profesores del equipo docente.

Además el equipo docente de la asignatura tiene asignados unos días y horarios de guardia donde el alumno podrá contactar personalmente o por teléfono con los profesores y

consultarles lo que considere oportuno para resolver las dudas que se le planteen en el estudio de la asignatura. Al final se da la información para contactar con los profesores, indicando en cada bloque temático el profesor responsable. También podrán hacerse consultas en otros días y horarios cuando sea posible mediante acuerdo previo del estudiante con el profesor.

Esta asignatura cuenta con apoyo tutorial con un tutor intercampus en el Centro Asociado de Madrid. Cada sesión de tutorías será accesible online, y quedará grabada para su consulta en diferido. La información sobre las tutorías podrá consultarse en el foro correspondiente del curso virtual. La información detallada está disponible en el apartado “Tutorización en centros asociados”.

En caso de comunicación por correo postal, la dirección de envío es la siguiente (precedida del nombre del profesor correspondiente):

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)  
E.T.S.I. Industriales  
Departamento de Ingeniería Energética  
C/ Juan del Rosal 12  
28040 Madrid

### **Bloque 1**

Profesor: D. Javier Sanz Gozalo  
Horario de guardia: Jueves de 16 a 20 horas  
Teléfono: 913986463  
Despacho: 2.18  
Correo electrónico: jsanz@ind.uned.es

### **Bloque 2**

Profesor: D. Juan Pablo Catalán Pérez  
Horario de guardia: Martes y Jueves de 16 a 18 horas  
Teléfono: 913988209  
Despacho: 0.15  
Correo electrónico: jpcatalan@ind.uned.es

### **Bloque 3**

Profesor: D. Francisco Ogando Serrano  
Horario de guardia: Martes y Jueves de 16 a 18h  
Teléfono: 913988223  
Despacho: 0.15  
Correo electrónico: fogando@ind.uned.es

### **Bloque 4**

Profesor: D<sup>a</sup>. Mercedes Alonso Ramos  
Horario de guardia: Miércoles de 10 a 14 horas  
Teléfono: 913986464

Despacho: 2.22

Correo electrónico: malonso@ind.uned.es

### **Bloque 5**

Profesor: D. Rafael Juárez

Horario de guardia: Jueves de 10 a 14 horas

Teléfono: 913988223

Despacho: 0.15

Correo electrónico: rjuarez@ind.uned.es

## **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 6890308-

## **COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE**

### **COMPETENCIAS BÁSICAS, GENERALES Y ESPECÍFICAS DEL GRADO (ORDEN CIN 351-2009)**

#### **COMPETENCIAS BASICAS**

CB1. Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.

CB2. Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.

CB3. Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.

#### **COMPETENCIAS GENERALES (OBJETIVOS)**

CG.3. Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.

CG.4. Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.

CG.5. Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones,

peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos.

CG.6. Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

CG.10. Capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar.

### **COMPETENCIAS ESPECIFICAS**

La asignatura Fundamentos de Ingeniería nuclear no tiene competencias específicas según la orden CIN 351-2009, pero sí se le ha asignado la siguiente competencia dentro del grado: Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos científicos y tecnológicos de la ingeniería nuclear.

(OBSERVACIONES: La Memoria del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales está en proceso de revisión)

## **RESULTADOS DE APRENDIZAJE**

De acuerdo con la memoria verificada, los Resultados del Aprendizaje de la asignatura son los siguientes:

RA.1. Conocer los fundamentos de la ingeniería nuclear.

RA.2. Conocer las tecnologías empleadas en la producción de energía eléctrica de origen nuclear.

RA.3. Comparar los diferentes modos de producción de energía eléctrica de origen nuclear.

RA.4. Resolver problemas relacionados con cuestiones básicas de la ingeniería nuclear.

RA.5. Capacidad para plasmar o transmitir conocimientos en el área de ingeniería nuclear.

## **CONTENIDOS**

### **PRESENTACIÓN**

La asignatura consta de una parte teórica que se encuentra dividida en cinco bloques y de dos tipos de actividades complementarias:

1. Prácticas presenciales.

2. Pruebas de evaluación continua (PEC), pensadas para que los estudiantes puedan contrastar su proceso de asimilación de la asignatura, así como elemento de seguimiento y evaluación del proceso de aprendizaje.

Seguidamente se presentan los contenidos de la parte teórica.

**BLOQUE 1. Introducción a la Ingeniería Nuclear y fundamentos teóricos en los que se basa**

En este bloque al ser de ciencia, se hablará de fenómenos sin hacer mención alguna a si tendrán o no utilización práctica. Será un bloque temático de ciencia muy básica, el

tratamiento de los fenómenos será fundamentalmente descriptivo, se introducirán los conceptos básicos de la ciencia/física nuclear, y aprovecharemos para recalcar como estos quedan fuera del campo de la física clásica.

Los dos fenómenos tratados en este bloque han sido seleccionados por haber dado lugar al desarrollo de aplicaciones tecnológicas: radiactividad y radiación por una parte, y de reacciones nucleares por otra, destacándose las reacciones nucleares de fisión y fusión.

### **Tema 1. Estructura de la materia y formas de energía.**

1.1 Introducción: materia y energía.

1.2 Materia

1.3 La energía: concepto y propiedades.

1.4 Formas de energía: cinética, potencial, térmica, química y nuclear

1.5 Radiación electromagnética.

1.6 Introducción a la mecánica relativista: equivalencia masa-energía y leyes de conservación.

1.6.1 Dinámica de una partícula material.

1.6.2 Unidades de masa y energía: equivalencia entre ellas.

1.6.3 Dinámica de una partícula sin masa.

1.6.4 Sistema aislado de partículas: leyes de conservación en colisiones y desintegraciones.

1.6.5 Energía de enlace de un sistema.

1.6.6. Consideraciones generales y ejemplos útiles para la solución de problemas de mecánica relativista/masa-energía

### **Tema 2. La naturaleza atómica y nuclear de la materia.**

2.1 Composición de átomos y núcleos: propiedades generales.

2.2 Los elementos químicos y los isótopos.

2.3 Peso atómico, mol y densidad atómica.

2.4 Energía del átomo y del núcleo: estados excitados y radiación.

2.5 Energía de enlace del núcleo y del átomo.

2.6 Fuerzas en la naturaleza y fuerzas entre nucleones.

### **Tema 3. Radiactividad y reacciones nucleares.**

3.1 Estabilidad nuclear y desintegración radiactiva.

3.1.1 Procesos de desintegración radiactiva.

3.1.2 Ley fundamental de la desintegración radiactiva: cálculos de radiactividad.

3.1.3 Radiactividad natural y artificial.

3.2 Reacciones nucleares

3.2.1 Introducción.

3.2.2 Cinemática de una reacción nuclear.

3.2.3 Sección eficaz microscópica. Tasas de reacción

3.2.4 Sección eficaz macroscópica y recorrido libre medio

3.2.5 Variación de la sección eficaz con la energía. Modelo del núcleo compuesto

#### **Tema 4. Interacción de la radiación con la materia.**

4.1 Partículas cargadas.

4.1.1 Mecanismos de interacción: magnitudes caracterizadoras de la pérdida de energía y la penetración en la materia

4.1.2 Interacción de las partículas alfa con la materia.

4.1.3 Interacción de las partículas beta con la materia.

4.1.4 Fragmentos de la reacción de fisión.

4.2 Interacción de los rayos X y gamma con la materia.

4.2.1 Modos de interacción

4.2.2 Algunas implicaciones prácticas asociadas a la fenomenología de los procesos.

4.2.3 Atenuación y absorción de la radiación electromagnética.

4.2.4 Deposición de energía.

4.3 Interacción de los neutrones

4.3.1 Reacciones nucleares con neutrones

4.3.2 Clasificación de reacciones y secciones eficaces.

4.3.3 Tasas de reacción con un flujo de neutrones polienergético.

#### **Tema 5. Fisión nuclear.**

5.1 Fisión espontánea y fisión inducida

5.2 Nucleidos fisionables por neutrones.

5.3 Secciones eficaces de fisión inducida por neutrones

5.4 Productos emitidos durante las distintas fases del proceso de fisión inducida por neutrones

5.4.1 Productos de fisión

5.4.2 Neutrones de fisión: inmediatos y diferidos.

5.5 Energía liberada en la fisión: energía total y energía útil.

#### **Tema 6. Fusión nuclear.**

6.1 Introducción

6.2 Principios de la fusión nuclear

6.2.1. Reacción de fusión nuclear

6.2.2. Balance energético

6.2.3. Temperatura de ignición

6.2.4. Criterio de Lawson

### **BLOQUE 2. Aplicación de la fisión nuclear a la producción de energía eléctrica**

En la primera parte de este bloque se describirá el funcionamiento básico del reactor térmico que, a día de hoy, representa prácticamente la totalidad de los reactores utilizados para la generación de energía eléctrica. Para entender los procesos que tienen lugar dentro del

núcleo se utilizará el concepto de reactor infinito homogéneo que permite, de forma simple, entender los complejos equilibrios que rigen la operación de los reactores nucleares térmicos. Por otro lado, en el capítulo se explicará el esquema general de una central nuclear, así como se describirán los principales tipos de reactores utilizados para la producción de energía eléctrica.

En la segunda parte se describirá el ciclo de combustible desde las materias primas y su disponibilidad hasta la reutilización o gestión como residuo final de los elementos de combustible. Este tema es de vital importancia dentro de la tecnología de fisión ya que el impacto medioambiental y económico de esta tecnología es crítico a la hora de evaluar el coste-beneficio, y por tanto la viabilidad, de las diferentes tecnologías de fisión.

### **Tema 7. Conceptos básicos del reactor nuclear térmico.**

7.1 Introducción.

7.2 Esquema general de una central nuclear

7.3 Reacción en cadena controlada.

7.4 Factor de multiplicación. Criticidad y reactividad

7.5 Ciclo neutrónico

7.6 Reactor infinito homogéneo

7.7 Evolución temporal de la población neutrónica. Período del reactor

7.8 Neutrones diferidos

7.9 Potencia del reactor

7.9.1 Potencia del reactor durante la operación. Quemado

7.9.2 Potencia residual del reactor durante la parada.

7.10 Tipos de reactores térmicos

### **Tema 8. El ciclo de combustible nuclear.**

8.1 Introducción. Esquema general

8.2 Materias primas y su disponibilidad

8.3 Extracción

8.4 Procesado

8.5 Fabricación

8.6 Utilización

8.7 Almacenamiento

8.8 Reprocesado

8.9 Gestión de residuos

**BLOQUE 3. Aplicaciones de radionucleidos y radiaciones en campos diferentes del energético: sistemas para su producción, uso y detección**

Se inicia en este bloque un repaso por las principales aplicaciones no energéticas de las radiaciones ionizantes en medicina e industria. Las aplicaciones energéticas, con mucho las más importantes hoy en día, han sido ya tratadas extensamente en el bloque 2 de este mismo texto. El enfoque que se ha pretendido dar a esta sección tiene el objetivo de que el estudiante consiga una cultura general sobre la diversidad de posibilidades prácticas que plantean las radiaciones ionizantes. Esta cultura sobre el tema puede aportar dos beneficios fundamentales:

- Se tendrá una información más precisa de cara a formarse un juicio crítico sobre el papel de las radiaciones ionizantes en el mundo actual.
- Se logrará una noción básica de multitud de aplicaciones que, de cara al futuro laboral, puede representar una ventaja si se trabaja en todo el sector laboral entorno a las mismas. Toda la maquinaria de la que se va a tratar tiene utilización diaria en nuestra sociedad actual. Esto genera todo un sector laboral en su entorno, desde las fases de diseño, comercialización, mantenimiento y uso. Si bien el uso médico puede caer fuera de esta titulación de ingeniería, sí que nos afecta directamente el resto de los sectores.

#### **Tema 9. Aplicaciones médicas de los radionucleidos y radiaciones ionizantes.**

##### 9.1 Introducción

##### 9.2 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

##### 9.3 Aplicaciones médicas de diagnóstico

##### 9.4 Aplicaciones médicas de terapia

#### **Tema 10. Producción de radionucleidos y aplicaciones de los mismos y de las radiaciones ionizantes en la industria.**

##### 10.1 Introducción.

##### 10.2 Producción de isótopos radiactivos

##### 10.3 Esterilización

##### 10.4 Ensayos no destructivos

##### 10.5 Generación de energía

##### 10.6 Otras aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes

#### **Tema 11. Sistemas de detección y medida de la radiación.**

##### 11.1 Introducción

##### 11.2 Detectores de ionización gaseosa

##### 11.3 Detectores de semiconductor

##### 11.4 Detectores de centelleo y termoluminiscencia.

#### **BLOQUE 4. Riesgos derivados de la utilización civil de los procesos nucleares: salud, impacto medio ambiental, proliferación. Medios para hacerlos frente**

Este bloque habla de los temas relacionados con los riesgos debidos al uso civil de los procesos nucleares. Primero se trata de introducir la Protección Radiológica, disciplina que

se ocupa de la medida de las dosis de radiación y del establecimiento de los límites correspondientes. Posteriormente la Seguridad Nuclear Tecnológica, en el contexto de una Seguridad Nuclear que incluye también la Seguridad Nuclear Física, y del marco de la cultura de seguridad nuclear. Se centra el estudio especialmente en las Centrales Nucleares, y se presenta como la materia que estudia las condiciones que han de cumplir este tipo de instalaciones para considerarse seguras. La gestión de residuos radiactivos también forma parte de las consecuencias medioambientales del uso pacífico de la energía nuclear. En este bloque, además del material básico y complementario relacionado en esta guía, se pondrá a disposición en el plan de trabajo del curso virtual material adicional de apoyo.

### **Tema 12. Protección Radiológica.**

#### 12.1 Introducción

#### 12.2 Fuentes naturales y artificiales de radiaciones y radiactividad

#### 12.3 Unidades de dosis de radiación

#### 12.4 El objetivo y los principios básicos de la protección radiológica. El establecimiento de los límites de dosis

#### 12.5 El cálculo de la dosis absorbida en casos sencillos

#### 12.6 Exposición interna

#### 12.7 Medios físicos para la protección frente a las radiaciones ionizantes

#### 12.8 El estudio del impacto radiológico

#### 12.9 Los estándares de protección radiológica

#### 12.10 Resumen y conclusiones

### **Tema 13. Seguridad nuclear**

#### 13.1 Introducción

#### 13.2 Principios de seguridad nuclear

#### 13.3 Seguridad nuclear en el diseño, construcción, puesta en marcha y explotación

#### 13.4 Aproximaciones determinista y probabilista

#### 13.6 Accidentes nucleares

### **Tema 14. Gestión de residuos radiactivos.**

#### 14.1 Introducción

#### 14.2 Generación de residuos radiactivos

#### 14.3 Clasificación de los residuos radiactivos

#### 14.4 La generación de residuos radiactivos en el ciclo del combustible nuclear

#### 14.5 El transporte de los residuos radiactivos

#### 14.6 Gestión de los residuos de media, baja y muy baja actividad

#### 14.7 Gestión de residuos de alta actividad

#### 14.8 El desmantelamiento de las centrales nucleares

## BLOQUE 5. Perspectivas futuras de la ingeniería nuclear

El quinto y último bloque ofrece una perspectiva del papel que desempeña la energía nuclear en el presente, así como de las posibilidades futuras que ofrece. En el Tema 15 se desglosan las perspectivas que se deben considerar al analizar una fuente de energía y se aplican a la energía nuclear del presente. En el Tema 16 se desarrollan los conceptos de reactores de fisión que optimizan diferentes aspectos del diseño para ofrecer soluciones concretas a los retos técnicos actuales de la energía nuclear y poder, así, seguir formando parte de la producción eléctrica en el medio plazo. En el Tema 17 se abordan los reactores de fusión nuclear. Representan, en el largo plazo, una prometedora alternativa energética nuclear con grandes ventajas respecto de las tecnologías de fisión.

### **Tema 15. La energía nuclear en la planificación energética: aspectos económicos, medioambientales y estratégicos.**

- 15.1 Situación de la energía nuclear de fisión
- 15.2 Aspectos económicos de la energía nuclear de fisión
- 15.3 Aspectos de seguridad de la fisión nuclear
- 15.4 Aspectos medioambientales de la fisión nuclear
- 15.5 Previsiones para la energía nuclear
- 15.5 Conclusiones

### **Tema 16. Reactores avanzados de fisión nuclear**

- 16.1 Reactores térmicos de generación IV
  - 16.1.1 Reactor de agua supercrítica
  - 16.1.2 Reactor de muy alta temperatura
  - 16.1.3 Generación de residuos radiactivos
- 16.2 Reactores rápidos de generación IV
  - 16.2.1 Selección del refrigerante para los reactores rápidos
  - 16.2.2 Reactores refrigerados por metales líquidos: SFR y LFR
  - 16.2.3 Reactor rápido de gas
- 16.3 El ciclo del Torio
- 16.4 Reactor epitérmico de generación IV: reactor de sales fundidas
- 16.5 Reactores pequeños modulares (Small Modular Reactors)
- 16.6 Reactores rápidos como solución a los residuos actuales
- 16.7 Resumen y estado actual de los reactores avanzados

### **Tema 17. Aprovechamiento de la reacción de fusión nuclear para la producción de energía eléctrica. Conceptos de reactores de fusión**

- 17.1 El ciclo de combustible de fusión
  - 17.1.1 Reacciones de fusión
  - 17.1.2 Combustible

### 17.1.3 Recursos energéticos

## 17.2 Fusión por confinamiento magnético (FCM)

### 17.2.1 Confinamiento del plasma

### 17.2.2 Calentamiento del plasma

### 17.2.3 Reactor de fusión por confinamiento magnético

## 17.3 Fusión por confinamiento inercial (FCI)

### 17.3.1 Principales fases del proceso de fusión en confinamiento inercial

### 17.3.2 Método de irradiación

### 17.3.3 Cápsula de combustible

## Prácticas presenciales

Estas prácticas consisten o bien en una visita a una Instalación Nuclear, o bien prácticas en los locales del Departamento de Ingeniería Energética de la ETS Ingenieros Industriales. Se realizarán en principio en el periodo de prácticas de las asignaturas del segundo semestre del grado en el mes de junio.

No hay sesión de prácticas en el mes de septiembre. Por lo tanto, y dado el carácter obligatorio de las mismas, cualquiera que sea el plan que el alumno tenga de examinarse (junio/septiembre) siempre tendrá que realizar las prácticas en el mes de junio.

Con antelación a la realización de las prácticas, los alumnos recibirán vía correo electrónico toda la información necesaria sobre las mismas: horarios, actividades, material necesario.

Esa misma información aparecerá en el curso virtual de la asignatura

## Pruebas de evaluación continua

Actividades de seguimiento y evaluación continua del proceso de asimilación/aprendizaje en cada uno de los bloques en que se estructura la asignatura. Estas se pondrán a disposición de los estudiantes en el curso virtual de la asignatura. Tienen carácter obligatorio.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada es la característica de la UNED, enseñanza a distancia apoyada en el uso de las tecnologías de información y comunicación. La bibliografía básica está especialmente diseñada para facilitar al alumno la asimilación de los contenidos de manera autónoma.

Las actividades de seguimiento y evaluación continua se harán mediante la realización de las pruebas de evaluación continua (PEC) a distancia.

Por otra parte, la prueba presencial personal y las prácticas presenciales serán indicadoras del nivel global de asimilación alcanzado por el estudiante al finalizar el periodo de aprendizaje de la asignatura.

Las pruebas de evaluación continua tienen carácter obligatorio y se realizarán

paulatinamente a lo largo del curso. Están pensadas para que los estudiantes puedan contrastar su proceso de asimilación en cada uno de los bloques en que se estructura la asignatura.

Las prácticas presenciales obligatorias tienen como objetivo fundamental que el alumno entre en contacto con las instalaciones de carácter nuclear y vean in situ la enorme complejidad, desarrollo tecnológico y la seguridad de esas instalaciones. En caso de establecer las prácticas en forma de seminario, el objetivo será garantizar que el alumno disponga de las bases y actitud crítica que le permitan evaluar la viabilidad de la energía nuclear (en sus distintas opciones) para producir electricidad de forma sostenible. En este curso académico los estudiantes pueden elegir la opción de prácticas virtuales síncronas, vinculadas a un Proyecto de Innovación Docente de la UNED, tal y como se explica en el apartado de Prácticas de laboratorio de esta guía.

La labor personal y continuada del alumno es imprescindible para el proceso de aprendizaje, siendo fundamental la asimilación de los nuevos conceptos.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| Tipo de examen                  | Examen de desarrollo |
| Preguntas desarrollo            | 8                    |
| Duración del examen             | 120 (minutos)        |
| Material permitido en el examen |                      |

Calculadora no programable

### Criterios de evaluación

El estudiante debe considerar que si bien todos los temas que forman parte del temario son igualmente importantes hay que tener en cuenta que unos requieren un estudio más profundo que otros.

**El examen consiste en cinco partes una por cada uno de los bloques en que está dividida la asignatura. Las preguntas del Bloque 1 computarán un 30% en la nota del examen, y las del resto de los Bloques (2-5) el 70% restante, repartido de forma igualitaria.**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| % del examen sobre la nota final                                 | 80 |
| Nota del examen para aprobar sin PEC                             |    |
| Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC |    |
| Nota mínima en el examen para sumar la PEC                       | 4  |
| Comentarios y observaciones                                      |    |

No es posible aprobar la asignatura, independientemente de la nota en el examen, sin haber realizado tanto las PEC como las prácticas presenciales con una calificación mínima de 4 en cada una de ellas.

**El número de preguntas de examen es orientativo, puede variar ligeramente en cada examen.**

#### PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC? Si

##### Descripción

Las pruebas de evaluación continua tienen carácter obligatorio y se recomienda realizarlas paulatinamente a lo largo del curso. Están pensadas para que los estudiantes puedan contrastar su proceso de asimilación en cada uno de los bloques en que se estructura la asignatura. El estudiante debe realizar cinco PECs, correspondientes a cada uno de los bloques.

**En este curso académico las PEC del bloque 4 estarán vinculadas a otro Proyecto de Innovación Docente de la UNED, con dos opciones para realizarlas a elegir voluntariamente por los alumnos, una de ellas mediante actividades vinculadas a la realización de MOOCs. La información sobre las opciones de PEC y las indicaciones para seguirlas estarán disponibles cuando se publique el enunciado de la PEC del Bloque 4.**

##### Criterios de evaluación

Se debe obtener una nota igual o superior a 4 puntos en las PEC para poder aprobar la asignatura.

**Las PEC del Bloque 1 computarán un 30% en la nota total de las PEC, y las del resto de los Bloques (2-5) el 70% restante, repartido de forma igualitaria.**

Ponderación de la PEC en la nota final 10%

Fecha aproximada de entrega 10/05/2023

##### Comentarios y observaciones

Los enunciados de las PECs se irán poniendo a disposición de los estudiantes en el apartado “Trabajos” del curso virtual.

**En el plan de trabajo se pondrá un calendario con la información sobre las fechas de la puesta a disposición de los enunciados de las PECs, las fechas recomendadas para la entrega de la PEC de cada bloque, y la fecha límite para la entrega de todas ellas.**

**Posteriormente a la calificación de la asignatura en convocatoria ordinaria se abrirá de nuevo el plazo de entrega de las PEC para la convocatoria de septiembre, con la fecha aproximada de entrega del 28/08/2023.**

#### OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

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

##### Descripción

**Prácticas presenciales**

**La descripción de las prácticas está disponible en el apartado “Prácticas de laboratorio” de esta guía.**

**Criterios de evaluación**

Se debe obtener una nota igual o superior a 4 puntos para poder aprobar la asignatura.

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| Ponderación en la nota final | 10%        |
| Fecha aproximada de entrega  | 31/06/2023 |
| Comentarios y observaciones  |            |

Para las prácticas presenciales consultar la fecha definitiva en el calendario de prácticas del grado para asignaturas del segundo semestre cuando esté disponible. **En este curso académico, y vinculado a un Proyecto de Innovación Docente de la UNED, se ofrecerán a quienes lo elijan voluntariamente la opción de realizar, en lugar de las prácticas presenciales, unas prácticas virtuales síncronas en las dos convocatorias de junio y septiembre. Las fechas de estas prácticas y toda la información sobre las mismas se pondrá a disposición de los alumnos matriculados en el curso virtual.**

**El resto de información sobre las prácticas está disponible en el apartado “Prácticas de laboratorio” de esta guía.**

**¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

La evaluación de la asignatura se realizará en función de las siguientes actividades, todas ellas obligatorias.

Prueba Presencial (PruP).

Práctica Presencial (PraP).

Pruebas de Evaluación Continua (PEC).

**La nota final de la asignatura se calcula de acuerdo a los siguientes criterios:**

**1. La asignatura se aprueba si se obtiene una calificación global igual o superior a cinco, pero además se fija como condicionante adicional para la superación de la misma, el haber obtenido un mínimo de 4 puntos sobre 10 cada una de las anteriores actividades.**

**2. Si se supera el condicionante mencionado, el cálculo de la nota final de la asignatura se hace de acuerdo a la siguiente fórmula:**

$$\text{Nota (final)} = 0,1 \times \text{PraP} + 0,1 \times \text{PEC} + 0,8 \times \text{PruP}$$

**Si la nota del examen es menor que 4 la nota final en las actas será la nota del examen, sin ponderar con las otras dos actividades.**

**\*La Nota asociada a cualquier actividad se puntúa de 0 a 10.**

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Para la preparación de la asignatura se utilizará como texto base:

Título: FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA NUCLEAR

Autor/es: SANZ, J.; CATALÁN, J.P.; OGANDO, F.; ALONSO, M. y JUÁREZ, R.

Este texto se pondrá a disposición para este curso académico en formato electrónico en el curso virtual.

Este libro, escrito y revisado por el equipo docente, está estructurado con los mismos temas que constituyen los contenidos de la asignatura (excepto el tema 9 que no forma parte del temario de la asignatura, por lo que en adelante la numeración de temas no coincide. Es un texto pensado para estudiantes que por vez primera se enfrentan a cuestiones relacionadas con la ingeniería nuclear, cubriendo por tanto todos los conceptos básicos en el campo de la ciencia nuclear que se necesitan para abordar la asignatura. Se trata de un material muy extenso, por lo que en la sección de contenidos de la guía del curso completa que está a disposición de los alumnos matriculados se dan las orientaciones al estudio pertinentes, limitando y priorizando sus contenidos de cara a la preparación de las pruebas presenciales.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9788474841190

Título: REACTORES NUCLEARES (1ª)

Autor/es: Martínez-Val Peñalosa, José Mª ; Piera, Mireia ;

Editorial: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

La bibliografía complementaria que se cita a continuación no es necesaria para el aprendizaje de la asignatura, pero sí es recomendable para ampliar la cultura nuclear sobre los temas que se tratan en la asignatura.

Título: **222 Cuestiones sobre la energía**, Edit. Foro de la Industria Nuclear Española, 2001, Madrid.

Autor/es: BARRACHINA, M y otros

Editorial: EL FORO NUCLEAR

Este libro está disponible en formato electrónico en el curso virtual.

En este texto se presentan los interrogantes que más comúnmente se plantean sobre el tema energético y sobre el papel que la energía nuclear y sus aplicaciones desempeñan en nuestra sociedad. Las cuestiones que se discuten son las fundamentales a la hora de evaluar el problema de la necesidad de utilizar fuentes energéticas respetuosas con el medio ambiente y compatibles con un crecimiento sostenible.

Por tanto, se ajusta fielmente a los objetivos que se pretenden conseguir en el curso.

Presenta una estructura bastante similar a la del texto base. Muchas de las preguntas que sobre el tema nuclear se plantean, se tratan con más amplitud en el texto base. Otras relacionadas con otras fuentes energéticas distintas a la nuclear, y que apenas se desarrollan en el texto base, son sin embargo fundamentales a la hora de que el alumno encuadre a la energía nuclear en el marco general de las todas las demás fuentes energéticas, comprendiendo sus similitudes y diferencias, ventajas y desventajas.

Título: **REACTORES NUCLEARES**

ISBN (13): 9788474841190

Autor/es: Piera, Mireia; Martínez-Val Peñalosa, José M<sup>a</sup>

Editorial: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Madrid. Ed. Sección de Publicaciones de la ETSII de la UPM. (Tel.: 91 336 30 68)

Este libro es de contenido más avanzado, y es de los pocos textos en español sobre tecnología nuclear.

Título: **Introducción a la física atómica y nuclear**

Autor/es: SANZ, J.; SAUVAN, P.

Este texto es de contenido avanzado, y aunque no necesario para el aprendizaje de esta asignatura, se recomienda para aquellos estudiantes que quieran introducirse en la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica y de su aplicación a ciertos problemas del mundo atómico y nuclear.

El libro no ha sido publicado aún, pero está disponible en formato electrónico en la plataforma virtual.

MOOCs "Introducing Safety Culture and its application to the nuclear field", disponibles en la plataforma de MOOCs UNED Abierta

- NOOC I What is safety culture?
- NOOC II Understanding Nuclear Safety Culture
- NOOC III Developing leadership for safety

Se trata de 3 cursos gratuitos, abiertos y masivos en inglés producidos por UNED y Tecnatom en el marco del proyecto europeo Euratom H2020 ANNETTE. Directores: Mercedes Alonso Ramos (UNED) y Fernando González González (Tecnatom). Edición permanente iniciada en 2020.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

### Texto base:

El texto base que ha de utilizarse para asimilar esta asignatura tiene como objetivo hacer una revisión de las principales tecnologías ligadas a la explotación de los fenómenos nucleares, e introducir la ciencia básica necesaria para la descripción de dichos fenómenos. Sabíamos que el resultado iba a ser un texto amplio, más allá del alcance específico de la signatura. Sin embargo, creemos que esta es la mejor opción, pues el texto así concebido creemos que será muy útil para que el estudiante encuadre convenientemente aquellas

cuestiones y materia que específicamente constituye el contenido de la asignatura.

En la sección del libro de texto base dedicada a su Presentación se indica de forma general como ha de utilizarse para abordar esta asignatura, y en la parte restringida de esta guía de estudio, disponible para todos los alumnos matriculados en ella al comienzo del curso virtual, se indica ya de forma específica los temas que van a constituir la materia de estudio y los de lectura aconsejada pero no como materia de estudio propiamente dicha de la asignatura.

#### **Curso virtual:**

**Es fundamental para el desarrollo de la asignatura que el alumno utilice su curso virtual.**

Cualquier material complementario adicional que se pueda publicar o aconsejar se encontrará en dicha Plataforma. El alumno puede enviar sus consultas a los distintos foros de debate, o por correo electrónico a la atención de cualquiera de los profesores de la asignatura.

En el curso virtual estarán a disposición de los alumnos, entre otros:

- materiales de apoyo para el estudio de los bloques, que podrán incluir además material multimedia o vínculos a materiales producidos por el equipo docente o de interés para la asignatura
- un calendario para las PECs
- un vídeo de introducción con la presentación de cada bloque temático por el profesor responsable
- enunciados de exámenes anteriores
- otros materiales y vínculos de interés

### **PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

Es obligatorio realizar prácticas presenciales de esta asignatura.

Estas prácticas consisten o bien en una visita a una Instalación Nuclear, o bien prácticas en los locales del Departamento de Ingeniería Energética de la ETS Ingenieros Industriales. Se realizarán en principio en el periodo de prácticas de las asignaturas del segundo semestre del grado en el mes de junio.

Las prácticas presenciales obligatorias tienen como objetivo fundamental que el alumno entre en contacto con las instalaciones de carácter nuclear y vean in situ la enorme complejidad, desarrollo tecnológico y la seguridad de esas instalaciones. En caso de establecer las prácticas en los locales del Departamento de Ingeniería Energética, el objetivo será afianzar y extender conocimientos clave vinculados a la asignatura.

No hay sesión de prácticas en el mes de septiembre. Por lo tanto, y dado el carácter obligatorio de las mismas, cualquiera que sea el plan que el alumno tenga de examinarse (junio/septiembre) siempre tendrá que realizar las prácticas en el mes de junio.

Con antelación a la realización de las prácticas, los alumnos recibirán vía correo electrónico toda la información necesaria sobre las mismas: horarios, actividades, material necesario.

Esa misma información aparecerá en el curso virtual de la asignatura.

**Atención:** En este curso académico, y vinculado a un Proyecto de Innovación Docente de la UNED, habrá dos opciones para elegir de prácticas:

- **Prácticas presenciales, a realizar sólo en la convocatoria de junio**
- **Prácticas virtuales síncronas, con dos convocatorias, junio y septiembre.**

En el curso virtual se dará toda la información sobre las mismas con la debida antelación, también se enviará por correo electrónico a todos los alumnos matriculados.

---

## 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.