

21-22

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
CUARTO CURSO

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA NUCLEAR

CÓDIGO 6890308-

UNED

21-22

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	2021/2022
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA
Título en que se imparte	GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
CURSO - PERIODO	- CUARTO CURSO - SEMESTRE 2
Título en que se imparte	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
CURSO - PERIODO	- CUARTO CURSO - SEMESTRE 2
Título en que se imparte	GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
CURSO - PERIODO	- CUARTO CURSO - 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 tres de los grados de ingeniería que se imparten en la ETS Ingenieros Industriales de la UNED, tiene carácter obligatorio en uno de ellos (Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales), 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 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 signatura) 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 años ha sido de origen nuclear, en concreto, la energía nuclear fue la primera fuente de generación de energía eléctrica de España en 2020, con un 22,18 % de la producción, por delante de la eólica (21,8 %), 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

MIREIA PIERA CARRETE  
mpiera@ind.uned.es  
91398-6471  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

MERCEDES ALONSO RAMOS (Coordinador de asignatura)  
malonso@ind.uned.es  
91398-6464  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

JAVIER SANZ GOZALO  
jsanz@ind.uned.es  
91398-6463  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

FRANCISCO M. OGANDO SERRANO  
fogando@ind.uned.es  
91398-8223  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

RAFAEL JUAREZ MAÑAS  
rjuarez@ind.uned.es  
91398-8223  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
INGENIERÍA ENERGÉTICA

## 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 en Centro Asociado, la información está disponible en el apartado correspondiente.

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:	Dña. Mireia Piera Carreté
Horario de guardia:	Lunes de 16 a 20 horas
Teléfono:	913986471
Despacho:	2.21
Correo electrónico:	mpiera@ind.uned.es

### **Bloque 3**

Profesor:	D. Francisco Ogando Serrano
Horario de guardia:	Jueves de 10 a 14 horas
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: 0.18  
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**

## **COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE**

### **COMPETENCIAS ESPECÍFICAS DEL GRADO (ORDEN CIN 351-2009)**

Esta asignatura no tiene competencias específicas

## **RESULTADOS DE APRENDIZAJE**

Con el estudio de esta asignatura se pretende que el alumno sea capaz de lograr los siguientes resultados del aprendizaje:

- Conocer los fundamentos de la ingeniería nuclear
- Conocer las tecnologías empleadas en la producción de energía eléctrica de origen nuclear
- Resolver problemas relacionados con cuestiones básicas de la ingeniería nuclear
- Comparar los diferentes modos de producción de energía eléctrica
- Conocer las tecnologías empleadas en el uso de las radiaciones ionizantes
- 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: La fusión nuclear

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

Bloque dedicado al estudio de la producción de energía eléctrica a partir de la reacción de fisión nuclear, empezando por definir los diversos parámetros nucleares en los que se basa la ingeniería nuclear para la producción de energía eléctrica, para estudiar a continuación la tipología de las centrales nucleares y sus magnitudes básicas y terminar este bloque con el estudio del ciclo del combustible nuclear.

#### **Tema 7. Concepto de reactor nuclear de fisión. Fisión en cadena autosostenida con neutrones.**

7.1 Concepto de ciclo neutrónico

7.2 Concepto de criticidad.

7.3 Factor de multiplicación de un medio infinito

7.4 Reactor finito:  $k$  efectiva

7.5 Evolución temporal de la población neutrónica

7.6 Potencia del reactor

7.6.1 Potencia neutrónica

7.6.2 Quemado. Consumo de combustible.

7.6.3 Potencia residual

#### **Tema 8. Central nuclear: conversión de la energía nuclear en energía eléctrica.**

8.1 Introducción

8.2 Tipología de reactores

8.2.1 Reactores de agua a presión

8.2.2 Reactores de agua en ebullición

8.2.3 Reactores de grafito-gas

8.2.4 Reactores de agua pesada

8.2.5 Reactores rápidos

8.2.6 Reactores híbridos

8.3 Magnitudes básicas de los reactores nucleares

8.3.1 Criticidad y quemado

8.3.2 Autoestabilidad del reactor

8.3.3 Conversión y reproducción en el combustible nuclear

8.4 Sistemas de seguridad

8.4.1 Sistemas relativos a la radiactividad

8.4.2 Sistemas de protección del reactor contra la reactividad

#### **Tema 9. El ciclo de combustible nuclear. Fases pre y post-reactor.**

9.1 Introducción

9.2 Descripción básica del ciclo del combustible

- a) Materias primas y concentrados
- b) Conversión
- c) Enriquecimiento
- d) Reconversión
- e) Fabricación
- f) Quemado en el reactor
- g) Almacenamiento de combustible irradiado
- h) Reelaboración Reactores de agua a presión
- i) Refabricación
- j) Gestión de residuos

### 9.3 Alternativas al ciclo del combustible

- a) Materias primas
- b) Reactores
- c) Otras alternativas

### 9.4 Diseño del reactor y diseño de ciclos

- a) Especificaciones nominales del reactor
- b) Distribución de potencia y factores asociados
- c) Cociente mínimo de flujo calorífico
- d) No fusión del combustible
- e) Coeficientes de reactividad
- f) Quemado
- g) Otros criterios

## 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 10. Aplicaciones médicas de los radionucleidos y radiaciones ionizantes.**

10.1 Introducción

10.2 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

10.3 Aplicaciones médicas de diagnóstico

10.4 Aplicaciones médicas de terapia

### **Tema 11. Producción de radionucleidos y aplicaciones de los mismos y de las radiaciones ionizantes en la industria.**

11.1 Introducción.

11.2 Producción de isótopos radiactivos

11.3 Esterilización

11.4 Ensayos no destructivos

11.5 Generación de energía

11.6 Otras aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes

### **Tema 12. Sistemas de detección y medida de la radiación.**

12.1 Introducción

12.2 Detectores de ionización gaseosa

12.3 Detectores de semiconductor

12.4 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, centrada concretamente en las Centrales Nucleares, 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. El concepto de proliferación de armas nucleares y las medidas en relación con su prevención de se introducen también en este bloque. Finalmente tenemos un capítulo sobre la normativa para este tipo de instalaciones.

### **Tema 13. Protección Radiológica.**

13.1 Introducción

13.2 Fuentes naturales y artificiales de radiaciones y radiactividad

13.3 Unidades de dosis de radiación

13.4 El objetivo y los principios básicos de la protección radiológica. El establecimiento de

los límites de dosis

13.5 El cálculo de la dosis

13.6 Exposición interna

13.7 Medios físicos para la protección frente a las radiaciones ionizantes

13.8 El estudio del impacto radiológico

13.9 Los nuevos estándares de protección radiológica

13.10 Protección contra radiaciones no ionizantes

13.11 Resumen y conclusiones

#### **Tema 14. Seguridad de instalaciones nucleares y radiactivas.**

14.1 Introducción

14.2 La "defensa en profundidad" como principio de seguridad nuclear

14.3 La seguridad en el diseño

14.4 La calidad de la construcción

14.5 La explotación segura

14.6 La seguridad de las otras instalaciones nucleares

14.7 La garantía de la seguridad

14.8 La Escala Internacional de Eventos Nucleares

14.9 El accidente de Three Mile Island. Lecciones aprendidas

14.10 El accidente de Chernobyl

14.11 El accidente de Fukushima Daiichi

#### **Tema 15. Gestión de residuos radiactivos.**

15.1 Introducción

15.2 Origen de los residuos radiactivos

15.3 Clasificación de los residuos radiactivos

15.4 La generación de residuos radiactivos en el ciclo del combustible nuclear

15.5 El transporte de los residuos radiactivos

15.6 Gestión de los residuos de media y baja actividad (RMBA)

15.7 Gestión de residuos de alta actividad. El combustible gastado

15.8 El desmantelamiento de las centrales nucleares. El caso de la C.N. de Vandellós I

#### **Tema 16. Diferenciación entre los usos civiles y militares de los procesos nucleares.**

##### **La no proliferación y las salvaguardias.**

16.1 Diferenciación entre los usos civiles y militares de los procesos nucleares

16.2 Explosivos nucleares

16.3 La cooperación internacional en materia de proliferación

16.4 El Tratado de No Proliferación (NPT) y las salvaguardias

16.5 Materiales fisibles y su uso militar

16.6 El reciclaje del Uranio y Plutonio de origen militar en centrales eléctricas

16.7 Resumen y conclusiones

**Tema 17. Normativa sobre instalaciones nucleares y radiactivas.**

- 17.1 Organismos reguladores de la energía nuclear
- 17.2 El papel del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)
- 17.3 El papel de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)
- 17.4 El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA)
- 17.5 La agencia de la OCDE para la energía nuclear (NEA)
- 17.6 Efectos sobre el medio ambiente y otros seres vivos

**BLOQUE 5. Perspectivas futuras de la ingeniería nuclear**

El quinto y último bloque se centra en el estudio de las posibilidades futuras de la energía nuclear para el abastecimiento energético, pero primeramente se introducen unas nociones más generales sobre los aspectos económicos, estratégicos y medioambientales de la opción nuclear en el marco de la planificación energética. La atención se centra en hablar de reactores avanzados de fisión, de tercera y cuarta generación, sistemas transmutadores y reactores de fusión.

**Tema 18. La energía nuclear en la planificación energética: aspectos económicos, medioambientales y estratégicos.**

- 18.1 Introducción
- 18.2 Aspecto económico
  - 18.2.1 Costes internos o directos
  - 18.2.2 Costes externos o externalidades
- 18.3 Aspecto estratégico
- 18.4 Aspecto medioambiental
  - 18.4.1 Protección radiológica
- 18.5 Conclusiones

**Tema 19. Reactores avanzados de fisión nuclear: objetivos de la tercera y cuarta generación de centrales nucleares**

- 19.1 Introducción
- 19.2 Reactores de tercera generación
  - 19.2.1 Plan estratégico
  - 19.2.2 Conceptos de reactores avanzados
  - 19.2.3 El reactor EPR
  - 19.2.4 El reactor AP600
  - 19.2.5 El reactor GT-MHR
- 19.3 Reactores de cuarta generación
  - 19.3.1 El reactor de agua supercrítico (SCWR)
  - 19.3.2 El reactor de muy alta temperatura (VHTR)
  - 19.3.3 El reactor rápido refrigerado por sodio (SFR)

- 19.3.4 El reactor rápido refrigerado por gas (GFR)
- 19.3.5 El reactor rápido refrigerado por plomo (LFR)
- 19.3.6 El reactor de sales fundidas (MSR)

### **Tema 20. Sistemas transmutadores de residuos nucleares.**

- 20.1 Introducción
- 20.2 El papel de la transmutación en la gestión de residuos
  - 20.2.1 Residuos de vida larga del combustible irradiado
- 20.3 Principios de la transmutación
  - 20.3.1 Reacciones de transmutación
- 20.4 Sistemas transmutadores
  - 20.4.1 La reacción de espalación
  - 20.4.2 Reactores subcríticos asistidos por acelerador

### **Tema 21. Aprovechamiento de la reacción de fusión nuclear para la producción de energía eléctrica. Conceptos de reactores de fusión**

- 21.1 El ciclo de combustible de fusión
  - 21.1.1 Reacciones de fusión
  - 21.1.2 Combustible
  - 21.1.3 Recursos energéticos
- 21.2 Fusión por confinamiento magnético (FCM)
  - 21.2.1 Confinamiento del plasma
  - 21.2.2 Calentamiento del plasma
  - 21.2.3 Reactor de fusión por confinamiento magnético
- 21.3 Fusión por confinamiento inercial (FCI)
  - 21.3.1 Principales fases del proceso de fusión en confinamiento inercial
  - 21.3.2 Método de irradiación
  - 21.3.3 Cápsula de combustible
  - 21.3.4 El láser
  - 21.3.5. Reactor de fusión por confinamiento inercial

### **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 continúa

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 realizarán este curso a través 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.

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	
Ningún tipo de material	
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 4  
PEC

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 evaluación 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 PEC, correspondientes a cada uno de los bloques, que se recomienda que desarrolle a medida que vaya estudiando los contenidos de la asignatura.**

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 10/05/2022

Comentarios y observaciones

Al inicio del curso virtual se pondrán todos los enunciados de las PEC 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 recomendadas para la entrega de la PEC de cada bloque, y la fecha límite para la entrega de todas ellas en las convocatorias ordinaria y extraordinaria.**

**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 28/08/2022.**

#### **OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES**

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

Descripción

##### **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.**

**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.**

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 31/06/2022

Comentarios y observaciones

Consultar fecha definitiva en el calendario de prácticas del grado para asignaturas del segundo semestre cuando esté disponible.

**Con antelación a la realización de las prácticas, los alumnos recibirán toda la información necesaria sobre las mismas: actividades y material de apoyo. Esa misma información aparecerá en el curso virtual de la asignatura.**

### ¿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.; PIERA, M.; OGANDO, F.; SAUVAN, P. y ALONSO, M.

Este texto estará disponible para el curso presente en formato electrónico en la plataforma virtual.

Este libro, escrito y revisado por el equipo docente, está estructurado con los mismos temas que constituyen los contenidos de la asignatura. 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 parte restringida de la sección de contenidos de esta guía se darán las orientaciones al estudio pertinentes, limitando y priorizando sus contenidos de cara a la preparación de las pruebas presenciales.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9788436251937

Título:EL PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE FUTURO (2005)

Autor/es:Alonso Ramos, Mercedes ;

Editorial:U.N.E.D.

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 a través de la Plataforma aLF. Puede enviarse a los alumnos interesados en formato físico por correo ordinario, habiéndose puesto a nuestra disposición por cortesía de El FORO NUCLEAR.

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 Mª

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 se utiliza como uno de los textos base de las asignaturas optativas Ingeniería Nuclear y Diseño de Reactores Nucleares.

También se recomienda el Cd-Rom multimedia:

Título: **EL PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE FUTURO** (2005)

ISBN (13): 9788436251937

Autor/es: ALONSO, M., LECHÓN, Y., MANSO, R., EMBID, M., ALPAÑÉS, D. y GONZÁLEZ, A;

Editorial: UNED

Premio al mejor material didáctico audiovisual del Consejo Social de la UNED, convocatoria 2008. Este Cd quiere promover el debate energético en nuestra aldea global: los costes externos de la energía, la gestión de los residuos radioactivos y la mejora de la misma mediante la transmutación, el cambio climático y el papel de la energía nuclear en relación con el desarrollo sostenible. Aunque algunas partes de este material ya no son de actualidad, los conceptos básicos que se dan sobre temas nucleares son muy pertinentes para comprender mejor la asignatura. Si hay disponibilidad de existencias, este CD se enviará gratuitamente a los alumnos interesados, por cortesía de la autora Mercedes Alonso. 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 básico:

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 signatura, y en el Anexo II del libro, concebido como Guía Didáctica para esta signatura, 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 la Plataforma aLF.**

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

**Programas de radio y otros materiales multimedia grabados por el equipo docente:**

En el curso virtual de la asignatura se comunicará al alumno la temática del material audiovisual que se emita, así como la significación del mismo en el contexto de la asignatura. Además, podrá encontrar una relación de estos audios o videos con los enlaces adecuados. A continuación damos algunos de ellos:

- Programa de radio: Fukushima un año después. Eduardo Gallego Díaz y Mercedes Alonso. Emitido en RNE3 el 20/3/2012. Disponible en CanalUNED. Este programa habla de las causas del accidente, la secuencia accidental, y todos los problemas derivados hasta hablar de la situación un año después.

- Programa de radio: De la catástrofe de la naturaleza a la alerta nuclear: Japón. Entrevista a Mercedes Alonso para el programa "Sin Distancias". Emitido en RNE3 el 26/3/2011. Disponible en CanalUNED. Se habla sobre el accidente de la central nuclear de Fukushima y las dudas más frecuentes en torno a él durante las primeras semanas después del suceso.

- Programa de radio: La planificación de emergencias nucleares. Eduardo Gallego Díaz y Mercedes Alonso. Emitido en RNE3 el 22/3/2011. Disponible en CanalUNED. Se explica cómo se planifican y se gestionan las emergencias nucleares. Se grabó justo antes de que ocurriera el accidente de Fukushima y da las pautas más importantes a seguir en caso de accidente

- Programa de radio: El accidente de Chernóbil. Eduardo Gallego Díaz y Mercedes Alonso. Emitido en RNE3 el 23/2/2010. Disponible en CanalUNED. Se habla de las causas del accidente; de la concatenación de fallos que dio lugar a que ocurriera y se explica la secuencia accidental y comparación con un posible accidente en una central nuclear española.

Vídeos de entrevistas a expertos en relación con la Gestión del Conocimiento Nuclear:

- Entrevista a Eugenio Gil (CSN)

- Entrevista a Didier Louvat (ENSTTI, Francia)

•¿Qué talentos hacen falta para hacer una buena formación?

•¿Qué especificidad tiene la formación nuclear?

•Técnicas, instrumentos e iniciativas de éxito en este marco formativo

•¿Qué pasa después del curso? ¿Cómo se ve el rendimiento de todo este esfuerzo?

•La importancia de lo emocional: transmitir y aprender con placer

- Entrevista a Mikko Merikari (STUK, Finlandia, en inglés)

- Entrevista a María Josefa Moracho Ramírez (OIEA, Austria)

- Entrevista a José María Zamarrón sobre Aptitudes para la Gestión del Conocimiento Nuclear (CCNN Trillo y Almaraz) Competencias que son necesarias para gestionar el conocimiento.

- STEM and nuclear education in South Africa. The experience of Univesities of Fort Hare

and Stellenbosch (en inglés). An interview to key members of two relevant universities in South Africa: Fort Hare and Stellenbosch. They share with us what they think about STEM education and nuclear education in their country, their main features, difficulties and ideas to improve, the importance of collaboration, and the role that a university as UNED may play as a reference for innovation in education.

## **PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

Es obligatorio realizar prácticas presenciales de esta asignatura.

En el apartado “Sistema de evaluación” de esta guía está la información completa sobre estas prácticas.

---

## **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.