

25-26

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## SEGURIDAD Y GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN FUSIÓN NUCLEAR

CÓDIGO 28010359

UNED

**25-26**

**SEGURIDAD Y GESTIÓN DE RESIDUOS  
RADIATIVOS EN FUSIÓN NUCLEAR  
CÓDIGO 28010359**

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN  
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA  
EQUIPO DOCENTE  
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE  
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE  
RESULTADOS DE APRENDIZAJE  
CONTENIDOS  
METODOLOGÍA  
SISTEMA DE EVALUACIÓN  
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA  
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA  
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA  
IGUALDAD DE GÉNERO

Nombre de la asignatura	SEGURIDAD Y GESTIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS EN FUSIÓN NUCLEAR
Código	28010359
Curso académico	2025/2026
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	5
Horas	125
Periodo	SEMESTRE 2
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

El abastecimiento energético de Europa adolece de graves deficiencias tanto a corto como a medio y largo plazo. En particular, se requieren medidas que aborden los problemas de la seguridad de abastecimiento, el cambio climático y el desarrollo sostenible, sin poner en peligro el futuro crecimiento económico.

Dentro de las posibilidades de disponer de una fuente de energía aceptable desde el punto de vista de la sostenibilidad, la Fusión Nuclear se presenta como una de las alternativas que goza de mayor atractivo y consideración a nivel de investigación y desarrollo dentro del panorama energético mundial. Las dos vías en que se centran los esfuerzos para lograr explotar la energía nuclear de fusión como fuente de energía son la fusión por confinamiento magnético (FCM) y la fusión por confinamiento inercial (FCI).

Para el desarrollo de la fusión nuclear es clave demostrar no sólo la viabilidad de la ganancia energética de los procesos de fusión, sino también, que el funcionamiento de las futuras plantas de fusión será aceptable por el entorno social. A este respecto destacan especialmente tres aspectos prácticos:

- Seguridad para los trabajadores de las plantas.
- Gravedad de potenciales accidentes con emisión de efluentes radiactivos.
- Generación de residuos radiactivos.

En esta asignatura se analizan y responden en profundidad dos de las grandes cuestiones de la tecnología de fusión: su potencialidad en lo que respecta a seguridad e impacto medioambiental y la gestión de residuos radiactivos.

Esta asignatura se enmarca dentro de un grupo de asignaturas donde se imparte formación sobre los análisis nucleares necesario para evaluar el impacto de las instalaciones de la ruta hacia la fusión nuclear.

La asignatura viene a completar y ampliar los conocimientos adquiridos por los alumnos durante sus estudios de grado sobre ciencia e Ingeniería Nuclear, tratando un tema clave de lo que se espera sea la nueva tecnología nuclear: la tecnología nuclear de fusión y bajo la perspectiva de investigar su potencialidad como fuente de energía segura y respetuosa con el medioambiente. En ella se pretende, fundamentalmente, que el alumno adquiera los conocimientos específicos que le permitan su formación para abordar actividades de

investigación en el campo de la seguridad, protección radiológica y gestión de residuos de las centrales e instalaciones experimentales de fusión nuclear y también, aunque en menor extensión, de las instalaciones de irradiación concebidas para el desarrollo de materiales de las centrales de fusión.

El aprendizaje de esta asignatura va a permitir abordar con garantía la posible realización del trabajo fin de máster y futura tesis doctoral en algunas de las líneas de investigación que se ofertan en este Máster, y en las que el equipo docente es responsable de distintas actividades dentro de Programas Internacionales. Estas son:

- Seguridad e impacto medioambiental en el diseño de instalaciones experimentales y en plantas conceptuales nucleoelectricas de fusión.
- Protección radiactiva y seguridad en el diseño de aceleradores de alta intensidad destinados a simular el daño por irradiación de materiales en reactores de fusión nuclear.

La estrategia europea para alcanzar este objetivo a largo plazo implica, como primera prioridad, la construcción del ITER (una gran instalación experimental que demostrará la viabilidad científica y técnica de la energía de fusión), seguida de la construcción de DEMO, una central eléctrica de fusión con fines de «demostración». Este trabajo irá acompañado de un programa dinámico de apoyo a la I+D para el ITER y para los materiales de fusión, las tecnologías y la física que requiere la DEMO. En esta labor participarían la industria europea, las asociaciones de la fusión y los países no comunitarios, especialmente las partes en el Acuerdo ITER. La instalación ITER se encuentra actualmente en construcción en el sur de Francia, y se prevé su puesta en marcha para finales del año 2025.

La construcción y licenciamiento de estas instalaciones, así como de los futuros reactores de potencia, requieren de estudios de seguridad e impacto medioambiental. Desde el punto de vista de la seguridad se debe garantizar la adecuación de los materiales estructurales a un entorno de alta radiación, y también el comportamiento frente a situaciones accidentales. El impacto medioambiental se centra en la producción y gestión de residuos radiactivos. En ambos casos es un tema de investigación la introducción de medidas que resulten en materiales más resistentes y en mitigar el impacto de los residuos.

La ruta europea de fusión nuclear incluye la construcción de una instalación de especial relevancia para España y es la IFMIF-DONES, una instalación de irradiación de materiales en condiciones de un reactor de fusión. Estará basada en un acelerador de partículas de alta intensidad, con lo que comparte con los reactores de fusión algunos de las características medioambientales y de residuos. Se prevé su construcción en Granada durante esta década. Es aquí donde el campo de los aceleradores de alta intensidad, como el caso de IFMIF, entran de lleno en el campo de la fusión nuclear. Estos aceleradores presentan problemas propios de protección radiológica, que también son tratados en el ámbito de esta asignatura. El equipo docente de esta asignatura pertenece al grupo de investigación de tecnologías de fusión y fuentes de irradiación (TECF3IR) de la UNED. Este grupo realiza tareas de

investigación y desarrollo en radioprotección de instalaciones de fusión nuclear y aceleradores, participando oficialmente en proyectos internacionales tan prestigiosos como el reactor ITER o, dentro del marco de la agencia europea Eurofusion, de las instalaciones DEMO e IFMIF-DONES.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para iniciar el estudio del curso son necesarios conocimientos de ciencia y tecnología nuclear a nivel fundamental. Si dichos conocimientos previos son limitados, debe consultarse con el equipo docente para recibir orientaciones precisas que permitan enfocar el estudio de forma adecuada, y en su caso estudiar durante el curso algún tema de apoyo. Es recomendable tener conocimientos suficientes para lectura en inglés técnico.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	FRANCISCO M OGANDO SERRANO (Coordinador/a de asignatura)
Correo Electrónico	fogando@ind.uned.es
Teléfono	91398-8223
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos	RAFAEL IGNACIO JUAREZ MAÑAS
Correo Electrónico	rjuarez@ind.uned.es
Teléfono	91398-8223
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Los estudiantes podrán contactar al equipo docente en cualquier momento y principalmente mediante el foro de comunicación del curso virtual, sobre todo para cuestiones que puedan ser del interés de todos los estudiantes. Adicionalmente y para una comunicación personal, se anima a los estudiantes a utilizar el correo electrónico o el teléfono (ver datos en la sección "Equipo docente"), así como la plataforma de mensajería MS Teams que provee la UNED.

La dirección postal de los profesores está en la ETSI Industriales, cuyos datos pueden consultarse en la web UNED. El horario de atención a estudiantes en esas dependencias será:

- D. Francisco Ogando: Lunes y Miércoles de 16 a 18h. Despacho 0.15.
- D. Rafael Juárez: Martes y Jueves de 16 a 18h. Despacho 0.15.

El apoyo a los estudiantes se realizará tanto para asimilar los contenidos de la asignatura, explicar su modo de funcionamiento o de cualquier otra manera que mejore el rendimiento del estudio. En especial se anima a contactar, a los estudiantes que presenten lagunas

iniciales de conocimiento, que puedan ser mitigadas con lecturas adicionales.

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### COMPETENCIAS

CP1 Desarrollar habilidades sistémicas (metodológicas): aplicación de conocimientos, habilidades en investigación, y creatividad.

CP2 Cuantificar los beneficios y costes de las tecnologías industriales bajo estudio.

CP3 Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

CP4 Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

### CONOCIMIENTOS O CONTENIDOS

C1 Adquirir el conocimiento de los métodos y técnicas de investigación.

C2 Evaluar el impacto medioambiental de las tecnologías industriales bajo estudio.

C3 Elaborar y tratar modelos matemáticos que representen el comportamiento de los sistemas industriales.

C4 Adquirir destrezas en la aplicación de técnicas de simulación computacional.

C5 Tomar conciencia de la importancia de la adquisición del conocimiento científico a la luz de la teoría de la ciencia actual, así como de la diversidad metodológica.

C6 Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.

### HABILIDADES O DESTREZAS

H1 Desarrollar capacidad de análisis y síntesis de la información científico-técnica.

H2 Adquirir destrezas en la búsqueda y gestión bibliográfica y documental.

H3 Desarrollar capacidad de razonamiento crítico.

H4 Desarrollar habilidades técnicas, de análisis y síntesis: resolución de problemas, toma de decisiones y comunicación de avances científicos.

H6 Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

H7 Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

### COMPETENCIAS

CP1 Desarrollar habilidades sistémicas (metodológicas): aplicación de conocimientos,

habilidades en investigación, y creatividad.

CP2 Cuantificar los beneficios y costes de las tecnologías industriales bajo estudio.

CP3 Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

CP4 Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

## CONTENIDOS

**BLOQUE 1. Fundamentos de la fusión nuclear, y descripción de los tipos de instalaciones concebidas para la explotación de la energía nuclear de fusión.**

Para el estudio de este bloque se consultará el libro "Curso Básico de Fusión Nuclear" publicado en abierto por la Sociedad Nuclear Española y la asociación "Jóvenes Nucleares". El contenido de estos temas se corresponde con los capítulos 1 al 4, 7 y 8 del mismo.

**Tema 1. Fundamentos físicos de la fusión termonuclear controlada: Fusión por confinamiento magnético e inercial.**

**Tema 2. Fusión por confinamiento magnético (FCM). Descripción de centrales eléctricas e instalaciones experimentales.**

**Tema 3. Fusión por confinamiento inercial (FCI). Descripción de centrales eléctricas e instalaciones experimentales.**

**Tema 4. Actualidad de la tecnología de fusión.**

**BLOQUE 2. Aspectos de seguridad e impacto medioambiental de las instalaciones de fusión nuclear.**

**Tema 5. Diseño de centrales de fusión seguras y respetuosas con el medioambiente.**

Este tema tendrá como texto de referencia:

- Fusion Safety Authority, "Technology report –Safety and Waste aspects for fusion power plants" UKAEA-RE(21)01 (2021)

Tema 6. Gestión de residuos radiactivos en instalaciones de fusión nuclear.

Este tema tendrá como texto de referencia:

- S. Gonzalez de Vicente, et al, "Overview on the management of radioactive waste from fusion facilities: ITER, demonstration machines and power plants", Nuclear Fusion (2022).

Tema 7. Desarrollo de materiales: activación reducida, resistencia al daño neutrónico y necesidad de la instalación de irradiación IFMIF.

Este tema tendrá como texto de referencia:

- P. Vladimirov, "Displacement damage and transmutations in metals under neutron and proton irradiation" (2008)

Tema 8. Perspectivas sobre la seguridad e impacto medioambiental de las centrales de fusión.

Este tema tendrá como texto de referencia:

- J. Sanz, Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones, Universidad Nacional de Educación a Distancia.

## METODOLOGÍA

La metodología de aprendizaje se basa en el modelo de educación a distancia de la UNED. Las actividades formativas están basadas principalmente en la interacción con el Equipo Docente y el trabajo autónomo de los estudiantes. El equipo docente proporcionará orientaciones y material de apoyo para el estudio de la asignatura y atenderán las consultas que planteen los alumnos. El trabajo autónomo estará marcado por una serie de actividades de aprendizaje, tales como el estudio de contenidos teóricos y la realización de pruebas de evaluación continua, prácticas virtuales de laboratorio y pruebas presenciales.

El alumno dedicará aproximadamente un 60% de la duración del curso a la lectura comprensiva del material de estudio de la asignatura. Durante el desarrollo del curso el estudiante deberá entregar una o más pruebas de evaluación a distancia y prácticas virtuales que supondrán alrededor del 30% del tiempo de estudio. Un 10% de la asignatura se dedicará a la preparación específica del examen presencial.

El marco en el que se desarrollará el curso será el curso virtual, que será la herramienta principal de comunicación entre los estudiantes y el equipo docente y de los estudiantes entre sí. A través de esta plataforma virtual el estudiante tendrá acceso principalmente a los siguientes elementos de apoyo:

1. El módulo de contenidos, en el que se pondrán a disposición de los estudiantes unos apuntes complementarios sobre mecánica de fluidos y una Guía de Estudio en la que se

recogerán recomendaciones sobre el estudio de la asignatura y toda la información necesaria actualizada.

2. Prueba de evaluación continua, que constará de una serie de cuestiones teórico-prácticas que permitirá al estudiante hacer un seguimiento de su progreso en la adquisición y asimilación de conocimientos y servir de medio de evaluación junto con la prueba presencial.
3. Prácticas virtuales de simulación, en las que se propondrán unos problemas que deberán resolverse con la ayuda de las herramientas de simulación remota del área de ingeniería nuclear.
4. El foro de debate, en los que el estudiante podrá ir planteando las dudas que le vayan surgiendo en el estudio de los contenidos de la asignatura, y en los que recibirá las correspondientes aclaraciones por parte del equipo docente. Los estudiantes también podrán participar en los foros contestando cuestiones formuladas por sus compañeros.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	6
Duración del examen	120 (minutos)

Material permitido en el examen

Se permite todo tipo de material

Criterios de evaluación

Se valorará el ceñirse a lo preguntado el justificar las respuestas y conclusiones en base a los conceptos teóricos aprendidos en la asignatura.

% del examen sobre la nota final	60
Nota del examen para aprobar sin PEC	4
Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC	5
Nota mínima en el examen para sumar la PEC	4

Comentarios y observaciones

### CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad	No
Descripción	

**Prácticas de simulación a distancia vía Internet.**

Las prácticas de simulación a distancia vía Internet se orientan fundamentalmente a que el alumno se familiarice con el diseño de blindajes y comprenda su enorme utilidad en el diseño de cualquier tipo de instalación nuclear.

Resolución de problemas apoyándose en una herramienta web de cálculo, y en razonamientos apoyados en la teoría aprendida en la asignatura.

**Criterios de evaluación**

Se requiere un mínimo de 4 puntos sobre 10 para aprobar.

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final 20%

Fecha aproximada de entrega 20 de mayo de 2025

Comentarios y observaciones

**PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)**

¿Hay PEC? Si, PEC no presencial

Descripción

Se envía al estudiante una colección de preguntas cortas, relacionadas con los conceptos aprendidos en la asignatura.

**Criterios de evaluación**

Se requiere un mínimo de 4 puntos sobre 10 para aprobar.

Ponderación de la PEC en la nota final 20%

Fecha aproximada de entrega 1 de mayo de 2025

Comentarios y observaciones

**OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES**

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? No

Descripción

**Criterios de evaluación**

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

Si la nota de cualquier actividad evaluable es menor que 4, la asignatura está suspensa.

En otro caso la la nota final es la media ponderada de las calificaciones de las diferentes actividades (los coeficientes de ponderación están detallados en su descripción).

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13): 9788469757185

Título: CURSO BÁSICO DE FUSIÓN NUCLEAR

Autor/es: Alfonso Barbas Espa; Kevin Fernández-Cosials

Editorial: Sociedad Nuclear Española

El libro principal de la bibliografía básica está disponible de modo libre en internet:

- Enlace al libro en el sitio web del Consejo de Seguridad Nuclear.

Además del libro, se utilizarán los siguientes informes y artículos de investigación.

- Fusion Safety Authority, "Technology report –Safety and Waste aspects for fusion power plants" UKAEA-RE(21)01 (2021)
- S. Gonzalez de Vicente, et al, "Overview on the management of radioactive waste from fusion facilities: ITER, demonstration machines and power plants", Nuclear Fusion (2022).
- R. Hancox, "The environmental impact of fusión reactors" (1992).
- P. Vladimirov, "Displacement damage and transmutations in metals under neutron and proton irradiation" (2008)
- J. Sanz, "Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones" (2007).
- F. Ogando, "Guía de la práctica MCBLIND". Se utilizará junto con una herramienta de simulación por ordenador.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

### Perspectivas de la fusión nuclear

- EUROfusion, European Research Roadmap to the Realisation of Fusion Energy (2018).
- ITER web site, Project milestones.
- Instalación de irradiación IFMIF-DONES.

### Daño de materiales por irradiación

- E. Wakai, Irradiation damages of structural materials under different irradiation environments (2021)

### Neutrónica de fusión

- Y. Wu, Fusion Neutronics, Springer (2017).
- Y. Wu, Neutronics of advanced nuclear systems, Springer (2019)

### Material audiovisual propio

- Lección "Protección radiológica en aceleradores de alta intensidad" (Parte 1) (Parte 2).
- Programa de radio "La UNED y el Ciemat más cerca de la energía de las estrellas" (Radio E).

### Referencias históricas

- N. Carpintero, G. Velarde, The pioneers' legacy of inertial confinement nuclear fusion, Progress in Nuclear Energy (2015).

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

### **Curso virtual:**

Es fundamental para el desarrollo de la asignatura que el alumno utilice la plataforma del 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

### **Programas de radio grabados por el equipo docente:**

En el curso virtual de la asignatura se comunicará al alumno la temática del programa que se emita, así como la significación del mismo en el contexto de la asignatura. Además, podrá encontrar una relación de los programas emitidos con los enlaces adecuados.

### **Prácticas virtuales a través de internet:**

Como parte de la asignatura se realizarán prácticas virtuales. Para ello se contará con los computadores de simulación del área de ingeniería nuclear, con los que se interaccionará a través de internet mediante el navegador.

## 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.