

17-18

PROGRAMA DE DOCTORADO EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES EXPERIMENTALES Y EN PLANTAS CONCEPTUALES NUCLEOELÉCTRICAS DE FUSIÓN

CÓDIGO 28801477



Ámbito: GUJ - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



72F4E8D082C1AE7C2899B2193D959945

17-18

SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL  
EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES  
EXPERIMENTALES Y EN PLANTAS  
CONCEPTUALES NUCLEOELÉCTRICAS DE  
FUSIÓN  
CÓDIGO 28801477

## 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



Nombre de la asignatura	SEGURIDAD E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES EXPERIMENTALES Y EN PLANTAS CONCEPTUALES NUCLEOELÉCTRICAS DE FUSIÓN
Código	28801477
Curso académico	2017/2018
Títulos en que se imparte	PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (máster seleccionado) / MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
Tipo	
Nº ETCS	0
Horas	0.0
Periodo	SEMESTRE
Idiomas en que se imparte	

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La línea de investigación en la que aquí se encuadra el Trabajo fin de máster es la de *Seguridad e impacto medioambiental en el diseño de instalaciones experimentales y en plantas conceptuales nucleoelectricas de fusión*. Se oferta desde el Departamento de Ingeniería Energética y se incluye dentro del itinerario denominado también Ingeniería Energética.

En la actualidad y 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). A nivel mundial las dos vías gozan de una gran actividad.

Para el desarrollo de la fusión nuclear además de lograr la viabilidad de la ganancia energética de los procesos de fusión, es clave demostrar que el funcionamiento de las futuras plantas de fusión será compatible/aceptable por el entorno social. A este respecto destacan especialmente tres aspectos prácticos:

- Generación de residuos radiactivos.
- Gravedad de potenciales accidentes con emisión de efluentes radiactivos.
- Implicaciones del uso de la técnica en la proliferación armamentística.

La motivación de esta línea de investigación radica precisamente en los dos primeros aspectos, que constituyen dos de las grandes cuestiones de la tecnología de fusión: llevar a la práctica la potencialidad de la fusión nuclear como fuente de energía atractiva en lo que respecta a la seguridad y al impacto medioambiental/gestión de residuos radiactivos.

La importancia del trabajo de fin de máster se ve reflejado en el número de créditos ECTS del mismo, 15, y en las horas de dedicación que debe emplear el estudiante, unas 375 horas de trabajo. Y como se quiere remarcar, la finalización de este trabajo debe ser fruto de su madurez en las materias técnicas del máster así como en las competencias adquiridas.



## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para poder realizar el trabajo fin de máster en la línea de investigación sobre *Seguridad e impacto medioambiental en el diseño de instalaciones experimentales y en plantas conceptuales nucleoelectricas de fusión*, el estudiante ha de seleccionar las asignaturas a cursar de acuerdo a las siguientes directrices:

- MODULO I: Las 4 asignaturas del Módulo
- MODULO II del Itinerario en Ingeniería Energética: Las 3 asignaturas del Módulo
- MODULO III del Itinerario en Ingeniería Energética: Tres de las 10 asignaturas optativas del Módulo.

Para la inicialización del trabajo no es condición necesaria que haya tenido que aprobar previamente ninguna de las asignaturas del Master, pero sí que es necesario en la práctica que domine muchos de los conceptos impartidos en algunas de las asignaturas asignadas a la línea de investigación, y fundamentalmente de las asignaturas del MODULO II del Itinerario en Ingeniería Energética denominadas *Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear y Tecnologías para la gestión de residuos radiactivos*. Además es necesario tener conocimientos suficientes para lectura en inglés técnico. Y sería recomendable, el conocimiento de algún lenguaje de programación en un nivel medio. Los lenguajes de programación con los que se puede trabajar son C, Fortran y Python, bajo entornos UNIX y PC.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	JAVIER SANZ GOZALO
Correo Electrónico	jsanz@ind.uned.es
Teléfono	91398-6463
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA
Nombre y Apellidos	FRANCISCO M. OGANDO SERRANO
Correo Electrónico	fogando@ind.uned.es
Teléfono	91398-8223
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA
Nombre y Apellidos	RAFAEL JUAREZ MAÑAS
Correo Electrónico	rjuarez@ind.uned.es
Teléfono	91398-8223
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA
Nombre y Apellidos	PATRICK SAUVAN -
Correo Electrónico	psauvan@ind.uned.es
Teléfono	91398-8731
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	INGENIERÍA ENERGÉTICA



Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

MAURICIO GARCIA CAMACHO  
maurigarcia@ind.uned.es  
91398-6470  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
INGENIERÍA ENERGÉTICA

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. Asimismo la prueba de evaluación correspondiente a la terminación de la fase de aprendizaje se hará utilizando esta plataforma. También se pueden realizar consultas a los profesores de la asignatura personalmente o por teléfono en el siguiente horario:

D. Javier Sanz

Martes, de 16 a 20 h.

Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 2.18

Tel.: 91 398 64 63

Correo electrónico: jsanz@ + ind.uned.es

D. Francisco Ogando

Jueves de 16,00 a 20,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.15

Tel.: 91 398 82 23

Correo electrónico: fogando@ + ind.uned.es

D. Patrick Sauvan

Martes, de 16,00 a 20,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.16

Tel.: 91 398 87 31

Correo electrónico: psauvan@ + ind.uned.es

D. Juan Pablo Catalán Pérez

Martes y jueves de 16,00 a 18,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.15

Tel.: 91 398 82 09

Correo electrónico: jpcatalan@ + bec.uned.es

D. Rafael Juárez Mañas

Martes y jueves de 16,00 a 18,00 h.

Dpto. de Ingeniería Energética, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 0.15

Tel.: 91 398 82 23

Correo electrónico: rjuarez@ + ind.uned.es

Además de estos medios de tutorización a distancia, se realizarán videoconferencias cuando sea provechoso para estudiantes. El periodo de mayor interacción entre profesor y estudiante se prevé durante la primera etapa del trabajo, mientras en la segunda fase se espera que el alumno trabaje de modo más independiente para llevar a cabo la resolución del problema identificado en la primera fase, en la que se le dotó de la teoría necesaria y de la capacitación para hacer uso de las herramientas computacionales apropiadas.



## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El objetivo final es que el estudiante:

1. Seleccione el diseño conceptual de central nucleoelectrica o la instalación experimental de fusión nuclear que crea interesante estudiar.
2. Calcule el inventario isotópico, y lleve a cabo o bien la evaluación del impacto medioambiental de la instalación en términos de determinación de producción de residuos radiactivos, evaluación de los mismos y propuesta de gestión más atractiva; o bien la evaluación de seguridad de la instalación en términos de calcular las dosis al público bajo escenario de accidente severo y comparación de los resultados con objetivos de seguridad establecidos para la fusión nuclear.
3. Evalúe las incertidumbres en las predicciones de las magnitudes consideradas por efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación, iv) dar respuesta final sobre la evaluación de la instalación en lo que respecta a seguridad o impacto medioambiental, y proponer medidas, de si fuera necesario, para llegar a un diseño de activación reducida, lo más atractivo posible de acuerdo al criterio ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

#### Objetivos de conocimiento

- Conozca los distintos tipos de centrales FCI y FCM, así como las instalaciones experimentales de fusión en desarrollo.
- Conozca la problemática asociada a la predicción de inventario isotópico, y evaluación de la seguridad e impacto medioambiental en instalaciones de fusión nuclear.

#### Objetivos de habilidades y destrezas

- Seleccione el tipo de instalación de fusión nuclear a estudiar en función de criterios objetivos: importancia del sistema, posible relevancia en cuanto a la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido, identificación de secciones eficaces no suficientemente bien conocidas, nueva aportación que el trabajo suponga, y disponibilidad de los recursos que pudieran necesitarse.
- Comprender cómo se integran los diferentes elementos (programas/códigos de simulación y bases de datos) computacionales constituyentes del sistema de cálculo a utilizar en la predicción de inventario isotópico y funciones respuesta, y evaluación del efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación.
- Capacidad de utilizar códigos de transporte para caracterizar el flujo neutrónico presente en los materiales constituyentes de la instalación.
- Capacidad de utilizar códigos de activación para realizar cálculos de activación/inventario isotópico y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de



residuos, así como para estimar la incertidumbre en las predicciones debido al efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación

### Objetivos de actitudes

- Proponer una metodología de resolución (modelización de la situación real) apropiada para predecir las magnitudes de interés y evaluar las incertidumbres en las mismas debidas a las incertidumbres existentes en las secciones eficaces.
- Proponer el sistema computacional adecuado para predecir el inventario isotópico, y poder llevar a cabo análisis de seguridad e impacto medioambiental en instalaciones de fusión nuclear.
- Identificar las posibles limitaciones que presenten los códigos y bases de datos que integrarían el sistema computacional propuesto para abordar el problema.
- Calcular el inventario isotópico, y calcular la producción de residuos, realizar evaluación de los mismos y hacer la propuesta de gestión más atractiva o bien, analizar la seguridad de la instalación bajo escenario de accidentes severo.
- Evaluar los resultados en lo que a su significación se refiere de cara a la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido.
- Establecer el rango de validez de las soluciones aportadas en función de las limitaciones del sistema computacional utilizado.
- Establecer, si fuera preciso, las necesidades de desarrollo teórico y/o experimental para realizar el análisis de seguridad y evaluación de impacto medioambiental del tipo de instalación de fusión elegida y para las funciones respuestas consideradas.

## CONTENIDOS

### METODOLOGÍA

El plan diseñado para la realización satisfactoria de este trabajo de máster incluye básicamente dos etapas que serán evaluadas independientemente.

- Etapa de aprendizaje.
- Asimilación del problema a resolver y pasos a seguir para ello.
- Aprendizaje básico de uso de las herramientas computacionales que se utilizarán.
- Etapa de ejecución.
- Cálculo de flujos neutrónicos.
- Cálculo de inventario isotópico. Y según el trabajo que se elija se podrá optar por una de estas dos alternativas: i) evaluación de residuos radiactivos generados y propuesta de estrategia de gestión más atractiva. ii) evaluación de seguridad de la instalación bajo escenario de accidentes severo.
- Análisis de incertidumbres en la predicción de resultados por incertidumbres en las secciones eficaces de activación. Propuesta final de medidas para llegar a diseños de



actividad reducida.

La primera fase del trabajo se iniciará con el repaso de los conceptos relativos a la descripción funcional básica de componentes de las instalaciones de fusión nuclear FCI y/o FCM y con los conceptos básicos referidos a la predicción de inventario isotópico, análisis de seguridad y evaluación de residuos radiactivos en dichas instalaciones. Buena parte de estos conceptos se tratan en la signatura del máster *Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear*. En esta primera fase también se incluirá la lectura de documentos relacionados con dicho tipo de instalaciones y su importancia en el desarrollo de la fusión. Seguidamente se ha de seleccionar y definir en detalle el problema que se pretende tratar. Para ello tendrá que estudiar cuales son los principales tipos de sistemas (centrales e instalaciones experimentales) de fusión nuclear, y seleccionar el concepto sobre el que se realizara el trabajo en función de criterios objetivos: importancia del sistema, posible relevancia en cuanto a la demostración de la potencialidad de la fusión respecto a seguridad y/o impacto medioambiental reducido, identificación de secciones eficaces no suficientemente bien conocidas, nueva aportación que el trabajo suponga, y disponibilidad de los recursos que pudieran necesitarse.

El estudio de esta primera etapa se realizará mediante documentación proporcionada por el equipo docente, y será un periodo de fuerte interacción con el mismo. Para ello se utilizarán las herramientas de docencia a distancia proporcionadas por la UNED.

La otra parte fundamental de esta primera etapa contempla el aprendizaje de uso de dos programas informáticos muy utilizados en investigación: uno de transporte de partículas (MCNP) y otro de cálculos de activación/inventario isotópico y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de residuos (ACAB). El estudiante tendrá que hacer uso de ellos para abordar cualquier de los problemas que plantee como objeto del trabajo, al margen de que también se puedan utilizar otras herramientas que en su momentos e consideren oportunas.

El tiempo estimado de desarrollo de esta etapa es de 100 horas de trabajo colaborativo/en estrecha relación con el profesor, tras lo cual se realizaría, también con medios telemáticos, una prueba mediante la cual se evaluaría la capacidad del estudiante de proceder a la resolución del problema planteado, y pasar por tanto al desarrollo de la segunda etapa. La segunda fase del trabajo incluirá varias tareas. En la primera se han de realizar los cálculos pertinentes para determinar el inventario isotópico. A continuación se podrá optar por: i) evaluar las dosis al público bajo escenario de accidente severo en la instalación y comparar resultados con objetivos de seguridad establecidos para la fusión nuclear; o bien ii) calcular la producción de residuos, realizar evaluación de los mismos y hacer la propuesta de gestión más atractiva para ellos. Seguidamente se estimará el efecto de las incertidumbres existentes en las secciones eficaces de activación sobre la respuesta de la instalación en lo que respecta a seguridad y/o impacto medioambiental/producción y gestión





de residuos. Y finalmente se dará la respuesta final sobre la evaluación de la instalación en lo que respecta a seguridad o impacto medioambiental, y se propondrán medidas si fuera necesario para llegar a diseños de actividad reducida, atractivas según criterio ALARA. La estimación de horas de trabajo en esta fase es la siguiente: cálculos de transporte y determinación de flujos neutrónicos (50h), cálculos de activación/inventario isotópico (75h), análisis de seguridad o evaluación de residuos y propuesta de gestión de los mismos (75h) y elaboración del trabajo final de análisis (75h). Con ello se completan las 375h (15 ECTS) asignadas a la tarea.

Indicar que desde un principio se animará al estudiante a que conozca los recursos bibliográficos disponibles en Biblioteca de la UNED, debiéndose entender estos en su doble vertiente: documentación propiamente dicha a la que se puede acceder y procedimientos para llevar a cabo una gestión eficiente en el proceso de obtención de dicha documentación.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Bibliografía básica

- J. Sanz, *Seguridad e impacto medioambiental de instalaciones de fusión nuclear. Metodología de análisis y aplicaciones*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Ingeniería Energética, Ingeniería Nuclear, UNED/DIE-IN 4.0, Noviembre 2002. Rev. Oct. 2007.
- Manuales de usuario simplificados y adaptados para manejo de los programas a utilizar en los análisis de activación, seguridad y evaluación de residuos radiactivos en instalaciones de fusión nuclear: i) para códigos de transporte de neutrones (MCNP) y ii) para cálculos de activación/inventario isotópico y determinación de respuestas útiles para análisis de seguridad y gestión de residuos (ACAB).

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Energy from Inertial Fusion.  
W.H. Hogan, Scientific Editor,  
International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna, 1995.
- Nuclear Fusion by Inertial Confinement: a Comprehensive Treatise,  
G. Velarde, Y. Ronen, J.M. Martínez-Val  
(Eds.), CRC Press Inc., Boca Raton. FL (1992)



## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

La realización de este trabajo requiere el uso de herramientas computacionales que no están al alcance del público en general. Su uso se gestionará dentro del marco de la plataforma virtual de la UNED, si bien se hará uso de algunos computadores del departamento de Ingeniería Energética. Por parte del estudiante, se espera la disponibilidad de un computador para trabajo con conexión a internet. En el caso de tener que instalar aplicaciones específicas de comunicación por red, se darán al estudiante instrucciones adecuadas, así como direcciones de acceso a software libre disponible.

---

## 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 hayan sido sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.

