



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Industriales

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**53001590 - Neutrónica**

### PLAN DE ESTUDIOS

05BF - Master Universitario En Ciencia Y Tecnologia Nuclear

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2025/26 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

|  |    |
|--|----|
| 1. Datos descriptivos.....                       | 1  |
| 2. Profesorado.....                              | 1  |
| 3. Conocimientos previos recomendados.....       | 2  |
| 4. Competencias y resultados de aprendizaje..... | 2  |
| 5. Descripción de la asignatura y temario.....   | 3  |
| 6. Cronograma.....                               | 6  |
| 7. Actividades y criterios de evaluación.....    | 8  |
| 8. Recursos didácticos.....                      | 11 |
| 9. Otra información.....                         | 12 |

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

|  |   |
|--|---|
| <b>Nombre de la asignatura</b>             | 53001590 - Neutrónica                                       |
| <b>No de créditos</b>                      | 3 ECTS  |
| <b>Carácter</b>                            | Obligatoria   |
| <b>Curso</b>                               | Primer curso  |
| <b>Semestre</b>                            | Segundo semestre  |
| <b>Período de impartición</b>              | Febrero-Junio   |
| <b>Idioma de impartición</b>               | Castellano  |
| <b>Titulación</b>                          | 05BF - Master Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear |
| <b>Centro responsable de la titulación</b> | 05 - E.T.S. De Ingenieros Industriales                      |
| <b>Curso académico</b>                     | 2025-26   |

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

| <b>Nombre</b>                           | <b>Despacho</b>    | <b>Correo electrónico</b>   | <b>Horario de tutorías<br/>*</b>                 |
|---|--------------------|-----------------------------|--|
| Nuria Garcia Herranz<br>(Coordinador/a) | Nuclear<br>Planta1 | nuria.garcia.herranz@upm.es | Sin horario.<br>Solicitar por correo electrónico |
| Gonzalo Felipe Garcia<br>Fernandez      | Nuclear<br>Planta1 | gf.garcia@upm.es            | Sin horario.<br>Solicitar por correo electrónico |

|                                     |                    |                       |   |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|---|
| Oscar Luis Cabellos De<br>Francisco | Nuclear<br>Planta2 | oscar.cabellos@upm.es | Sin horario.<br>Solicitar por correo<br>electrónico |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|---|

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

### 3. Conocimientos previos recomendados

---

#### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

El plan de estudios Master Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

#### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Centrales nucleares: reactores de fisión nuclear
- Tecnología nuclear: fundamentos de las desintegraciones, reacciones nucleares, ciclo neutrónico en reactores de fisión

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CB06 - 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

CB07 - 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

CE02 - Es capaz de realizar análisis matemático avanzado y simulación numérica de los diferentes procesos y sistemas de la física y de la ingeniería de los reactores de energía nuclear de fisión y/o fusión

CE03 - Utiliza los datos y sistemas informáticos más empleados tanto en la investigación como en la industria nuclear para los sistemas de fisión y/o fusión

CE07 - Es capaz de trabajar profesionalmente en las empresas del sector nuclear, diseñando, coordinando, dirigiendo e integrando los conocimientos necesarios para participar en la puesta en marcha y apoyo a operación de las instalaciones nucleares

CG01 - Tener conocimientos avanzados de los aspectos científicos y tecnológicos de la energía nuclear

CG03 - Aplicar los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares

CT01 - Aplica. Habilidad para aplicar conocimientos científicos, matemáticos y tecnológicos en sistemas relacionados con la práctica de la ingeniería

CT05 - Resuelve. Habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería

CT12 - Es bilingüe. Capacidad de trabajar en un entorno bilingüe (inglés/castellano)

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA14 - Conocimiento del esquema de cálculo empleado para diseño y análisis de reactores de fisión

RA12 - Aplicabilidad de los códigos de cálculo para física de reactores de fisión

RA13 - Conocimiento avanzado del diseño de los núcleos de reactores de fisión

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

El objetivo de la asignatura es que los alumnos adquieran un conocimiento avanzado en Neutrónica, disciplina que analiza el transporte de los neutrones a través de la materia, así como los cambios sufridos por ésta debido a las interacciones neutrónicas.

La Neutrónica resulta fundamental en áreas como: física de reactores, evaluación de riesgo de criticidad en instalaciones donde se manipula, transporta o almacena material fisible, estudios de blankets para futuros reactores de fusión, estudios de protección radiológica, activación de estructuras por irradiación neutrónica, transmutación de residuos radiactivos o uso de neutrones en análisis de activación e imagen para aplicaciones

industriales y médicas. Por tanto, es básico que un ingeniero nuclear tenga una sólida formación en Neutrónica.

De todas las aplicaciones, en la asignatura se hará especial énfasis en la física de reactores, es decir, en la física de los sistemas donde se producen reacciones de fisión en cadena mantenidas y controladas, si bien los conceptos son aplicables a cualquier otra área.

Teniendo en cuenta que las dos magnitudes principales involucradas en la Neutrónica son la distribución de neutrones (espacial, energética y temporal) y la evolución isotópica del medio material, el estudio de la Neutrónica se aborda en cuatro fases:

1. Caracterizando cómo interaccionan los neutrones con la materia. Para ello se estudian con detalle los datos nucleares (producción y almacenamiento en librerías evaluadas, que se visualizan con el programa JANIS de la OCDE/NEA Data Bank).
2. Analizando cómo distribuyen los neutrones en un medio. Para ello se estudia la teoría del transporte neutrónico (ecuación de transporte de Boltzmann) y su aproximación de difusión, así como los métodos de resolución.
3. Analizando cómo evoluciona el medio material. Para ello se estudian las ecuaciones de evolución isotópica (ecuaciones de Bateman), los métodos de resolución y se plantea en qué condiciones es necesario resolver el problema acoplado transporte-inventario.
4. Analizando el problema neutrónico 3D en reactores, donde la deposición de energía modifica las temperaturas y densidades de los materiales (requiriéndose un análisis fluidodinámico y de transmisión de calor para su determinación) que a su vez modificarán los coeficientes de la ecuación de transporte. Resulta por tanto una importante realimentación neutrónico-termohidráulica-termomecánica, siendo necesario resolver el problema acoplado multifísica para caracterizar adecuadamente un reactor, tanto en condiciones estacionarias como transitorias.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Datos nucleares

- 1.1. Bases de datos nucleares. Visualización con JANIS
- 1.2. Secciones eficaces con neutrones. Visualización y manipulación con JANIS

### 2. Transporte neutrónico

- 2.1. Ecuación del transporte neutrónico
- 2.2. Métodos de resolución de la ecuación de transporte
- 2.3. Aproximación de difusión

### 3. Evolución isotópica

- 3.1. Cálculos de inventario "stand-alone"
- 3.2. Cálculos acoplados de transporte - inventario

### 4. Física de reactores

- 4.1. Análisis estacionario 3D de reactores: Neutrónica acoplada con otras disciplinas, aproximación estándar
- 4.2. Análisis cinético y dinámico

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

| Sem | Actividad tipo 1  | Actividad tipo 2  | Tele-enseñanza | Actividades de evaluación  |
|-----|---|---|----------------|--|
| 1   | <b>Impartición Tema 1.1</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral                        |   |                |  |
| 2   | <b>Ejercicios computacionales del Tema 1.1</b><br>Duración: 02:00<br>AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas |   |                |  |
| 3   | <b>Impartición Tema 1.2</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral                        |   |                |  |
| 4   | <b>Ejercicios computacionales Tema 1.2</b><br>Duración: 02:00<br>PR: Actividad del tipo Clase de Problemas        |   |                |  |
| 5   | <b>Impartición Tema 2.1</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral                        |   |                | <b>Entrega 1 de ejercicios</b><br>TI: Técnica del tipo Trabajo Individual<br>Evaluación Progresiva<br>No presencial<br>Duración: 00:00                         |
| 6   | <b>Ejercicios Tema 2.1</b><br>Duración: 02:00<br>AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas                     |   |                |  |
| 7   | <b>Impartición Tema 2.2</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral                        |   |                |  |
| 8   | <b>Ejercicios computacionales Tema 2.2</b><br>Duración: 02:00<br>AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas     |   |                |  |
| 9   | <b>Impartición Tema 2.3</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral                        |   |                |  |
| 10  | <b>Ejercicios computacionales Tema 2.3</b><br>Duración: 02:00<br>AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas     | <b>Práctica de laboratorio: medida del flujo neutrónico</b><br>Duración: 03:00<br>PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio |                | <b>Evaluación de la práctica de laboratorio</b><br>EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas<br>Evaluación Progresiva y Global<br>Presencial<br>Duración: 01:00 |
| 11  | <b>Impartición Tema 3.1</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral                        |   |                | <b>Entrega 2 de ejercicios</b><br>TI: Técnica del tipo Trabajo Individual<br>Evaluación Progresiva<br>No presencial<br>Duración: 00:00                         |

|    |  |  |  |   |
|----|--|--|--|---|
| 12 | <b>Impartición Tema 3.2</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |  |  |   |
| 13 | <b>Impartición Tema 4.1</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |  |  |   |
| 14 | <b>Impartición Tema 4.2</b><br>Duración: 02:00<br>LM: Actividad del tipo Lección Magistral |  |  |   |
| 15 |  |  |  |   |
| 16 |  |  |  |   |
| 17 |  |  |  | <b>Examen de evaluación continua</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación Progresiva<br>Presencial<br>Duración: 02:00<br><br><b>Examen final</b><br>EX: Técnica del tipo Examen Escrito<br>Evaluación Global<br>Presencial<br>Duración: 02:00 |

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación (progresiva)

| Sem. | Descripción                              | Modalidad                                | Tipo          | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas       |
|------|--|--|---------------|----------|-----------------|-------------|------------------------------|
| 5    | Entrega 1 de ejercicios                  | TI: Técnica del tipo Trabajo Individual  | No Presencial | 00:00    | 15%             | 5 / 10      | CB06<br>CE03<br>CT12         |
| 10   | Evaluación de la práctica de laboratorio | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial    | 01:00    | 10%             | 5 / 10      | CG03<br>CT01<br>CG01         |
| 11   | Entrega 2 de ejercicios                  | TI: Técnica del tipo Trabajo Individual  | No Presencial | 00:00    | 15%             | 5 / 10      | CB07<br>CE03<br>CT12<br>CE07 |
| 17   | Examen de evaluación continua            | EX: Técnica del tipo Examen Escrito      | Presencial    | 02:00    | 60%             | 4 / 10      | CT05<br>CG01<br>CE02<br>CE07 |

#### 7.1.2. Prueba evaluación global

| Sem | Descripción                              | Modalidad                                | Tipo       | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas                               |
|-----|--|--|------------|----------|-----------------|-------------|--|
| 10  | Evaluación de la práctica de laboratorio | EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas | Presencial | 01:00    | 10%             | 5 / 10      | CG03<br>CT01<br>CG01                                 |
| 17  | Examen final                             | EX: Técnica del tipo Examen Escrito      | Presencial | 02:00    | 90%             | 5 / 10      | CB06<br>CB07<br>CT05<br>CE03<br>CT12<br>CE02<br>CE07 |

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

**EVALUACIÓN PROGRESIVA.** La evaluación de la asignatura será progresiva y consistirá en las siguientes actividades, todas ellas **OBLIGATORIAS**, siendo así mismo obligatoria la asistencia a clase:

1. Práctica de laboratorio. Deberá obtenerse una nota igual o superior a 5. Peso en la nota final: 10%
2. Ejercicios de trabajo personal correspondientes a los distintos módulos del temario. Peso en la nota final: 30%
3. Examen. Deberá obtenerse una nota igual o superior a 4. Peso en la nota final: 60%

Para superar la asignatura debe obtenerse una nota final igual o superior a 5, calculándose de la forma:

$$\text{NOTA\_FINAL} = 10\%\text{NOTA\_LABORATORIO} + 30\%\text{NOTA\_EJERCICIOS} + 60\%\text{NOTA\_EXAMEN}$$

**EVALUACIÓN GLOBAL.** Si el alumno no supera la asignatura mediante la evaluación progresiva, podrá optar a una evaluación mediante prueba global, consistente en:

1. Práctica de laboratorio. Su realización será **OBLIGATORIA** durante el periodo docente. Deberá obtenerse una nota igual o superior a 5. Peso en la nota final: 10%
2. Examen global. Su realización será **OBLIGATORIA**

Para superar la asignatura debe obtenerse una nota final igual o superior a 5, calculándose en este caso la nota final de la forma:

$$\text{NOTA\_FINAL} = \text{MAX} [ (10\%\text{NOTA\_LABORATORIO} + 90\%\text{NOTA\_EXAMEN\_GLOBAL}), (10\%\text{NOTA\_LABORATORIO} + 30\%\text{NOTA\_EJERCICIOS} + 60\%\text{NOTA\_EXAMEN\_GLOBAL}) ]$$

**EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA.** Consistirá en:

1. Práctica de laboratorio. Su realización será OBLIGATORIA durante el periodo docente. Deberá obtenerse una nota igual o superior a 5. Peso en la nota final: 10%
2. Examen extraordinario. Peso en la nota final: 90%

Para superar la asignatura debe obtenerse una nota final igual o superior a 5, calculándose en este caso la nota final de la forma:

$$\text{NOTA\_FINAL} = 10\% \text{NOTA\_LABORATORIO} + 90\% \text{NOTA\_EXAMEN\_EXTRAORDINARIO}$$

## PRÁCTICAS DE LABORATORIO

- Durante el curso se desarrollará una práctica presencial obligatoria en las horas y días seleccionados por los alumnos en base al calendario publicado en INDUSNET.
- El guion de la práctica estará disponible en el Moodle de la asignatura desde el principio del curso, y los alumnos deberán leerlo y superar un cuestionario, que será realizado con anterioridad a la realización de la práctica.

Respecto a la evaluación de la práctica:

- La práctica se evaluará mediante tres actividades: el cuestionario previo, una memoria del desarrollo, y un cuestionario posterior, cuyo peso relativo en la nota será del 15%, 60% y 25%, respectivamente.
- Como ya se ha mencionado, será imprescindible superar el cuestionario previo (con preguntas sobre el guion de la práctica) para poder desarrollarla; en caso contrario dicha práctica quedará suspendida, y la nota de prácticas será la obtenida en el cuestionario previo. En caso de no asistencia, la nota de prácticas será 0.
- En caso de aprobar la práctica, la nota se guardará durante el siguiente curso académico.
- En caso de suspender la práctica ( $\text{NOTA\_LABORATORIO} = 5$ ), y quieran mejorar su nota, se propondrán varias prácticas voluntarias virtuales que el alumno desarrollará empleando un ordenador. Cada práctica virtual completada de forma correcta tendrá un valor máximo de un punto, que se sumará a la nota obtenida en la práctica presencial.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

| Nombre  | Tipo         | Observaciones   |
|---|--------------|---|
| Apuntes elaborados por el equipo docente                          | Bibliografía | El material necesario para el estudio de la asignatura estará disponible en MOODLE  |
| Manual de Prácticas de Laboratorio                                | Bibliografía | Manual de prácticas de laboratorio de Tecnología Nuclear disponible en MOODLE   |
| Neutronics, A Nuclear Energy Division Monograph. CEA, 2015        | Bibliografía | Muy recomendable. Se puede descargar en <a href="http://www.materials.cea.fr/en/PDF/MonographiesDEN/Neutronics_CEA-en.pdf">http://www.materials.cea.fr/en/PDF/MonographiesDEN/Neutronics_CEA-en.pdf</a> |
| Reuss P., Neutron Physics, EDP Sciences, 2008                     | Bibliografía | Otra bibliografía para profundizar  |
| Stacey W.M., Nuclear Reactor Physics, Ed. John Wiley & Sons, 2001 | Bibliografía | Otra bibliografía para profundizar  |
| Código JANIS  | Otros        | Código de simulación computacional con el que se resolverán parte de los ejercicios propuestos  |
| Código ACAB   | Otros        | Código de simulación computacional con el que se resolverán parte de los ejercicios propuestos  |

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

#### OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La asignatura permite trabajar algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible como:

#### **ODS 7 "Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna"**

- La energía nucleoelectrica es una fuente fiable y baja en carbono que muchos países en la actualidad están incorporando o considerando incorporar a su mix-energético.

#### **ODS 9 "Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación"**

- En la asignatura se analiza cómo a través de la simulación computacional se puede contribuir a la mejora de la eficiencia energética, a la investigación científica y a la innovación en el área de los reactores nucleares críticos y subcríticos, ya sean para producción de radioisótopos, generación de energía eléctrica o eliminación de residuos radiactivos.

#### **ODS 17 "Alianzas para lograr los objetivos"**

- El desarrollo sostenible no puede lograrse con la participación de una única organización o un único Gobierno. Las alianzas son un elemento fundamental para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El OIEA, la NEA y otras instituciones internacionales desempeñan un papel importante en la agenda mundial para el desarrollo sostenible al ayudar a los países a utilizar la ciencia nuclear para cumplir sus objetivos de desarrollo y trabajar conjuntamente. Esta ayuda consiste en intercambio conocimientos a través de proyectos de investigación, distribución de bases de datos y software, proyectos de cooperación técnica, etc., así como establecimiento de guías y normativas internacionales,
- En la asignatura se trabajan esos aspectos utilizando bases de datos nucleares y códigos computacionales disponibles en la NEA.