



INTERNATIONAL  
CAMPUS OF  
EXCELLENCE

COORDINATION PROCESS OF  
LEARNING ACTIVITIES  
PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Industriales

# ANX-PR/CL/001-01

## LEARNING GUIDE

### SUBJECT

**53001591 - Separation And Transmutation Of Radioactive Wastes**

### DEGREE PROGRAMME

05BF - Master Universitario En Ciencia Y Tecnologia Nuclear

### ACADEMIC YEAR & SEMESTER

2025/26 - Semester 2

## Index

---

### Learning guide

1. Description.....	1
2. Faculty.....	1
3. Prior knowledge recommended to take the subject.....	2
4. Skills and learning outcomes .....	3
5. Brief description of the subject and syllabus.....	5
6. Schedule.....	8
7. Activities and assessment criteria.....	10
8. Teaching resources.....	15
9. Other information.....	21

## 1. Description

---

### 1.1. Subject details

<b>Name of the subject</b>	53001591 - Separation And Transmutation Of Radioactive Wastes
<b>No of credits</b>	3 ECTS
<b>Type</b>	Compulsory
<b>Academic year of the programme</b>	First year
<b>Semester of tuition</b>	Semester 2
<b>Tuition period</b>	February-June
<b>Tuition languages</b>	English
<b>Degree programme</b>	05BF - Master Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear
<b>Centre</b>	05 - E.T.S. De Ingenieros Industriales
<b>Academic year</b>	2025-26

## 2. Faculty

---

### 2.1. Faculty members with subject teaching role

<b>Name and surname</b>	<b>Office/Room</b>	<b>Email</b>	<b>Tutoring hours *</b>
Alberto Abanades Velasco		alberto.abanades@upm.es	Sin horario.
Emma Del Rio Redondo (Subject coordinator)	INF-GV	emma.delrio@upm.es	Sin horario. Solicitar cita mediante email.

\* The tutoring schedule is indicative and subject to possible changes. Please check tutoring times with the faculty member in charge.

### 2.3. External faculty

Name and surname	Email	Institution
Iván Sánchez García	Ivan.Sanchez@ciemat.es	CIEMAT

## 3. Prior knowledge recommended to take the subject

---

### 3.1. Recommended (passed) subjects

The subject - recommended (passed), are not defined.

### 3.2. Other recommended learning outcomes

- Tecnología de las Radiaciones
- Química General
- Tecnologia Nuclear
- Centrales Nucleares
- Seguridad Física Nuclear
- Estructura de la materia
- Física Nuclear

## 4. Skills and learning outcomes \*

---

### 4.1. Skills to be learned

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

CE01 - Entiende a fondo las leyes básicas y avanzadas de la física atómica y nuclear y las ciencias de la ingeniería pertinentes aplicables a la tecnología de las plantas de energía nuclear de fisión y/o fusión

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

CE05 - Entiende a fondo el sistema de regulación de la seguridad, está comprometido con la seguridad y es consciente de la importancia de la cultura de seguridad para las aplicaciones de la energía nuclear, así como las implicaciones ético-sociales del manejo de residuos radiactivos y materiales del ciclo nuclear

CE06 - Concibe la utilización de los aceleradores de partículas como herramientas avanzadas en la investigación física, y sus aplicaciones en la medicina e industria

CG02 - Realizar investigación, desarrollo e innovación en procesos y métodos aplicables a los sistemas de fisión o fusión nuclear

CG04 - Ser capaz 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

CT04 - Trabaja en equipo. Habilidad para trabajar en equipos multidisciplinares

CT08 - Entiende los impactos. Educación amplia necesaria para entender el impacto de las soluciones ingenieriles en un contexto social global

CT09 - Se actualiza. Reconocimiento de la necesidad y la habilidad para comprometerse al aprendizaje continuo

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

## 4.2. Learning outcomes

RA24 - Adquirir conocimientos complementarios o que amplíen las materias tratadas en las demás asignaturas del Máster en temas avanzados de investigación, tecnológicos o socioeconómicos en relación a la Energía Nuclear (fisión y fusión)

RA19 - Programas de Investigación y Desarrollo a escala nacional e internacional.

RA17 - Evaluación de las magnitudes y naturaleza (clasificación) de los residuos radiactivos generados en las Plantas Nucleares

RA18 - Conocer la física de la separación y opciones de transmutación de residuos radiactivos y de las Tecnologías que se están desarrollando

RA20 - Riesgos y salvaguardias en el ciclo nuclear

RA25 - Haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en uno o más campos de estudio

RA21 - Conocer con detalle la problemática de los residuos radiactivos y nucleares en general

RA22 - Ser capaces de asumir la responsabilidad de su propio desarrollo profesional y de su especialización en uno o más campos de estudio

RA16 - Conocer las tecnologías para la gestión de residuos de baja, media y alta actividad específica, así como para el desmantelamiento de instalaciones.

RA15 - Saber transmitir de un modo claro y sin ambigüedades a un público especializado o no, resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica o del ámbito de la innovación más avanzada, así como los fundamentos más relevantes sobre los que se sustentan.

RA23 - Abordar las cuestiones éticas, sociales, legales e institucionales relacionadas con la gestión de residuos radiactivos

\* The Learning Guides should reflect the Skills and Learning Outcomes in the same way as indicated in the Degree Verification Memory. For this reason, they have not been translated into English and appear in Spanish.

## 5. Brief description of the subject and syllabus

---

### 5.1. Brief description of the subject

La producción de residuos radiactivos es una de las principales preocupaciones que surgen en el aprovechamiento de la energía nuclear como fuente de energía. Diversas estrategias se estudian y se han estudiado para tratar de reducir la problemática que plantean estos residuos, lo que contribuiría a hacer de la energía nuclear una energía más sostenible. Entre ellas, la estrategia de Separación y Transmutación se plantea como una de las opciones más prometedoras en todo el mundo y en particular en países europeos. La idea consiste en reducir los elementos radiactivos de mayor duración y actividad, provenientes principalmente del combustible gastado, mediante su conversión o transmutación en otros elementos menos peligrosos o de menor vida. Además, para poder realizar la transmutación de una manera eficiente, y debido a las diferentes propiedades de los elementos que forman el combustible nuclear gastado, es necesario realizar una separación de los mismos. Gracias a estas técnicas de separación se puede reutilizar parte del combustible mediante la técnica conocida como reprocesado, mientras que otros elementos de ese combustible gastado serán expuestos a las técnicas de transmutación. Así, mediante la estrategia de Separación y Transmutación (SyT) se podrá lograr un mejor aprovechamiento del combustible y, consecuentemente, de los recursos naturales, así como una reducción eficaz del volumen y la toxicidad a largo plazo de los residuos radiactivos de alta actividad, bien mediante el reprocesado del combustible nuclear gastado o bien mediante la conversión del propio combustible en otros elementos menos peligrosos.

De igual manera, junto con estas estrategias de SyT, es necesario revisar el diseño de reactores y/o ciclos de combustible con el objetivo de reducir la producción de residuos durante la operación en las centrales nucleares. Se pueden distinguir, por lo tanto, dos áreas de trabajo: una dedicada a la separación de los diferentes elementos del combustible y otra, a la transmutación y el diseño de reactores. En el área de separación será necesario actualmente desarrollar estudios a nivel de planta piloto para los procesos de separación viables para estrategias de reciclado. También, es necesaria la ampliación de los procesos de separación química por vía acuosa, que son compatibles tanto con la fabricación de combustible como con las futuras estrategias de reciclaje del mismo. En el área de transmutación se deberán describir las iniciativas del pasado (tanto reactores críticos como Subcríticos, ADS e Híbridos), y el diseño de nuevos reactores previstos en la iniciativa europea ESNII. El trabajo se centrará en el estudio de la neutrónica de estos reactores de forma que se pueda optimizar su diseño atendiendo a criterios de reducción de inventario y periodo durante el cuál los residuos radiactivos de alta actividad sean peligrosos sin afectar los criterios de seguridad de operación.

Radioactive waste production is one of the main concerns that arise in the use of nuclear energy as an energy source. Several strategies are being and have been studied to try to reduce the problems posed by this waste, which would contribute to make nuclear energy more sustainable. Among them, Partitioning and Transmutation arises as one of the most promising strategies worldwide and particularly in the European countries. The idea is to reduce the radioactive elements with the longest duration and activity, mainly from spent fuel, by converting or transmuting them into other less dangerous or shorter-lived elements. Furthermore, in order to perform transmutation in an efficient way, and due to different properties of the elements that make up the spent nuclear fuel, a separation of the elements is necessary to be carried out. Thanks to these separation techniques, part of the fuel can be reused using the technique known as reprocessing, while other elements of this spent fuel will be exposed to transmutation techniques. Thus, through Separation and Transmutation (S&T) techniques, it will be possible to achieve a better use of the fuel, and consequently, of the natural resources, an effective reduction in the volume and long-term toxicity of highly active radioactive waste, either during reprocessing of spent nuclear fuel or by converting the fuel itself in other less dangerous elements.

Similarly, together with these S&T strategies, it is necessary to review the design of reactors and / or fuel cycles in order to reduce the production of waste during operation at nuclear power plants. Therefore, two work areas can be distinguished: one dedicated to the separation of the different elements of the fuel and the other, to the transmutation and design of reactors. In the separation area, it will currently be necessary to carry out studies at the pilot plant level for viable separation processes for recycling strategies. Also, it is necessary to expand the chemical separation processes by aqueous route, which are compatible with both fuel manufacturing and future recycling strategies. In the area of transmutation, past initiatives (both critical and Subcritical ADS and Hybrids) must be described, as well as the design of new reactors foreseen in the European initiative ESNII. The work will focus on the study of the neutronics of these reactors so that their design can be optimized according to inventory reduction criteria and the period during which highly active radioactive waste is hazardous without affecting the operating safety criteria.

## 5.2. Syllabus

1. Impacto de la energía en el desarrollo. Papel de la energía nuclear. // Energy impact on development. Role of nuclear energy.
2. Residuos: uno de los principales problemas de la energía nuclear. // Nuclear waste: One of the main problems of nuclear energy.
  - 2.1. Tipos, cantidades y alternativas de gestión //Types, quantities and management alternatives.
3. Para transmutar, primero hay que separar. // To transmute, partitioning first
  - 3.1. Principios básicos de los métodos de separación utilizados en radioquímica. //Basic principles of separation methods in radiochemistry.
  - 3.2. Métodos utilizados para la separación del combustible nuclear // Spent nuclear fuel partitioning methods
4. Transmutación. // Transmutation
  - 4.1. Transmutación de residuos radiactivos: teoría básica. // Transmutation of radioactive waste: basis.
  - 4.2. Sistemas de Transmutación: alternativas actuales; sistemas de reactores críticos y subcríticos// Transmutation Systems: current alternatives, critical and subcritical reactor systems.

## 6. Schedule

### 6.1. Subject schedule\*

Week	Type 1 activities	Type 2 activities	Distant / On-line	Assessment activities
1	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
2	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
3	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
4	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
5	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
6	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
7	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
8	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
9	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
10	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			
11	<b>Clase presencial</b> Duration: 02:00 Lecture			<b>Report</b> Individual work Progressive assessment and Global Examination Not Presential Duration: 20:00
12				
13	<b>Presentaciones de los trabajos realizados por los alumnos</b> Duration: 00:00 Additional activities			<b>Oral Defense</b> Individual presentation Progressive assessment and Global Examination Presential Duration: 02:00

14	<p><b>Presentaciones de los trabajos realizados por los alumnos</b></p> <p>Duration: 00:00</p> <p>Additional activities</p>			<p><b>Oral defense</b></p> <p>Individual presentation</p> <p>Progressive assessment and Global Examination</p> <p>Presential</p> <p>Duration: 02:00</p>
15	<p><b>Presentaciones de los trabajos realizados por los alumnos</b></p> <p>Duration: 00:00</p> <p>Additional activities</p>			<p><b>Oral defense</b></p> <p>Individual presentation</p> <p>Progressive assessment and Global Examination</p> <p>Presential</p> <p>Duration: 02:00</p>
16		<p><b>Visita a una instalación de interés</b></p> <p>Duration: 00:00</p> <p>Additional activities</p>		
17				

Depending on the programme study plan, total values will be calculated according to the ECTS credit unit as 26/27 hours of student face-to-face contact and independent study time.

## 7. Activities and assessment criteria

### 7.1. Assessment activities

#### 7.1.1. Assessment

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
11	Report	Individual work	No Presential	20:00	40%	5 / 10	CB07 CE01 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE05
13	Oral Defense	Individual presentation	Face-to-face	02:00	%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06
14	Oral defense	Individual presentation	Face-to-face	02:00	40%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06

15	Oral defense	Individual presentation	Face-to-face	02:00	%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06
----	--------------	-------------------------	--------------	-------	---	--------	--

### 7.1.2. Global examination

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
11	Report	Individual work	No Presential	20:00	40%	5 / 10	CB07 CE01 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE05
13	Oral Defense	Individual presentation	Face-to-face	02:00	%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06
14	Oral defense	Individual presentation	Face-to-face	02:00	40%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06

15	Oral defense	Individual presentation	Face-to-face	02:00	%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06
----	--------------	-------------------------	--------------	-------	---	--------	--

### 7.1.3. Referred (re-sit) examination

Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
Report	Other assessment	Face-to-face	20:00	50%	5 / 10	CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CB07 CE01 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06
Oral defense	Individual presentation	Face-to-face	00:20	50%	5 / 10	CB07 CE01 CG02 CG04 CB06 CT04 CT08 CT09 CT12 CE02 CE05 CE06

## 7.2. Assessment criteria

El criterio fundamental de evaluación es la presentación de un trabajo sobre un tema relacionado con la asignatura, en forma de documento escrito (40%) y una presentación oral (40%). La DEFENSA ORAL del trabajo realizado se realizará en las últimas 3 semanas con TODOS los ALUMNOS EN EL AULA, Mediante el trabajo y su defensa oral el estudiante deberá demostrar que cumple los objetivos de nivel de conocimientos; capacidad de investigación y desarrollo del tema propuesto; autonomía y capacidad de transmisión de conocimientos.

Además, las siguientes actividades también serán tenidas en cuenta:

- Asistencia a clase, de carácter obligatorio en la asignatura (10%)..
- Asistencia y entrega de resumen a seminarios de interés para la asignatura y recomendados por los profesores (10%)..
- Aquellos alumnos que no asistan a un mínimo del 75% de las clases deberán realizar un examen (50%) y en este caso el trabajo valdría el otro 50% de la calificación (25% documento escrito + 25% defensa oral). Además, en este caso será necesario obtener un mínimo de 4 puntos sobre 10 en el examen (1.5 puntos sobre 10 como mínimo en la parte de Separación y 1.5 puntos/10 mínimo en la parte de Transmutación) para poder aprobar la asignatura.
- Visita a una instalación de interés en la asignatura (CIEMAT - Unidad de Residuos de Alta Actividad). Actividad no recuperable y de carácter obligatorio.

Evaluación extraordinaria

1- Entrega de un trabajo escrito sobre un tema relacionado con la asignatura y de interés para el alumno (40%).

En el caso de los alumnos que no hayan asistido a clase durante el curso, el peso de esta actividad será el 25% de la calificación total.

2- Presentación y defensa del trabajo escrito realizado (40%). En el caso de los alumnos que no hayan asistido a clase durante el curso, el peso de esta actividad será el 25% de la calificación total.

3. La Asistencia a clase es obligatoria en esta asignatura (10%). Aquellos alumnos que no asistan a un mínimo del 75% de las clases deberán realizar un examen (50%) y en este caso el trabajo valdría el otro 50% de la

calificación (25% documento escrito + 25% defensa oral). Además, en este caso será necesario obtener un mínimo de 4 puntos sobre 10 en el examen (1.5 puntos sobre 10 como mínimo en la parte de Separación y 1.5 puntos/10 mínimo en la parte de Transmutación) para poder aprobar la asignatura. .

4- Asistencia y entrega de resumen a seminarios de interés para la asignatura y recomendados por los profesores (10%), para aquellos alumnos que hayan acudido regularmente a clase.

El trabajo, tanto para la evaluación progresiva como para la evaluación extraordinaria, podrá ser en grupo o individual en función del número de alumnos matriculados en la asignatura

The main criterion for evaluation is a report (40%) and its oral defense (40%) on a topic related to the course. The ORAL DEFENSE of the work performed by the students will be carried out in the last 3/4 weeks with ALL STUDENTS IN THE CLASSROOM..To pass the course, students must meet the knowledge level objectives; research and development capacity of the proposed topic; autonomy; knowledge and communication capacity. The following activities will also be taken into account:

- Class attendance (10%).
- Those students with a class attendance lower than 75% of classes must perform an exam (50%) and the final report and its oral defense will be the other 50% of the qualification. In addition in order to pass the course, they should have a minimum of 4/10 points in the exam (and a minimum of 1.5/10 in the Partitioning part and 1.5/10 in the Transmutation part).
- Seminars attendance and summary (10%).
- Visit to a facility (CIEMAT - High Level Waste Unit). Mandatory. Non-recoverable activity.

Extraordinary evaluation

- 1- Report on a topic related to the course. (40%)
- 2- Oral defense of the work performed by the student (40%)
- 3- Seminars attendance and summary (10%) for those students attending classes regularly.

3- Those students with a class attendance lower than 75% of classes must perform an exam (50%) and the final report and its oral defense will be the other 50% of the qualification. In addition in order to pass the course, they should have a minimum of 4/10 points in the exam (and a minimum of 1.5/10 in the Partitioning part and 1.5/10 in the Transmutation part).

The work for both evaluations, progressive and extraordinary, could be performed individually or in group, depending on the number of students in the course

## 8. Teaching resources

### 8.1. Teaching resources for the subject

Name	Type	Notes
Informe 1	Bibliography	The European Strategic Energy Technology (SET) Plan <a href="http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm">http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm</a>
Informe 2	Bibliography	Sustainable Nuclear Energy Technology Platform - SNETP <a href="http://ec.europa.eu/research/energy/euratom/index_en.cfm?pg=fission&amp;section=snetp">http://ec.europa.eu/research/energy/euratom/index_en.cfm?pg=fission&amp;section=snetp</a>
Informe 3	Bibliography	R. Malmbeck et al . Advanced Fuel Cycle Options Energy Procedia, 2011, 7, 93?102. Potential Benefits and Impacts of Advanced Nuclear Fuel Cycles with Actinide Partitioning and Transmutation. NEA No. 6894; OECD, Nuclear Energy Agency (NEA): Paris, 2011.
Informe 4	Bibliography	Spent Fuel Reprocessing Options, IAEA-TECDOC-1587, 2008.
Informe 5	Bibliography	SNETP Strategic Research Agenda SRIA. <a href="http://www.snetp.eu/www/snetp/images/stories/Docs-SRA2012/sria2013_web.pdf">http://www.snetp.eu/www/snetp/images/stories/Docs-SRA2012/sria2013_web.pdf</a>

Informe 6	Bibliography	Brown J., et al. Plutonium loading of prospective grouped actinide extraction (GANEX) solvent systems based on diglycolamide extractants. <i>Solvent Extr. Ion Exch.</i> 2012, 30(2), 127-141.
Informe 7	Bibliography	L. Berthon, M.-C. Charbonnel. Radiolysis of Solvents Used in Nuclear Fuel Reprocessing (Ed.: B. A. Moyer), <i>Solvent Extr. Ion Exch: A Series of Advances</i> 2010, vol. 19, chapter 8, 429-513.
Informe 8	Bibliography	T. Koyama, et al Recent development of pyrochemical processing and metal fuel cycle technology in CRIEPI. Actinide and Fission product partitioning and transmutation. OECD/NEA 2010.
Informe 9	Bibliography	J. Janczyszyn et al. Evaluation of the status on nuclear data and models validation with the spallation targets neutron flux and spallation residues. Deliverable 5.20. IP-EUROTRANS EU project. Contract N° FI6W-CT-2004-516520. March 2010.
Informe 10	Bibliography	. Cl ment, et al. FINA ACTIVIT RE ORT E RO ART of Grant Agreement EUROPART EU Project. Contract Number: FI6W-CT-2003-508 854. November 2007.
Informe 12	Bibliography	Carpintero Santamaria, N. (2012) The incidence of illegal nuclear trafficking in proliferation and international security. <i>Behavioral Sciences of Terrorism and Political Aggression</i> . Volume 4. Issue 2. May 2012. 99-109
Informe 11	Bibliography	V. Romanello et al. Analysis of existing studies and definition of reference scenario. Deliverable 1.1. ARCAS EU project. Grant Agreement N° FP7-249704. November (2011).

Informe 13	Bibliography	Carpintero Santamaria, N. (2014). Factors Affecting Nuclear Security. In Conflict, Violence, Terrorism and Their Prevention. J. Martin Ramirez, C. Morrison and A. Kendall (eds). Cambridge Scholars Publishing. 150-163.
Informe 14	Bibliography	Implications of Partitioning and Transmutation in Radioactive Waste Management. Technical Reports Series N° 435 IAEA
Informe 15	Bibliography	Nuclear Security Culture. IAEA Nuclear Security Series N° 7. 2008
Informe 16	Bibliography	Velarde, G., Perlado, J.M. and Carpintero-Santamaria, N. (2016). The Development of Asymmetric RN Threats Worldwide. CBRNe Portal. May 2016.
Informe 17	Bibliography	Hybrid Reactors with magnetic confinement. Preliminary analysis and calculational model R. Caro, E. Mínguez, J. M. Perlado Ed. JEN, pag. 76, Madrid, 1981. (ISSN 0081-3397; 509)
Informe 18	Bibliography	Transmutation of Minor Actinides by Means Subcritical Reactors. E. Mínguez, J. García, J.M. Martínez-Val, J.M. Perlado Feasibility and Motivation for Hybrid Concepts for Nuclear Energy Generation and Transmutation. IAEA-TC-903.3 ISBN 84-7834-342-3
Informe 19	Bibliography	Neutron Damage of Some Refractory, Corrosion Resistant Candidate Materials., J.M. Perlado, C. Rubbia, J.A. Rubio, Feasibility and Motivation for Hybrid Concepts for Nuclear Energy Generation and Transmutation. IAEA-TC-903.3 ISBN 84-7834-342-3

Informe 20	Bibliography	Coolant and Solid Breeder Significance in Fusion-Fission Blanket Performances J.M. Perlado Fusion Technology 10/3 (1986) 1303 - 1309
Informe 21	Bibliography	Option for Spallation Neutron Sources J. M. Perlado, M. Piera, J. Sanz Journal of Fusion Energy 8 n°3/4 (1990) 181-192
Informe 22	Bibliography	EURAC: A Concept for a European Accelerator Neutron Source W. Kley*, G.R. Bishop*, A. Sinha**, J.M. Perlado ASTM Series on Effects of Radiation on Materials, 607-621 F.A. Garner, et al. Eds. 33 American Society for Testing and Materials, ASTM Pub. (1989).
Informe 23	Bibliography	Eurac: A Liquid Target Neutron Spallation Source Using Cyclotron Technology, J.M. Perlado, et al. IntConf on Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications Book Series: Aip Conf Proceedings Volume: 346 Pages: 325-331 1995
Informe 24	Bibliography	Radiation Damage in Structural Material 37 J.M. Perlado, J. Sanz Energy Amplifier: Green Book, C. Rubbia et al. Presentado a la Unión Europea (1995).
Informe 25	Bibliography	Plutonium elimination in transmutation reactors J. M. Martínez-Val, E. Minguez, J.M. Perlado, P.T. León Book Proceedings of International

		Conference in Emerging Nuclear Energy Systems (ICENES), Junio 2001, Petten, Holanda
Informe 26	Bibliography	Neutron Driven Nuclear Transmutation By Adiabatic Resonance Crossing Andriamonje S, Rubbia C, Rubio JA, Perlado M, et al., Nuclear Fission and Fission-Product Spectroscopy Volume: 447 (1998) Pages: 26-34
Informe 27	Bibliography	Transmutation of Tc-99 in a Low Lethargy medium as a function of the neutron energy Abanades A, Perlado M, Rubbia C, Rubio JA, et al., Nuclear Fission and Fission-Product Spectroscopy Volume: 447 (1998) Pages: 35-42
Informe 28	Bibliography	Experimental Verification of Neutron Phenomenology in Lead and Transmutation by Adiabatic Resonance Crossing in Accelerator Driven Systems. Arnould H, Rubbia C, Rubio JA, Perlado M, et al. Physics Letters B, 458 (1999) 167-180.
Informe 29	Bibliography	Carpintero-Santamaría, N. (2012). "Asymmetric Threats". Terrorism: An Electronic Journal and Knowledge Base Volume I, Number 2. <a href="http://www.ieee.es/Galerias/fichero/OtrasPublicaciones/Internacional/Asymmetric_Threats_NatividadCarpintero-Santamaria.pdf">http://www.ieee.es/Galerias/fichero/OtrasPublicaciones/Internacional/Asymmetric_Threats_NatividadCarpintero-Santamaria.pdf</a>

Informe 30	Bibliography	Carpintero-Santamaría, N. (2019) "Radiological terrorism: mental and psychological health effects". CBRNe Portal.   <a href="https://www.cbrneportal.com/radiological-terrorism-mental-and-physiological-health-effects-prof-natividad-carpintero-santamaria/">https://www.cbrneportal.com/radiological-terrorism-mental-and-physiological-health-effects-prof-natividad-carpintero-santamaria/</a>  
Separación_1	Bibliography	Nuclear and Radiochemistry. Edited by: Frank Rösch  De Gruyter, 2016. DOI: <a href="https://doi.org/10.1515/9783110221862">https://doi.org/10.1515/9783110221862</a>
Separación_2	Bibliography	Gregory Choppin, Jan-Olov Liljenzin, Jan Rydberg. Radiochemistry and nuclear chemistry. Third Edition. (2002). Butterworth-Heinemann. Elsevier. 
Separación_3	Bibliography	Kenneth L. Nash, Gregg J. Lumetta (Ed.). Advanced separation techniques for nuclear fuel reprocessing and radioactive waste management (2011). Woodhead Publishing series in energy: number 2. 
Separación_4	Bibliography	O. Hahn, F. Strassmann. Concerning the existence of alkaline earth metals resulting from neutrón irradiation of uranium. Die Naturwissenschaften 27, p 11-15 (January 1939) [Translation in American Journal of Physics, January 1964, p. 9-15] 
Separación_5	Bibliography	Técnicas analíticas de separación.   M. Valcárcel Cases, A. Gómez Hens (1988) Ed. Reverté s.a. 
Separación_6	Bibliography	Robin Taylor (ed.) 2015. Reprocessing and Recycling of Spent Nuclear Fuel. Woodhead Publishing series in energy: number 79.   </>

## 9. Other information

---

### 9.1. Other information about the subject

La asignatura se imparte en inglés. The course is taught in english.

**ODS7. Energía asequible y no contaminante. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.**

El acceso a una energía limpia, fiable y asequible es uno de los principales requisitos para el desarrollo económico de los países y una mejora del bienestar humano como se ha visto a lo largo de nuestra evolución. La energía nuclear supone un recurso muy útil para tratar de satisfacer las crecientes demandas de energía de los países, preservando el medio ambiente y mitigando el cambio climático.

**ODS7. Affordable and clean energy. Ensure Access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all.**

Access to clean, reliable and affordable energy is one of the main requirements for the economic development of countries and an improvement in human well-being, as has been seen throughout our evolution. Nuclear energy is a very useful resource to try to meet the growing energy demands of countries, reducing environment and health impacts and mitigating climate change.

**ODS9. Industria, Innovación e Infraestructura. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.**

Poder disponer de una tecnología industrial de vanguardia es parte del éxito de una economía fuerte tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. La utilización de tecnología nuclear contribuye a aumentar la competitividad de la industria mediante la realización de pruebas de seguridad y calidad, así como la aplicación de técnicas de irradiación para mejorar la durabilidad de los productos. La irradiación también contribuye a reducir el impacto ambiental de la producción industrial, mejorando la sostenibilidad de las industrias.

**ODS9. Industry, Innovation and Infrastructure. Build resilient infrastructure promotes inclusive and**

### **sustainable industrialization and foster innovation.**

Cutting-edge industrial technology is part of the success of a strong economy in both developed and developing countries. The search and development of alternatives for the treatment of nuclear waste, as well as reactors that generate less waste will contribute to the development of the nuclear industry by providing more sustainable energy and therefore contributing to mitigate climate change.

### **ODS13. Acción por el clima. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.**

Como ya se ha comentado en el ODS 7, el acceso a una energía asequible y fiable es primordial para garantizar el desarrollo económico y bienestar de las personas. Por otra parte, es necesario adoptar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático. La energía nuclear desempeña un papel muy importante a la hora de cumplir estos objetivos al ser una de las tecnologías disponibles para generar electricidad con menor producción de carbono y, por lo tanto, una de las tecnologías que más puede ayudar a disminuir el efecto invernadero.

### **ODS13. Climate action. Take urgent action to combat climate change and its impacts.**

As already mentioned in SDG 7, access to affordable and reliable energy is essential to guarantee the economic development and well-being of people. Furthermore, measures need to be taken to reduce greenhouse gas emissions and combat climate change. Nuclear energy plays a very important role in meeting these objectives as it is one of the available technologies, along with wind and hydro, with lower carbon production to generate electricity. Therefore, nuclear energy is one of the technologies that most can help to reduce the greenhouse effect.

### **ODS17. Alianzas para lograr los objetivos. Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.**

La cooperación es vital para el desarrollo de la mayor parte de los proyectos a los que nos enfrentamos hoy en día en el campo nuclear y para alcanzar la consecución de los ODS. Una cooperación tanto a nivel internacional como nacional o regional para mejorar conocimientos, obtener acceso a tecnología y equipo y desarrollar las mejores prácticas para promover el desarrollo sostenible, la investigación y la innovación es una de las principales conclusiones que se obtienen en esta asignatura.

**ODS17. Partnerships for the goals. Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development.**

Cooperation is vital for the development of most of the projects we are facing today in the nuclear field and for achieving the SDGs. A cooperation both internationally and nationally or regionally to improve knowledge, obtain access to technology, innovation and equipment, and develop best practices to promote sustainable development, research, and innovation is one of the main conclusions obtained in this subject.