

TECNOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Curso 2016/2017

(Código: 28801123)

1. PRESENTACIÓN

En esta asignatura se introducen los conceptos y criterios asociados a las distintas actividades involucradas en el diseño de las distintas estrategias posibles de gestión de residuos radiactivos. Se presentan las metodologías computacionales involucradas en la evaluación de la radiotoxicidad del residuo y en la selección de la estrategia de gestión a utilizar. En la fase final el estudiante tendrá que utilizar códigos de inventario para, dado un material y unas condiciones de irradiación determinadas, predecir el inventario isotópico y radiotoxicidad asociada al residuo/material activado resultante.

Los objetivos de esta asignatura son primeramente: i) adquirir los conocimientos que permitan abordar actividades de investigación en el campo de la gestión de residuos, y ii) conocer las metodologías de simulación utilizadas en la evaluación de la radiotoxicidad de los residuos y en la evaluación/diseño de distintas opciones de gestión (tales como almacenamiento, transmutación, etc.). Finalmente, el estudiante ha de adquirir las capacidades necesarias para aplicar dichos conocimientos a la evaluación de distintas opciones de gestión; y hacer uso de códigos para la predicción de inventario isotópico y radiotoxicidad de residuos/material activado que se retira tras acabar su vida útil en un ambiente de irradiación.

2. CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura *Tecnologías para la gestión de residuos radiactivos*, optativa del Programa Oficial de Posgrado en Investigación en Tecnologías Industriales, es una de las tres asignaturas ofertadas desde el Departamento de Ingeniería Energética dentro del itinerario denominado también Ingeniería Energética.

La asignatura viene a completar y ampliar los conocimientos adquiridos por los alumnos durante sus estudios de grado sobre ciencia e ingeniería nuclear, tratando uno de los temas de preocupación e investigación más relevantes sobre la fuente de energía nuclear de fisión: la gestión de los residuos nucleares. En ella pretendemos que el alumno se familiarice con el origen y características de los distintos tipos de residuos radiactivos, entienda las diferentes opciones que se pueden concebir para su gestión, entienda para que tipos de residuos hay soluciones aceptables y para cuales se precisa investigación y desarrollo sea para mejorar algunas ya demostradas, demostrar algunas ya planteadas o plantear algunas nuevas. Además debe llegar a conocer las herramientas computacionales que se emplean para diseñar y evaluar distintas opciones de gestión y aprender a hacer uso de algunas de ellas para caracterizar el inventario radiactivo y radiotoxicidad de los residuos que se generan tras someter a un material dado a un determinado campo de radiación.

Las asignaturas del primer módulo del Master son también de gran importancia para su desarrollo, dado el doble carácter de esta asignatura: teórica dentro del campo general del impacto medioambiental, e introductoria a la aplicación de la simulación numérica a las tareas de investigación en el campo de la gestión de residuos.

Las principales competencias que se pretende que adquieran los estudiantes son las siguientes:

1. Conocimientos para entender la problemática asociada a la gestión de los residuos radiactivos.
2. Identificar y diferenciar las soluciones de gestión planteadas sobre residuos radiactivos.
3. Conocer las técnicas de simulación y experimentación empleadas en la investigación sobre residuos nucleares.

4. Capacidad para la identificación de necesidades y demandas de desarrollo e innovación.
5. Capacidad de análisis de información científica y técnica.
6. Capacidad de síntesis de información científica y técnica.
7. Conocimiento de los métodos y técnicas de investigación científica y desarrollo tecnológico.
8. Destrezas en la aplicación de técnicas de simulación computacional.
9. Destrezas en la búsqueda y gestión bibliográfica y documental.
10. Capacidad de planificación de actividades de investigación.
11. Capacidad de razonamiento crítico.
12. Habilidades para la elaboración y exposición de informes científicos.
13. Capacidad de aplicar conocimientos a la realización futura del trabajo de investigación del Máster y de la Tesis Doctoral.

En este curso se abordan las líneas de investigación más relevantes en el campo de la gestión de residuos radiactivos, no obstante y de cara a la posible realización del trabajo fin de master (Módulo 4) y futura tesis doctoral en este campo, el equipo docente sólo ofrece en la actualidad trabajos en el campo de la transmutación de residuos radiactivos, línea en la que el equipo coordina varias actividades dentro del Programa Europeo EUROTRANS.

3. REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

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.

4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los objetivos de la asignatura son los siguientes:

1. Revisar el concepto de residuo radiactivo.
2. Conocer las fuentes de producción más importantes de residuos radiactivos.
3. Entender los principios utilizados en la clasificación de los residuos radiactivos.
4. Conocer las distintas etapas y actividades involucradas en la gestión de los residuos radiactivos.
5. Entender el concepto de radiotoxicidad y saber utilizar la formulación adecuada para su cálculo.
6. Saber fundamentar la necesidad de regular los almacenamientos de residuos radiactivos.
7. Entender los principios fundamentales de la regulación.
8. Saber plantear la matriz de la seguridad de los almacenamientos de residuos radiactivos.
9. Establecer las bases de la evaluación de la seguridad y protección radiológica de un almacenamiento.
10. Entender los diferentes elementos integrantes de la metodología de cálculo a utilizar en la evaluación de la seguridad de un almacenamiento.
11. Conocer las actividades asociadas a la gestión de residuos de muy baja, baja y media actividad.
12. Evaluar el atractivo y las posibilidades de optimización de la aplicación práctica del proceso de desclasificación de materiales residuales con contenido radiactivo mínimo.
13. Conocer y diferenciar distintos sistemas de almacenamiento de residuos de baja y media actividad (RMBA).
14. Describir los componentes y funciones de las instalaciones de "El Cabril".
15. Entender como se ha llevado a cabo la evaluación de seguridad del sistema de almacenamiento de "El Cabril".
16. Entender y diferenciar la problemática asociada a la clausura de las distintas instalaciones nucleares y radiactivas en cuanto a gestión de residuos y prácticas de seguridad y protección radiológica.
17. Conocer la composición isotópica y las distintas funciones respuesta asociadas a la actividad del combustible gastado relevantes para su gestión.
18. Conocer la metodología computacional necesaria para la predicción del inventario isotópico y respuestas radiológicas asociadas del combustible gastado.
19. Conocer los distintos ciclos de combustible gastado y analizar a nivel básico su viabilidad.
20. Conocer las funciones y criterios de seguridad para el almacenamiento temporal.
21. Conocer las tecnologías de almacenamiento temporal existentes en operación y aquellas en fase de proyecto.

22. Conocer en que consiste el reproceso del combustible gastado.
23. Conocer los procesos de separación de actínidos minoritarios y algunos productos de fisión.
24. Conocer distintos diseños conceptuales de sistemas transmutadores.
25. Conocer las características que debe cumplir el encapsulado de combustibles gastados y residuos de alta actividad vitrificados.
26. Conocer los principios generales del almacenamiento profundo (AGP).
27. Conocer distintos conceptos de AGP
28. Conocer la metodología seguida en la evaluación de la seguridad del AGP.
29. Analizar resultados de evaluaciones de seguridad del AGP.

5. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

Los contenidos temáticos de la asignatura son los siguientes:

Bloque 1. Generación de residuos radiactivos, su clasificación y definición de principios y actividades para su gestión.

Tema 1. Origen de los residuos radiactivos y volúmenes generados.

Tema 2. Clasificación de los residuos radiactivos y definición de principios y etapas para su gestión.

Bloque 2. Seguridad y protección radiológica asociadas a la gestión de residuos radiactivos.

Tema 3. Radiotoxicidad de los residuos radiactivos y objetivos de seguridad y protección radiológica.

Tema 4. Normativa aplicable a la gestión de residuos radiactivos en España.

Tema 5. Evaluación de la seguridad de almacenamientos.

Bloque 3. Gestión de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad (RBMA).

Tema 6. Exenciones del control regulador. Materiales residuales con contenido radiactivo mínimo.

Tema 7. Sistemas de almacenamiento. Descripción y evaluación de las instalaciones de "El Cabril".

Tema 8. Clausura de instalaciones: Residuos radiactivos y seguridad.

Bloque 4. Tecnología y opciones tecnológicas para la gestión del combustible gastado y residuos de alta actividad.

Tema 9. Características del combustible gastado: radionucleidos existentes y radiotoxicidad; y metodología computacional para predicción de inventario isotópico y funciones-respuesta asociadas.

Tema 10. Ciclos de combustible: opciones de gestión del combustible gastado.

Tema 11. Almacenamiento temporal: funciones, criterios de seguridad y soluciones técnicas.

Tema 12. El almacenamiento geológico profundo: principios generales, conceptos de almacenamiento, evaluación de la seguridad y desarrollo y verificación del conocimiento y tecnologías necesarias.

Tema 13. Separación y transmutación de actínidos minoritarios y algunos productos de fisión.

TRABAJO FINAL: Trabajo final de síntesis.

Proyecto en el que para un material dado y sometido a unas condiciones de irradiación determinadas, el alumno tendrá que ser capaz de predecir mediante simulación numérica el inventario isotópico y radiotoxicidad asociada al residuo/material activado resultante, y propondrá el tipo de gestión que consideraría más adecuada para el mismo. En todo caso, siempre tendrá que responder a la cuestión de si la opción de transmutación podría ser atractiva para el caso que se plantee.

6. EQUIPO DOCENTE

- [JAVIER SANZ GOZALO](#)
- [PATRICK SAUVAN](#)
- [ANTONIO JESUS LOPEZ REVELLES](#)

7.METODOLOGÍA

Esta asignatura ha sido diseñada según modalidad a distancia, por ello, el estudiante contará con el material necesario para afrontar el estudio de forma autónoma. No obstante es necesaria una planificación objetiva de las tareas programadas.

El estudio de la materia se hará a través de los textos básicos recomendados, apoyados con material virtualizado disponible en la plataforma de aprendizaje y en las orientaciones didácticas elaboradas para que el estudiante pueda estudiar a distancia de forma autónoma. En una primera etapa el estudiante debe estudiar los contenidos teóricos de la asignatura. Al final de cada tema, deberá realizar una prueba de autoevaluación consistente en la resolución de algunas cuestiones y ejercicios, que le permitirá valorar la asimilación de los contenidos. En una segunda etapa, una vez estudiados los distintos temas de cada Bloque temático, el alumno llevará a cabo la resolución de un problema para cada uno de los bloques del Programa. En una tercera etapa, y una vez una vez estudiados los distintos temas del programa, el alumno realizará una prueba de evaluación a distancia que consistirá en la contestación a preguntas de desarrollo, preguntas que incluirán en su desarrollo las cuestiones planteadas en los ejercicios/cuestiones de autoevaluación de cada tema.

Finalmente el alumno llevará a cabo el trabajo final.

En definitiva, y dadas las características de la materia, se ha propuesto emplear, de forma escalonada, y tal como sucintamente se ha comentado, tres metodologías de aprendizaje:

Resolución de cuestiones y ejercicios de autoevaluación:

Boque I-IV:

Esta metodología se utiliza como herramienta básica de aprendizaje. A partir de un problema enunciado, relevante en cuanto a los conocimientos a manejar en el planteamiento de la investigación sobre residuos nucleares, se plantean cuestiones teórico prácticas cuya solución requiere de los conocimientos implicados fundamentalmente en cada unidad temática, aunque se pueden retomar también algunas cuestiones específicas de las anteriores. El alumno recibirá, al final de la realización de estos ejercicios de autoevaluación indicaciones relativas al grado de avance así como explicaciones y alternativas (basadas en cuestiones teóricas) de solución a los errores detectados. La realización de los ejercicios en sí mismos no tiene contribución a la nota final. Ahora bien la prueba de evaluación a distancia que se deberá realizar una vez realizados los ejercicios/tests de evaluación correspondientes a todos los temas, y cuyo periodo de duración será de dos horas, se basará totalmente en este tipo de cuestiones. Dicha prueba contribuirá en un 20% a la nota final. En este tipo de metodología el alumno empleará 61,5 horas (el 55% de las 112.5 asignadas a la materia)

Aprendizaje basado en problemas:

Bloque I-IV:

Esta metodología se emplea al final de cada bloque temático. El alumno deberá desarrollar la solución a un problema práctico, representativo de alguna de las actividades de investigación que hay que abordar en el desarrollo de un Proyecto de investigación en el campo de los Residuos Nucleares. La resolución al problema se deberá presentar en formato "informe de investigación". Este trabajo será evaluado completo, sobre esta evaluación se informará de forma detallada al alumno, advirtiéndole de los errores, pero sin aportar indicios relativos a los errores, teniendo el alumno que buscar las soluciones correctas. La resolución de los distintos problemas contribuirá en un 30% a la nota final. En este tipo de metodología el alumno empleará 31 horas (el 27,5 % de las 112.5 asignadas a la materia).

En este apartado incluimos las prácticas en línea que consistirán en resolver problemas relacionados con cada bloque utilizando herramientas computacionales disponibles a través del curso virtual de la UNED. Dentro del programa "Redes II" promocionado por el Instituto Universitario de Educación a Distancia de la UNED, se han desarrollado herramientas orientadas a facilitar el uso de las aplicaciones computacionales para cálculos de inventario radiactivo y caracterización por tanto, de la composición y radiotoxicidad del residuo. En la asignatura se incluirán prácticas virtuales con ayuda de dichas herramientas.

Aprendizaje orientado a proyectos:

Trabajo final

Se planteará un problema bastante general, cuyo único punto de partida será el material y las condiciones de irradiación a las que estará sometido. A partir de aquí, el alumno tendrá que ser capaz de predecir mediante simulación numérica el inventario isotópico y radiotoxicidad asociada al residuo/material activado resultante, y propondrá el tipo de gestión que consideraría más adecuada para el mismo. En todo caso, siempre tendrá que responder a la

cuestión de si la opción de transmutación podría ser atractiva par el caso que se plantee. En definitiva, este trabajo ha de contar con un grado de autonomía muy elevado, es decir el alumno determina y configura en buena medida el problema de investigación, desarrolla la búsqueda bibliográfica para contextualización teórica, el estado de la cuestión etc. Realiza la simulación numérica, analiza los datos en función de distintas opciones de gestión que pudiera plantear, y propone una o varias soluciones alternativas indicando las ventajas e inconvenientes de cada una. En este tipo de metodología el alumno empleará 20 horas (el 17,5% de las 112.5 horas asignadas a la materia). La realización del Trabajo final contribuirá en un 50% a la nota final.

Los elementos de evaluación correspondientes a este planteamiento metodológico se pueden estructurar de forma genérica en dos grandes grupos: i) pruebas de evaluación/trabajos a desarrollar a distancia por el alumno, y ii) prueba presencial. Consideraciones más específicas referidas a temas de calificación final y ponderación asignada a dichos elementos se exponen en la última sección de esta guía correspondiente a evaluación de aprendizajes.

8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Comentarios y anexos:

Bibliografía recomendada

1. CURSO sobre GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS.
Edición 2009. Edit. CIEMAT. Madrid 2009.
Depósito Legal: M-8013-2009. ISBN: 978-84-7834-603-5. NIPO: 471-09-005-1
2. Gestión de Residuos Radiactivos: Situación, Análisis y Perspectiva.
Edit. Fundación para Estudios sobre la Energía. Volumen 1, . Madrid, 2007.
Depósito Legal: M-40848-2007.

Nota: Ambos textos están colgados en el curso virtual en la sección denominada "bibliografía recomendada".

Tambien se considerará bibliografía basica algunos artículos de investigación realizados por el equipo docente sobre el tema de Transmutación de residuos radiactivos

El libro Gestión de Residuos Radiactivos: Situación, Análisis y Perspectiva esta disponible en <http://www.fundacionenergia>. Descarga gratuita del libro en PDF.

Los capitulos de interes son:

Capítulos: 1, 2, 4,5 y 6

1.1 Comentarios relativos al texto:

CURSO sobre GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS. Edición 2009. Edit. CIEMAT. Madrid 2009.

Los contenidos de los Cuatro Bloques de la asignatura se pueden abordar con todas las garantías mediante la utilización del texto: CURSO sobre GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS. Edición 2009. Edit. CIEMAT. Madrid 2009

En concreto tendrá que consultar los contenidos de las lecciones siguientes:

Lección 2ª: Generación y características de los nucleidos radiactivos. La clasificación de los residuos radiactivos

Lección 5ª: Los residuos en las centrales nucleares

Lección 8ª.- Los principios fundamentales de seguridad del OIEA y su aplicación en la gestión de los residuos radiactivos.

Lección 9ª: Criterios y objetivos de la protección radiológica en la gestión de los residuos radiactivos

Lección 11ª: Criterios para la gestión de materiales con muy bajo contenido radiactivo

Lección 12ª : Evaluación del impacto radiológico ambiental asociado a la gestión de residuos radiactivos.

Lección 15ª: Caracterización de residuos. I+D asociados

Lección 16^a: Criterios básicos de gestión y almacenamiento

Lección 17^a: Instalaciones de "El Cabril"

Lección 18^a: Instalaciones para almacenamiento de residuos de muy baja actividad

Lección 19^a: Almacenamiento temporal del combustible irradiado: Soluciones técnicas y criterios de seguridad

Lección 20^a: Almacenamiento temporal del combustible irradiado: aplicaciones y situación en España.

Lección 21^a: Almacenamiento definitivo de residuos de actividad elevada: soluciones técnicas, criterios de seguridad y diseño conceptual

Lección 22^a: Almacenamientos geológicos profundos: El campo próximo.

Lección 25^a: La reelaboración del combustible gastado y la separación de elementos químicos conteniendo radionucleidos de vida larga.

Lección 26^a: Transmutación de residuos radiactivos de vida larga

Lección 27^ab: Desmantelamiento de centrales nucleares en España

Dentro de las lecciones mencionadas el alumno tendrá que estudiar y asimilar los contenidos referidos solamente a unas cuantas secciones de las mismas. Las secciones cuyos contenidos debe estudiar y asimilar se indican detalladamente en el documento/fichero referido a la prueba/trabajo a distancia, encuadrándose dichas secciones de forma detallada dentro de cada uno de los bloques de preguntas que el alumno debe contestar.

1.2. Comentarios relativos al texto:

Gestión de Residuos Radiactivos: Situación, Análisis y Perspectiva. Edit. Fundación para Estudios sobre la Energía. Volumen 1, . Madrid, 2007.

http://www.fundacionenergia.es/contenido_02.htm. Capítulos: 1, 2, 4,5 y 6

Magnífico texto, cuyas secciones específicas a estudiar y asimilar aparecen explicitadas en el documento referido a la prueba/trabajo a distancia así como en el referido a la prueba presencial.

Aunque se hace referencia explícita a pocas secciones del mismo en relación a la elaboración y preparación de dichas pruebas, su uso es muy recomendado para su buen desarrollo. Es muy útil para consultar/buscar de forma rápida en el mismo (buscador electrónico del pdf) los conceptos a los que se hace referencia en dichas pruebas, tratándolos siempre de una manera precisa y claramente entendible (lo que logra con un apoyo impreso y gráfico de mucha calidad).

Por otra parte, su uso es muy recomendable para desarrollar con un alto nivel de calidad la pregunta de la Parte/Bloque 8 incluida en la prueba de evaluación/trabajo a distancia, la cual es considerada dentro del mismo como la de mayor importancia.

2. Bibliografía relacionada con la investigación realizada en el campo de la transmutación por nuestro equipo.

Como se indicó en el documento correspondiente a la prueba presencial, un 25% de la misma se orientará a que el alumno presente los objetivos de parte de la investigación que nuestro equipo ha realizado en el campo de la transmutación y a que exponga la metodología que se ha seguido para su realización. La documentación apropiada para que el alumno pueda alcanzar el objetivo propuesto se colgará en el curso virtual en la sección denominada "bibliografía_investigacion_UNED".

9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:

En esta sección queremos destacar lo siguiente.

A) De cara a tener información actualizada sobre el estado de las actividades de gestión de residuos radiactivos en España se aconseja consultar el link de ENRESA <http://www.enresa.es/>

B) En la página web de ENRESA puede encontrar también material didáctico. A este respecto queremos recomendar el documento denominado:

“Fichas de trabajo para alumnos visitantes a nuestros centros de información”

Como se indica en dicha página, es un conjunto de nueve fichas, con imágenes a todo color, que tratan temas relacionados con la radiactividad y sus aplicaciones, la protección radiológica y la gestión de los residuos radiactivos.

Se puede descargar libremente en la dirección:

<http://www.enresa.es/Red+Documental/Publicaciones/Material+didactico/es/fichasdetrabajo.htm?pagina=1>

El documento aparece descargado en el curso virtual en la sección denominada “bibliografía complementaria”.

Nota: Se aconseja la utilización de este documento para desarrollar la pregunta de la Parte/Bloque 8 incluida en la prueba de evaluación/trabajo a distancia.

Lecturas recomendadas

SCHAPIRA, J.P; BRAVO, I; MARY, G, NIFENECKER, H, GIORNIO, A, LOISEAUX, J.M; KEMPI, H. (1997). Dossier ¿Es posible desprenderse de los residuos radiactivos?: Mundo Científico, Vol. 184, pp. 953-975.

10.RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

La utilización por el estudiante del curso curso virtual resulta imprescindible para la preparación de la asignatura.

11.TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. 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. Patrick Sauvan
Jueves, 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
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: jpcatalan@bec.uned.es

12.EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación podrá consistir en una prueba presencial, pruebas de evaluación a distancia y

trabajos de síntesis, así como otros elementos de evaluación que establezca el equipo docente para evaluar la actividad del alumno a lo largo del curso. Las características de los distintos elementos de evaluación y su peso en la calificación final se establecerán al comienzo del curso y podrán consultarse en el curso virtual de la asignatura.

Para el presente curso, los elementos principales de evaluación se estructuran en dos grandes grupos:

- i) pruebas de evaluación/trabajos a desarrollar a distancia por el alumno
- ii) prueba presencial

Dado que el periodo lectivo de la asignatura se desarrollará durante el primer cuatrimestre, la prueba presencial se realizará en la convocatoria de febrero o en la de septiembre.

La ponderación de cada evaluación para la calificación final de la asignatura será: 80% para el trabajo a distancia y 20% para la prueba presencial. Para aprobar la asignatura será necesario obtener una calificación mínima de 4 puntos sobre 10 en la prueba presencial y 5 puntos sobre 10 en la calificación final.

13. COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.