

# Universitat Politècnica de Catalunya – Universitat de Barcelona

## Màster oficial d'Enginyeria en Energia

### Fitxa de descripció d'assignatura

|   |  |  |   |  |              |
|---|--|--|---|--|--------------|
| <b>Assignatura</b>                        | <b>SEGURETAT NUCLEAR I GESTIÓ DE RESIDUS RADIACTIUS</b>  |  |   | <b>Codi:</b>                                 | <b>33546</b> |
|   |  |  |   | <b>Versió:</b>                               |              |
| <b>Tipus:</b>                             | Optativa   | <b>Crèdits totals ECTS:</b>            | 5 | <b>Hores/setmana totals:</b>                 | 9            |
| <b>Idioma:</b>                            | Castellà   | <b>Crèdits presencials Teoria:</b>     |   | <b>Hores/setmana presencials Teoria:</b>     | 2            |
| <b>Hores/crèdit:</b>                      | 25   | <b>Crèdits presencials Problemes:</b>  |   | <b>Hores/setmana presencials Problemes:</b>  | 1            |
| <b>Quadrimestre:</b>                      | 3  | <b>Crèdits presencials Laboratori:</b> |   | <b>Hores/setmana presencials Laboratori:</b> | 1            |
| <b>Nivell:</b>                            |  | <b>Crèdits no presencials:</b>         |   | <b>Hores/setmana no presencials:</b>         | 5            |
| <b>Coordinador:</b>                       | CARLOS TAPIA FERNÁNDEZ (UPC)   |  |   |  |              |
| <b>Professors:</b>                        | CARLOS TAPIA FERNÁNDEZ (UPC), GUILLEM CORTÈS ROSSELL (UPC)   |  |   |  |              |
| <b>Horari i lloc de tutories:</b>         | Horari: hores convingudes.<br>Lloc: Secció d'Enginyeria Nuclear. ETSEIB Pavelló C. Avda. Diagonal 647. 08028 Barcelona   |  |   |  |              |
| <b>Pre-requisits:</b>                     |  |  |   |  |              |
| <b>Co-requisits:</b>                      |  |  |   |  |              |
| <b>Objectius generals:</b>                | Presentar els principis de la seguretat nuclear a considerar en el projecte, la construcció, l'operació i el desmantellament de les instal·lacions nuclears. Presentar les fonts de generació de residus radioactius, la seva caracterització, tecnologies i mètodes de tractament i eliminació, i les alternatives de gestió final. Introduir els aspectes administratius del control regulador de la seguretat de les instal·lacions nuclears, transport de matèries radioactives y gestió de residus radioactius en l'àmbit mundial y de la Unió Europea.   |  |   |  |              |
| <b>Objectius específics de cada tema:</b> |  |  |   |  |              |
| <b>Objectius transversals:</b>            |  |  |   |  |              |
| <b>Programa de Teoria:</b>                | <p><b>Tema 1. Aspectes bàsics i organitzatius de la seguretat nuclear.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Els pilars de l'energia nuclear: tecnologia nuclear, seguretat nuclear i verificació.</li> <li>- Concepte de la seguretat nuclear (Risc nuclear i dany nuclear).</li> <li>- Control administratiu de la seguretat nuclear.</li> </ul> <p><b>Tema 2. Principis de la seguretat nuclear</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Criteris de seguretat bàsics aplicats al disseny de les centrals nuclears.</li> <li>- El reactor nuclear, la central i el cicle de combustible.</li> <li>- Inventari d'activitat en els reactors.</li> <li>- Dinàmica del reactor. (<a href="http://www-sen.upc.es/Situacion/Sim_Con_CenNu.htm">http://www-sen.upc.es/Situacion/Sim_Con_CenNu.htm</a>)</li> <li>- Seguretat intrínseca (sistemes passius) i seguretat extrínseca.</li> <li>- Riscs, probabilitat dels accidents i conseqüències radiològiques dels mateixos.</li> <li>- Mètodes de càlcul del risc.</li> </ul> <p><b>Tema 3. Aplicació de la seguretat en centrals nuclears (emplaçament).</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Models de càlcul de les conseqüències radiològiques.</li> <li>- Termes font. Models de dispersió atmosfèrica i models de càlcul de dosis.</li> </ul> <p><b>Tema 4. Aplicació de la seguretat en centrals nuclears (disseny i operació)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concepte de central de referència i implicacions durant el projecte i l'operació.</li> <li>- Estructura, abast, contingut i actualització de l'Estudi de Seguretat y dels Plans d'Emergència de les centrals actuals.</li> </ul> <p><b>Tema 5. Aplicació de la seguretat en centrals nuclears (desmantellament i clausura)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Autoritzacions i condicionat tècnic sobre seguretat nuclear i protecció radiològica de les centrals nuclears en fase de desmantellament i clausura.</li> </ul> <p><b>Tema 6. La seguretat nuclear en els reactors avançats.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Millores relacionades en la seguretat nuclear en els projectes dels reactors evolutius i avançats.</li> <li>- Propostes de seguretat nuclear per als reactors de la quarta generació.</li> </ul> <p><b>Tema 7. Exemples de successos i accidents nuclears importants. Lliçons apreses.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Accidents de reactivitat: reactor BWR SL1 (1961) i central RMBK (LWGR) Chernobyl 4 (1986)</li> </ul> |  |   |  |              |

- Accidents de pèrdua de refrigerant: central PWR TMI-2 (1979) i el seu precursor l'incident de la central PWR Davis Besse (1978)

### **Tema 8. Residus radioactius, classificació i origen**

- Definició de residu radioactiu i classificació.
- Fonts de producció de residus radioactius per sectors:
  - Instal·lacions nuclears
  - Instal·lacions radioactives del cicle combustible
  - Instal·lacions radioactives mèdiques, industrials, comercials i d'investigació.
- Residus operacionals i en el desmantellament de les instal·lacions.

### **Tema 9. Residus radioactius d'alta activitat. Caracterització i tractament**

- Caracterització del combustible nuclear irradiat. Exemples.
- Reprocessat del combustible nuclear. Etapes prèvies. Processos. Producció de residus. Vitrificació.
- Transmutació de residus d'alta activitat.

### **Tema 10. Instal·lacions de magatzematge dels residus d'alta activitat.**

- La gestió del combustible nuclear irradiat.
- Instal·lacions de magatzematge temporal i instal·lacions magatzematge definitiu.
- Instal·lacions en operacions al món.
- Instal·lacions projectades.

### **Tema 11. Instal·lacions de magatzematge dels residus de baixa i mitja activitat.**

- Producció i tecnologies de tractament dels residus de baixa i mitja activitat (RBMA) a les instal·lacions nuclears durant l'operació.
- Instal·lacions de magatzematge definitiu.

### **Tema 12. El desmantellament i clausura de les instal·lacions nuclears.**

- Nivells, etapes o fases dels desmantellaments.
- Caracterització radiològica de les instal·lacions.
- Generació de residus, tractament i gestió.
- Tecnologies de desmantellament i descontaminació.

### **Tema 13. El transport dels materials radioactius.**

- Tipus de transports.
- El Reglament de l'OIEA pel transport segur.
- Acords internacionals.

### **Tema 14. L'avaluació de la seguretat dels projectes nuclears**

- Legislació aplicable.
- Normes i codis aplicables.
- Criteris d'avaluació aplicables.
- Exemples d'avaluació. (*Standard Review Plans*)

### **Pràctiques de Laboratori:**

- Estats de funcionament d'una central nuclear (Utilització del codi SIREP)
- Caracterització d'un conjunt combustible irradiat (Utilització del codi SCALE 5.1)

### **EXERCICIS**

(A triar pels alumnes per realitzar el treball individual)

1. Accidents severos. Exemple de càlcul de taxes de dosi en la proximitat de la contenció.
2. Anàlisi probabilístic de la seguretat (APS) d'un sistema d'extracció de calor residual
3. Precursors de seqüències d'accidents severos al reactor.
4. Aplicació dels criteris de seguretat al Sistema de refrigeració de la CN Ascó.
5. Aplicació dels criteris de seguretat al Sistema de refrigeració de la CN Vandellòs .
6. Sistema de barreres múltiples i anàlisi de conseqüències d'accidents postulats: Accident de manipulació de combustible irradiat.
7. Anàlisi dels programes de gestió de vida dels components mecànics de les centrals d'aigua lleugera: Cuva del reactor.
8. Estudi de les mesures de seguretat en el transport d'elements combustibles nous i/o combustible irradiat. Anàlisi de la resposta davant d'un accident d'un transport per carretera (cas real).
9. Anàlisi de conseqüències d'accidents externs a la central. Aplicació de Criteris Generals de Disseny. Accidents de transport de mercaderies perilloses.
10. Estudi detallat de la Ordre Ministerial per la que s'autoritza el funcionament d'una central nuclear espanyola (1).
11. Exercicis d'Anàlisi Probabilístic de la Seguretat (APS). Models bàsics d'indisponibilitat per a construir els arbres de fallades.
12. Revisió de la seguretat nuclear de les centrals nuclears de la ex-URSS. Situació actual de les centrals.
13. Anàlisi d'accidents en les piscines de magatzematge de combustible nuclear esgotat amb vistes al desmantellament de les centrals al final de vida
14. Control de les salvaguardes de l'Organisme Internacional d'Energia Atòmica
15. Anàlisi d'accidents de reactivitat en les centrals nuclears

16. Objectius quantitativs de verificació de la seguretat nuclear en la fase de disseny dels nous reactors
17. Estructura del pla bàsic d'emergència nuclear a Espanya.
- 20 Sistemes de vigilància i control de les emissions de radioactivitat de les centrals nuclears espanyoles al medi ambient.
21. Conceptes de magatzematge temporal de combustible nuclear irradiat i/o residus d'alta activitat.
22. Experiència de desmantellament de nivell 2 de la central nuclear Vandellòs I.
23. Magatzematge temporal del combustible irradiat en sec (contenidors de magatzematge). Experiència al món i a Espanya.
24. Tractament i gestió dels residus radioactius generats a les instal·lacions radioactives del sector de la medicina i/o indústria.
25. Residus radioactius generats en la clausura de les instal·lacions de la primera part del cicle de combustible nuclear. Situació a Espanya.
26. Verificació de nivells d'activitat en residus sòlids (Exercici numèric).
27. Mètodes de caracterització radiològica de les instal·lacions nuclears pel seu desmantellament
28. Qüestions sobre el Sisè Pla General de Residus Radioactius del Ministeri d'Indústria i Energia.
29. Transmutació del I-129 i/o Tc-99
30. Transmutació de transurànics
31. Estudi dels límits d'activitat en la instal·lació nuclear de magatzematge de residus de mitja i baixa activitat (RBMA) de Sierra Albarrana (El Cabril), d'ENRESA.
32. La generació de residus radioactius en els reactors de fusió
33. La vitrificació de residus radioactius d'alta activitat.

**Activitats No Presencials:**

- 1.- Estudi de la documentació i apunts de classe
- 2.- Preparació d'un treball monogràfic sobre la temàtica del curs:
  - Cerca d'informació
  - Preparació d'un informe
  - Presentació del treball

**Càrrega setmanal de l'estudiant en hores:**

| Tipus d'activitat / Setmana | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | Total |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-------|
| Teoria                      | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 28    |
| Pràctiques                  |   |   |   |   | 3 |   |   |   |   | 3  |    |    |    |    |    | 6     |
| Problemes                   | 2 | 2 | 2 | 2 |   | 2 | 2 | 2 | 2 |    | 2  | 2  | 2  | 2  |    | 24    |
| Activitat No presencial     |   |   |   |   |   | 4 | 4 | 4 | 4 | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |    | 46    |
| Treball individual          |   | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |    | 65    |
| Treball en grup             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |       |
| Proves i exàmens            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    | 4  | 4     |
| Altres activitats           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |       |
| <b>TOTAL</b>                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 127   |

**Metodologia docent:****Bibliografia Bàsica:**

- Lewis, Elmer Eugene. Nuclear Power Reactor Safety. New York [etc.]: Wiley & Sons, cop. 1977. ISBN 0-471-53335-1.
- Alonso Santos, Agustín. Introducción a la seguridad Nuclear. [Madrid]: Instituto de Estudios Nucleares, D.L. 1977. Conté: part I: fundamentos; part II: la seguridad en la ubicación, proyecto, construcción.
- Fullwood, Ralph R.; Hall, Robert Ernest. Probabilistic Risk Assessment in the nuclear power industry: fundamentals & applications. Oxford [Oxfordshire]: Pergamon Press, 1988. ISBN 0-08-036362-8.
- Ministerio de Industria y Energía. Sexto Plan General de Residuos Radiactivos. 2006. Disponible en <http://www.enresa.es>
- Taboas, A.L., A.A. Moghissi, T.S. LaGuardia. The Decommissioning Handbook ASME, 2004

**Bibliografia Complementària:**

- Nuclear Safety. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Public Affairs. 1959-1997. Washington: NRC, 1959-1997. ISSN 0029-5604.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Public Affairs. [en línia]. Washington, D.C.: NRC [Consulta: 5 desembre 2005]. Disponible a: <<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/>>.
- Radioactive Waste Management. IAEA. <http://www.iaea.or.at/>
- Oak Ridge National Laboratory. [en línia]. Oak Ridge, TN: ORN [Consulta: 5 desembre 2005]. Disponible a: <<http://www.ornl.gov/ornlhome/search.shtml>>.
- Pacific Northwest National Laboratory. [en línia]. Richland WA: PNL [Consulta: 5 desembre 2005]. Disponible a: <<http://www.pnl.gov/main/siteindex.html>>.
- Los Alamos National Laboratory. [en línia]. Los Alamos: LANL [Consulta: 5 dedembre 2005]. Disponible

a:<http://library.lanl.gov/>>.

**Programes de càlcul:**

- SCALE 5.1 (A modular Code System for Performing Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation.

ORNL/TM. Nov. 2006. Version 5.1)

- SIREP-1300. Simulador conceptual de central nuclear de agua a presión.

**Criteri d'avaluació:**

|                    |    |                      |                                |                |                              |
|--------------------|----|----------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------|
| Controls parcials: | 0% | Exercicis/problemes: | 0%                             | Control final: | 0% (opció 1), 100% (opció 2) |
| No presencial:     | 0% | Pràctiques:          | 20% (opció 1),<br>0% (opció 2) | Altres proves: | 80% (opció 1), 0 % (opció 2) |

**Mètodes d'avaluació:**

**Opció 1:** Els alumnes que assisteixin a més d'un 80 % de las sessions, podran optar a una avaluació basada en la realització d'un treball, a triar d'entre una llista que s'anunciarà al principi del curs, i en les memòries de pràctiques. Aquests treballs tractaran sobre temes de seguretat nuclear aplicada y projectes o R+D aplicada a la gestió de residus. Els estudiants podran proposar temes a la consideració del professor, que de ser acceptats podran incorporar-se a la llista. Els treballs s'hauran de remetre per a la seva avaluació abans de finalitzar el curs, en una data convinguda.

**Opció 2:** Els alumnes que no realitzin treball, l'avaluació es basarà en un examen que tindrà lloc al final del quadrimestre, que tractarà sobre un supòsit pràctic d'avaluació de la seguretat nuclear y/o gestió de residus.