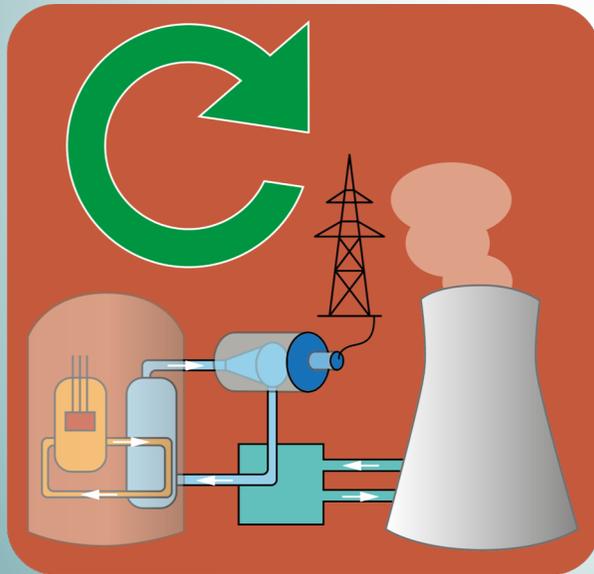


# Ampliación de Ingeniería Nuclear y Ciclo de Combustible

## Bloque V. Metrología y Normativa



**Cristina Fernández Diego**  
**Manuel José Ibarra Arenado**  
**Fernando Delgado San Román**  
DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



# 1. Protección radiológica

---

- 
- Protección radiológica
  - Medida de la radiación
  - Separación de zonas

- 
- ❑ El objetivo de la protección radiológica (PR) es, de acuerdo con la **IAEA (Internacional Atomic Energy Agency)**, *proteger a trabajadores, público y medio ambiente de las radiaciones que emite toda industria que utiliza, tanto fuentes, como mecanismos emisores de radiación.*
  - ❑ Las radiaciones ionizantes provocan daños en los sistemas biológicos al interactuar con el ADN. Este daño puede ser de carácter estocástico (ante cualquier dosis y diferido en el tiempo) o determinista (con umbral de dosis e instantáneo).
  - ❑ Casi el **90%** de las radiaciones ionizantes que recibe una persona a lo largo de su vida es de **origen natural** y sólo el **10%** restante tienen **origen artificial**.

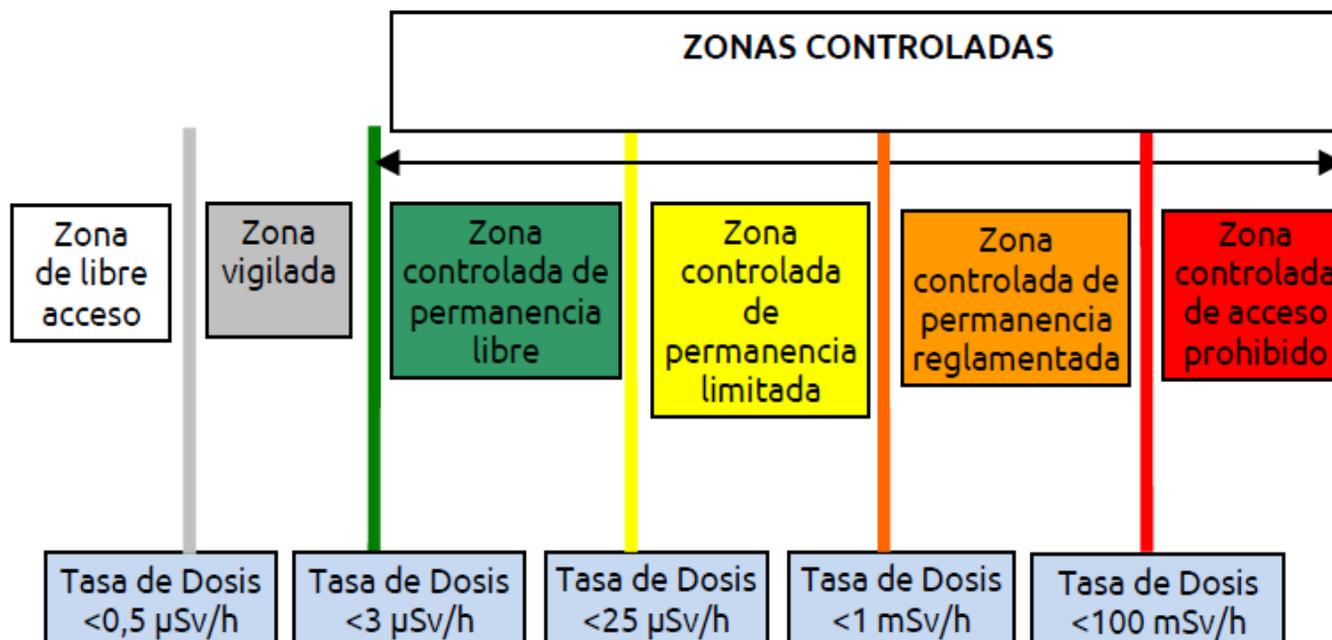
- ❑ La radiación no puede ser percibida por los sentidos humanos. Los detectores tienen diferentes características que los hacen válidos para diferentes tipos de mediciones.
- ❑ Las características principales de los detectores son:
  - Eficiencia de detección: expresa la fiabilidad del detector en su medida.
  - Resolución en energías: capacidad del detector para diferenciar distintas energías cercanas entre ellas.
  - Resolución temporal: capacidad para distinguir entre dos partículas que alcancen el detector muy seguidas en el tiempo.
- ❑ Existen diversos tipos de detectores de radiación. Los ejemplos más conocidos son:
  - Detector + contador
    - Detectores de centelleo (sólido, líquido).
    - Detectores de gas (cámara de ionización, contadores proporcionales, Geiger-Müller).
    - Detectores de semiconductor (germanio, silicio).
  - Contador
    - Detectores de termoluminiscencia
    - Detectores de emulsión fotográfica

# Separación de zonas

- Es preciso distinguir entre irradiación (que cesa al abandonar la zona) y contaminación (que continúa, y puede afectar a terceros).

<b>Daño celular</b>	<b>Reparado</b>			<b>Sin consecuencias</b>
	<b>Mal reparado</b>	<b>Zona fundamental</b>	<b>Alto potencial reproductivo</b>	<b>Riesgo daños probabilísticos</b>
			<b>Bajo potencial reproductivo</b>	<b>Sin consecuencias</b>
		<b>Zona no fundamental</b>		<b>Sin consecuencias</b>
	<b>No reparado</b>	<b>Zona fundamental</b>		<b>Riesgo daños deterministas</b>
			<b>Zona no fundamental</b>	<b>Sin consecuencias</b>

- La dosis recibida se mide en **Sieverts (Sv)**, que se obtienen de multiplicar los Grays ( $\text{Gy} = \text{J/kg}$ ) por sendos coeficientes arbitrarios dependientes del tipo de partícula incidente y del órgano donde afecte.



# Separación de zonas

- Para la PR es muy importante la separación de zonas y para cerciorarse de que las zonas no son franqueables por personal no autorizado a permanecer o pasar por ellas se establecen barreras de entrada y salida.



- *Curso básico de Ciencia y Tecnología Nuclear. Jóvenes Nucleares, Edición 2013.*

- El límite de dosis para el público general es de **1 mSv al año**, mientras que la dosis para los trabajadores expuestos es de **100 mSv en cinco años sin sobrepasar nunca los 50 mSv en un solo año**. Para el control de las zonas se establecen barreras entre ellas.

---

❑ **Páginas Web:**

- [www.csn.es](http://www.csn.es)
- [www.arn.gov.ar](http://www.arn.gov.ar)
- [www-ns.iaea.org/standards](http://www-ns.iaea.org/standards)
- [www.sepr.es](http://www.sepr.es)
- [www.unscear.org](http://www.unscear.org)

# 2. Seguridad nuclear

---

- 
- ☐ Seguridad en las centrales nucleares
  - ☐ Diseño de las centrales nucleares

- ❑ La Seguridad Nuclear según el **Organismo Internacional de la Energía Atómica, OIEA** es: Proteger a los individuos, a la sociedad y al medio ambiente estableciendo y manteniendo en las centrales nucleares una defensa efectiva contra los riesgos radiológicos.
- ❑ Existe un organismo regulador independiente: el **Consejo de Seguridad Nuclear**, que vela por el cumplimiento de los objetivos de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica.

**Riesgo = Probabilidad del accidente x Daño causado por el accidente**

- ❑ En las centrales nucleares, el riesgo depende tanto del funcionamiento de la propia instalación como del emplazamiento en el que ésta se ubique.

Se tienen en cuenta posibles **sucesos externos** que puedan afectar a la central, tanto naturales (terremotos, inundaciones, sequías, heladas, caída de rayos, vientos huracanados, corrimientos de tierra, etc.) como **de origen humano** (incendios, choques de vehículos, nubes tóxicas, rotura de presas e inundación, ataques terroristas, impacto de aviones, etc.).

- ❑ Existen factores organizativos y de gestión de personal que juegan un papel relevante en la seguridad de las centrales nucleares. Cada central debe contar, no solo con tecnologías fiables y robustas, sino también con una **cultura de seguridad** que garantice la seguridad de los trabajadores, la sociedad y el medioambiente.

# Diseño de las centrales nucleares



□ Cuanto más robusto sea y mejores sean sus sistemas de mitigación, menor será la probabilidad de accidentes y por tanto, menor el riesgo asociado. Deben **garantizar las siguientes funciones de seguridad:**

- Control de la reacción de fisión (reacción en cadena) en el seno del reactor, permitiendo en todo momento la parada segura del mismo.
- Refrigeración del combustible nuclear que extrae en todo momento el calor generado por el combustible, incluso después de que el reactor esté detenido.
- Confinamiento de las sustancias radiactivas dentro de barreras de protección físicas.
- Mitigación de las consecuencias radiológicas de un accidente, en el altamente improbable caso de que éste se produjera.

# Diseño de las centrales nucleares



- 
- A fin de compensar fallos técnicos, mecánicos o errores humanos, se utiliza el concepto de **Defensa en Profundidad**, que consiste en incorporar los siguientes niveles de protección:
- Barreras sucesivas de aislamiento del material radiactivo, lo cual se conoce como protección multibarrera a fin de prevenir el escape incontrolado de materiales radiactivos al exterior.
  - Protección de las propias barreras, evitando daños en la instalación y en las barreras (salvaguardias tecnológicas).
  - Medidas adicionales para proteger al público y al medio ambiente de los daños que pudiesen resultar en el caso de que las barreras no fuesen completamente efectivas (planes de emergencia).

# Diseño de las centrales nucleares



- Desde el punto de vista tecnológico, la seguridad de una central nuclear se fundamenta en los siguientes aspectos:
- Configuración óptima del combustible nuclear: permite que el reactor nuclear sea “intrínsecamente seguro”.
  - Existencia de mecanismos capaces de parar el reactor y llevarlo a condición segura ante cualquier desviación con respecto a las condiciones normales de funcionamiento.
  - Protección multibarrera: Los materiales potencialmente peligrosos son confinados mediante múltiples barreras herméticas, de manera que es altamente improbable que escapen al exterior. Estas barreras son las siguientes:
    - El propio combustible nuclear.
    - La varilla donde se alojan las pastillas de combustible.
    - La barrera de presión del circuito primario.
    - El Edificio de Contención.
    - Salvaguardias tecnológicas.
    - ...

- Como último nivel de seguridad, se dispone de planes de emergencia que incluyen la aplicación de medidas de protección a las personas. En España, la planificación de la respuesta ante una emergencia en centrales nucleares se organiza a dos niveles distintos y complementarios:
- Nivel de respuesta interior de la central. Se materializa en el **Plan de Emergencia Interior (PEI)**, responsabilidad del titular de la central nuclear.
  - Nivel de respuesta exterior de la central. Las actuaciones a este nivel son responsabilidad de las administraciones y organismos públicos, estableciéndose en los planes derivados:
    - **Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las Centrales Nucleares (PEN)**: incluyen los Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear.
    - **Plan de Emergencia del Nivel Central de Respuesta y Apoyo a anteriores planes (PENCRA)**: incluye la posibilidad de petición de ayuda y asistencia internacional.

---

□ **Páginas Web:**

- [www.csn.es](http://www.csn.es)
- [www.foronuclear.org](http://www.foronuclear.org)
- [www.wano.info](http://www.wano.info)

# 3. Normativa

---

- 
- Internacional
  - Unión Europea
  - Nacional

- 
- ❖ 10CFR72, Licensing Requirements for the independent storage of spent nuclear fuel, high-level radioactive waste, and reactor-related greater than class C waste
  - ❖ NUREG 1536 Standard Review Plan for Dry Cask Storage Systems
  - ❖ Instrumento de Ratificación de la Convención sobre seguridad nuclear, hecha en Viena el 20 de septiembre de 1994
  - ❖ Instrumentos de Ratificación de la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica, hechas en Viena el 26 de septiembre de 1986
  - ❖ Instrumento de Ratificación de la Convención sobre protección física de los materiales nucleares, hecha en Viena y Nueva York el 3 de marzo de 1980
  - ❖ Instrumento de Ratificación de la Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos, hecho en Viena el 5 de septiembre de 1997

- 
- ❖ Directiva 2013-51 EURATOM del Consejo de 22 de octubre de 2013 por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano
  - ❖ Reglamento (EURATOM) 237-2014, del Consejo, de 13 de diciembre de 2013, por el que se establece un Instrumento de Cooperación en materia de seguridad nuclear
  - ❖ Reglamento (EURATOM) 1493-1993, del Consejo, de 8 de junio de 1993, relativo a los traslados de sustancias radiactivas entre los Estados Miembros
  - ❖ Directiva 2006-117-EURATOM, del Consejo, de 20 de noviembre de 2006, relativa a la vigilancia y al control de los traslados de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado

- 
- ❖ Directiva 2011-70-EURATOM, del Consejo, de 19 de julio de 2011, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos
  - ❖ Directiva 2013-59-EURATOM, del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan otras Directivas
  - ❖ Directiva 2014-87-EURATOM, del Consejo, de 8 de julio de 2014, por la que se modifica la Directiva 2009-71-EURATOM del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares
  - ❖ Directiva 2009-71-EURATOM del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares

- 
- ❖ Ley 25-1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear
  - ❖ Ley 15-1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear
  - ❖ Ley 12-2011, de 27 de mayo, sobre responsabilidad civil por daños nucleares o producidos por materiales radiactivos
  - ❖ Ley 14-1999, de 4 de mayo, de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear
  - ❖ Ley 27-2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003-4-CE y 2003-35-CE)
  - ❖ Ley 19-2013, de 9 de diciembre, de transparencia, acceso a la información y buen gobierno

---

□ **Páginas Web:**

- <https://www.csn.es/normativa-del-csn>