



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR



MÓDULO 1: FUNDAMENTOS DE EMERGENCIAS NUCLEARES

1. ACCIDENTES NUCLEARES Y SUS CONSECUENCIAS POTENCIALES
2. BASES PARA LA PLANIFICACIÓN DE EMERGENCIAS EXTERIORES





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR



MODULO 1.1:

ACCIDENTES NUCLEARES Y SUS CONSECUENCIAS POTENCIALES

Fenomenología general: Accidentes (CCNN, otras instalaciones)
Consecuencias

Acciones básicas de protección a tomar





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



GENERALIDADES

PRINCIPIO DE DEFENSA EN PROFUNDIDAD:

Protección a varios niveles para evitar emisión de material radiactivo

- Primer nivel de protección:
 - Diseño (barreras físicas: combustible, circuito primario, contención)
 - Garantía de calidad
 - Vigilancia
 - Cultura de seguridad
- Segundo nivel de protección: control operacional
 - Operación normal
 - Fallos de sistemas
- Tercer nivel de protección: sistemas de ingeniería de seguridad y protección
 - Evitar evolución desfavorable de fallos
 - Confinamiento de material radiactivo
- Cuarto nivel de protección: gestión del accidente dentro del emplazamiento
 - POEs, Guías de Accidentes Severos, PEI
- Quinto nivel de protección: respuesta a la emergencia fuera del emplazamiento
 - PEN (minimización de efectos al exterior)

Probabilidad de daño al núcleo: 10^{-6} (APS)



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL RADIATIVO (1/2)

- Gran variedad de isótopos
- Inmensa mayoría confinado en el núcleo (combustible)
- Material radiactivo en el núcleo:
 - Productos de Fisión del combustible
 - Productos de “Activación” del combustible (Actínidos transuránidos)
- Material radiactivo en el refrigerante:
 - Productos de Activación de aditivos e impurezas (corrosión)
 - Productos de fisión (fugados del combustible)
- Inventario de material radiactivo depende de:
 - Potencia del Reactor
 - Tiempo de operación – grado de quemado
 - Composición de materiales estructurales
 - Tecnología del Reactor (H^3 en PWR)



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL RADIOACTIVO (2/2)

Productos volátiles más importantes de la fisión en un reactor de 3000 MWth

Nucleido	Vida-media	Actividad (Bq)
Krypton-85	10.8 años	2×10^{16}
Krypton-85m	4.4 horas	1×10^{18}
Krypton-88	2.8 horas	2×10^{18}
Xenon-133	5.3 días	6×10^{18}
Xenon-135	9.2 horas	1×10^{18}
Iodo-131	8.1 días	3×10^{18}
Iodo -132	2.3 horas	4×10^{18}
Iodo -133	21 horas	6×10^{18}
Iodo -135	6.7 horas	5×10^{18}
Teluro-132	3.3 días	4×10^{18}
Cesio-134	2.1 años	4×10^{17}
Cesio -137	30.1 años	2×10^{17}



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CALOR RESIDUAL

- **Energía por decaimiento material radiactivo**
 - Interacción radiación-materia
- **Depende de:**
 - Potencia del Reactor
 - Tiempo de operación – grado de quemado
 - Tiempo desde la parada (disminución lenta)
- **Suficientemente grande para dañar el núcleo**
 - Fusión del núcleo
 - Emisión material radiactivo

ii NECESIDAD DE REFRIGERAR AUNQUE REACTOR ESTÉ PARADO !!



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

ACCIDENTES EN LAS CENTRALES NUCLEARES-ESCENARIOS HABITUALES

- Transitorios
- Sucesos notificables
- **Sucesos Iniciadores de Emergencia Interior**
- **Accidentes Base de Diseño**
- **Accidentes Severos**



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

SUCESOS INICIADORES DE EMERGENCIA INTERIOR

- Postulados para cada CN es su PEI
- Cada uno implica una Categoría de Accidente
- Relacionados con distintos aspectos:
 - Reactor y Sistema de Refrigeración (NSSS)
 - Sistemas (SBO, comunicaciones, Habitabilidad SC, sumidero de calor, etc.)
 - Incendios
 - Seguridad Física (intrusión)
 - Protección Radiológica
 - Fenómenos externos: naturales (terremotos, viento, avenidas), actividad aérea, sustancias tóxicas, etc.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



ACCIDENTES BASE DE DISEÑO

- Máximos accidentes que se postula que pueden producirse
- Relacionados con tres funciones de seguridad:
 - Control de la Potencia del Reactor
 - Refrigeración del Combustible
 - Confinamiento del Material Radiactivo en las Barreras Físicas
- Sistemas de Seguridad
 - diseñados para hacerlos frente sin que ocasionen daños significativos
- Estudio Final de Seguridad (EFS)
 - Postula y Evalúa consecuencias de los Accidentes Base de Diseño
 - Documenta características de Sistemas de Seguridad
 - Necesita aprobación del CSN



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EJEMPLO DE ACCIDENTE BASE DE DISEÑO

ACCIDENTE CON PÉRDIDA DE REFRIGERANTE (LOCA)

- Pérdida de estanqueidad del circuito de refrigeración
- Rotura grande o pequeña
- Emisión de material radiactivo presente en refrigerante (y en núcleo si se produce daño) al recinto de contención
- Función Sistemas de Seguridad:
 - Mantener refrigerado el núcleo (evitar daños)
 - Mantener confinado el material radiactivo del refrigerante emitido (estanqueidad de contención)

OBJETIVO DE SISTEMAS DE SEGURIDAD:

EVITAR CONSECUENCIAS RADIOLÓGICAS SIGNIFICATIVAS
EN CASO DE ACCIDENTE BASE DE DISEÑO



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



ACCIDENTES SEVEROS

- Accidentes más graves que los Accidentes Base de Diseño
- Al diseñar central nuclear no se consideró que pudieran ocurrir
- Sistemas de Seguridad no cumplen su función (fallos múltiples)
- Pueden ocasionar:
 - daños al núcleo
 - Emisión masiva de productos de fisión a contención
 - Emisión significativa al exterior (supera las bases de diseño)
- Actualmente se tienen en cuenta los Accidentes Severos:
 - Guías de Operación en Accidente Severo
 - Modificaciones de Diseño:
 - Disminuir probabilidad
 - Paliar efectos



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EJEMPLOS DE ACCIDENTES SEVEROS (1/3)

THREE MILE ISLAND (1979)

- Reactor tipo PWR (Diseño Babcock-Wilcox)
- LOCA pequeño mal diagnosticado (válvula alivio presionador abierta)
- Indicación en SC de suficiente refrigerante (nivel del presionador)
- Actuación de operadores inadecuada
- Agua del reactor entró en ebullición:
 - Déficit de refrigeración
 - Daños en varillas de combustible
 - Liberación de material radiactivo a refrigerante y contención
- Consecuencias:
 - Pequeñas emisiones al exterior (venteo contención por presión y H₂)
 - Sin efecto radiológico en salud de la población:
 - Dosis media: 80 µSv
 - Dosis máxima 1 mSv (1/3 radiación de fondo anual de la zona)
 - Confusión exterior por mala información de la situación de la central
 - Con efectos no radiológicos: estrés psicológico y casos de pánico



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EJEMPLOS DE ACCIDENTES SEVEROS (2/3)

CHERNOBIL (1986)

- Reactor tipo RBMK (moderado por grafito, refrigerado por agua)
- Accidente nivel 7 en la escala INES (nivel máximo)
- Diseño inadecuado:
 - Coeficiente de reactividad por huecos positivo (sobre todo a baja potencia)
 - Coeficiente de reactividad global positivo a baja potencia (gran inestabilidad) (operación prohibida)
- Sin edificio de Contención
- Diseño inautorizable en países occidentales
- Aumento súbito de potencia (excursión neutrónica) por prueba operando a baja potencia
- Rotura mecánica del combustible (imposibilidad de disipar energía producida)
- Explosión de vapor: reacción de combustible con agua
- Explosión 2 ó 3 segundos después: probablemente por H₂



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EJEMPLOS DE ACCIDENTES SEVEROS (3/3)

CHERNOBIL (1986)

CONSECUENCIAS

- 30 fallecidos, aprox, por irradiación durante accidente (operarios y bomberos)
- >100 casos de síndrome de irradiación aguda
- Liquidadores (cientos de miles):
 - Dosis máxima: varios Sv
 - Dosis media: 170 mSv
 - Se desconoce número de fallecidos
- Evacuados (más de 100.000):
 - Dosis aproximada al tiroides en primeras semanas: 1 Sv (niños)
70 mSv (adultos)
- Zona de exclusión: radio 30 km
- 600 casos de cáncer de tiroides en niños, aprox (datos OMS – 1995)
- Efectos psicosociales durante y tras accidente: ansiedad, depresión, efectos psicosomáticos



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



ACCIDENTES EN OTRAS INSTALACIONES NUCLEARES (1/2)

REACTORES DE USO NO ENERGÉTICO

- Gran variedad de propósitos, tipos y potencias
- Usos:
 - Producción de isótopos: uso médico (diagnóstico y tratamiento) e industrial
 - Investigación (materiales, combustible, etc.)
 - Prototipos de reactores de producción energética
- Reactores menos potentes:
 - Pequeño inventario
 - Sistemas de seguridad sencillos (sin contención)
 - Consecuencias muy localizadas (incluso en accidentes severos)
- Reactores más potentes:
 - Sistemas de seguridad similares a centrales nucleares
 - Consecuencias de accidentes similares a centrales nucleares
- España:
 - no hay este tipo de reactores
 - Desmantelados o en proceso: JEN-1, JEN-2, CORAL, ARBI y ARGOS
- Ejemplos de Accidentes:
 - Varios por excursión de potencia o fallo refrigeración
 - Sin consecuencias en exterior



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



ACCIDENTES EN OTRAS INSTALACIONES NUCLEARES (2/2)

PLANTAS DE REPROCESAMIENTO

- Función: Recuperar el uranio y plutonio del combustible gastado
 - Método más común: PUREX (medio acuoso, extracción tras disolución en NO_3H)
 - Productos de fisión y actínidos:
 - Almacenados en tanques (disolución muy concentrada de productos radiactivos)
 - Vitricación posterior
 - Principales Riesgos:
 - Incendio y explosión (uso de oxidantes y reductores fuertes, H_2 por radiólisis)
 - Criticidad: Consecuencias limitadas al emplazamiento
 - Procesamiento por lotes: reducción magnitud daños
 - España: no hay este tipo de instalaciones
 - Ejemplos de Accidentes:
 - Toms (1996): Explosión de reactor químico. Contaminación radio 28 km
 - Tokai-mura (1999): Criticidad. Sin consecuencias importantes en exterior
- Situación social de ansiedad



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN

CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

CONSECUENCIAS POTENCIALES DE LOS ACCIDENTES NUCLEARES (1/2)

- **Sucesos iniciadores del PEI**
 - Sin consecuencias, excepto evolución desfavorable
- **Accidentes Base de Diseño:**
 - Consecuencias pequeñas
- **Accidentes Severos:**
 - Grandes emisiones
 - Posibilidad de efectos deterministas en las inmediaciones
 - Dosis colectivas elevadas a larga distancia (efectos estocásticos)
- **Consecuencias - Dosis es función de:**
 - Magnitud de emisión
 - Distancia
 - Condiciones meteorológicas
 - Medidas de protección que se adopten



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN

CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

CONSECUENCIAS POTENCIALES DE LOS ACCIDENTES NUCLEARES (1/2)

- **Zona cercana y momentos iniciales:**
 - Irradiación externa
 - Contaminación interna por inhalación
 - Contaminación externa
- **Zonas más alejadas y fases posteriores:**
 - Por isótopos de vida larga
 - Irradiación externa de suelo contaminado
 - Contaminación interna por ingestión de alimentos (transferencia de suelo a vegetales y cadena trófica)
 - Contaminación interna por ingestión de agua contaminada
 - Resuspensión de contaminación en aire (inhalación)



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



ACCIONES BÁSICAS DE PROTECCIÓN (1/2)

- **Acciones deben estar:**
 - Planificadas (PEI y PEN)
 - Organizadas (Dirección y Grupos de Acción Especializados) y coordinadas
 - Dotadas de medios humanos (actuales) y materiales
 - Preparadas (ejercicios y simulacros)
- **Planificación**
 - Plan de Emergencia Interior (PEI) de las Instalaciones Nucleares españolas
 - Aprobado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio
 - Informe previo preceptivo favorable del CSN
 - Plan de Emergencia Nuclear Exterior (PEN) de los territorios donde existen centrales nucleares
 - Aprobado por Consejo de Ministros
 - Informes previos favorables de la Comisión Nacional de Protección Civil y el CSN
 - Interfase PEI – PEN: comunicación, información, coordinación



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



ACCIONES BÁSICAS DE PROTECCIÓN (2/2)

ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL PEN

1. Comunicación del explotador
2. Identificación y establecimiento de la emergencia
3. Alerta y notificación al personal y a las organizaciones participantes
4. Alerta, información y orientación de la población afectada
5. Establecimiento de la Situación de Emergencia
6. Establecimiento y ejecución de Medidas Protectoras
7. Control radiológico de la exposición
8. Apoyo médico y salud pública
9. Control de accesos
10. Seguridad y orden público
11. Medidas protectoras a largo plazo
12. Medios humanos
13. Recursos materiales
14. Entrenamiento, ejercicios y simulacros
15. Actualización de los Planes de Emergencia



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



MODULO 1.2:

BASES PARA LA PLANIFICACIÓN DE EMERGENCIAS EXTERIORES

Conceptos: Intervención, Emergencia Radiológica/Nuclear

Principios de Protección Radiológica

Objetivos de las Intervenciones

Normas para Situaciones de Emergencia



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



DIFERENCIA INTERVENCIÓN / PRÁCTICA

- Concepto de Intervención introducido por la Publicación 60 de la ICRP (1990)
- PLABEN actual (2004) incorpora concepto de Intervención
- **PRÁCTICA:** actividad humana que aumenta la exposición global a la exposición.
Ej: producción de energía nuclear
- **INTERVENCIÓN:** actividad humana que disminuye la exposición global a la radiación. Ej: Medidas de protección en emergencias
- Medidas de Protección se toman en función de la disminución de dosis que produciría su adopción: Dosis Evitable

EJEMPLO: CONFINAMIENTO

- PLABEN anterior (1989):
 - Nivel de Intervención Inferior: 5 mSv (cuerpo entero)
 - Superior: 25 mSv (cuerpo entero)
- PLABEN actual (2004):
 - Nivel genérico de Intervención: 10 mSv (cuerpo entero) (Dosis Evitable)



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EMERGENCIAS NUCLEARES Y RADIOLÓGICAS (1/2)

Accidentes en muy diversas Prácticas que requieren Intervención:

- Central nuclear
- Instalación de ciclo de combustible nuclear
- Instalaciones con fuentes radiactivas
- Transporte de material radiactivo
- Reentrada de satélites con reactor nuclear
- Falta de control sobre ciertas fuentes radiactivas

Consecuencias de Accidentes:

- Específicas de la Práctica concreta (naturaleza y peligrosidad)
- Naturaleza del Accidente (severidad)
- Magnitud de la Práctica (Potencia de CN, Actividad de fuente radiactiva, etc.)



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EMERGENCIAS NUCLEARES Y RADIOLÓGICAS (1/2)

Intervención será específica de:

- Práctica (naturaleza y peligrosidad)
- Accidente (severidad)

Planificación de Accidentes:

- Específicas de la Práctica
- Considerando distintos tipos y severidad del Accidente
 - Consecuencias en el interior
 - Consecuencias en el exterior
- Nivel de Planificación dependiendo del Riesgo de la Práctica

Emergencias No Relacionadas con Prácticas:

- Acciones Terroristas (dispositivos nucleares y bombas sucias)





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EMERGENCIA

Los mismos que se utilizan en Prácticas

Enfoque diferente (Intervenciones):

- **JUSTIFICACIÓN de las Medidas de Protección: ¿realizamos la intervención?**
 - Análisis Coste / Beneficio
 - Todo tipo de costes (económicos, sociales, psicológicos, riesgos físicos)
 - En caso de efectos próximos a deterministas: Justificación directa
 - Uso de Niveles Genéricos de Intervención
- **OPTIMIZACIÓN de las Medidas de Protección: ¿cómo hacemos la Intervención?**
 - Obtención de Máximo Beneficio (reducción de dosis)
Mínimo Coste (económicos, social, etc.)
- **LIMITACIÓN de Dosis para Intevinientes:**
- **Sin Límites en casos de obtención de beneficio elevado**
 - Salvamento
 - Evitación de dosis colectivas elevadas (actuación sobre la fuente)



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



OBJETIVOS DE LAS INTERVENCIONES

- **Prevención de los Efectos Deterministas**
 - Efectos inmediatos y de aparición cierta a partir de cierto umbral
- **Disminución de la Probabilidad de los Efectos Estocásticos**
 - Efectos sin umbral (pueden aparecer a bajas dosis)
 - Probabilidad de aparición del efecto proporcional a la Dosis

Efectos Estocásticos:

- Cáncer: N° casos depende de Dosis colectiva
- Efectos Teratogénicos (descendencia): Riesgo menor

Atención especial a grupos de población de riesgo (Niños – Tiroides) (Chernobil)

NORMAS DE SEGURIDAD PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA (1/2)

NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES

- Exigen la elaboración de Planes de Emergencia
- Distribución de Responsabilidades (Interior y Exterior, e Internacional)
- Planes separados para cada organización, pero interconectados
- Planes abarcarán acciones, organización y autoridad
- Planes deben ser revisados periódicamente
- Planes deben incluir Autoridades responsables (notificación, adopción de medidas, etc.)
- Niveles de Intervención Genéricos en términos de Dosis Evitable
- Reevaluación de Niveles de Intervención a partir de condiciones reales
- Etc.

NORMAS DE SEGURIDAD PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA (2/2)

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA SOBRE EMERGENCIAS NUCLEARES Y RADIOLÓGICAS

LEYES:

- Ley de Energía Nuclear (Ley 25/1964 modificada por Ley 24/2005)
- Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear (Ley 15/1980 modificada por Ley 33/2007)

REGLAMENTOS:

- Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RD 1836/1999 modificado por RD 35/2008)
- Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RD 783/2001)

OTROS:

- Guías de Seguridad e Instrucciones Técnicas del CSN (p.e. GSN 1.3 – PEI)

ESPECÍFICA DE EMERGENCIAS:

- Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN) (RD 1546/2004)
- Planes Directores de los PEN (Resolución Ministerial de 14/06/2006)