

# Avances en materia de seguridad nuclear después del accidente de Fukushima

**Jornada AMAC-CSN**

**Cofrentes, 13 de octubre de 2022**

***José Ramón Alonso Escós***

***Subdirector de Ingeniería***

# CONTENIDO

1. Introducción
2. El concepto básico de Seguridad Nuclear
3. El accidente de Fukushima
4. Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima
5. Resumen
6. Conclusiones

# 1 Introducción

- ❑ El accidente de Fukushima Dai-ichi (marzo de 2011) supuso una importante **llamada de atención** en el mundo nuclear sobre la capacidad de las centrales para hacer frente a situaciones excepcionales, no previstas en el diseño.
- ❑ Previamente, **tras el accidente de TMI**, los reguladores nucleares (incluyendo obviamente el CSN) habían abordado acciones de mejora de la seguridad, pero en general con un concepto de ampliar los sucesos accidentales previstos y requerir la implantación de medidas que permitieran controlar completamente dichas situaciones (incendios, inundaciones internas, pérdida de la energía eléctrica exterior limitada en el tiempo, etc.).  
**Tras Chernóbil**, y a pesar de las características muy especiales de este suceso, la orientación se empezó a desplazar hacia la mitigación de accidentes en los que no se hubiera logrado evitar el calentamiento y fusión del núcleo del reactor (“accidentes severos”).
- ❑ Esta presentación trata de desarrollar estas ideas, describir brevemente los procesos de mejora abordados tras Fukushima y revisar la situación actual en las CCNN de nuestro país.

## 2 El concepto básico de Seguridad Nuclear

- ❑ La seguridad en nuclear es un concepto que se basa en diversos principios que tratan de garantizar que en caso de que se produzca un incidente (transitorio o accidente) en una instalación nuclear (IINN) las consecuencias sobre los trabajadores, el público y el medio ambiente están por debajo de los límites admisibles. Estos límites son, al final, de tipo radiológico y deben responder a las demandas de la sociedad.
- ❑ Bases de Diseño (BD) de una IINN: definen el tipo y magnitud de los incidentes y accidentes que se han considerado y analizado en su diseño, así como los medios garantizados para hacer frente a estas situaciones y las consecuencias admisibles.

Dentro de las BD, un concepto básico es el de suceso postulado.

- ❑ Inicialmente se diseñaron las centrales para hacer frente a los sucesos postulados en sus BD, posteriormente se han incluido mejoras de diseño para mitigar “accidentes más allá de la BD inicial”
- ❑ Los accidentes ocurridos de TMI (USA, 1979), Chernobil (URSS, 1986) y Fukushima (Japón 2011) pusieron el acento en la necesidad de disponer de medios fiables para estos últimos supuestos

## 3 El accidente de Fukushima

### Resumen del accidente del 11 de marzo de 2011

- ✓ Terremoto algo mayor que el máximo previsto en el diseño (no produjo daños en la central)
  - Tsunami mucho mayor que lo previsto en el diseño (consecuencias muy graves)
  - Situación extrema en el emplazamiento/región/país (>20000 fallecidos por el Tsunami)
  - Pérdida de comunicaciones y accesos; estrés, familias, etc.
- ✓ Impacto muy extenso en el medio ambiente (aunque impacto muy bajo a los trabajadores)
- ✓ Valoración global:
  - Diseño inadecuado de las protecciones frente a sucesos externos extremos: no conservador y sin previsiones para situaciones más allá de lo previsto
  - Preparación insuficiente para esta situación (formación y entrenamiento del personal)
- ✓ ¿Hubo “soberbia tecnológica”?

## 3 El accidente de Fukushima

La central y su  
emplazamiento



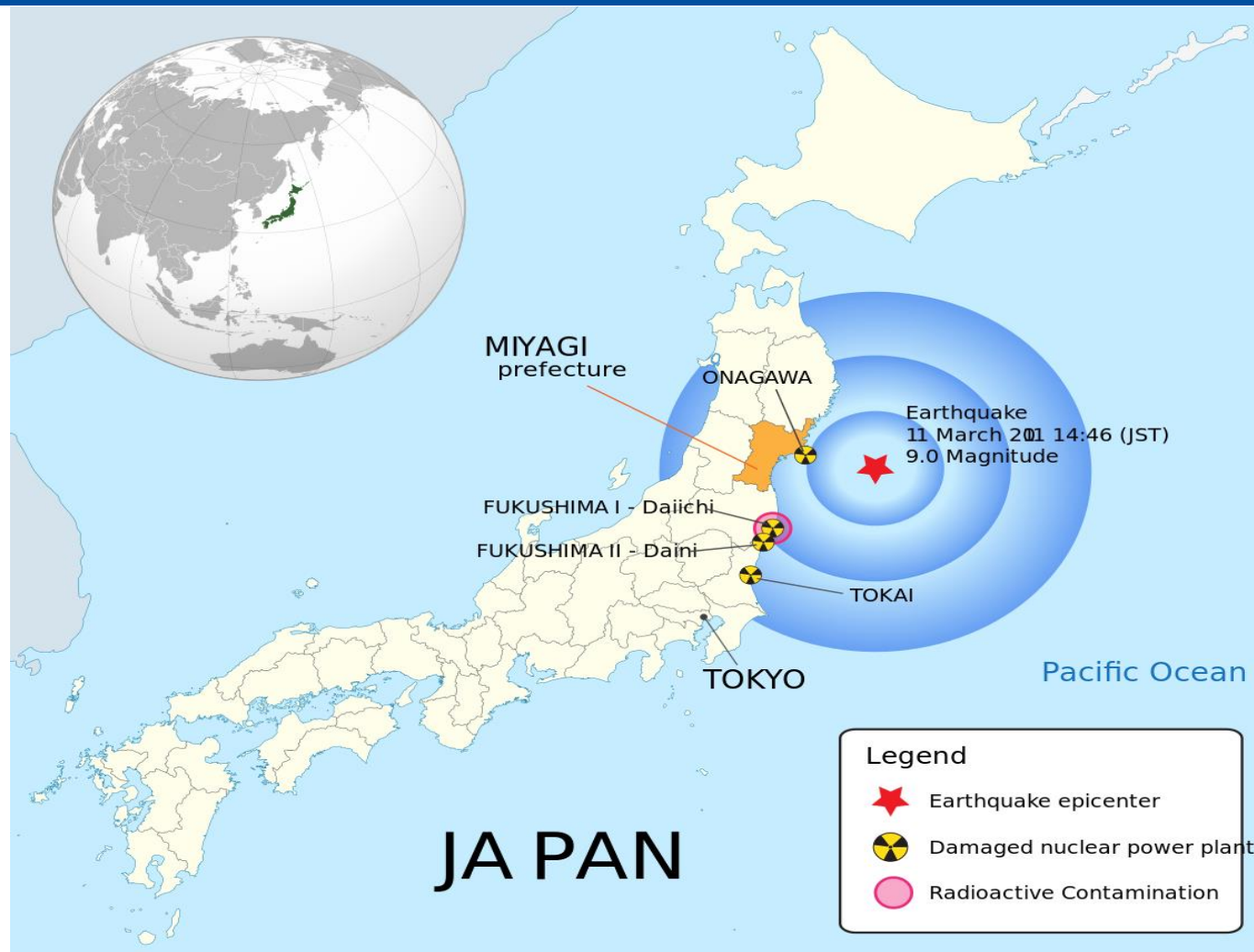
## 3 El accidente de Fukushima

### El tsunami



### 3 El accidente de Fukushima

El terremoto de Tohoku  
("Gran terremoto del este de Japón")





## 3 El accidente de Fukushima

### DÍA 11 DE MARZO DE 2011

#### ☐ 14:46 h

- La central “sufre” el terremoto de Tohoku, magnitud 9 (MMS)\* (**máx. terremoto registrado en Japón**)
- Se produce la pérdida total de energía eléctrica exterior; arrancan los generadores diésel de emergencia

#### ☐ 15:27 h

- 7 tsunamis sucesivos. Max. Altura en el emplazamiento  $\approx 14$  msnm (la BD era 5,7 m)
- U-1/2/3/4: pérdida total de los GD --- U-5/6: sobrevivió 1 GD de 5
- U-2/3: funcionaron las turbobombas inyección al Rx (RCIC/HPCI)
- U-1: pérdida total de la refrigeración del núcleo  
... poco después de las 18:00 h se inicia el descubrimiento del núcleo de la U-1

\* MMS: “escala de magnitud de momento”: escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos. Basada en la medición de la energía total que se libera en un sismo. Fue introducida en 1979 como mejora de la escala Richter

## 3 El accidente de Fukushima

### HITOS MÁS RELEVANTES DEL ACCIDENTE

#### ☐ DÍA 12 DE MARZO: UNIDAD 1

- 15:36 **Explosión de H2** en la parte superior del edificio del reactor

#### ☐ DÍA 13 DE MARZO: UNIDAD 3

- 02:42 Pérdida de la inyección
- 04:00 Inicio descubrimiento núcleo
- 09:30 Inicio inyección agua de mar al Rx. **Explosión de H2** en edificio del reactor.

#### ☐ DÍA 14 DE MARZO: UNIDAD 2 (no hubo explosión de H2)

- 12:00 Pérdida de la inyección
- 16:30 Inicio descubrimiento núcleo

#### ☐ DÍA 15 DE MARZO: UNIDAD 4

- 6:00 **Explosión H2** en edificio del reactor

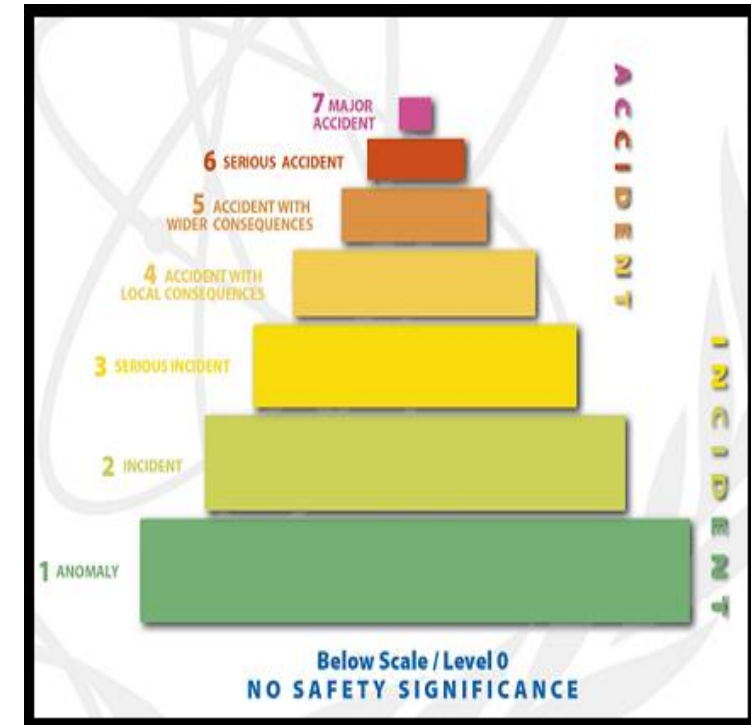
## 3 El accidente de Fukushima



### 3 El accidente de Fukushima

## CONSECUENCIAS INMEDIATAS DEL ACCIDENTE (nuclear)

- Nivel 7 escala INES:  $17 \times 10^6$  Cu I-131 equiv.
- 12 mSv/h (emplazamiento) durante la emisión  
130 mSv/h de dosis junto a U-1/2/3  
Tasa de dosis puntual (escombros) de 10 Sv/h
- Dosis de 0,7 Sv a 2 operadores  
Dosis de 0,1 Sv a más de 100 trabajadores
- No hubo víctimas mortales en el corto plazo\*
- Evacuada población radio 20 km
- Confinada población radio 30 km
- No dio tiempo a distribuir tabletas Yodo
- Aprox. 100 km<sup>2</sup> evacuados y no accesibles



\* Dos trabajadores de la central fallecieron ahogados por los Tsunamis. Los efectos a largo plazo son objeto de debate médico

## 3 El accidente de Fukushima

### SITUACIÓN ACTUAL Y RETOS PARA EL FUTURO:

- Vertido al mar de grandes cantidades de agua contaminada
- Recuperación paulatina de las zonas de exclusión
- Recogida y almacenamiento del combustible gastado
- Recuperación del combustible fundido y escombros

## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima

### LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA EUROPEAS

- ✓ **Marzo 11:** se produce el accidente de Fukushima
- ✓ **Marzo 24:** el Consejo Europeo acuerda un plan para la realización de “pruebas de resistencia” en las CCNN de la UE  
Objetivo: evaluación complementaria de la capacidad de las centrales para soportar situaciones más allá de sus bases de diseño, identificar los márgenes de seguridad existentes y determinar las potencialidades para la implantación de mejoras de seguridad
- ✓ **Mayo 25:** la CE aprueba un documento elaborado por WENRA y ENSREG
- ✓ **Mayo 26:** el CSN requiere formalmente las “pruebas de resistencia” (ITC)  
Plazo de realización y aceptación por el regulador: 31 de diciembre

## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima

### ALCANCE

- ❑ Tres “tópicos” o áreas de revisión (basado en el accidente):
  - Protección frente a fenómenos naturales extremos (terremotos, inundaciones, otros), más allá de lo previsto en el diseño
  - Pérdida de funciones relevantes de seguridad: alimentación eléctrica de corriente alterna de larga duración y sumidero de calor
  - Capacidad de gestión de accidentes severos y de mitigación de daño al combustible (en reactor o en piscinas de combustible gastado)
- ❑ Se excluyeron explícitamente los aspectos de “seguridad física”
- ❑ En España el CSN estableció un calendario de implantación hasta 2016

## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima

### RESULTADOS TÓPICO 1: SUCESOS NATURALES EXTREMOS

#### Terremotos:

- ✓ Margen sísmico por encima de la BD de sistemas y estructuras\*
- ✓ Inundaciones
- ✓ Integridad estructural presas vs. BDS y margen sísmico
- ✓ Efecto de potenciales roturas de presas

#### Otros escenarios creíbles de inundaciones extremas (lluvias intensas, avenidas)

#### Otros sucesos: vientos, nieves o temperaturas extremas, etc.

\* Posteriormente el CSN ha solicitado a los titulares un reanálisis de las BD sísmicas, actualmente en curso



## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima

### RESULTADOS TÓPICO 2: PÉRDIDA FUNCIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD

- ❑ Equipos móviles\*: bombas; generadores; instrumentación; mejoras en sistemas de comunicaciones internas y externas y en iluminación de emergencia
- ❑ Desarrollo adicional de guías y procedimientos para accidentes extremos. Formación
- ❑ Alimentación “dedicada” de centrales hidroeléctricas cercanas
- ❑ Alcance: en el núcleo del reactor y también la piscina de combustible gastado

\* Concepto de Plug&Play



## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima

### RESULTADOS TÓPICO 3: PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE ACCIDENTES

#### ☐ Gestión de accidentes severos

- Nuevo Centro Alternativo de Gestión de Emergencias en el emplazamiento (sísmico, estanco y protegido radiológicamente)
- Nuevo Centro Apoyo de Emergencias en SS de los Reyes (equipos compatibles y personal entrenado)
- Refuerzos en la Organización de Respuesta ante Emergencias

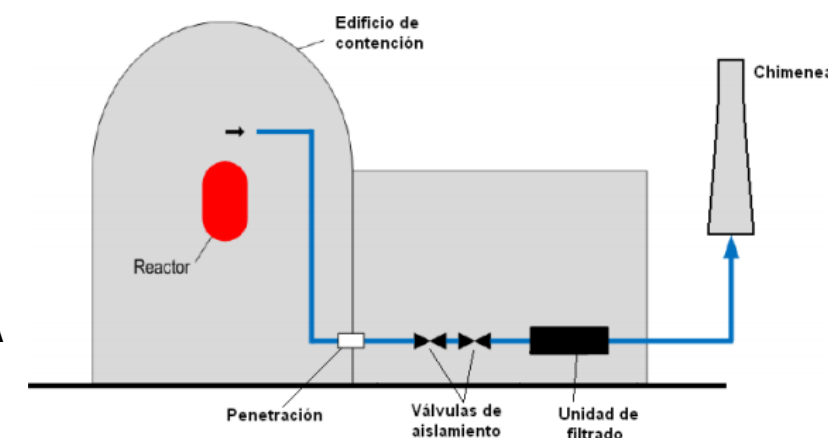
#### ☐ Venteo filtrado de contención

#### ☐ Recombinadores de H2 autocatalíticos pasivos

#### ☐ Instrumentación: funcionalidad para casos extremos

#### ☐ Aspectos de protección radiológica

- Habitabilidad de sala de Control en caso de pérdida prolongada de la CA
- Red *online* de vigilancia de la radiación en el propio emplazamiento



## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima

### OTRAS ACCIONES ABORDADAS EN ESPAÑA

#### Antes de Fukushima

- ✓ Acuerdos de apoyo con bomberos de las CCAA

#### Tras Fukushima

- ✓ Instrucción del CSN sobre “pérdida de grandes áreas” (acciones malevolentes del ser humano)
- ✓ Requisitos a otras instalaciones nucleares, no centrales en operación
- ✓ Acuerdos de apoyo con la Unidad Militar de Emergencias (UME)

## 4 Acciones de mejora en Europa y en España tras Fukushima



## 5 Resumen

- ❑ Las centrales nucleares deben disponer de medios y personal adecuados para hacer frente a sucesos como el de Fukushima que, aunque muy improbables, en caso de ocurrencia podrían tener consecuencias absolutamente inaceptables para la sociedad
- ❑ Entre esos sucesos están los naturales extremos y los que pudiera producir el hombre
- ❑ Breve resumen histórico
  - Las centrales españolas (y de los países de origen de la tecnología) fueron diseñadas inicialmente para contar con medios fiables para un conjunto de sucesos internos y externos (BD), con el objetivo de evitar en todo caso que se pudiera producir la pérdida de refrigeración y la degradación del combustible nuclear (accidente severo)
  - Tras el accidente de TMI (1979) se amplió notablemente el número y tipo de sucesos postulados (creíbles) dentro de la BD

## 5 Resumen

- Tras el accidente de Chernobil (1986) algunos países, entre ellos el nuestro, implantaron medidas adicionales para mitigar las consecuencias de un accidente, tanto en equipos adicionales como en procedimientos específicos para estas situaciones
- En marzo de 2011 se produce el accidente de Fukushima, y el proceso de implantación de medidas para evitar y mitigar el accidente severo se incrementan notablemente, prácticamente en todo el mundo, y en especial en Europa
- Entre 2011 y 2017 las centrales españolas introdujeron numerosas medidas adicionales de seguridad, tanto en forma de equipos como de refuerzo de los grupos humanos responsables
- Posteriormente se han reforzado éstas mediante la implantación de acciones adicionales de refuerzo, y entre ellas las destinadas a garantizar la total disponibilidad de estos equipos en caso de un accidente real

## 6 Conclusiones

- ❑ Por tanto el **concepto de seguridad nuclear**, entendido como defensa frente a accidentes que pudieran ocurrir en una central nuclear, ha ido evolucionando con el tiempo, con el consiguiente refuerzo de las medidas de protección disponibles en las centrales
- ❑ Además de lo anterior, en muchos países y entre ellos en el nuestro cada 10 años, se realizan las denominadas “**Revisiones Periódicas de Seguridad**” que, bajo el principio del OIEA de “mejora continua de la seguridad” analizan las posibles mejoras que se pudieran introducir en las centrales para reforzar la seguridad nuclear y la protección radiológica. En este caso las mejoras incluyen también, pero van más allá de la respuesta ante accidentes postulables, sino que se abordan también aspectos normativos, de organización, de formación del personal, etc.
- ❑ Como conclusión final cabe indicar que, dentro de un **proceso de mejora continua**, las acciones abordadas en España tras Fukushima han aportado un plus notable de seguridad frente a unos tipos de **accidentes no fácilmente predecibles** pero que podrían tener graves consecuencias, en caso de que se llegara a producir la fusión total o parcial del combustible nuclear

Muchas gracias por vuestra atención!