



# AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR



Autoridad Regulatoria  
Nuclear  
Presidencia de la Nación Argentina

**IX Congreso Argentino de Protección Radiológica**

Mendoza, 2 al 4 de octubre de 2013

# **ACCIDENTE DE FUKUSHIMA CAUSAS, CONSECUENCIAS, Y OPORTUNIDADES DE MEJORAS**

**Ing. Rubén Navarro**

Gerente de Licenciamiento y Control

de Reactores Nucleares

Autoridad Regulatoria Nuclear

# CONTENIDO FUKUSHIMA . . . El primer accidente nuclear causado por una combinación de eventos externos extremos...

1. Algunos conceptos básicos
2. El ambiente sismotectónico, el sismo, el tsunami
3. El accidente nuclear
4. El estado final
5. Deficiencias observadas
6. La respuesta internacional
7. Lo actuado en ARN
8. Oportunidades de mejoras



# **1. ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS**

# Concepto de Seguridad Nuclear

- Las centrales nucleares están concebidas para cumplir en cualquier circunstancia creíble las **funciones de seguridad**, orientadas a evitar el escape de sustancias radiactivas:
  - **Control de la Reactividad. PARAR** el reactor en forma segura.
  - **REFRIGERAR** el combustible nuclear, extrayendo el calor generado, incluso después de detenido el reactor.
  - **CONFINAR** las sustancias radiactivas dentro de barreras físicas (objetivo básico de la Seguridad Nuclear).
  - **MITIGAR** las consecuencias radiológicas de un accidente, en el altamente improbable caso de que éste se produjera.

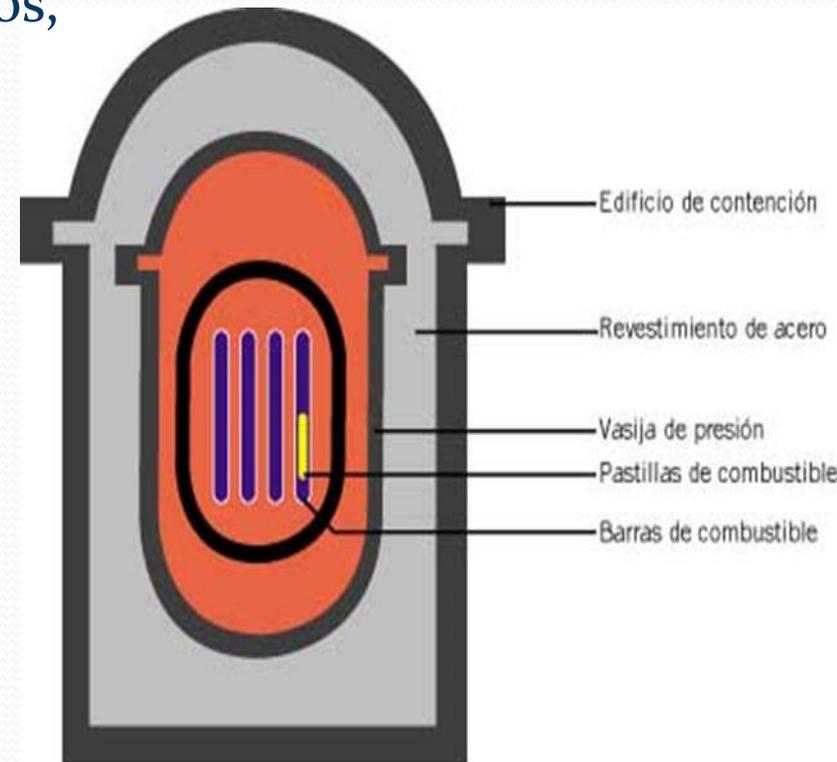
# Concepto de Defensa en Profundidad

- Incorporación de **diversos niveles de defensa**, para evitar que fallos aislados o combinados en un nivel de defensa amenacen la defensa en profundidad de los niveles consecutivos.
- Incluye **medidas adicionales para proteger al público y al medio ambiente** en el caso de que las barreras no fuesen completamente efectivas.

# Concepto de Defensa en Profundidad

Aplicado al **DISEÑO**:

- Se establecen **BARRERAS DE SEGURIDAD** múltiples para el confinamiento de materiales radiactivos,
- Cada una de las barreras contiene a las anteriores.
  1. La pastilla de combustible
  2. La vaina que envuelve las pastillas combustibles.
  3. El circuito primario (o barrera de presión).
  4. La contención.

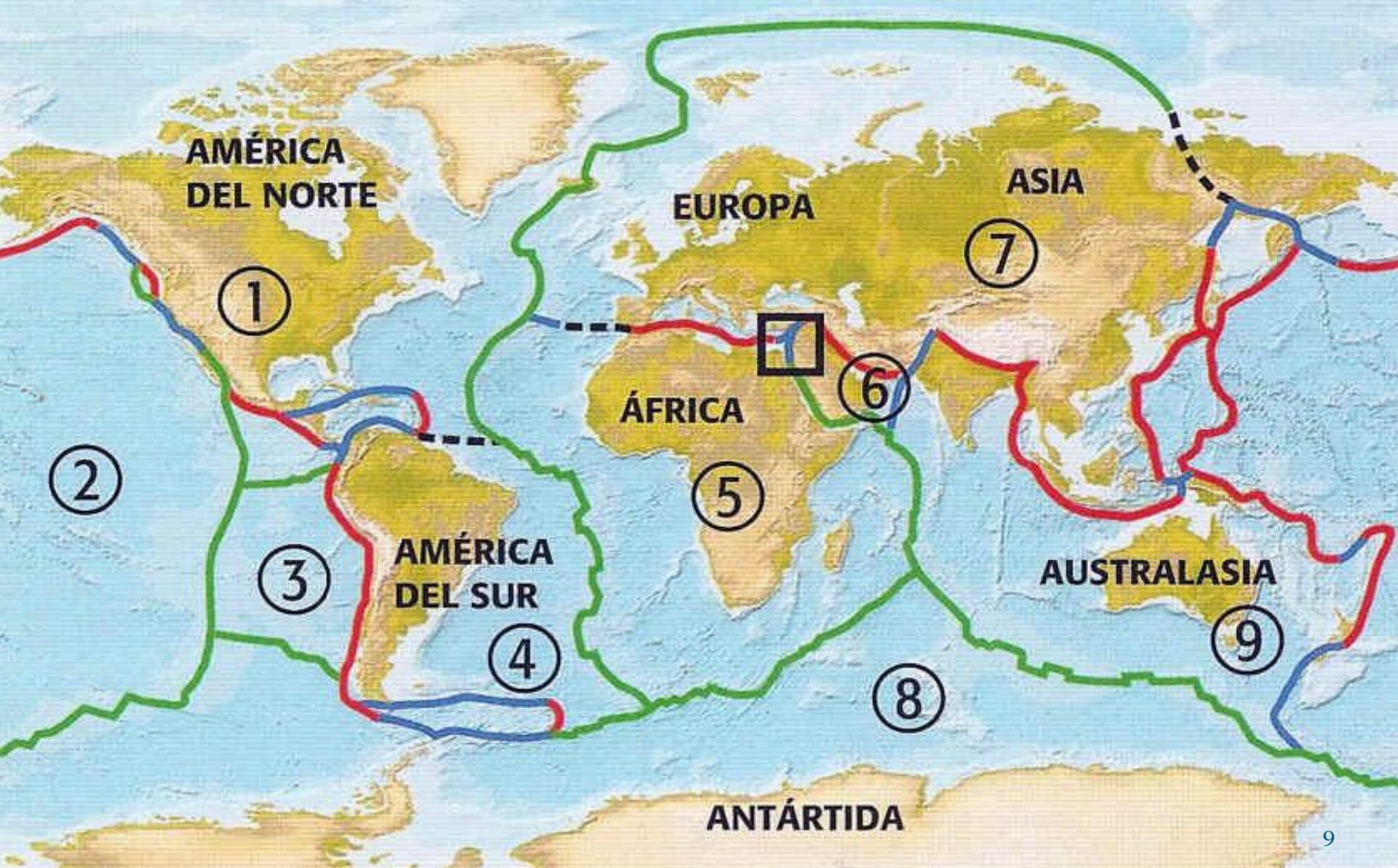


# Concepto de Defensa en Profundidad

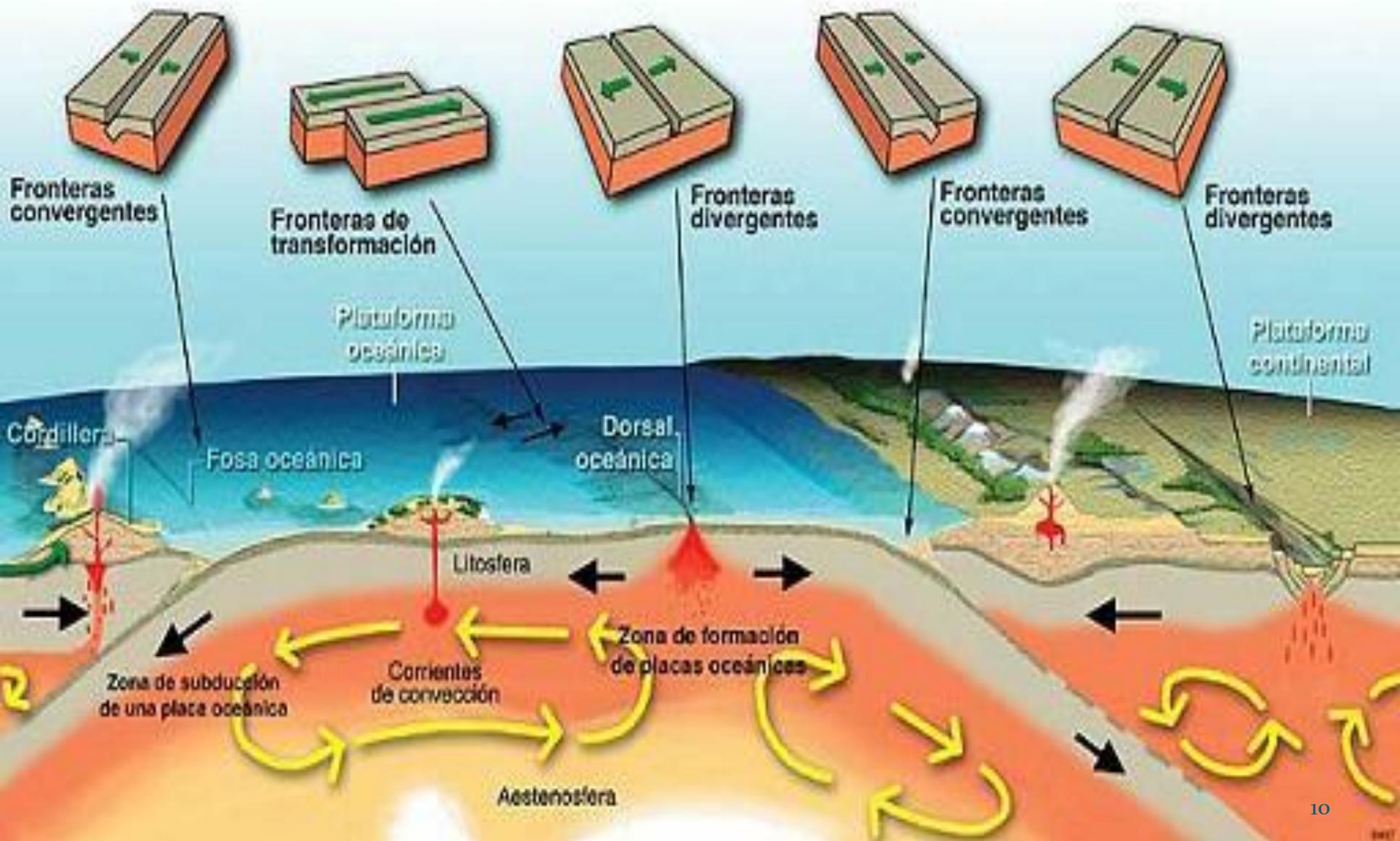
## Aplicado a la OPERACIÓN:

- **Primer escalón:** se trata de impedir la desviación respecto al funcionamiento normal.
- **Segundo escalón:** su finalidad es, detectar e interrumpir las desviaciones respecto a las condiciones de funcionamiento normal,
- **Tercer escalón:** dispone medios para controlar las condiciones de accidente por si ciertos incidentes operacionales no son interrumpidos por los escalones precedentes,.
- Otros factores que contribuyen a la protección del público y del personal del emplazamiento:
  - Disponibilidad de elementos para **mitigar las consecuencias** de sucesos de muy baja probabilidad que excedan las bases de diseño (accidentes severos o accidentes con daño al núcleo).
  - La aplicación de **planes de emergencia**, incluyendo distintas medidas de protección a las personas.

# Las Placas Tectónicas



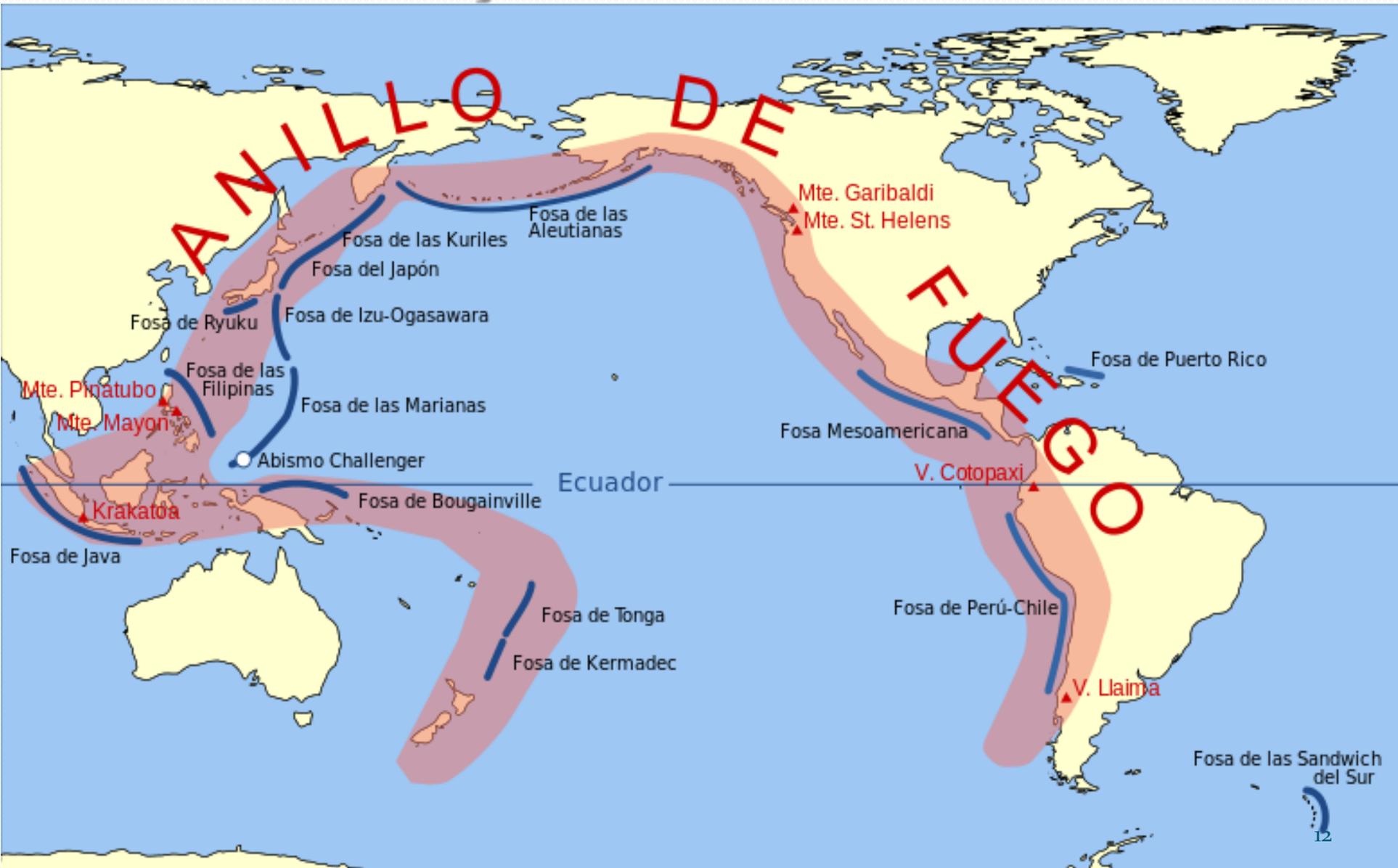
# Dinámica de Placas



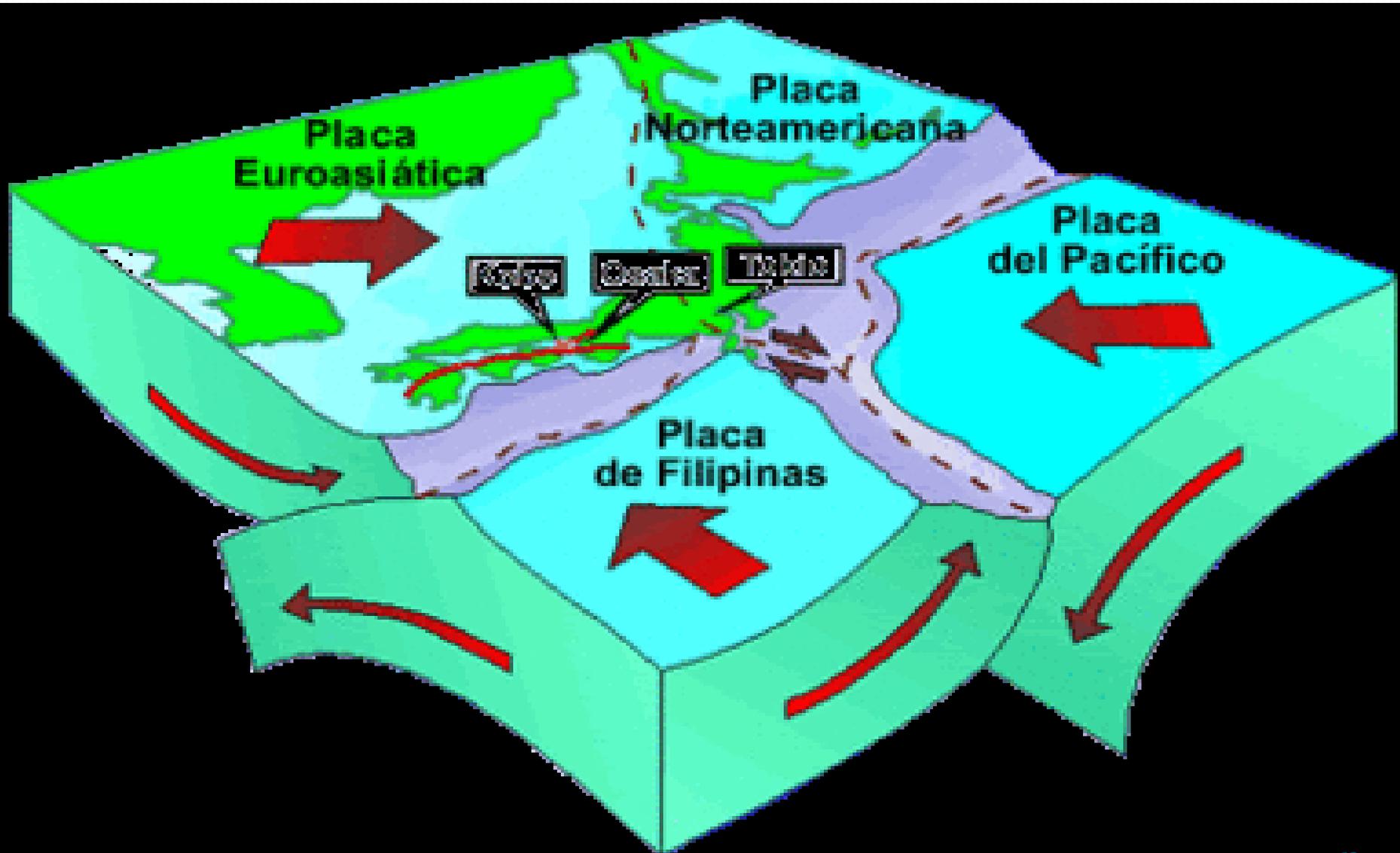


## **2. EL AMBIENTE SISMOTECTÓNICO, EL SISMO y EL TSUNAMI EN FUKUSHIMA**

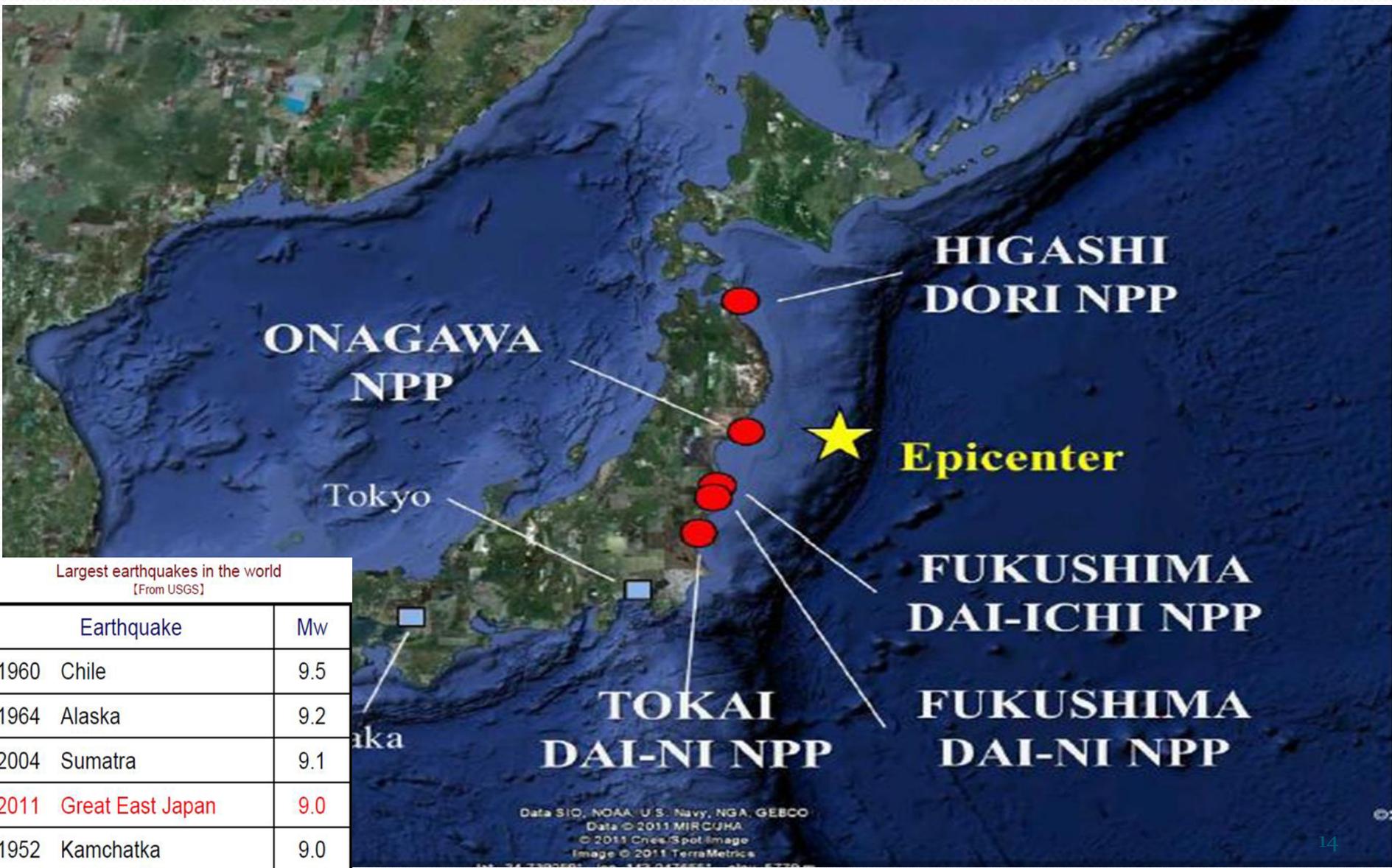
# Zona de mayor actividad sísmica



# Fosa de Japón



# Sismo del 11 de marzo de 2011



# Que significa la palabra Tsunami ?

- **Tsunami** es un término Japonés, formado por los vocablos:  
“**tsu**” (puerto) y “**nami**” (ola).



- Los Tsunamis pueden ser generados por:
  - terremotos que ocurren bajo el lecho marino.
  - Explosiones o colapsos volcánicos,
  - Deslizamientos submarinos,
  - Caídas de grandes rocas costeras o deslizamientos, etc.

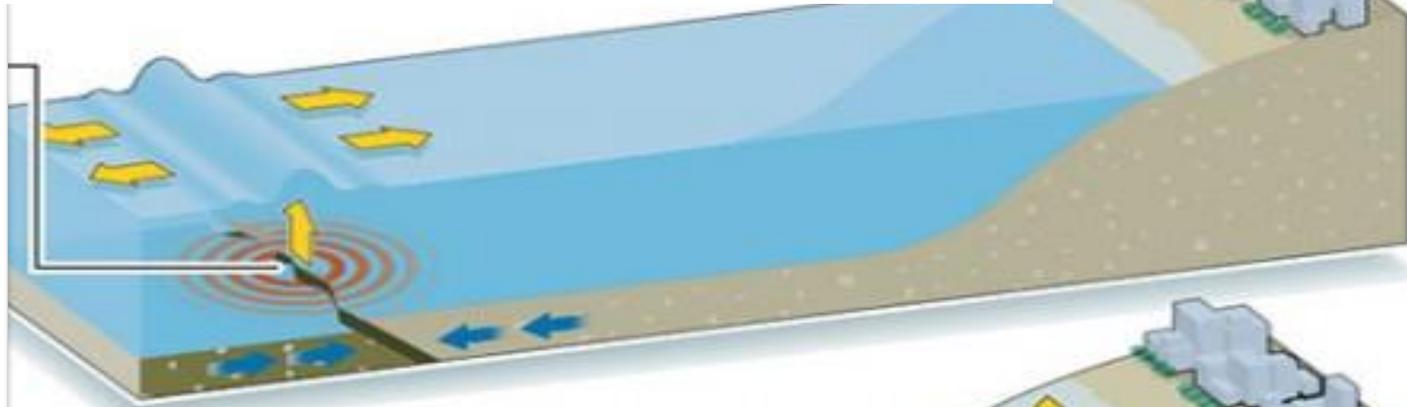
# Cómo se genera un tsunami ?



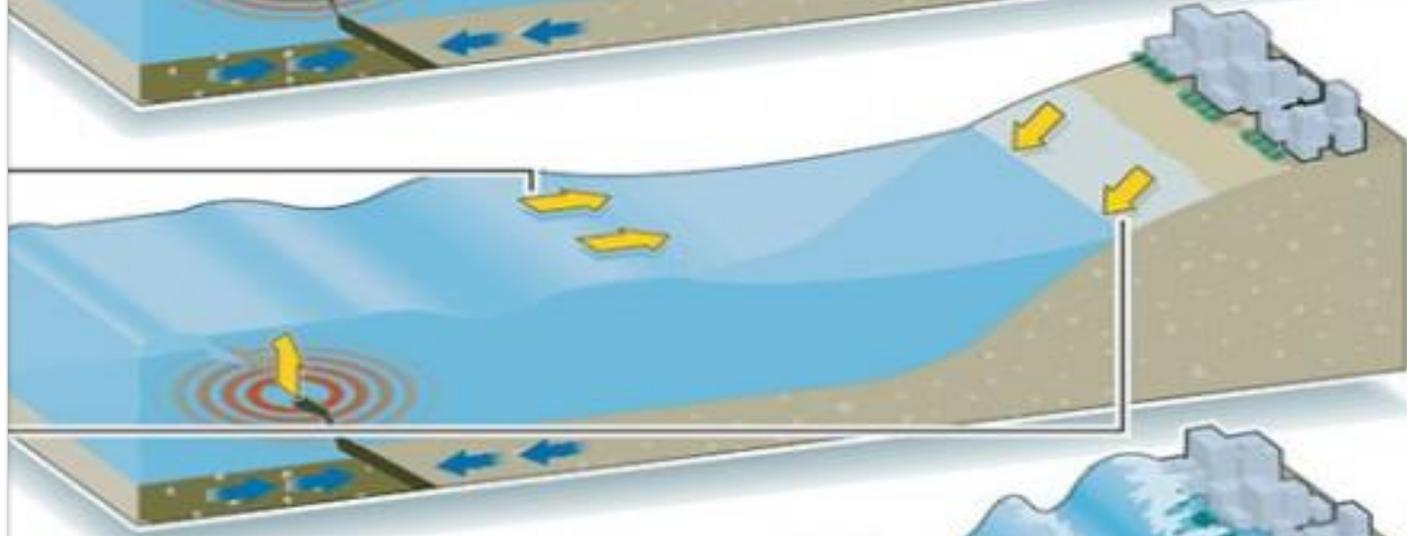
*Así no !!!*

# Generación de un Tsunami

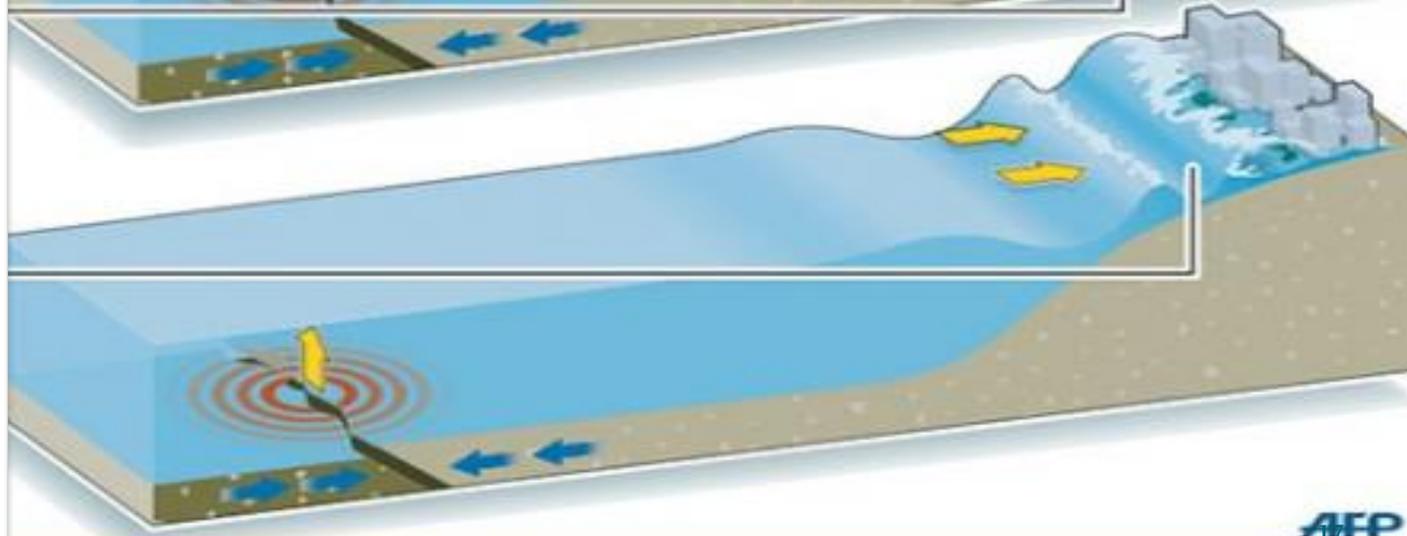
**1** Un terremoto sacude el fondo del océano, y desplaza volúmenes de agua empujándola hacia arriba



**2** Pone en marcha oscilaciones, que se desarrollan bajo el agua a gran velocidad

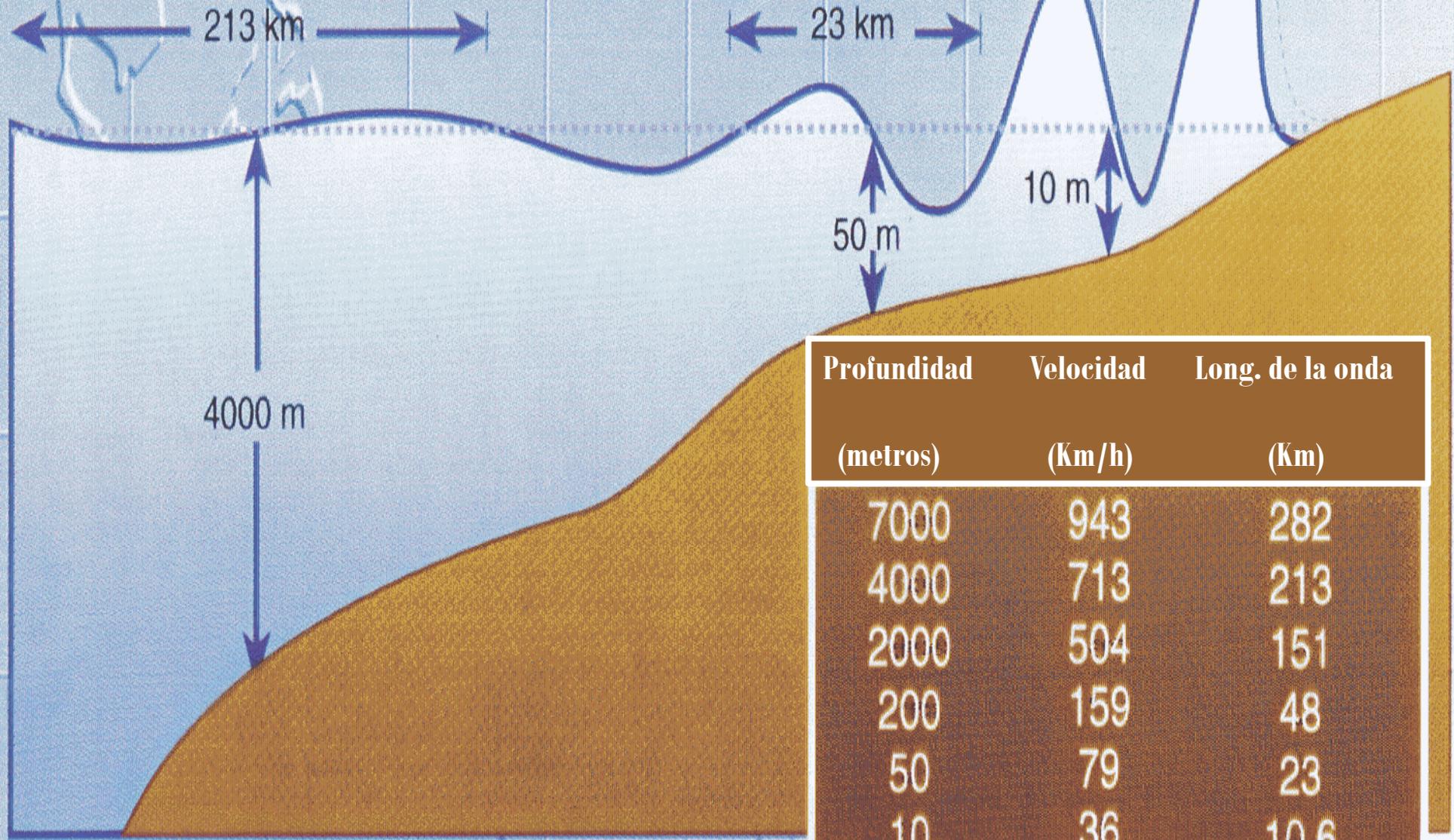


**3** El agua de la costa es succionada hacia el mar



**4** Las olas se hacen más altas a medida que el agua es menos profunda..

**La velocidad de propagación se reduce en aguas superficiales, mientras la altura de la ola crece rápidamente**



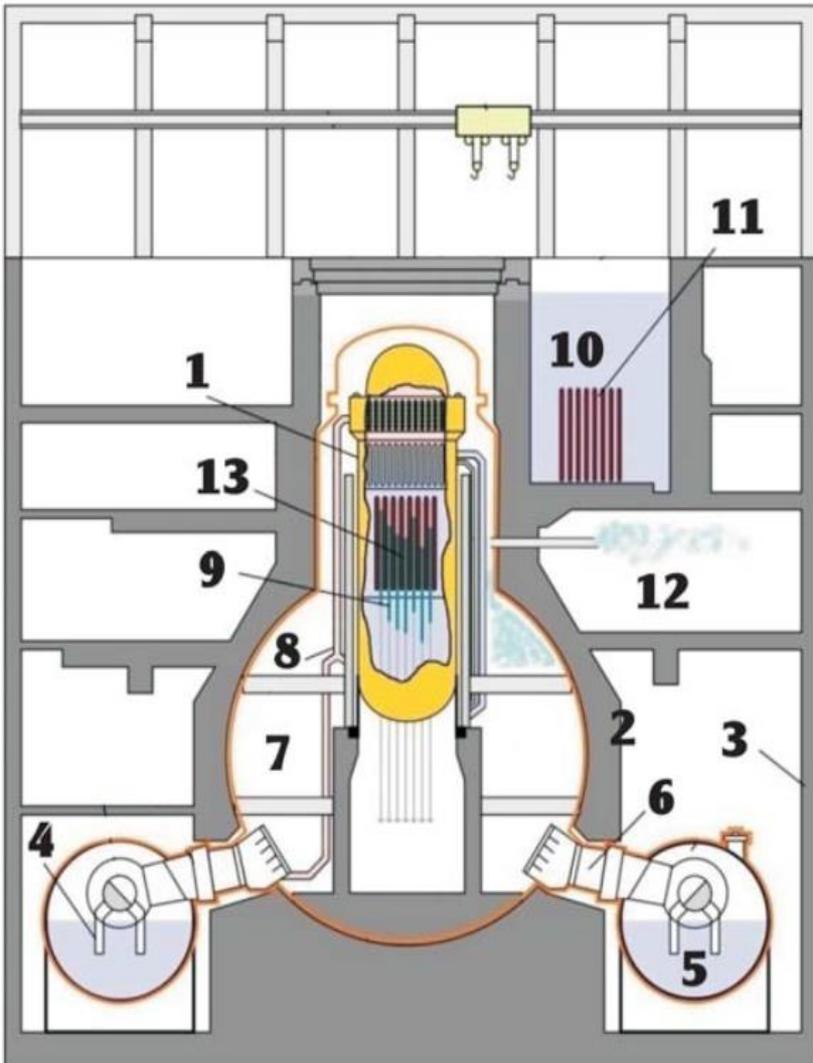
# **3. EL ACCIDENTE NUCLEAR**

# Fukushima Daiichi - Planta I

- Unidad I - GE Mark I BWR (439 MW), Operando desde 1971
- Unidad II-IV - GE Mark I BWR (760 MW), Operando desde 1974

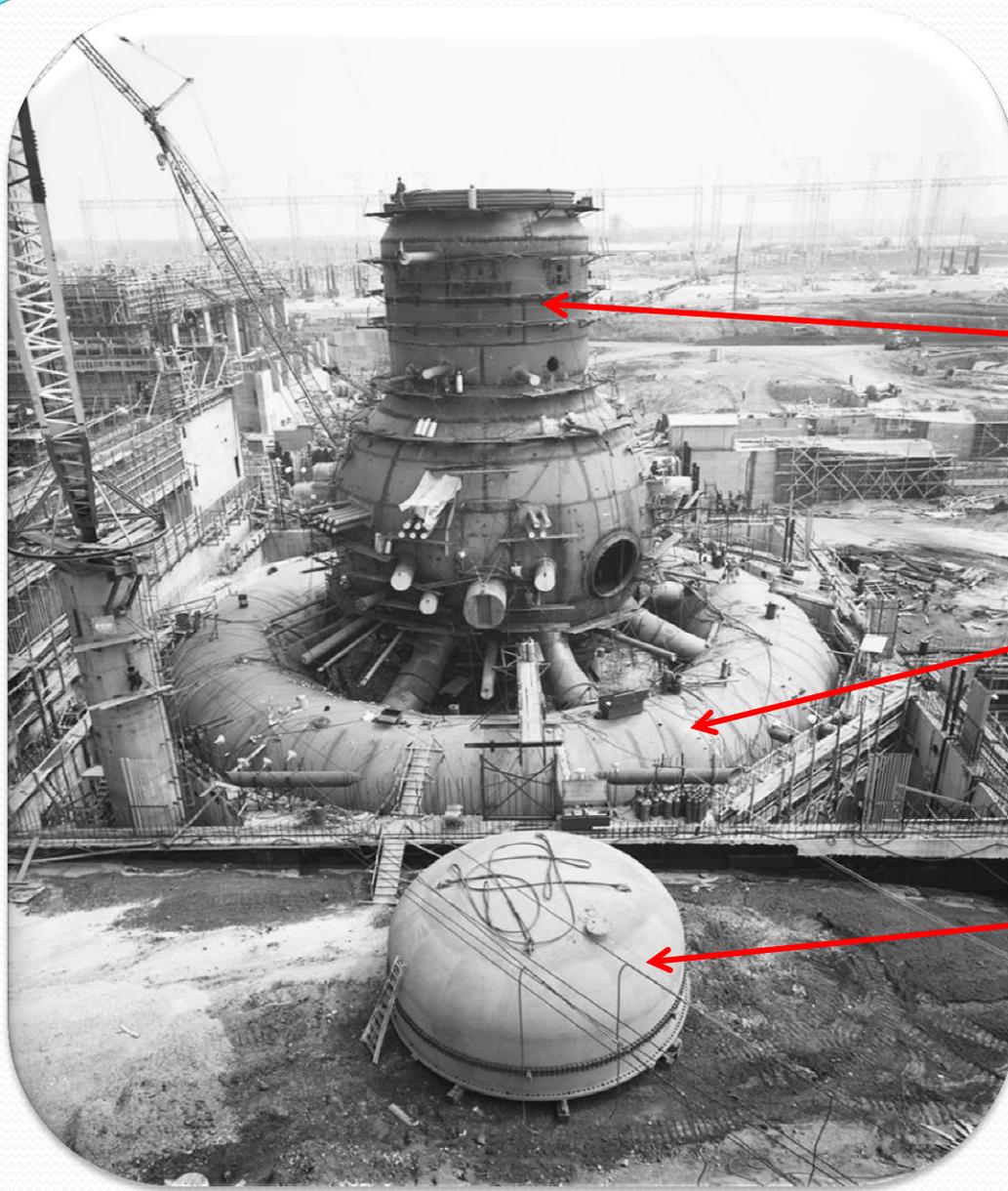


# El Reactor BWR con contención Mark I



- 1) Vasija del reactor;
- 2) Contención primaria;
- 3) Contención secundaria;
- 4) Línea de descarga de vapor;
- 5) Piletas de supresión de presión
- 6) Alivio del pozo seco a la piletas de supresión;
- 7) Pozo seco;
- 8) Tuberías de alivio de la vasija del reactor;
- 9) Barras de control;
- 10) Piletas de combustible gastado;
- 11) Combustible gastado;
- 12) Tuberías de venteo de la contención primaria;
- 13) Combustible en el núcleo del reactor.

# Contención en un Reactor BWR



Contención seca

Pileta de supresión de presión

Cabezal de cierre de la contención

# Edificio del Reactor. Parte superior



# Que ocurrió en Fukushima ?

Un escenario complejo con combinación de eventos externos extremos que afectó varios reactores nucleares y que condujo a un accidente nuclear:

- Un terremoto de magnitud 9 que aparentemente no produjo daño significativo a las instalaciones nucleares,
- Un tsunami, ~ 45 minutos después, que inundó los emplazamientos de Tokai 2, Fukushima Daiichi y Fukushima Daini,



# Que ocurrió en Fukushima ?

- Pérdida total de alimentación eléctrica
- Explosiones de hidrógeno, un par de horas-días más tarde,
- Réplicas del terremoto (... miles), de forma continua, y
- Una región devastada con grandes daños a la infraestructura, unas 25.000 víctimas y cientos de miles de damnificados.





**Fukushima Daiichi NPP luego del tsunami  
(En color azul: zona inundada)**

# Evolución del accidente nuclear

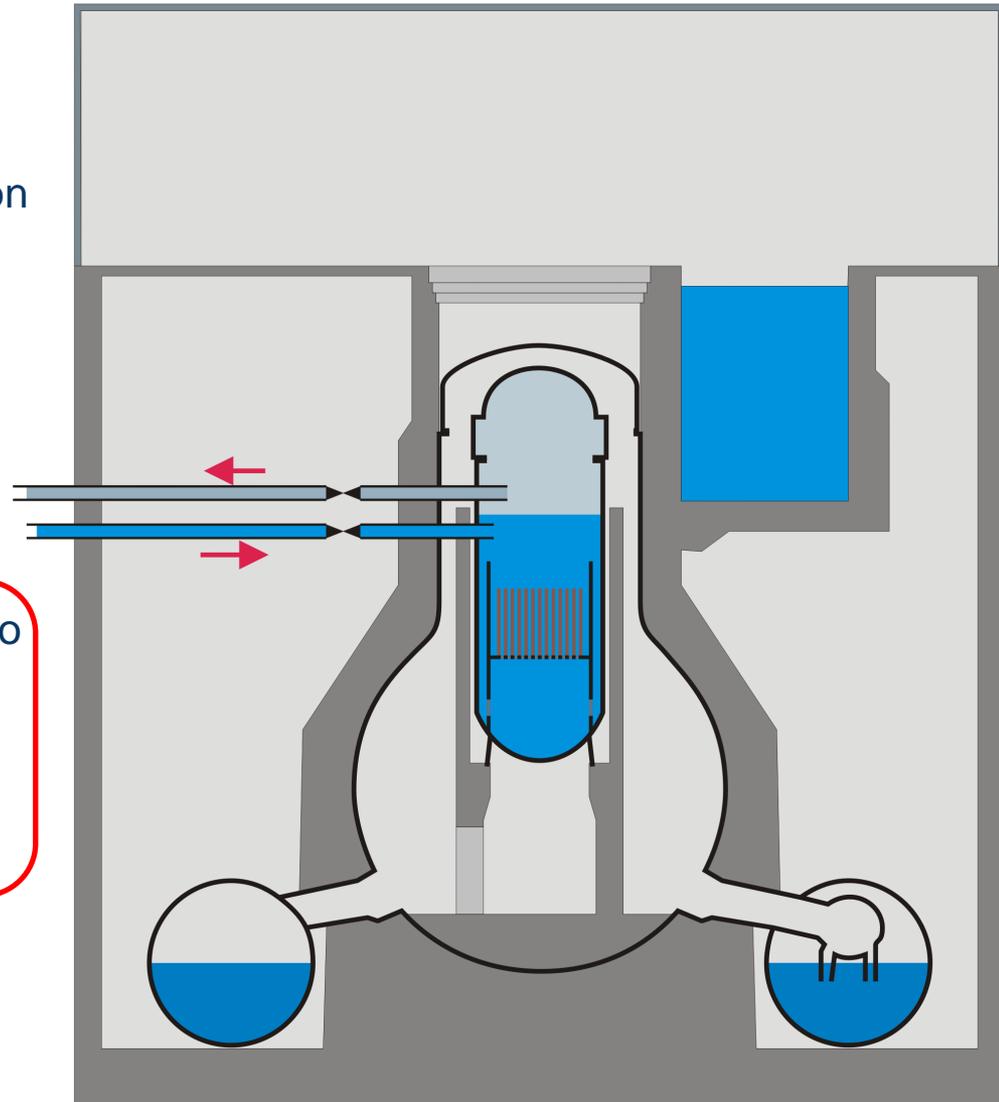
## ▶ 11.3.2011 14:46 - Sismo

- ◆ Magnitud 9
- ◆ Falla red eléctrica en el norte de Japón
- ◆ Reactores sin mayores daños

## ▶ Parada del reactor (SCRAM)

\* Generación de calor por decaimiento radiactivo de los productos de fisión:

- Luego del Scram ~6%
- Pasado 1 Día ~1%
- Pasados 5 Días ~0.5%

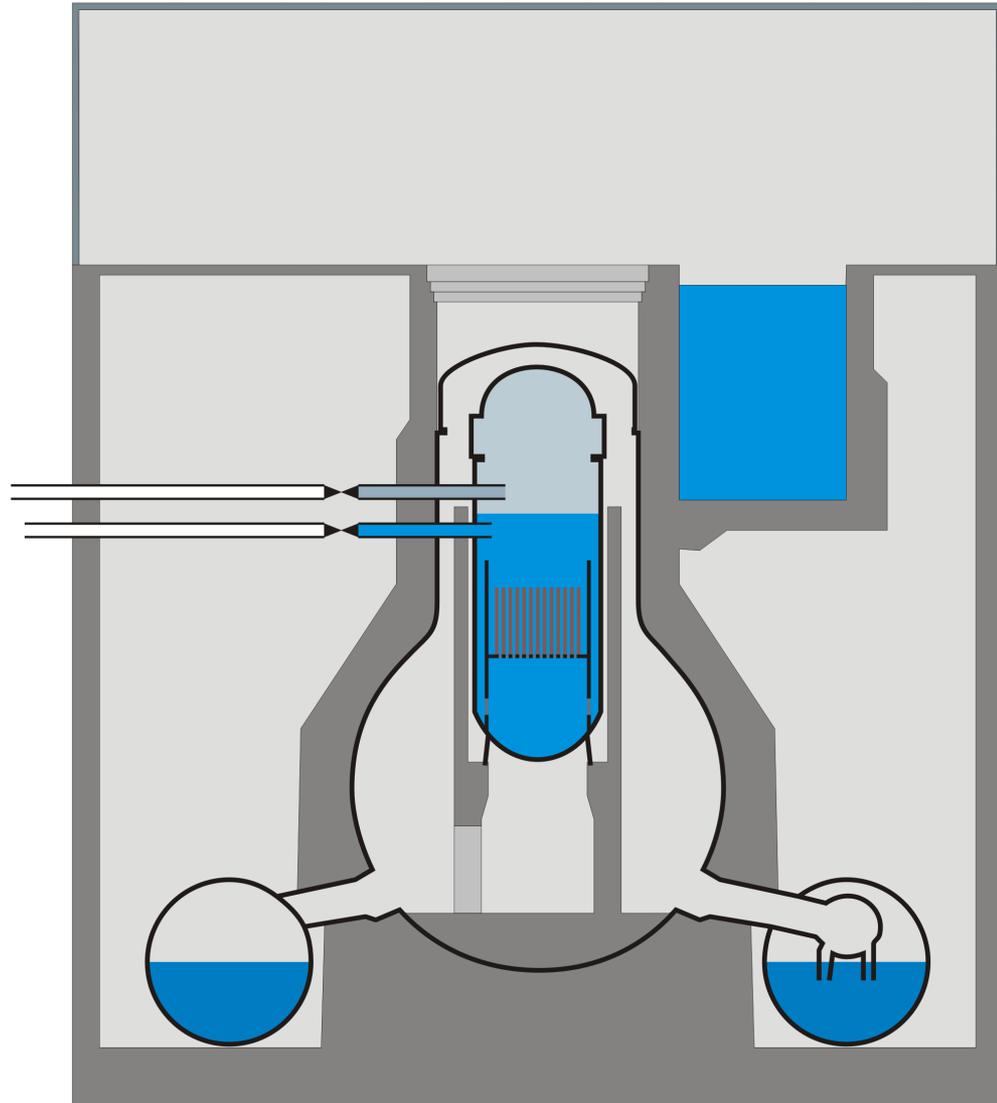


# Evolución del accidente nuclear

- ▶ Actuó la aislación de la Contención
  - ◆ Cierre de todas las penetraciones no relacionadas con los Sistemas de Seguridad
  - ◆ Si la aislación ocurre, una liberación temprana de productos de fisión es altamente improbable.
  
- ▶ Arrancaron los generadores Diesel quedando energizados los Sistemas de Refrigeración de Emergencia del Núcleo

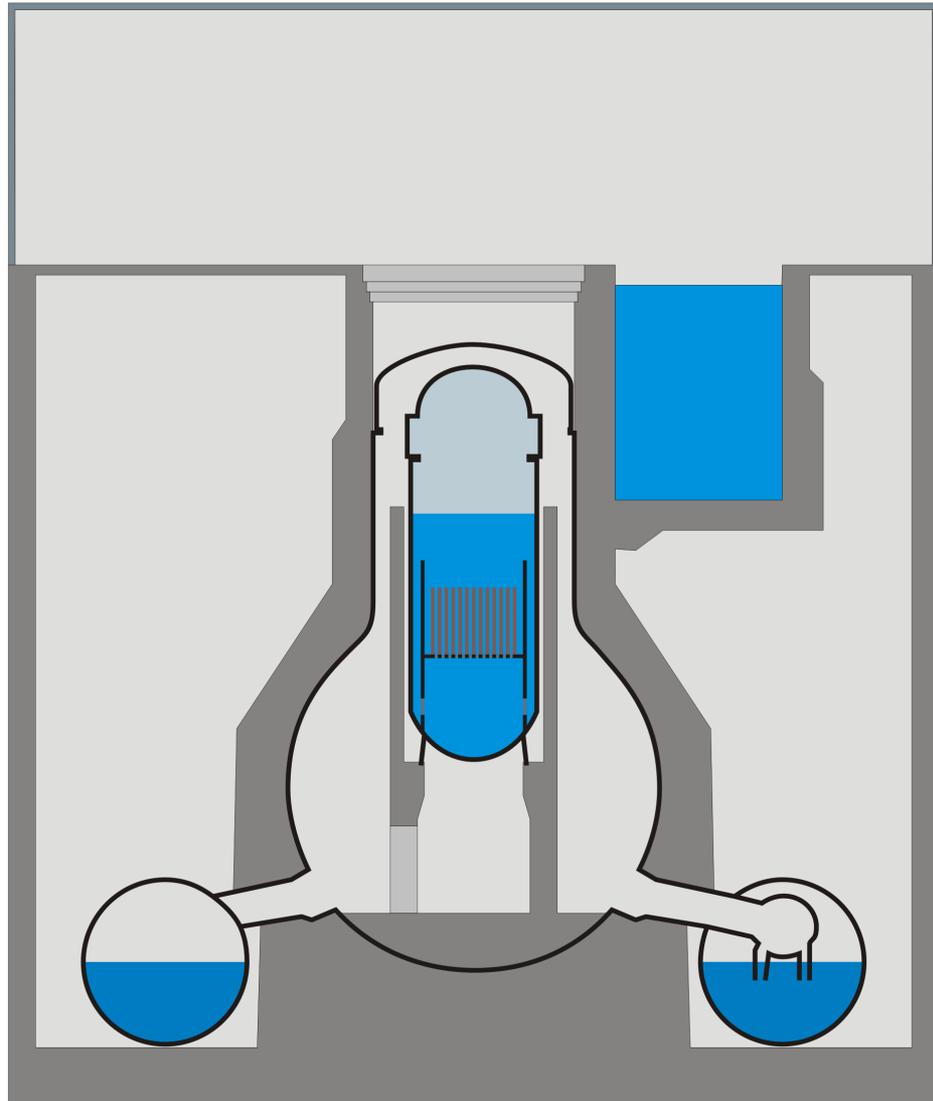


Las plantas alcanzaron el estado de parada estable



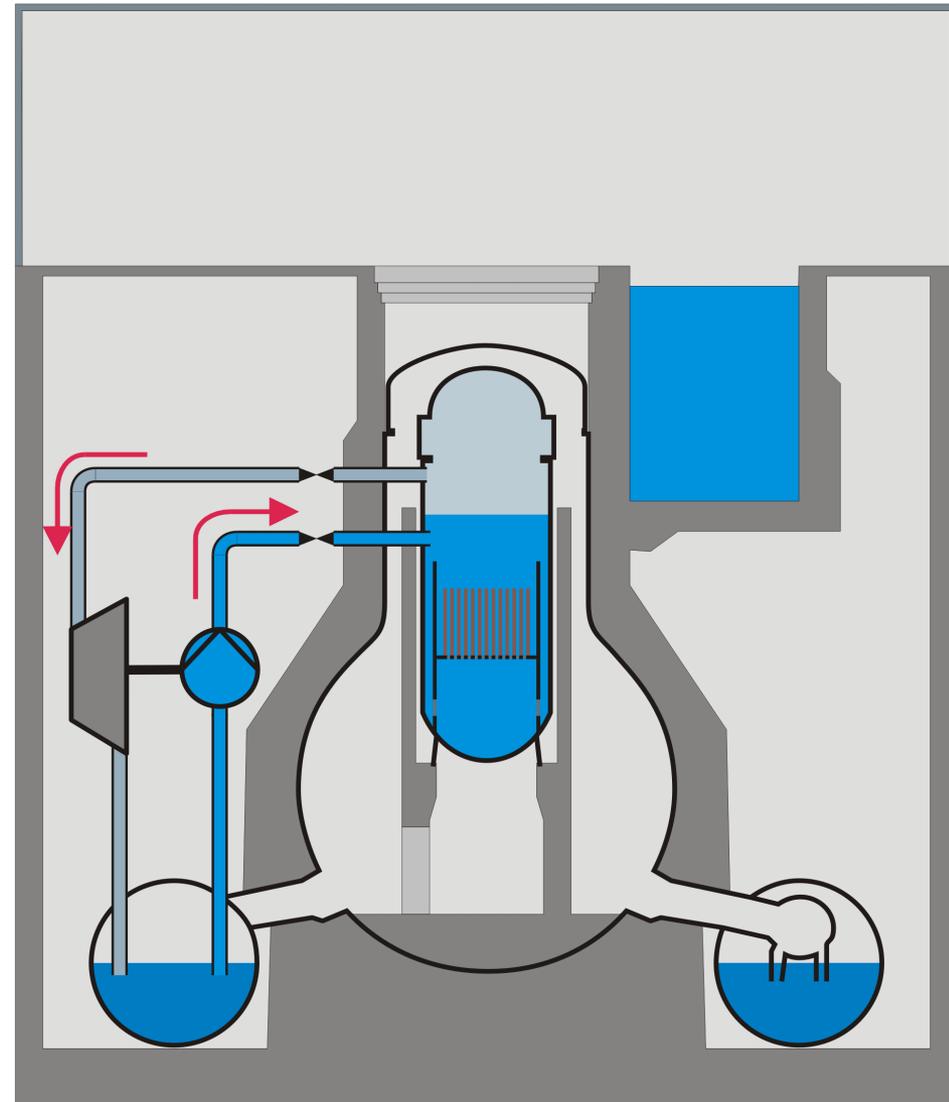
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ **11.3. 15:41 El Tsunami llegó a la planta**
  - ◆ Planta diseñada para Tsunamis de hasta ~ 6 m.
  - ◆ Registros históricos mayores a 14 m !!!
  - ◆ Altura alcanzada por el Tsunami >14 m.
  - ◆ Inundación de:
    - Generadores Diesel, y/o
    - Edificio de agua de servicios para refrigerar los generadores.
  
- ▶ **Pérdida total de energía (Station Blackout)**
  - ◆ Falla de causa común en el suministro eléctrico,
  - ◆ Sólo las Baterías disponibles,
  - ◆ Falla de todos menos uno de los Sistemas de Refrigeración de Emergencia del Núcleo.



# Evolución del accidente nuclear

- ▶ Bomba de Refrigeración con el Núcleo Aislado aún disponible
  - ◆ El vapor del Reactor mueve una Turbina
  - ◆ El vapor se condensa en la cámara de condensación
  - ◆ La Turbina mueve la bomba
  - ◆ El agua de la cámara de condensación se bombea al reactor
  - ◆ Es necesario:
    - CC de las baterías
    - La temperatura en la cámara debe ser menor a los 100°C
  
- ▶ Al no haber extracción de calor de edificio, el sistema no puede trabajar infinitamente





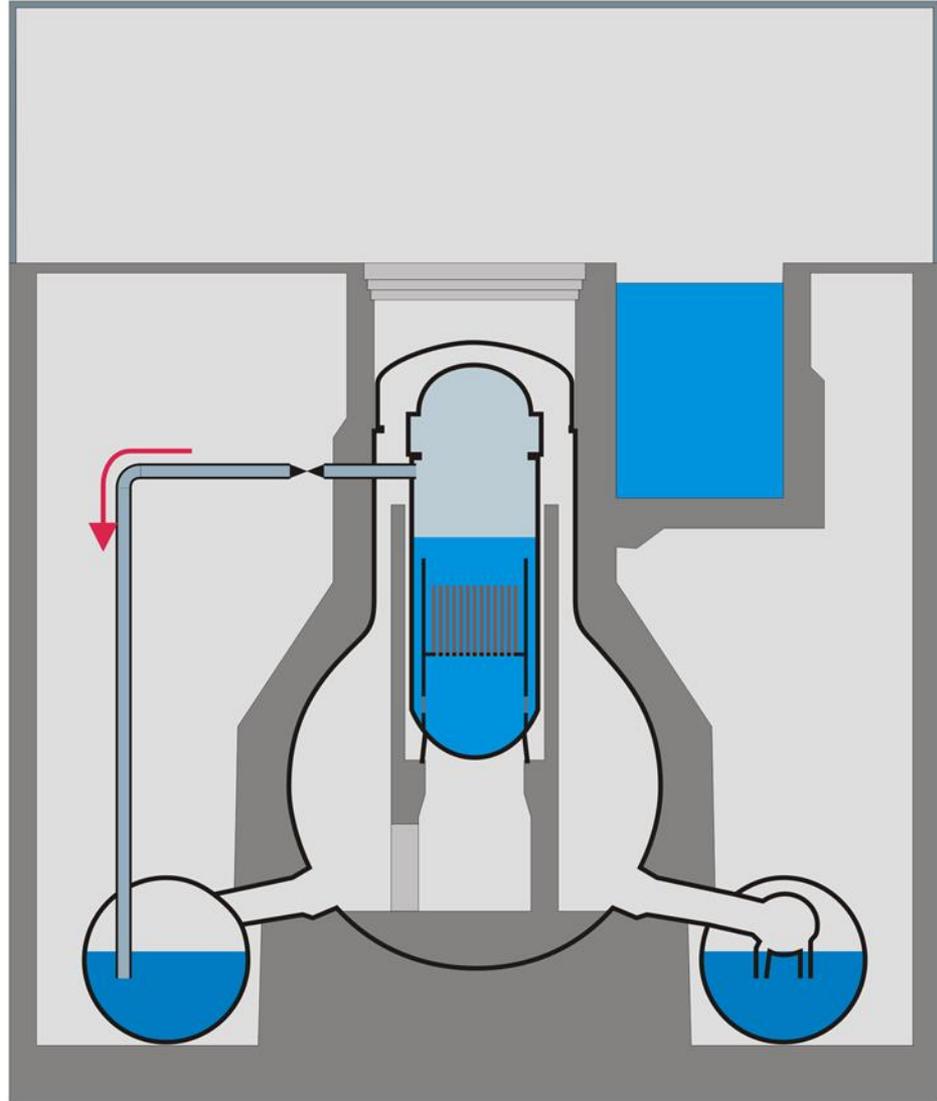
# Station Blackout in Units 1 to 5 at Fukushima Dai-ichi NP Station

Time	Events	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6
		BWR- 3 460 MWe	BWR- 4 784 MWe	BWR- 4 784 MWe	BWR- 4 784 MWe	BWR- 4 784 MWe	BWR- 5 1100 MWe
	Before the earthquake	Operated	Operated	Operated	Periodic Inspection Shutdown		
14:46	Earthquake	Automatic Shutdown (All control rods fully inserted.)			-	-	-
	External power	Lost	Lost	Lost	Lost	Lost	Lost
14:47- 14:48	Emergency DG	2 started	2 started	2 started	1 checked 1 started	2 started	3 started
15:27 15:36	1 <sup>st</sup> and 2 <sup>nd</sup> Tsunami Waves	All the sea water pumps for cooling lost at 15:38 – 15:42. An air-cooled D/G at Unit 6 survived.					
15:37- 15:41	Emergency DG power lost	2 DG lost at 15:37	2 DG lost at 15:41	2 DG lost at 15:38	2 DG lost at 15:38	2 DG lost at 15:40	2 DG lost at 15:36
-	DC Power	Lost	Lost	Yes (1)	Lost	Yes	Yes
	Started reception of External Power (Blackout days)	Mar. 22 (11 days )	Mar. 20 (9 days)	Mar. 22 (11 days)	Mar. 22 (11 days)	-	-

(1) The DC power system in Unit 3 lasted for at least 8 hours, probably 13 hours, and then ran out.

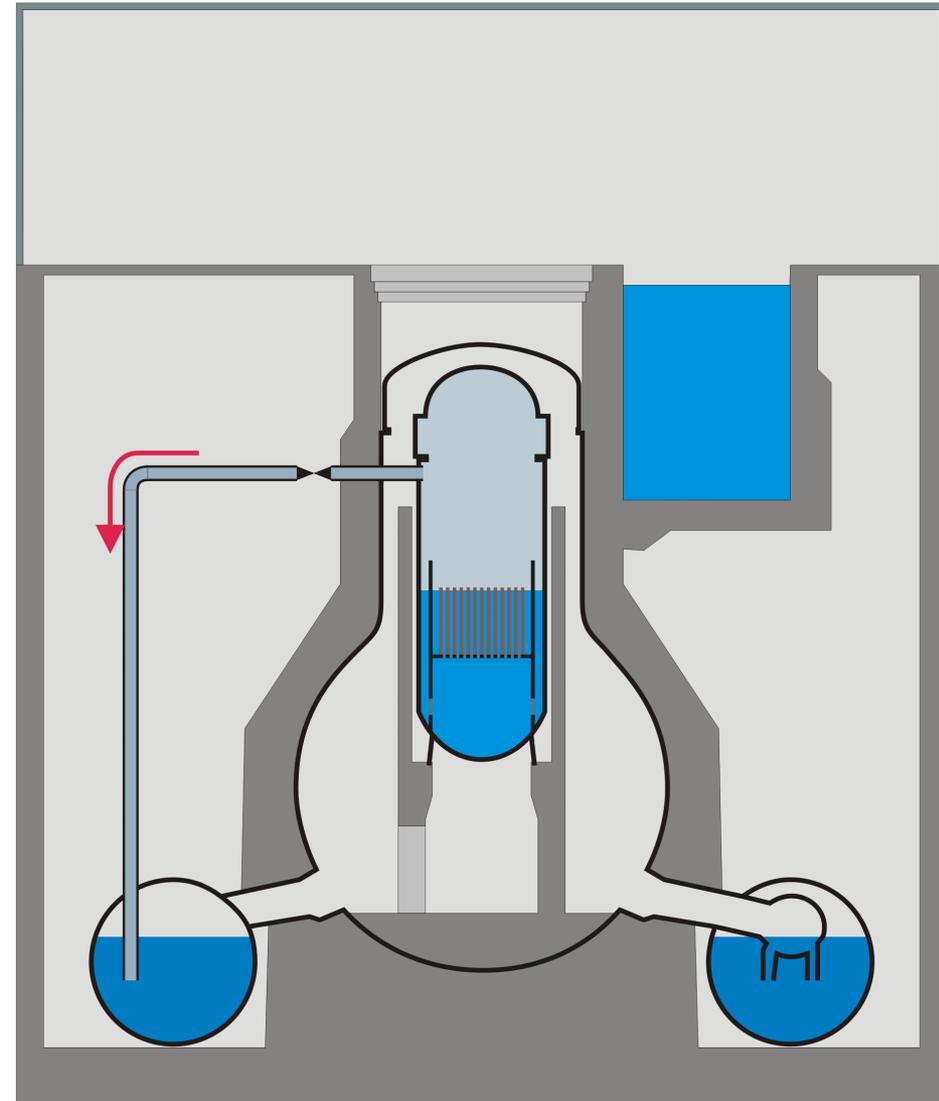
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ Parar las Bombas de Refrigeración con el Núcleo Aislado
  - ◆ 11.3. 16:36 en Unidad 1 (Baterías agotadas)
  - ◆ 14.3. 13:25 en Unidad 2 (Falla la bomba)
  - ◆ 13.3. 2:44 en Unidad 3 (Baterías agotadas)
  
- ▶ El calor de decaimiento continúa produciendo vapor en el Recipiente de Presión del Reactor
  - ◆ Aumento de la Presión
  
- ▶ Abren las válvulas de alivio de vapor
  - ◆ Descarga de vapor a cámara de cond.
  
- ▶ Baja el nivel Refrigerante en el RPR



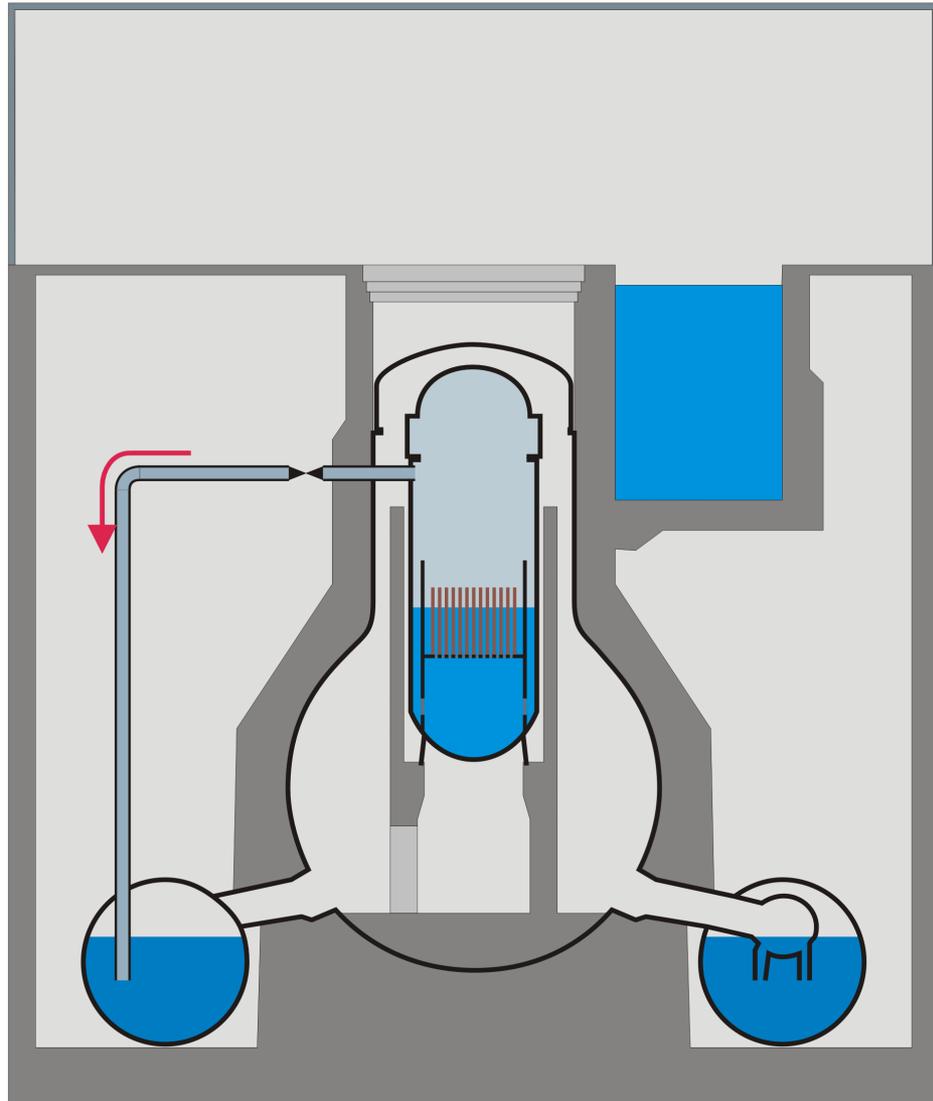
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ Parar las Bombas de Refrigeración con el Núcleo Aislado
  - ◆ 11.3. 16:36 en Unidad 1 (Baterías agotadas)
  - ◆ 14.3. 13:25 en Unidad 2 (Falla la bomba)
  - ◆ 13.3. 2:44 en Unidad 3 (Baterías agotadas)
  
- ▶ El calor de decaimiento continúa produciendo vapor en el Recipiente de Presión del Reactor
  - ◆ Aumento de la Presión
  
- ▶ Abren las válvulas de alivio de vapor
  - ◆ Descarga de vapor a cámara de cond.
  
- ▶ Baja el nivel Refrigerante en el RPR



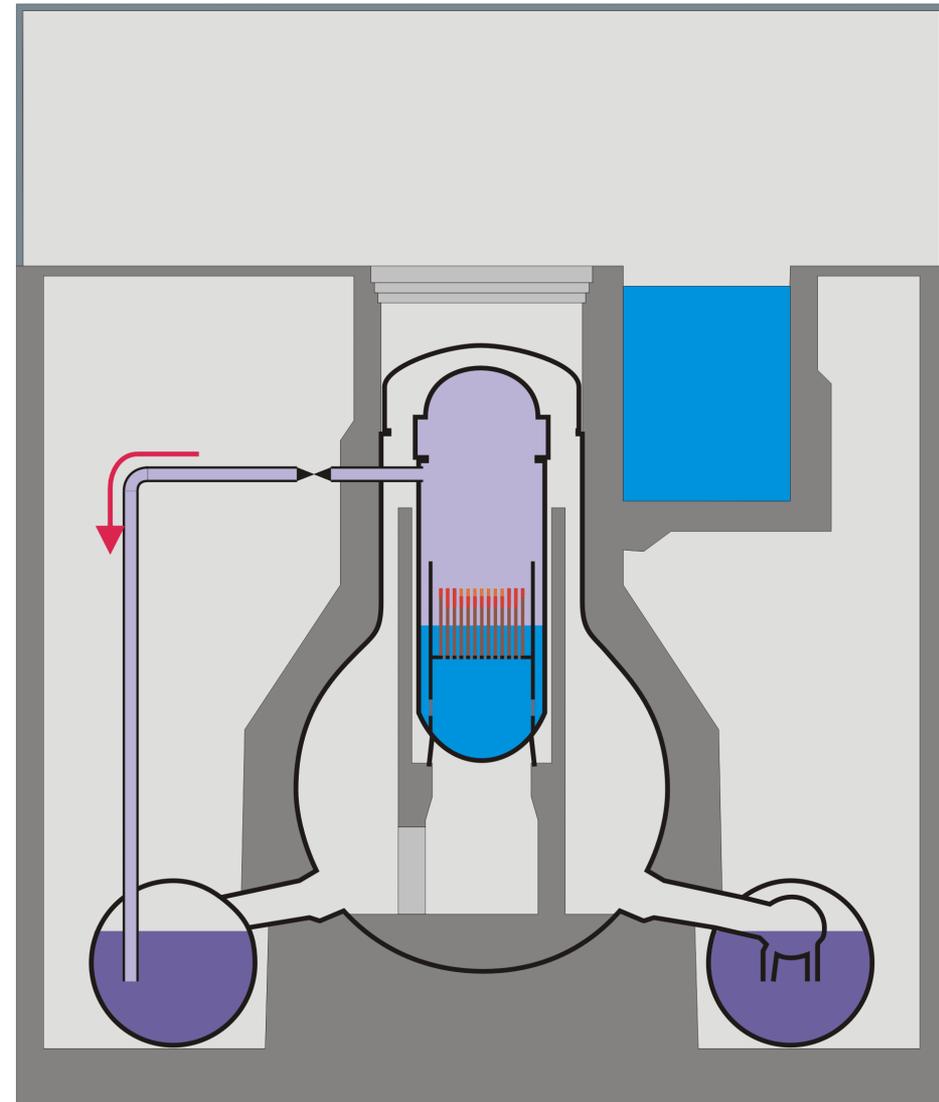
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ Parar las Bombas de Refrigeración con el Núcleo Aislado
  - ◆ 11.3. 16:36 en Unidad 1 (Baterías agotadas)
  - ◆ 14.3. 13:25 en Unidad 2 (Falla la bomba)
  - ◆ 13.3. 2:44 en Unidad 3 (Baterías agotadas)
  
- ▶ El calor de decaimiento continúa produciendo vapor en el Recipiente de Presión del Reactor
  - ◆ Aumento de la Presión
  
- ▶ Abren las válvulas de alivio de vapor
  - ◆ Descarga de vapor a cámara de cond.
  
- ▶ Baja el nivel Refrigerante en el RPR



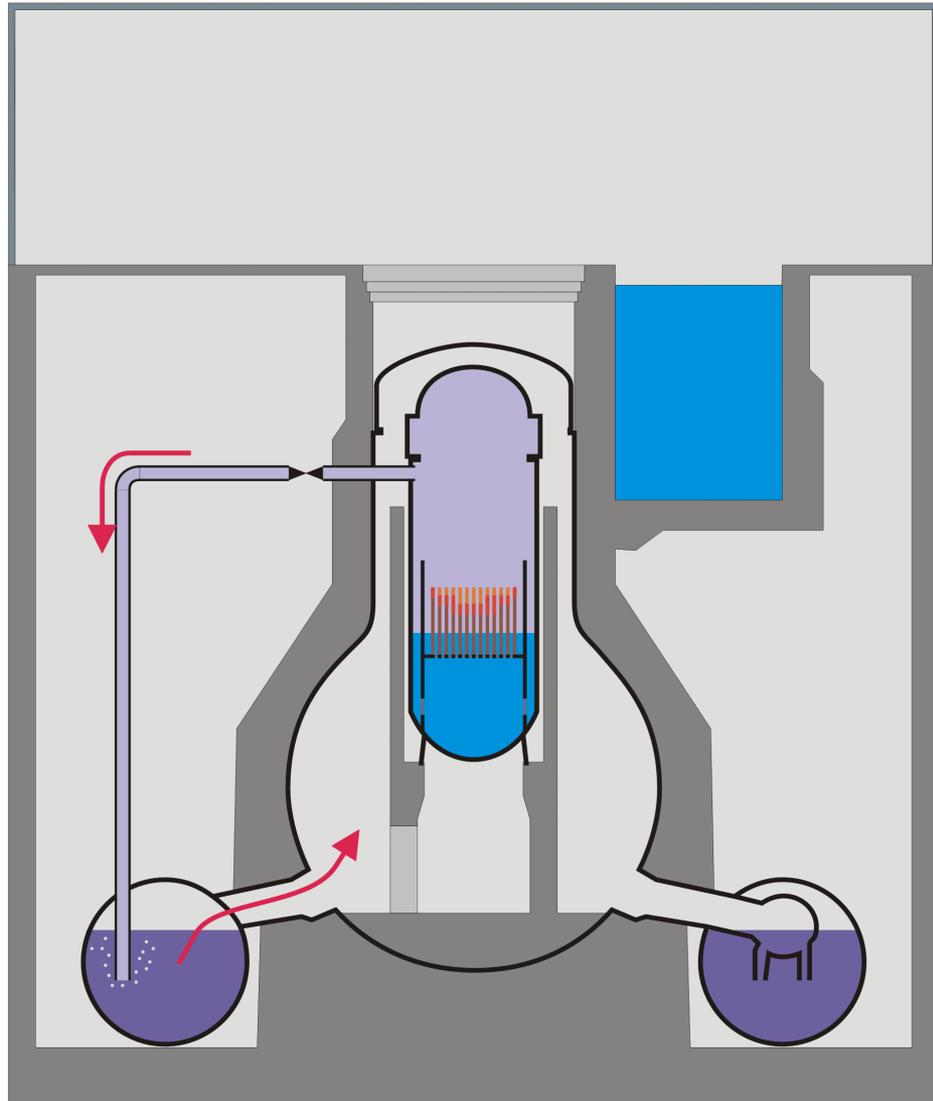
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ ~50% del núcleo expuesto
  - ◆ Aumento de temperatura de vaina. Aún no hay daño significativo al núcleo
  
- ▶ ~2/3 del núcleo expuesto
  - ◆ La temperatura de vaina excede los ~900°C
  - ◆ Balooning / Rotura de la vaina
  - ◆ Liberación de PF del huelgo vaina-pastilla.



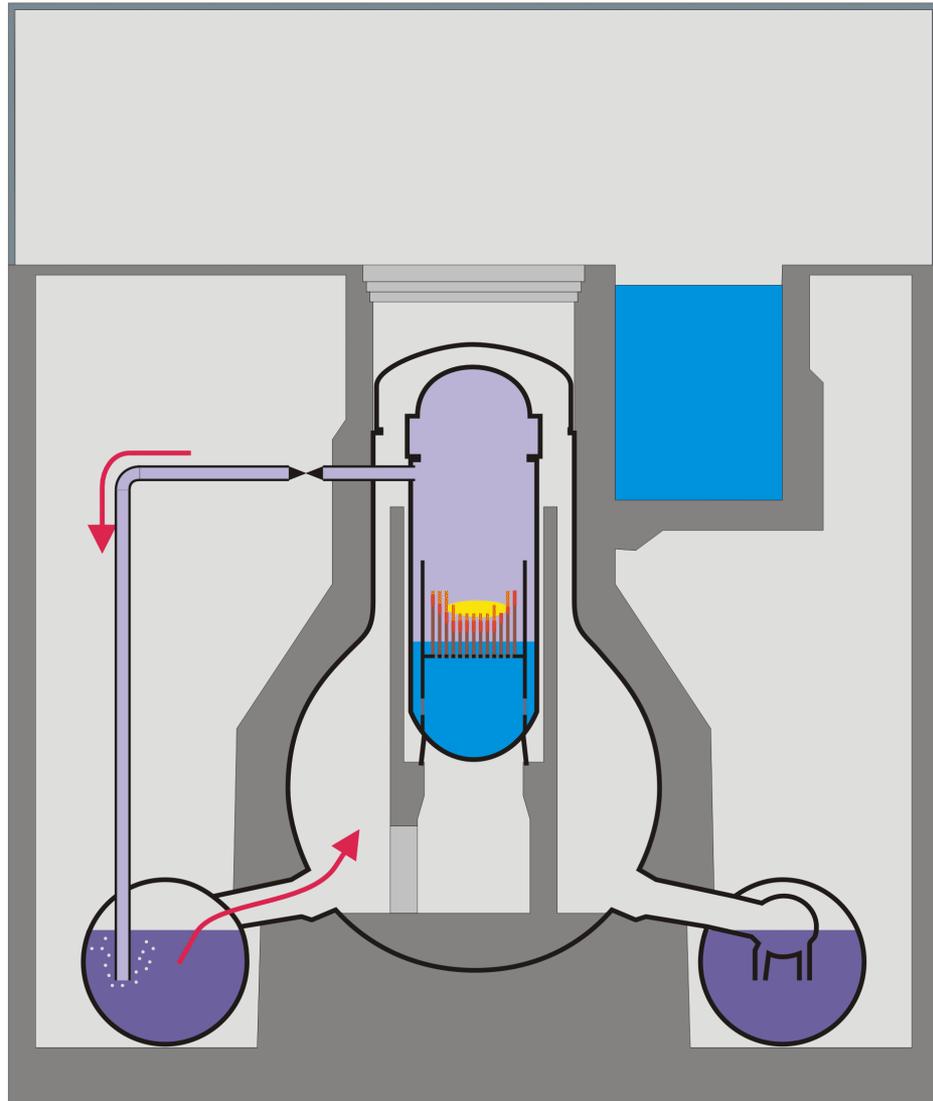
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ ~3/4 del núcleo expuesto
  - ◆ Temp. de vaina excede los 1200°C
  - ◆ El Zirconio de la vaina comienza a oxidarse en ambiente de vapor
  - ◆  $Zr + 2H_2O \rightarrow ZrO_2 + 2H_2$
  - ◆ Posterior reacción exotérmica calienta mas el núcleo
  - ◆ Generación de Hidrógeno
    - Unidad 1: 300-600kg
    - Unidades 2/3: 300-1000kg
  - ◆ El Hidrogeno alcanza la contención seca vía la cámara de condensación



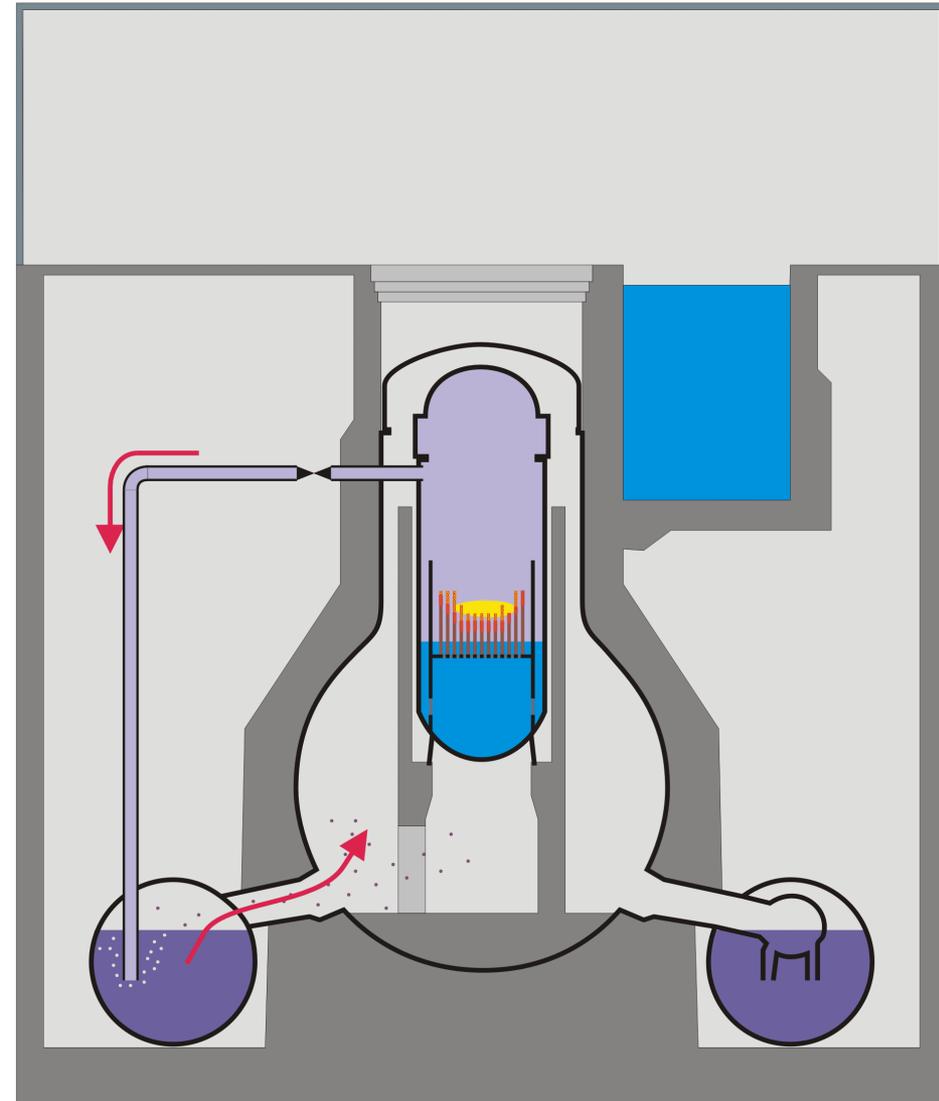
# Evolución del accidente nuclear

- ▶ a  $\sim 1800^{\circ}\text{C}$  [Unidades 1,2,3]
  - ◆ Fusión de las vainas de EE.CC.
  - ◆ Fusión de estructuras de acero
  
- ▶ at  $\sim 2500^{\circ}\text{C}$  [1,2]
  - ◆ Pérdida total de geometría de EE.CC.
  - ◆ Lecho fundido sobre el núcleo
  
- ▶ at  $\sim 2700^{\circ}\text{C}$  [ 1]
  - ◆ Fusión de eutécticos de Uranio-Zirconio
  
- ▶ La recuperación del suministro de agua detuvo la progresión accidental en las 3 unidades
  - ◆ Unidad 1: **12.3** 20:20
  - ◆ Unidad 2: **14.3** 20:33
  - ◆ Unidad 3: **13.3** 09:38



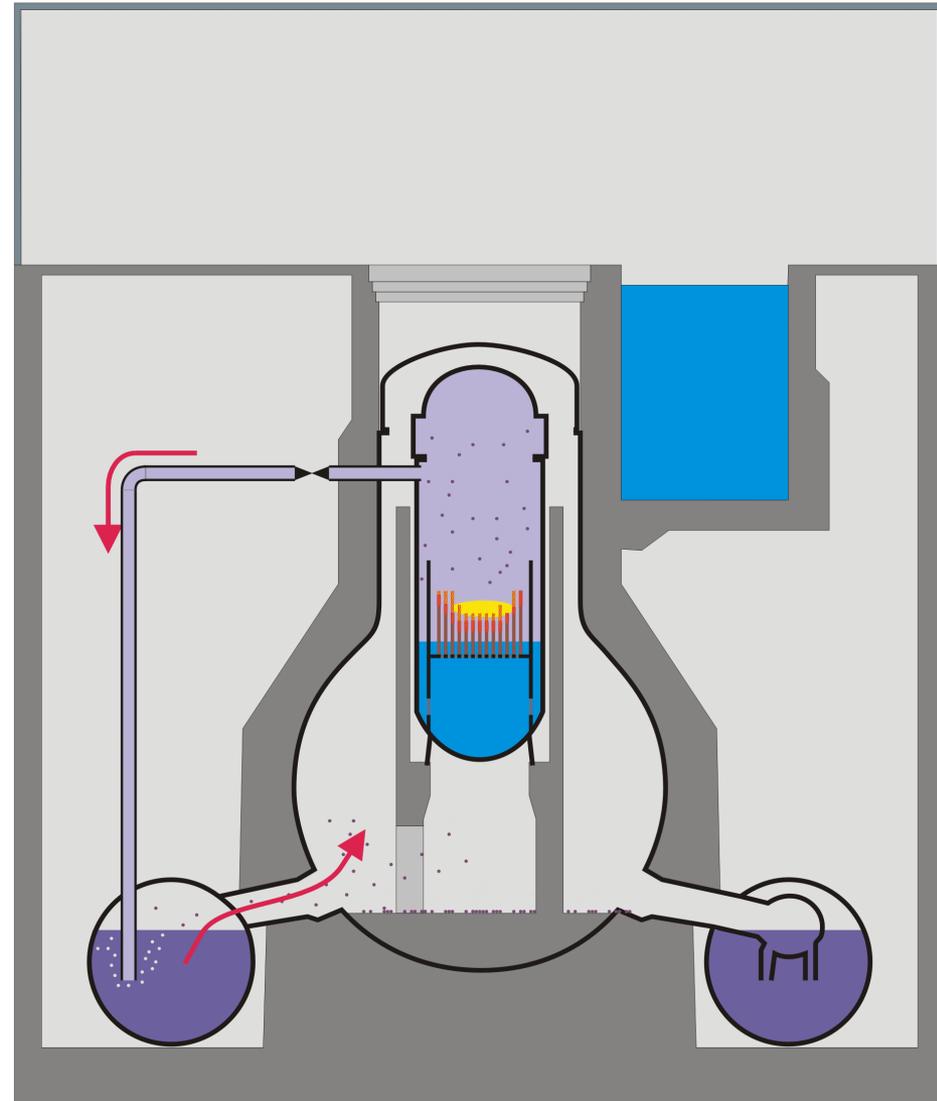
# Estimación de la liberación de PF

- ▶ Liberación de PF durante la fusión
  - ◆ Xenón, Cesio, Iodo,...
  - ◆ Uranio/Plutonio permanecieron en el núcleo
  - ◆ Ciertos PF fueron liberados como aerosoles
- ▶ Descarga de aerosoles al agua de la cámara de condensación
  - ◆ Una fracción de aerosoles quedaron retenidos en el agua
- ▶ Xenón y aerosoles liberados pasaron al contenedor seco
  - ◆ La deposición de aerosoles en superficies disminuye su contenido en el aire



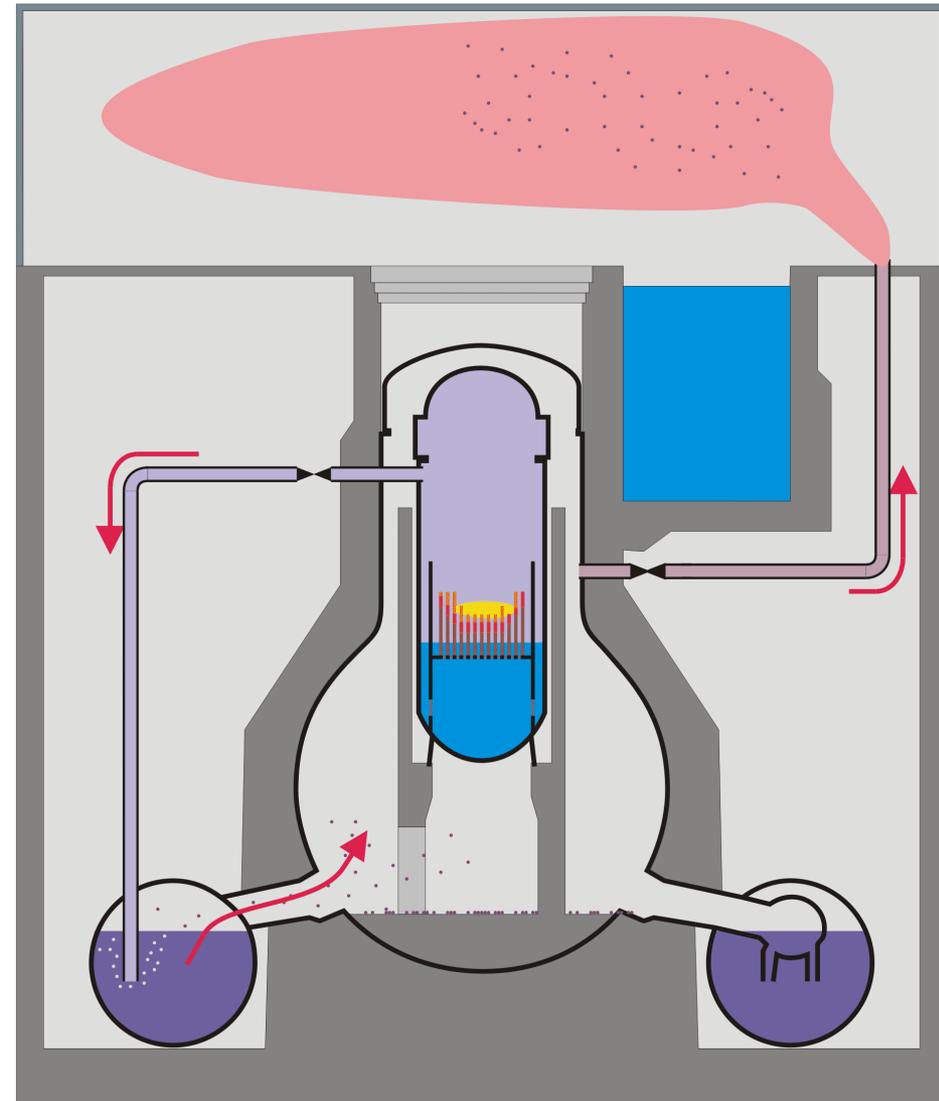
# Situación en las Contenciones

- ▶ Su función
  - ◆ Última barrera entre los PF y el medio ambiente.
  - ◆ Espesor de pared ~3cm
  - ◆ Presión de diseño 4-5bar
  
- ▶ Presión alcanzada ~ 8 bars, debido a:
  - ◆ Gas de inertización (Nitrógeno)
  - ◆ Hidrógeno de la oxidación
  - ◆ Cámara de condensación en ebullición (olla a presión)
  
- ▶ Despresurización de la contención
  - ◆ Unidad 1: **12.3** 04:00
  - ◆ Unidad 2: **13.3** 00:00
  - ◆ Unidad 3: **13.3** 08.41



# Situación en las Contenciones

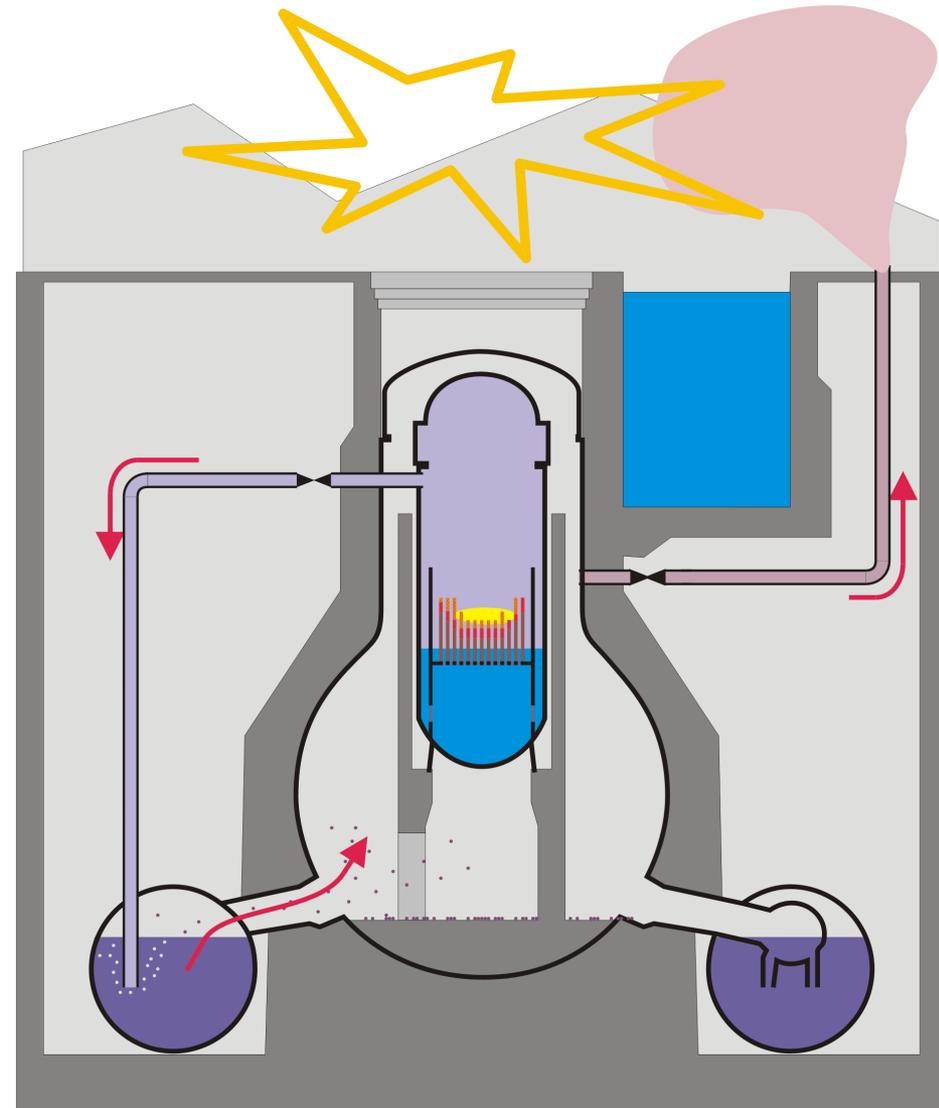
- ▶ Aspectos positivos y negativos de despresurizar la contención
  - ↑ Remover energía del edificio del reactor (único camino disponible) preservando la integridad
  - ↑ Reducir la presión a ~4 bar
  - ↓ Liberación de pequeñas cantidades de aerosoles (Iodo, Cesio ~0.1%)
  - ↓ Liberación de los gases nobles
  - ↓ Liberación de Hidrógeno
- ▶ Los gases son liberados al piso de servicios del reactor
  - ↓ El Hidrógeno es inflamable



# Situación en las Contenciones

## ► Unidades 1 y 3

- ◆ El hidrógeno deflagró dentro del piso de servicios del reactor,
- ◆ Destrucción de la cubierta con estructura de acero,
- ◆ Los edificios de H°A° del reactor parecen en buen estado,
- ◆ Espectacular, pero poco relevante para la seguridad

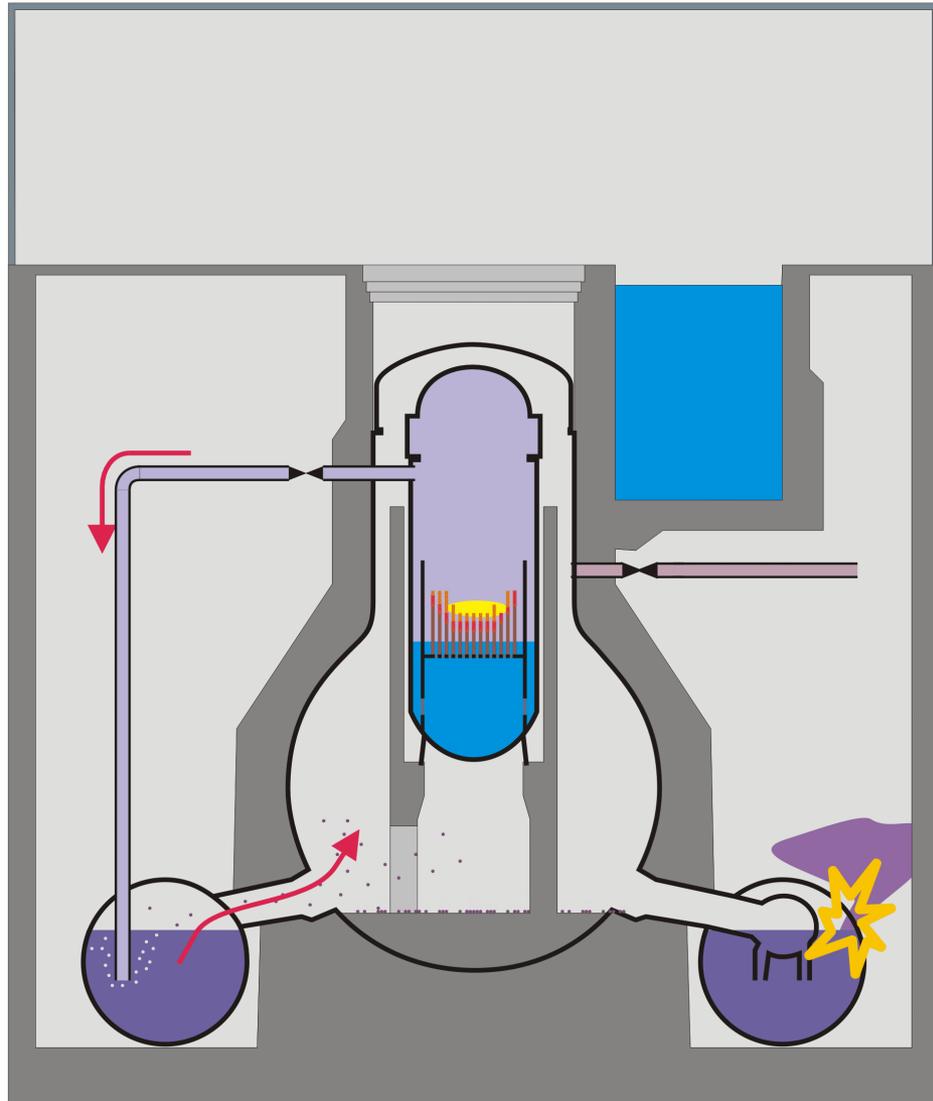


# Situación en las Contenciones

## ► Unidad 2

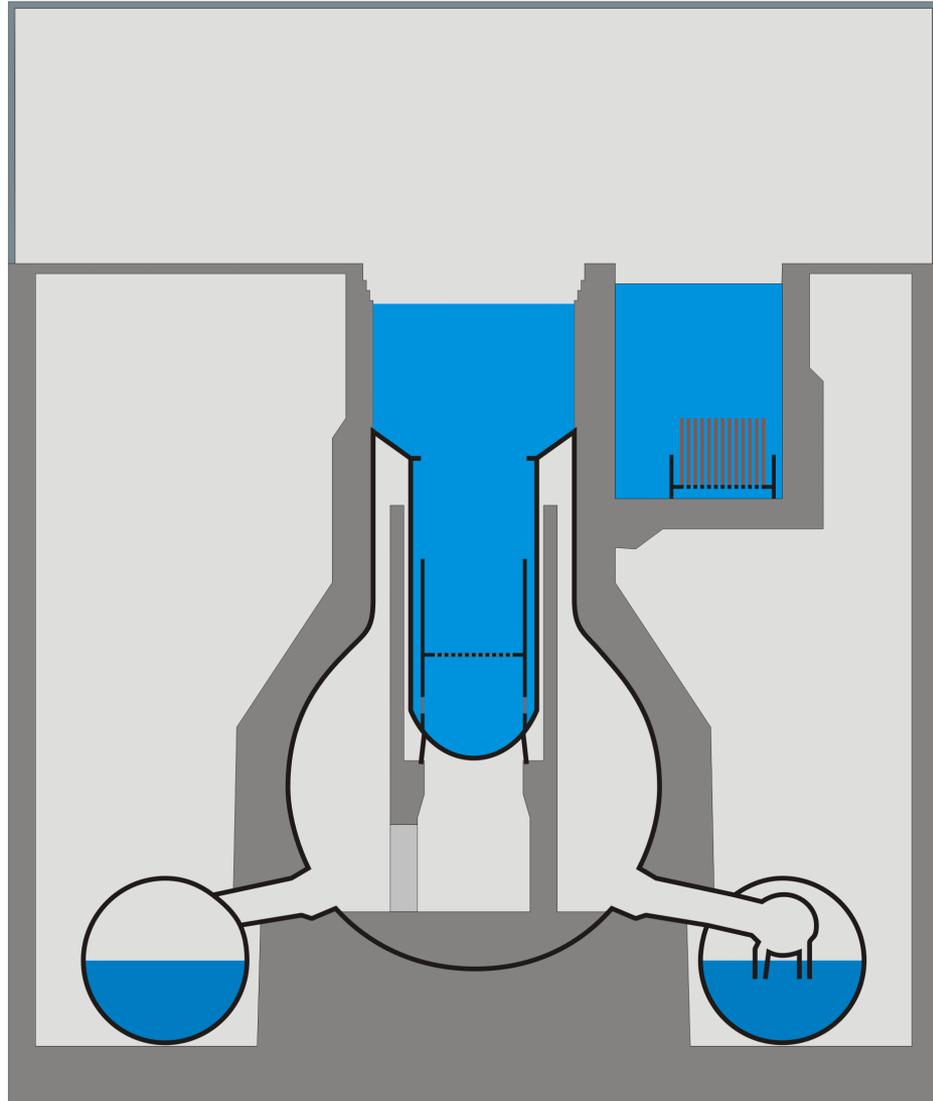
- ◆ El hidrógeno deflagró dentro del edificio del reactor
- ◆ Probable daño a la cámara de condensación (agua altamente contaminada)
- ◆ Liberación incontrolada de gases desde la Contención
- ◆ Liberación de productos de fisión
- ◆ Evacuación temporal del sitio
- ◆ Las altas tasas locales de dosis en el sitio debido a escombros dificultaron aún más el trabajo de recuperación local

\* Información poco clara de porqué la unidad 2 tuvo un comportamiento diferente



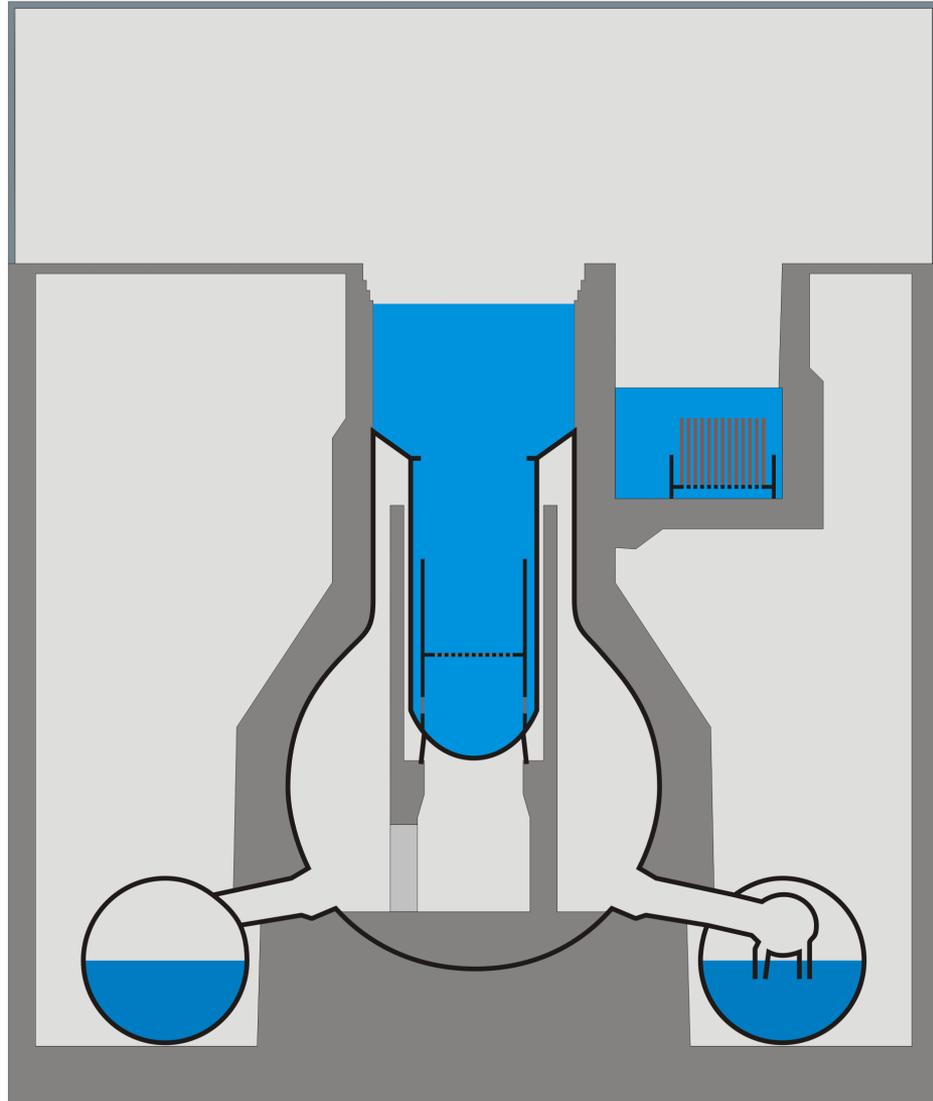
# Situación en las piletas de EE.CC.

- ▶ Los EE.CC. quemados son almacenados en pileta en piso de servicio
  - ◆ Unidad 4: Núcleo completo almacenado en pileta por mantenimiento
- ▶ Secado de las piletas
  - ◆ Unidad 4: en 10 días
  - ◆ Unidad 1-3,5,6 en pocas semanas
- ▶ Pérdidas en las piletas a causa del sismo ?
- ▶ Consecuencias
  - ◆ EE.CC. fundidos al aire
  - ◆ Muy poca retención de productos de fisión
  - ◆ Gran liberación de MR.



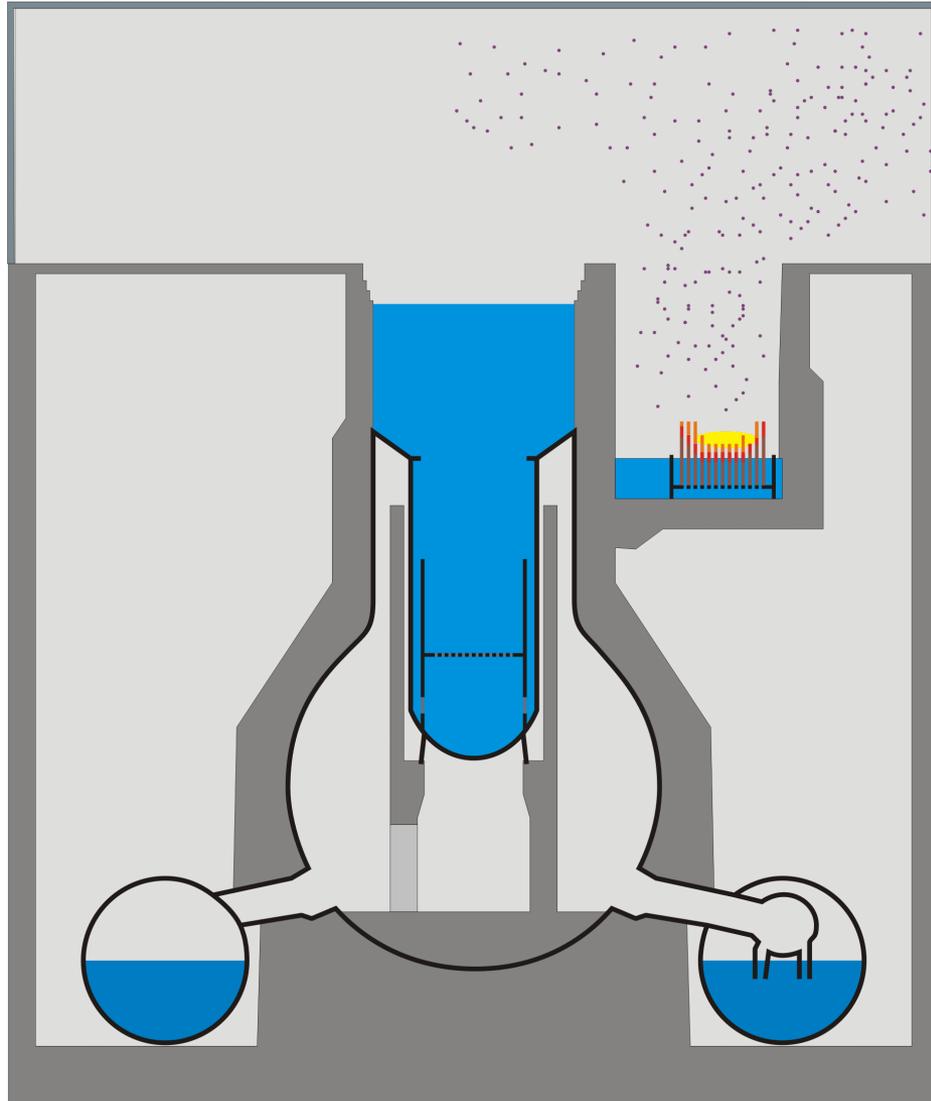
# Situación en las piletas de EE.CC.

- ▶ EE.CC. quemados son almacenados en pileta en piso de servicio
  - ◆ Unidad 4: Núcleo completo almacenado en pileta por mantenimiento
- ▶ Secado de las piletas
  - ◆ Unidad 4: en 10 días
  - ◆ Unidad 1-3,5,6 en pocas semanas
- ▶ Pérdidas en las piletas a causa del sismo ?
- ▶ Consecuencias
  - ◆ EE.CC. fundidos al aire
  - ◆ Muy poca retención de productos de fisión
  - ◆ Gran liberación de MR.



# Situación en las piletas de EE.CC.

- ▶ EE.CC. quemados almacenados en pileta en piso de servicio
  - ◆ Unidad 4: Núcleo completo almacenado en pileta por mantenimiento
- ▶ Secado de las piletas
  - ◆ Unidad 4: en 10 días
  - ◆ Unidad 1-3,5,6 en pocas semanas
- ▶ Pérdidas en las piletas a causa del sismo ?
- ▶ Consecuencias
  - ◆ EE.CC. fundidos al aire
  - ◆ Muy poca retención de productos de fisión
  - ◆ Gran liberación de MR.





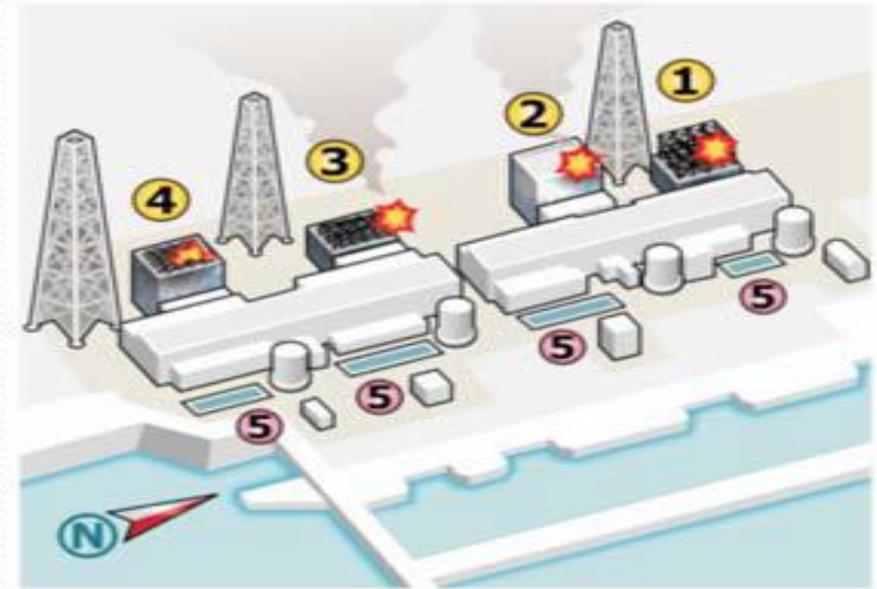
# **4. EL ESTADO FINAL**

# Estado final

## Unidades 1, 2 y 3.

La pérdida de la evacuación del calor residual, produjo:

- severos daños en el núcleo de tres reactores,
- la pérdida de integridad de la contención, y
- emisiones radiactivas significativas el medio ambiente.
- Daños en los edificios debido a varias deflagraciones
- Recipientes de Presión inundados en todos los reactores mediante bombas móviles
- Contención inundada al menos en Unidad 1



## Unidad 4.

- La parte superior de edificio fue destruida por una explosión de hidrógeno,
- la estructura de la piscina de combustible gastado sufrió severos daños mecánicos.

# Radioactividad en el sitio

- Antes de la explosión en la Unidad 2:
  - Menor a 2 mSv/h
  - Principalmente debido a liberación de gases nobles radioactivos
- Después de la explosión en la Unidad 2 (Daño a la Contención):
  - Valores medios de 12 mSv/h
  - Valores pico localizados hasta 400 mSv/h (escombros / fragmentos?)
  - Valores mayores dentro de la Contención
- Restricción: tiempo limitado de exposición de los trabajadores

# Factores que dificultaron los trabajos en los edificios

- Por la falta de energía, los trabajos debieron realizarse en obscuridad absoluta,
- Para los instrumentos debieron instalarse fuentes temporarias de energía.

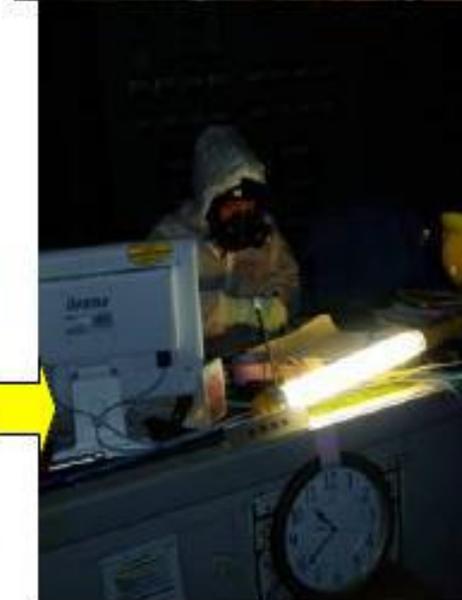


Trabajos en la  
obscuridad  
absoluta

Baterías  
improvisadas  
para suministro  
a instrumentos



Condiciones de  
trabajo  
extremadamente  
precarias



# Factores que dificultaron los trabajos en exteriores

- Hubo numerosas réplicas, y los trabajos se realizaron en condiciones extremadamente adversas, con pozos descubiertos, rajaduras y depresiones en el terreno.
- Numerosos obstáculos bloquearon las rutas de acceso.



Depresiones en el camino

Obstáculos en las rutas de acceso



Scrap material of shutter after destruction

Accesos y tendido de redes para establecer fuentes de energía temporarias



# Conclusiones

- Aunque parece que el gran terremoto del Este de Japón superó el terremoto base de diseño en todas las unidades de la planta de F, **las plantas en operación fueron apagadas automáticamente y todas las unidades se comportaron de manera segura, durante e inmediatamente después del terremoto.**
- Las tres funciones fundamentales de seguridad, (a) **control de la reactividad**, (b) **eliminación del calor desde el núcleo** y (c) **el confinamiento de materiales radiactivos** estuvieron disponibles hasta que el tsunami alcanzó los sitios.

# Conclusiones

- Es muy difícil separar en este escenario los daños del terremoto de los demás, es decir tsunami con inundación prolongada, explosiones y posibles fallos relacionados con la refrigeración con agua de mar (por ejemplo, a las piscinas de combustible gastado desde los helicópteros).
- Como no hubo suficiente tiempo para una recorrida de revisión en 45 minutos (antes de que llegara el tsunami), no es posible descartar por lo menos algunos daños a causa del terremoto. Sin embargo, el realizado en las otras centrales confirmó el buen desempeño y respuesta de las plantas ante el mismo.



**5. El accidente puso  
en evidencia  
varias deficiencias**

# Deficiencia 1

- Subestimación del potencial de eventos externos, en particular:
  - Localización del reactor junto al nivel del mar en un área sujeta a tsunamis, **Situación prevista**
  - Vulnerabilidad de la alimentación eléctrica, y
  - Falta de planes adecuados para la gestión de accidentes severos.

## IAEA SAFETY STANDARDS SERIES

Site Evaluation for  
Nuclear Installations

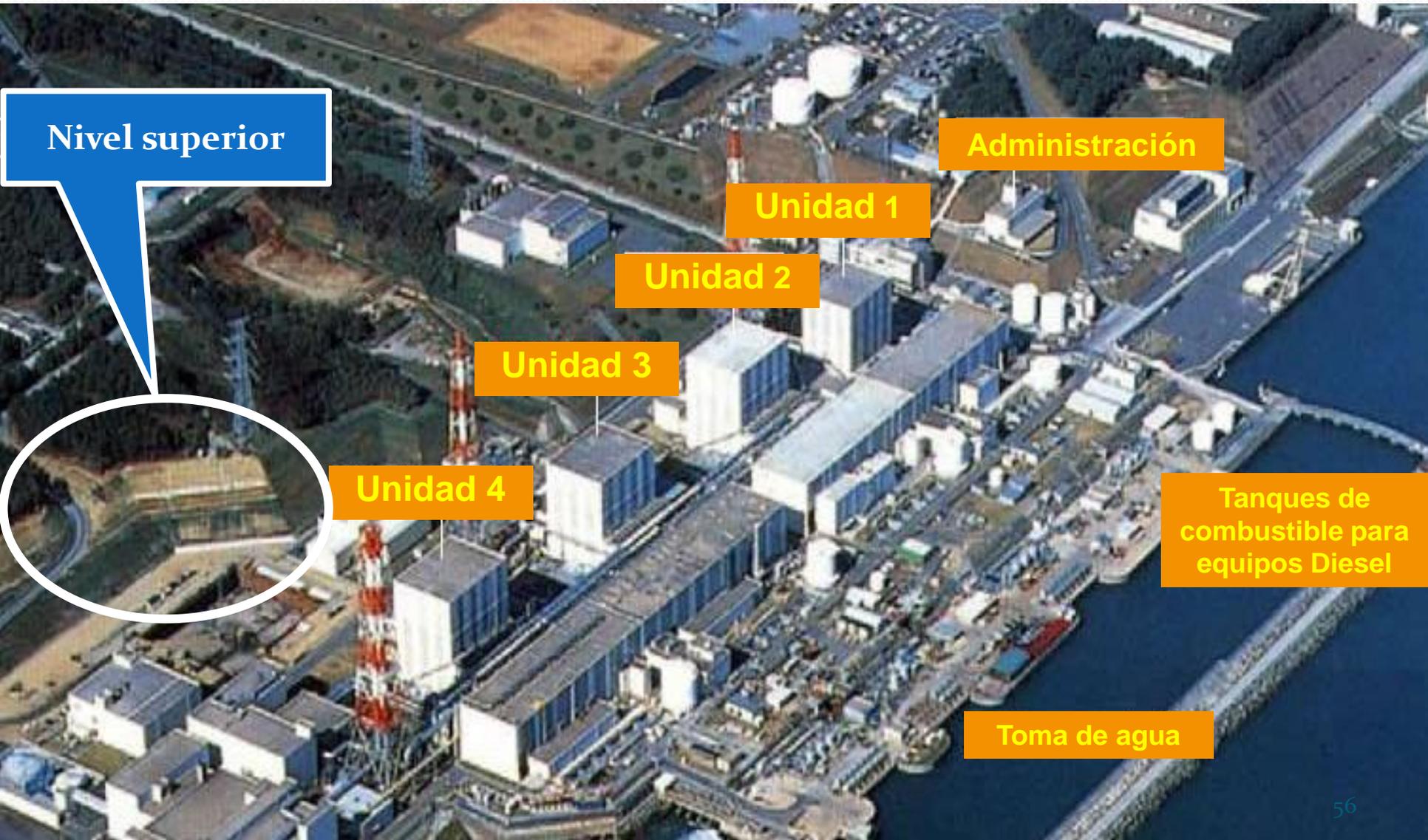
## SAFETY REQUIREMENTS

No. NS-R-3



**IAEA**  
International Atomic Energy Agency

# Emplazamiento inadecuado ?...



Nivel superior

Administración

Unidad 1

Unidad 2

Unidad 3

Unidad 4

Tanques de combustible para equipos Diesel

Toma de agua

# Emplazamiento inadecuado ?...



Los generadores Diesel de emergencia ubicados a mayor altura y refrigerados por aire permitieron la refrigeración de emergencia en las unidades 5 y 6

# Deficiencia 2

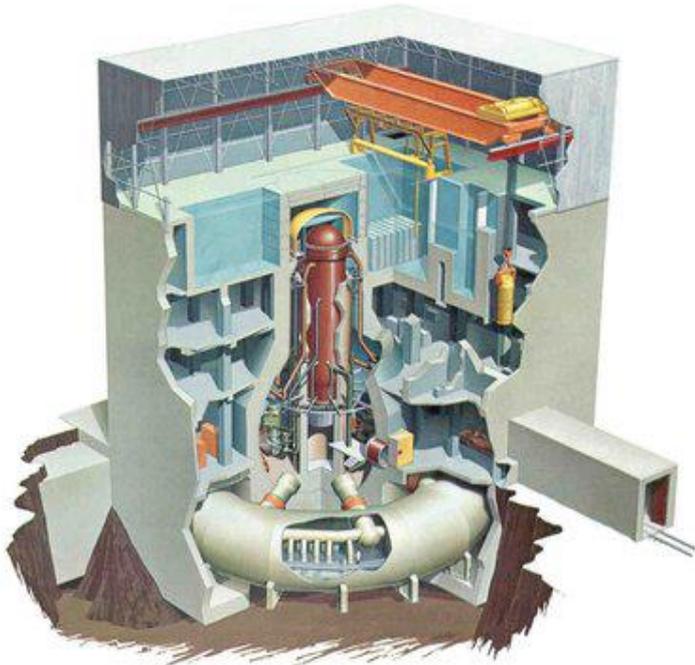
Previsiones de diseño insuficientes para disponer de energía ante situaciones de emergencia para:

- Asegurar un suministro de energía confiable al sistema de remoción de calor del núcleo en emergencias,
- Habitabilidad de la sala de control,
- Iluminación y comunicaciones,
- Instrumentación del núcleo.



# Deficiencia 3

- Contención y equipamiento de mitigación insuficientes para prevenir la liberación de cantidades substanciales de material radiactivo al ambiente.

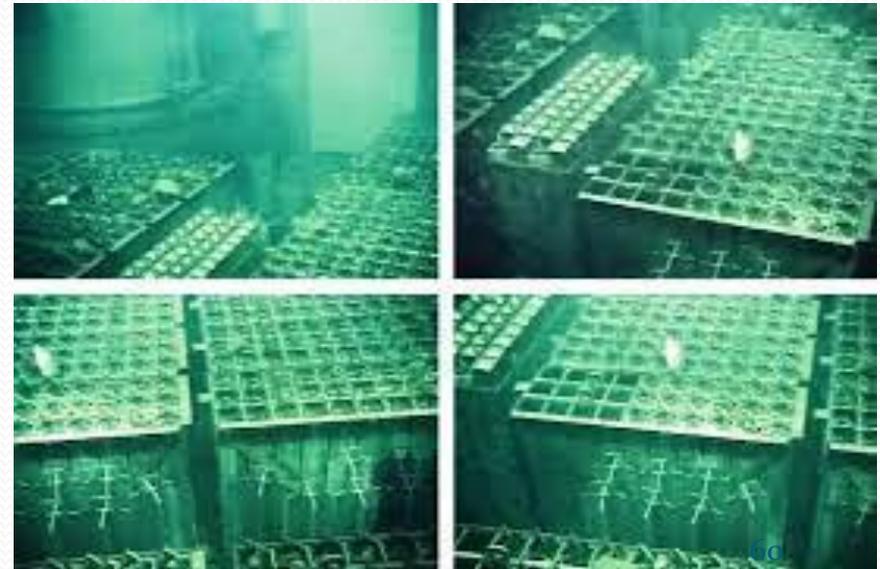
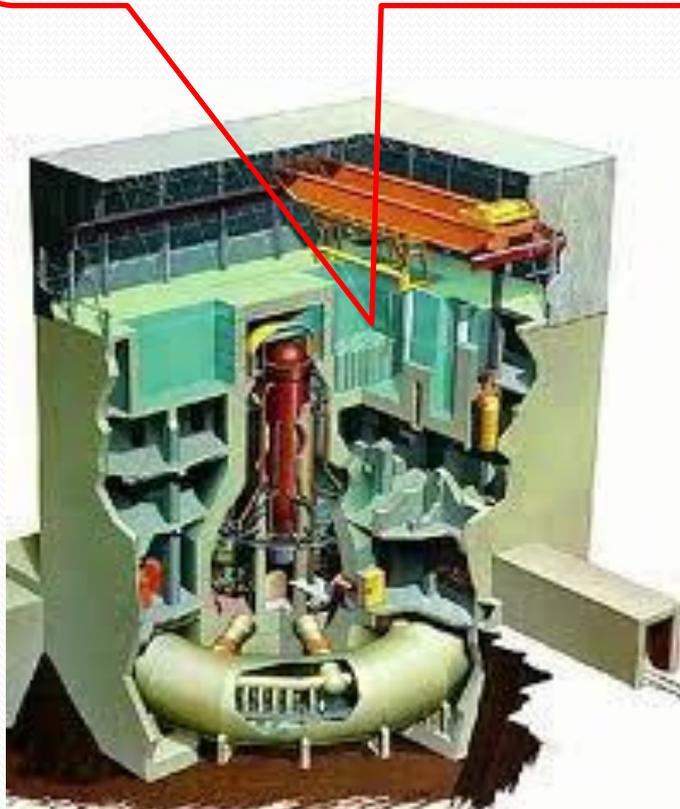


- Mejores acciones en la gestión accidental hubieran podido mejorar la función del confinamiento.



# Deficiencia 4

El almacenamiento de combustible quemado en altura y la falta de medios alternativos dificultaron la refrigeración, agravado para combustibles de alto quemado y uranio enriquecido



# Deficiencia 5

Escasa Planificación y Preparación para enfrentar:

- Manejo de situaciones accidentales múltiples,
- Situaciones accidentales prolongadas,
- Respuesta pronta ante emergencias,
- Y además..

**Ausencia de un comando técnico unificado**

# Deficiencia 6

- El **sistema regulatorio no era lo suficientemente fuerte** como para hacer cumplir las mejoras necesarias en el diseño de las plantas y su protección frente a los riesgos externos, y
- La **comunicación entre el regulador y el operador no se producía** en el marco de un diálogo constructivo para promover la mejora de la seguridad.

# National Diet of Japan

## Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission



- **Un desastre provocado por el hombre:** El accidente fue el resultado de fallas en las responsabilidades del gobierno, los reguladores y TEPCO, y la falta de gobernabilidad por dichas partes. ... el accidente fue claramente potenciado por el hombre, y las causas fundamentales fueron los sistemas de organización y reglamentarios, mas que cuestiones relativas a la competencia de cualquier individuo específico.
- **Problemas Operativos:** Hubiese sido posible una mayor eficacia en la respuesta del accidente por parte de TEPCO de haber habido un mayor nivel de conocimientos, formación y equipos relacionados a los accidentes severos, y si hubiesen habido instrucciones específicas, dadas en los tiempos apropiados.
- **Respuesta en Emergencias:** La situación se deterioró en demasía debido a que el sistema de gestión de crisis del gobierno, los reguladores y otros organismos responsables no funcionaron correctamente. Los límites que definían las funciones y responsabilidades de las partes eran ambiguos...
- **Evacuación:** La confusión reinante durante la evacuación se debió al fracaso de los reguladores para poner en práctica las medidas adecuadas en caso de accidente, y la falta de acción de los gobiernos en la gestión de la crisis.
- **El Regulador:** La seguridad de la energía nuclear en Japón no puede asegurarse a menos que los reguladores pasen por un proceso de transformación esencial, no como una formalidad, sino de manera sustancial,.. deshaciéndose de la actitud insular de ignorar normas de seguridad internacionales.
- **El Operador:** TEPCO no cumplió con sus responsabilidades como empresa privada, se favoreció con la burocracia del gobierno que conduce la política nuclear, y al mismo tiempo manipuló la íntima relación con los reguladores para favorecerse en el control del cumplimiento de los reglamentos.
- **Evitar Soluciones Cosméticas:** La sustitución de las personas o el cambiar los nombres de las instituciones no va a resolver los problemas. A menos que se resuelvan las causas de fondo, la prevención contra futuros accidentes similares nunca será completa.



# **6. La respuesta internacional**

# Respuesta de los países:

- El accidente ocurrió en coincidencia con la Convención de Seguridad Nuclear,
- Diversos países se pronunciaron inmediatamente, sin conocer cabalmente la situación, y
- Algunos países tomaron decisiones en función de sus intereses coyunturales.

# Respuesta del OIEA

Convocó a una **Conferencia Ministerial** sobre Seguridad Nuclear, que tuvo lugar en Viena, 20 al 24 junio de 2011.



- La Conferencia requirió al Director General el desarrollo de un “**Plan de Acción** sobre Seguridad Nuclear”.
- En septiembre de 2011 la junta de Gobernadores del OIEA adoptó el Plan de Acción propuesto, que luego fue refrendado por la Conferencia General.
- El objetivo general declarado fue: “**reforzar la seguridad nuclear en todo el mundo**” [sic].....
- **en lugar de priorizar la identificación de las deficiencias específicas y corregirlas...**

# El Plan de Acción del OIEA

1. Evaluar las **vulnerabilidades en seguridad nuclear** de las centrales a la luz de las lecciones aprendidas;
2. Fortalecer la **preparación y respuesta ante emergencias**;
3. Asegurar la **protección de las personas y el medio ambiente** de las radiaciones ionizantes a raíz de una **emergencia nuclear**;
4. Reforzar la **eficacia de las organizaciones operadoras** respecto de la seguridad nuclear;
5. Fortalecer la **eficacia de los organismos reguladores nacionales**;
6. Fortalecer las **revisiones por pares del OIEA** para maximizar los beneficios para los Estados Miembros;
7. Revisar y fortalecer las **normas de seguridad del OIEA** y mejorar su aplicación;
8. Mejorar la eficacia del **marco jurídico internacional**: la Convención sobre Seguridad Nuclear; la Convención conjunta; la Convención sobre la pronta notificación y la Convención sobre asistencia;
9. Facilitar el **desarrollo de la infraestructura** necesaria para los Estados miembros se embarcan en un programa de energía nuclear;
10. Fortalecer y mantener la creación de **capacidades, la educación y la formación** (en operación segura, la preparación y respuesta ante emergencias y la eficacia regulatoria);
11. Aumentar la **transparencia y eficacia de la comunicación** y mejorar la difusión de información entre operadores, reguladores y las organizaciones internacionales, y
12. Utilizar eficazmente la **investigación y el desarrollo**.

# Donde poner la atención ?

- Hay desconexión entre el Plan de Acción y la concentración de los esfuerzos en la identificación precisa y la corrección de las deficiencias que causaron el accidente.
- ¿Por qué desviar la atención sobre cuestiones de seguridad nuclear genéricas en lugar de concentrar los esfuerzos en las lecciones aprendidas de Fukushima Daiichi?

# El foco del Plan de Acción

El **foco del PA** no está puesto en cuestiones evidentes:

- Mas **importante** que revisar las normas es **cumplirlas** (por ejemplo teniendo en cuenta la definición del Tsunami base de diseño).
- El aumento de **revisiones de pares del OIEA** no necesariamente ayudan a resolver el problema.
- Porqué?
  - No hay **estándares** para la revisión con **criterios cuantitativos**. El resultado depende fuertemente del perfil de los especialistas, de preconceptos, y de la subjetividad de la revisión;
  - De hecho, en Japón hubo una **misión previa a Fukushima** cuyo informe fue satisfactorio para Japón, y no dejó entrever los problemas surgidos en el accidente;
  - Sobrecarga por atención a las misiones de expertos.



# **7. Actividades de la ARN como consecuencia de Fukushima**

# Actividades Internacionales

- FORO Iberoamericano de Reguladores Radiológicos y Nucleares. (Evaluación de Resistencia de las CC.NN. de los países miembros).



- OIEA. (Defensa de la posición Argentina).



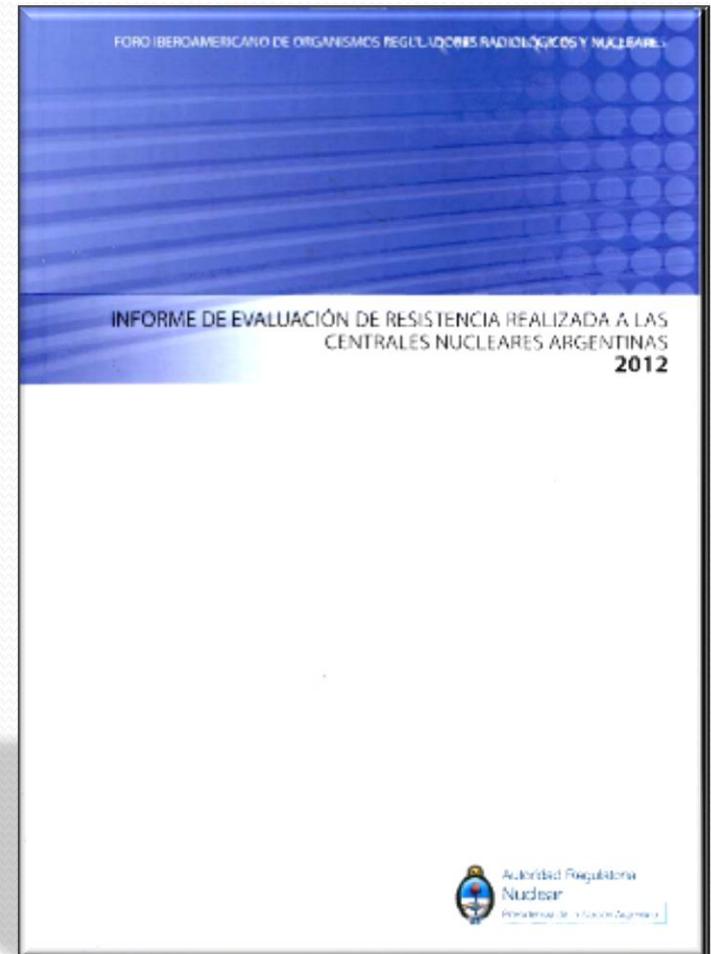
- Grupo de Reguladores CANDU.

# Actividades en el país

- Evaluación de resistencia de las centrales nucleares argentinas (FORO).



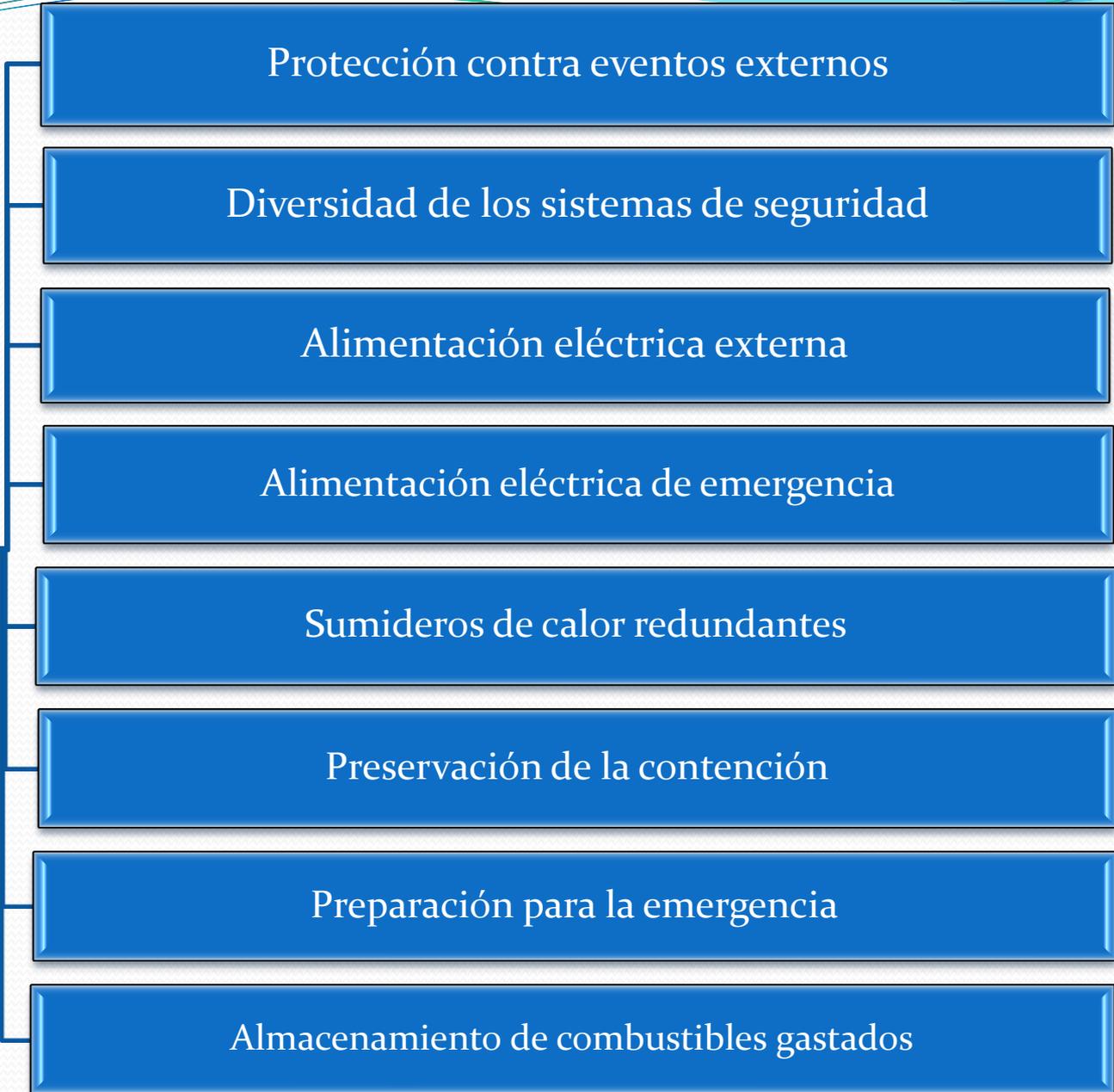
- Plan de implementación de mejoras 2012 - 2015.





# **8. Principales áreas de mejoras**

Principales áreas de mejora



# Protección contra riesgos externos

## Es necesario:

- Un análisis sistemático de **riesgos externos** durante la **selección del sitio**.
- Considerar todo riesgo externo si:
  - supone un **riesgo para la seguridad nuclear** en ese sitio, y
  - su **frecuencia de ocurrencia** es mayor que el establecido en un **criterio preestablecido**.
- Las Revisiones Periódicas de Seguridad requieren la **repetición de los análisis si cambiaron las condiciones ambientales o mejoraron los conocimientos científicos** para su tratamiento.
- La protección contra riesgos previstos deben **evitar los efectos “cliff edge”** que podrían amenazar funciones de seguridad.

# Diversidad de los sistemas de seguridad

Es fundamental:

- La **máxima flexibilidad** en los sistemas que se pueden utilizar para **hacer frente a los accidentes severos**,
- Que **dos de las tres funciones fundamentales de seguridad**:
  - Control de la reactividad, y
  - Eliminación de calor residual
- Que sean provistas por al menos dos sistemas de seguridad diferentes o disposiciones equivalentes.
- Que los sistemas de seguridad diferentes para la eliminación de calor residual cuenten con **más de un sumidero final de calor**.

# Suministro eléctrico externo

## Mejoras:

- La **interconexión** directa entre centrales próximas (nucleares o de otro tipo).
- Disponibilidad de **equipos móviles** para llevar a cabo las funciones fundamentales de seguridad, y
- Los cables subterráneos o en el mar pueden proporcionar una mejora significativa a la confiabilidad de la alimentación eléctrica externa.

# Suministro de corriente continua

- La pérdida de I&C durante Fukushima se debió a la pérdida de las baterías por inundación o agotamiento, y agravó seriamente la posibilidad de manejar la situación accidental.
- La pérdida de CC también impidió la operación de válvulas necesarias para la gestión del accidente.

## Mejoras:

- Garantizar la disponibilidad de CC para la instrumentación nuclear.
- Garantizar la disponibilidad de CC para los sistemas que brindan condiciones de trabajo aceptables para los operadores:
  - **Alimentación** para las comunicaciones,
  - **Iluminación** en los lugares de trabajo, vías de tránsito y evacuación,
  - **Filtrado del aire** de entrada de la SCP, SCS y de los puntos de control de emergencia.

# Sumidero final de calor redundante

- El sumidero final de calor es a menudo un sistema y también una parte del medio ambiente.
- Por lo general incluye la toma de agua desde una fuente externa prácticamente ilimitada y un retorno a la misma.
- El sumidero de calor puede ser afectado en dos formas por las amenazas externas extremas, y ambas ocurrieron en Fukushima:
  - Los sistemas conectados al sumidero de calor (por ej., bombas) pueden deteriorarse,
  - la fuente de agua puede quedar inutilizable (barros, desechos, etc.)
- La protección del sistema puede no ser suficiente, porque los medios de protección no pueden impedir un cambio importante del propio medio ambiente.

## Mejoras:

- Sumidero de calor alternativo, (importante para la DEP).
  - agua de napa,
  - reservorio artificial,
  - la atmósfera

# Preservación de la Contención

- FUKUSHIMA puso de relieve una vez más la importancia de la contención como última barrera para proteger a las personas y el medio ambiente contra la emisión de materiales radiactivos derivados de un accidente nuclear.
- Los accidentes con fusión del núcleo que tienen un potencial de grandes liberaciones tempranas tienen que ser "prácticamente eliminados", (eliminados con muy alto grado de certeza).
- Estos accidentes que podrían comprometer la integridad de la contención al causar cargas muy grandes y difíciles de predecir, requieren **procedimientos específicos de gestión de accidentes** :

## Objetivo de diseño

- Las medidas de protección que se necesitan para el público deben ser limitadas en la zona y en el tiempo,
- Para lograrlo es necesario mantener la integridad de la contención y evitar cualquier posible by-pass en todo el curso de un accidente con daños graves al núcleo.

# ACCIDENTES CON FUSIÓN DEL NÚCLEO CON POTENCIAL DE GRANDES LIBERACIONES

## SALVAGUARDIAS DE INGENIERÍA

Fusión del núcleo a alta presión	<ul style="list-style-type: none"><li>• Válvulas diseñadas para rápido alivio en condiciones de accidente severo, distintas de las válvulas de alivio o seguridad del circuito primario.</li></ul>
Incremento gradual de presión en la contención	<ul style="list-style-type: none"><li>• Condensadores de vapor,</li><li>• Venteo filtrado de la Contención</li></ul>
Explosiones de Hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inertización de la Contención</li><li>• Ignitores de Hidrógeno</li><li>• Recombinadores Autocatalíticos Pasivos (PARs)</li></ul>
Penetración de los límites de la contención por núcleo fundido	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inundación temprana de la cavidad del reactor,</li><li>• Remoción del calor por refrigeración externa del RPR.</li><li>• “<u>Core Catcher</u>” donde el corium se mezcla con materiales especiales asegurándose la subcriticidad, y formando una capa sólida que aísla las estructuras de la cavidad del reactor del calentamiento directo.</li></ul>
Recriticidad durante el avance hacia la fusión del núcleo. (el combustible y las barras de control pueden perder su configuración original).	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uso de refrigerante borado.</li></ul>
Secuencias de by-pass a la contención.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Especificaciones y procedimientos de mantenimiento adecuados para <u>garantizar el cierre correcto de las válvulas y exclusas</u> (para el material y el personal) teniendo en cuenta la situación radiológica después de un daño grave del núcleo.</li></ul>

# Preparación para la emergencia

## Para mejorar las condiciones para la gestión de accidentes severos en el sitio:

- El sitio debe estar preparado para **enfrentar un** aislamiento externo de varios días.
- la organización de crisis y los equipos de rescate deben **poder operar con medios de comunicación limitados y con devastación del lugar y sus alrededores.**
- Debe asegurarse la **accesibilidad, funcionalidad y habitabilidad de la SCP, SCS, CCE** y la protección radiológica.
- Debe asegurarse la **accesibilidad y la protección** en los **sitios previstos** en el manual de **Procedimientos de Gestión de Accidentes** para realizar operaciones manuales.
- Los **equipos** para comunicaciones, mediciones de radiación, y condiciones meteorológicas deben estar **calificados** para condiciones accidentales extremas.

# Seguridad en el almacenamiento del combustible gastado

Es necesario garantizar:

- La subcriticidad del combustible.
- La integridad de las piscinas en todas las condiciones de riesgo previsibles,
- El inventario de agua suficiente provistos por medios alternativos al principal.

*Gracias por su atención...*

Autoridad Regulatoria Nuclear

Av. del Libertador 8250 (C1429BNP)  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, ARGENTINA  
Tel.: +54 011 6323-1770  
Fax: +54 011 6323-1771/1798

[http:// www.arn.gob.ar](http://www.arn.gob.ar)  
Mail: [info@arn.gob.ar](mailto:info@arn.gob.ar)

Ing. Rubén Navarro  
Gerente de Licenciamiento y Control de Reactores  
Nucleares  
Mail: [rnavarro@arn.gob.ar](mailto:rnavarro@arn.gob.ar)