

# PANEL 1.- “TENDENCIAS REGULATORIAS PARA EL EMPLAZAMIENTO Y DISEÑO DE INSTALACIONES NUCLEARES DESPUÉS DE FUKUSHIMA DAIICHI”

---

ING. RUBÉN NAVARRO  
AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR  
REPÚBLICA ARGENTINA



SIMPOSIO SOBRE EMPLAZAMIENTO DE NUEVAS  
CENTRALES NUCLEARES Y DE LAS INSTALACIONES  
DE COMBUSTIBLES IRRADIADOS

Buenos Aires, Argentina

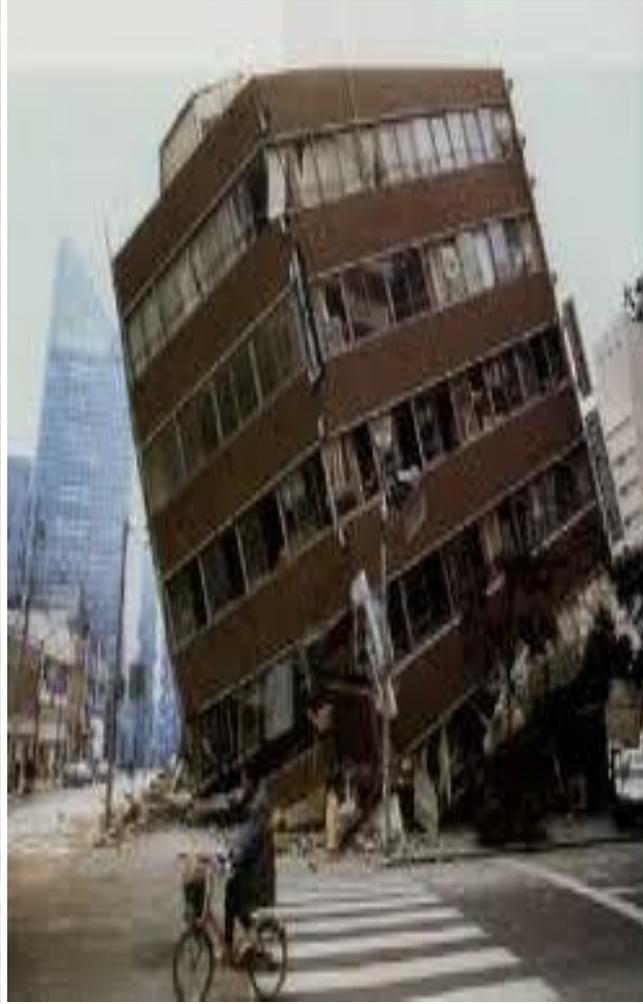
24 – 27, junio 2013

# Temario

1. Breve descripción del accidente
2. Sus consecuencias en la planta
3. Observaciones generales
4. Deficiencias observadas
5. Respuesta internacional
6. Áreas de mejora en el emplazamiento y diseño de instalaciones nucleares

# 1.- Breve resumen del accidente

Una planta de energía nuclear de diseño antiguo fue impactada por un **terremoto catastrófico** que devastó ciudades enteras.



Luego un gran **Tsunami** de 14 metros inundó el área, y produjo enormes daños en la instalación .



La inundación superó los 4 metros en los edificios del reactor y la turbina.



## Cayeron las redes de distribución energía eléctrica







Alimentación eléctrica externa

**Nota:**

- Las unidades en operación pararon automáticamente cuando ocurrió el sismo.
- Los GD de emergencia actuaron correctamente hasta el ataque del Tsunami

①

**Pérdida de Alim Eléctrica Externa debido al sismo**

**Tsunami (estimado mas de 14m)**



## 2.- Consecuencias en la planta

- 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 al medio ambiente.
- Además, la parte superior de edificio del reactor de la cuarta unidad fue destruida por una explosión de hidrógeno, y la estructura de la piscina de combustible gastado sufrió severos daños mecánicos.



## 3.- Observaciones Generales

- En los comienzos, la seguridad estaba focalizada en los **Accidentes Base de Diseño**.
- El concepto de **Defensa en Profundidad**, y las **hipótesis de diseño muy conservativas** ayudaron a disponer de **diseños robustos**, con márgenes de seguridad considerables.
- Con el tiempo el uso del **APS** y la **experiencia operativa** ayudaron a aumentar la atención sobre los desafíos que van **mas allá de las bases de diseño**.

# TMI y Chernobyl

- Fueron iniciados por **eventos internos o errores humanos** que condujeron a **situaciones inusuales** que no se consideraron de antemano,
- Los **operadores** no estaban preparados para enfrentarlas por **falta de formación y de instrucciones adecuadas**,
- La **falta de acciones correctas del operador** y las **debilidades en el diseño** llevaron a accidentes graves, aunque todos los **sistemas de seguridad** necesarios para evitar un accidente estaban disponibles y funcionales.

# Fukushima vs. TMI y Chernobyl

- Fukushima se diferencia en que su causa directa fue un **Fenómeno Meteorológico Extremo** que produjo la indisponibilidad de:
  - los sistemas en todos los niveles de Defensa en Profundidad, y
  - gran parte de la infraestructura necesaria para la gestión de la situación accidental.
- Los FMEs (terremotos, inundaciones/sequías, incendios, etc.) pueden producir fallos de causa común de los sistemas que cumplen las funciones fundamentales de seguridad y dificultar la gestión de accidentes.
- Las lecciones están, pues, vinculadas principalmente con la **prevención** y la **mitigación** de un accidente de ese tipo.

# Fukushima: un accidente MABD en varios aspectos

- hubo varios **fallos de causa común** de equipos redundantes,
- estuvieron involucradas **varias unidades**,
- los operadores se quedaron casi **sin medios** para comprender lo que estaba sucediendo y **sin el control** de la situación,
- La **interferencia entre las unidades** (explosiones de hidrógeno) contribuyó mucho a la gravedad del accidente y a la cantidad total de emisiones radiactivas,
- El nivel de **devastación** y el **aislamiento** del lugar, la **escasez de información** y las **posibilidades restringidas** de las acciones **del operador** también surgen como factores adicionales.

**4.- 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

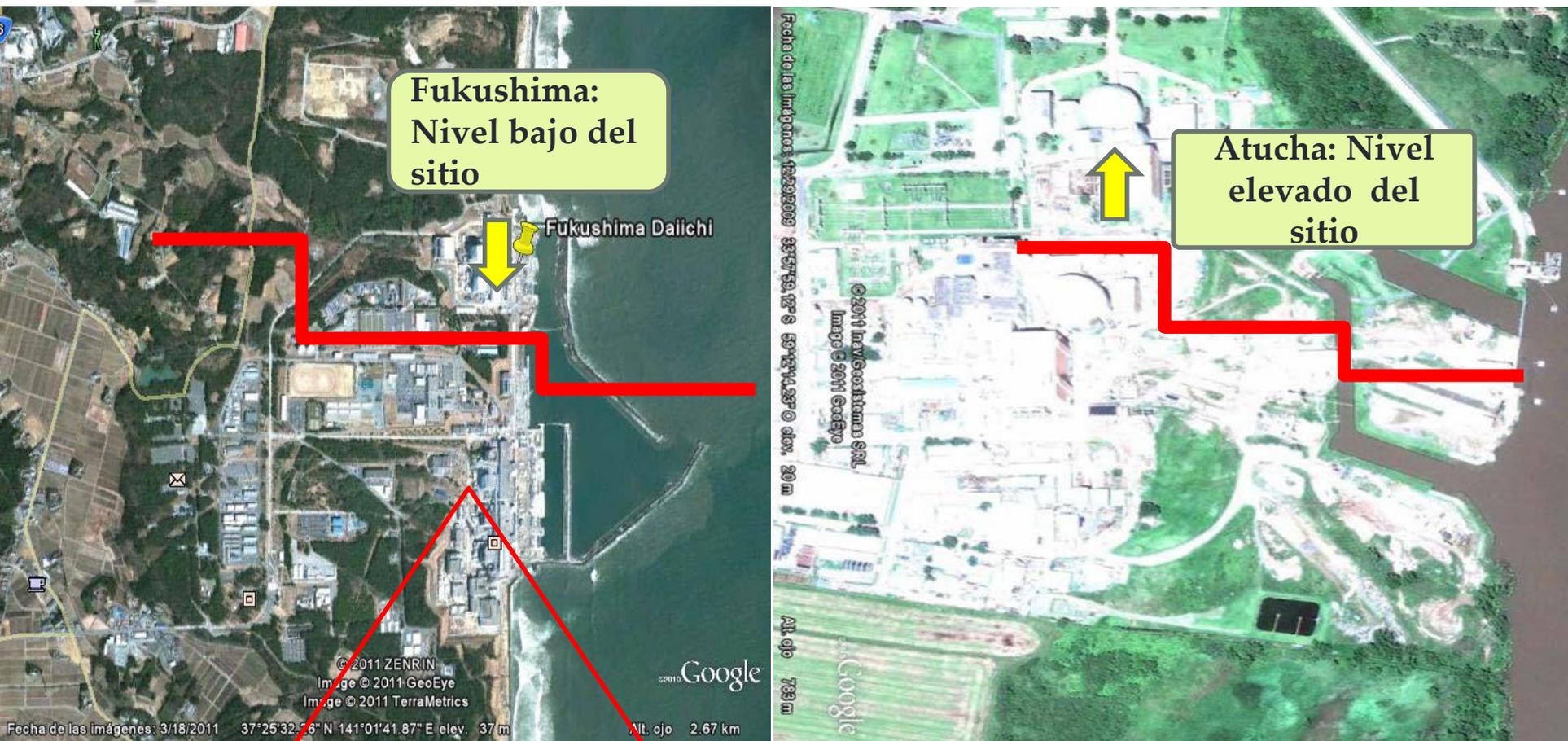
No. NS-R-3



**IAEA**

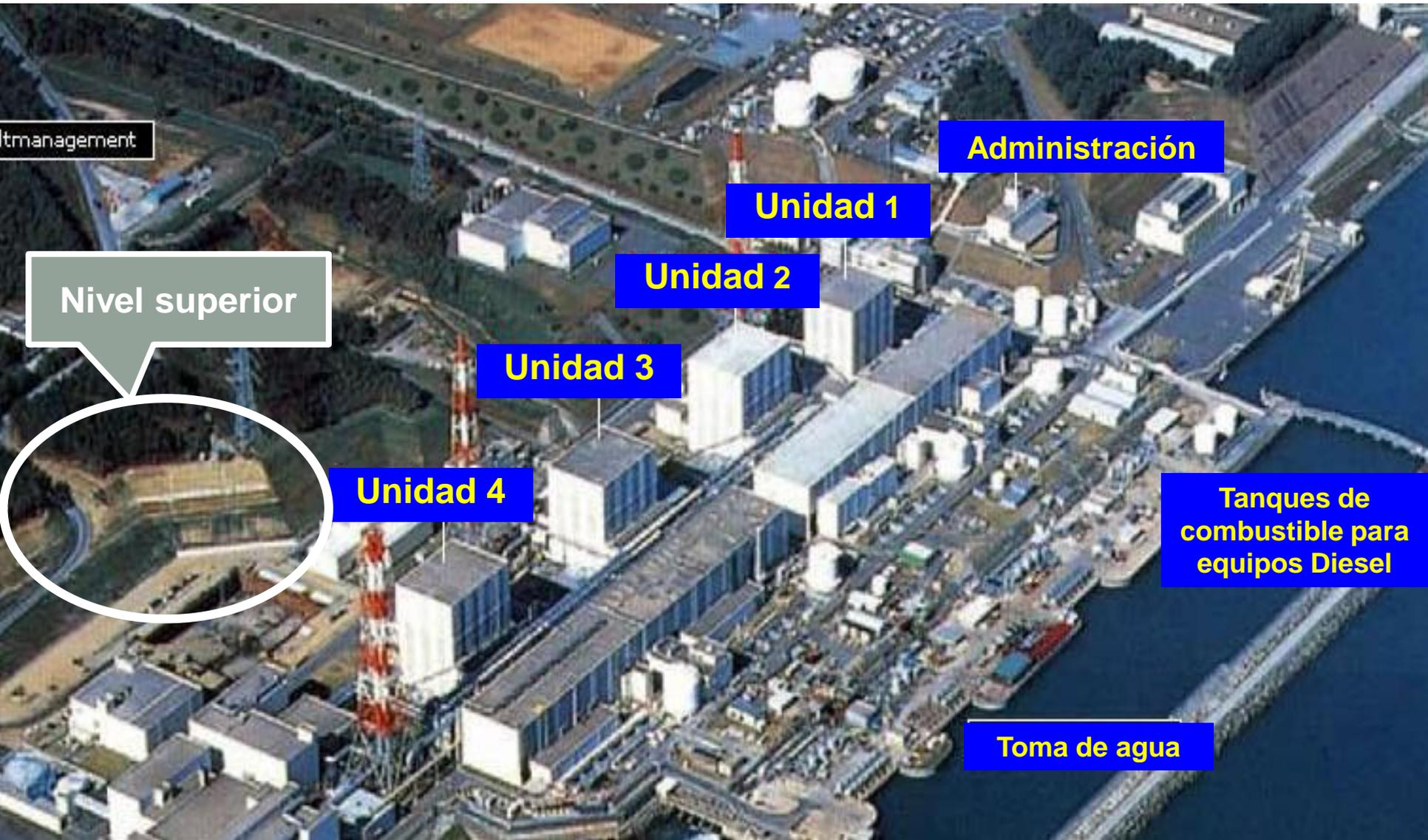
International Atomic Energy Agency

# Emplazamiento inadecuado ?...



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

# Emplazamiento inadecuado ?...



# Deficiencia 2

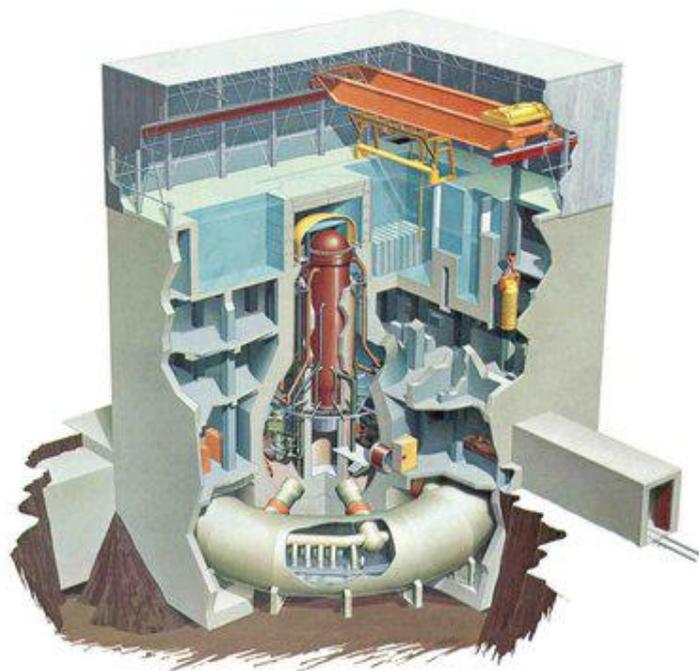
Previsiones de diseño insuficientes para disponer de energía ante situaciones de emergencia para:

- 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

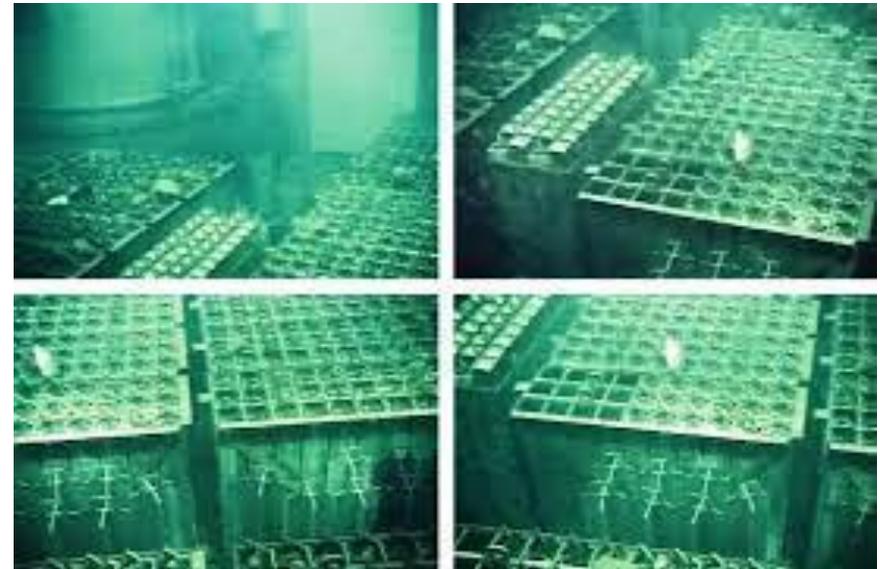
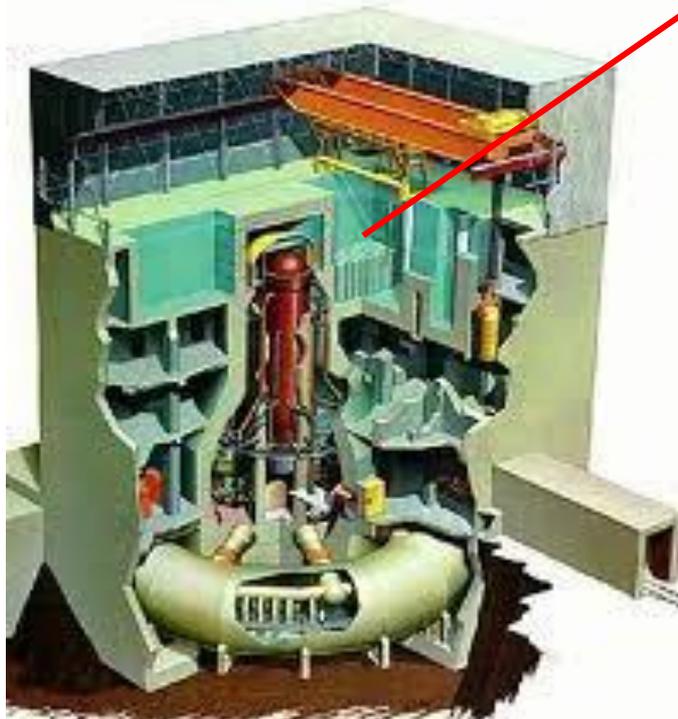
- Contención y equipamiento de mitigación inadecuados para prevenir la liberación de cantidades substanciales de material radiactivo al ambiente.



- Acciones correctas de 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.

## 5.- 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 ?

- Parece haber una **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?

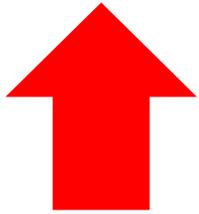
# El foco del Plan de Acción

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.

# Una gran lección...

- Fukushima es la confirmación de que la correcta aplicación del principio de **Defensa en Profundidad** comprende no sólo la **prevención**, sino también la **mitigación**,
- Y confirmó que **en cuestiones de accidentes severos:**



Ha predominado lo inverosímil y mas impredecible, sobre



Lo muy poco probable pero previsible

# Correcta aplicación de la Defensa en Profundidad

## Importancia de la Mitigación

- Habría que aceptar - sin importar cuan robusta es la prevención – que siempre existe la posibilidad de eventos inevitables impredecibles, ... y por lo tanto la **mitigación (\*)** debe convertirse en fundamental para la seguridad nuclear.

(\*) Confinar la radioactividad para reducir las liberaciones,  
y proteger al público para reducir las dosis

# Los especialistas en seguridad

- Tendemos a **ignorar a priori** la posibilidad de causas inverosímiles de accidentes, concentrándonos en lo que ya sabemos, y luego
- Luchamos para **intelectualizar, a posteriori**, la ocurrencia de hechos provenientes de las causas no previstas.

## **6.- Areas de mejora en el emplazamiento y diseño después de Fukushima Daiichi**

- Diversidad de los sistemas de seguridad
- Alimentación eléctrica externa
- Suministro de corriente continua
- Sumidero final de calor redundante
- Preservación de la contención
- Protección contra riesgos externos
- Preparación para la emergencia
- Seguridad en el almacenamiento del combustible gastado
- Verificación del diseño por métodos probabilísticos

# Enfoque Regulatorio

- El foco regulatorio estuvo tradicionalmente (y legítimamente) sobre el **impacto de la radiación en la salud y la seguridad**.
- Chernobyl y Fukushima muestran que el enfoque de seguridad debe tener en cuenta además, el **impacto a largo plazo sobre el medio ambiente y la propiedad**.
- De hecho, los eventos relacionados con la radiación que no tienen consecuencias importantes sobre la salud, también pueden generar daños graves y causar gran preocupación pública.
- Esto refuerza la importancia de limitar las emisiones radiactivas después de un daño grave al núcleo del reactor o al combustible gastado para evitar impactos ambientales y sociales.
- El objetivo global y compartido debería ser que:

**Las centrales sean diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de prevenir accidentes y, de ocurrir, mitigar sus efectos minimizando las liberaciones tempranas de radiactividad y la contaminación en el largo plazo fuera de las instalaciones.**

# 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 en todos los estados y condiciones de funcionamiento **dos de las tres funciones fundamentales de seguridad:**

- Control de la reactividad, y
- Eliminación de calor residual

**sean provistas por al menos dos sistemas de seguridad diferentes o disposiciones equivalentes.**

- Los sistemas de seguridad diferentes para la eliminación de calor residual cuenten con **más de un sumidero final de calor.**

# Suministro eléctrico externo

- La alimentación eléctrica externa no se califica como Sistema de Seguridad.
- Sin embargo, la pérdida de las líneas de energía fuera de las instalaciones significa una transferencia a un modo de funcionamiento excepcional.
- Pese a que no es posible asignar una clase de seguridad nuclear a las líneas externas, es necesario prestar atención a la solidez de las líneas de transmisión y estaciones transformadoras que conectan la planta a la red.
- Estos sistemas deben soportar con margen adecuado las cargas debidas a condiciones climáticas anormales y otros fenómenos naturales previstos en el sitio.

## Posibles mejoras:

- La **interconexión directa entre centrales próximas** (nucleares o de otro tipo), que no estén en función de la disponibilidad de la red principal o regional.
- **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.

## Posibles Mejoras:

- Las **válvulas** necesarias para gestión de accidentes deben contar con la posibilidad de la **operación manual**.
- 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.

## Posibles 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 lograr este objetivo de diseño 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 y cañerías 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>• “Core Catcher” 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 garantizar el cierre correcto de las válvulas y exclusas (para el material y el personal) teniendo en cuenta la situación radiológica después de un daño grave del núcleo.</li> </ul>

# Protección contra riesgos externos

- Es necesario realizar un **análisis** sistemático de **riesgos externos** durante la **selección del sitio**, y debe evitarse cualquier sitio que pueda presentar retos nuevos para el diseño, como la amenaza de erupciones volcánicas,
- Las Revisiones Periódicas de Seguridad requieren la **repetición de los análisis** en caso de haber **cambiado las condiciones ambientales** o hayan **mejorado los conocimientos** científicos para su tratamiento.
- todo riesgo externo ser considerado y seleccionado para su análisis si:
  - es capaz de suponer un riesgo para la seguridad nuclear en ese sitio, y
  - su frecuencia de ocurrencia es mayor que el establecido en un criterio preestablecido.
- La protección contra riesgos previstos se debe planificar con márgenes de seguridad adecuados, **evitando los efectos “cliff edge”** que podrían amenazar funciones fundamentales de seguridad.
- Ejemplos de factores a tenerse en cuenta al llevar a cabo este análisis:
  - distribución de planta de para minimizar el impacto de riesgos externos,
  - combinaciones de riesgos externos que pueden ocurrir simultánea o sucesivamente
  - potenciales hechos consecuentes, tales como incendios o inundaciones después de un evento sísmico;
  - el impacto de los riesgos externos en los sistemas y componentes;
  - la robustez de los edificios y estructuras expuestos a peligros externos.

# Preparación para la emergencia

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

- El sitio debe estar preparado para **enfrentar el aislamiento externo durante 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.
- El manejo de situaciones extremas puede requerir cierta **capacidad para improvisar**, lo que requiere un conocimiento profundo de la planta, su física y sus márgenes.
- Los **procedimientos y el entrenamiento** debe centrarse en acciones que deben ser tomadas en el momento adecuado para minimizar emisiones que podrían causar daños en el medio ambiente.
- Los **equipos** para comunicaciones, mediciones de radiación, y condiciones meteorológicas deben estar **calificados** para condiciones accidentales extremas.

# Seguridad en el almacenamiento del combustible gastado

- El principal objetivo para las piscinas de combustible gastado es "prácticamente eliminar" la posibilidad de daño masivo al combustible debido a efectos mecánicos, térmicos o químicos.

## 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.

# Verificación del diseño por métodos probabilísticos

- Se verificará mediante APS el diseño adecuado y equilibrado para proveer tres funciones de seguridad fundamentales:
  - Parar,
  - Refrigerar y
  - Confinar.
- **El modelo de APS debe:**
- **incorporar todos los escenarios accidentales** que se pueden identificar por la experiencia y criterio técnico sólido.
- Tener un **nivel de detalle adecuado** para el tratamiento de las ESCs, especialmente con respecto a las fallas de modo o causa común.

Los resultados del APS por si solos no son un argumento aceptable para decidir la omisión de sistemas que podrían impedir las emisiones radiactivas.

*Gracias por su  
atención...*

