

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

[www.upm.es](http://www.upm.es)

***ESTUDIO ESTIMATIVO DE LAS  
CONSECUENCIAS DE UN EVENTO  
METEOROLÓGICO ESPACIAL EXTREMO  
EN UNA CENTRAL NUCLEAR DE AGUA  
LIGERA***

**III JORNADAS TÉCNICAS SOBRE  
“METEOROLOGÍA ESPACIAL.”**

**26/11/2013**

Con la inestimable ayuda de:  
Beatriz Sánchez-Cano, Miguel  
Herraiz, F. Sánchez-Dulcet –  
Departamento de Física de la Tierra,  
Astronomía y Astrofísica (Geofísica y  
Meteorología), UCM

**Gonzalo Jiménez  
Emma López-Alonso  
Departamento de Ingeniería Nuclear, UPM**

**POLITÉCNICA**



# INDICE

## **1. Introducción**

- 1.1. Centrales Nucleares en el mundo
- 1.2. Centrales Nucleares en España
- 1.3. Funcionamiento CN-PWR
- 1.4. ¿En que grado depende de la electricidad?

## **2. Consecuencias estimativas de un evento solar externo**

- 2.1. Introducción
- 2.2. Desarrollo de un LOOP
- 2.3. Desarrollo de un SBO

## **3. Estudios al respecto: EEUU y Stress Test Europeos**

- 3.1. Mejora de la gestión de un SBO resultado de los Stress Test
- 3.2. Estudios ad hoc de la problemática
- 3.3. Estrategias de mitigación de EE.UU

## **4. Conclusiones**



# Centrales Nucleares en el Mundo

Cada punto (•) representa una planta



Producción eléctrica nuclear (neta) en 2012			En operación 01.10.2013		En construcción 01.10.2013		Planificadas 01.10.2013		Propuestas 01.10.2013	
Nº	MW	TWh	Nº	MW*	Nº	MW*	Nº	MW*	Nº	MW*
437	372.572	2.346	434	370.543	69	67.196	173	187.740	314	356.986

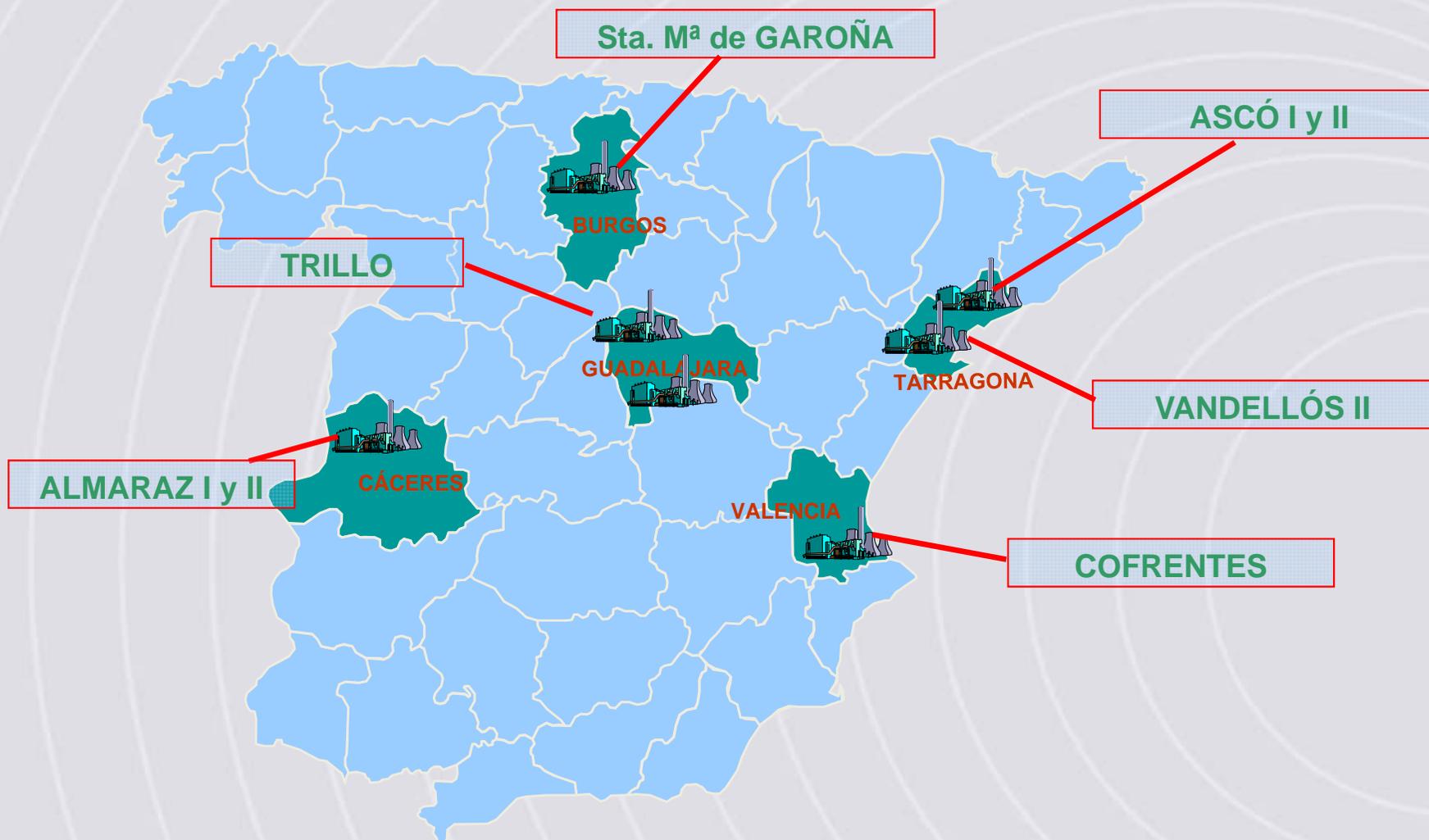
\* Potencia neta

Centrales nucleares a finales de 2012 y a 01.10.2013

Fuentes: OIEA, ATW, Foro Nuclear, World Nuclear Association



# Centrales Nucleares en España

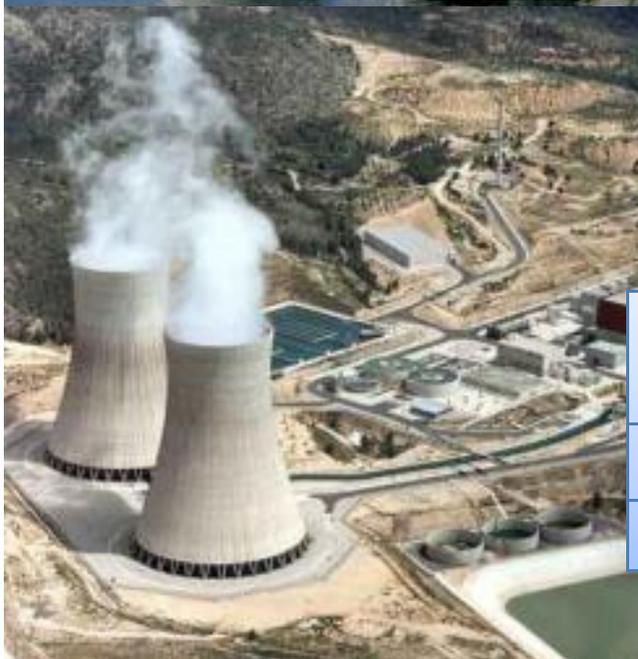




# Centrales Nucleares en España



EN OPERACIÓN	POTENCIA (MWe)	TIPO DE REACTOR	NSSS SUMINISTRADOR	OPERACIÓN COMERCIAL
SANTA MARÍA DE GAROÑA	466	BWR	General Electric	1971
ALMARAZ I	1050	PWR	Westinghouse	1983
ALMARAZ II	1045	PWR	Westinghouse	1984
ASCÓ I	1032	PWR	Westinghouse	1984
ASCÓ II	1027	PWR	Westinghouse	1986
COFRENTES	1092	BWR	General Electric	1985
VADELLÓS II	1087	PWR	Westinghouse	1988
TRILLO	1066	PWR	Siemens KWU	1988



EN DESMANTELAMIENTO	POTENCIA (MWe)	TIPO DE REACTOR	NSSS SUMINISTRADOR	PARADA
VADELLÓS I	500	GCR	CEA	Julio 1970
JOSÉ CABRERA	150	PWR	Westinghouse	Abril 2006



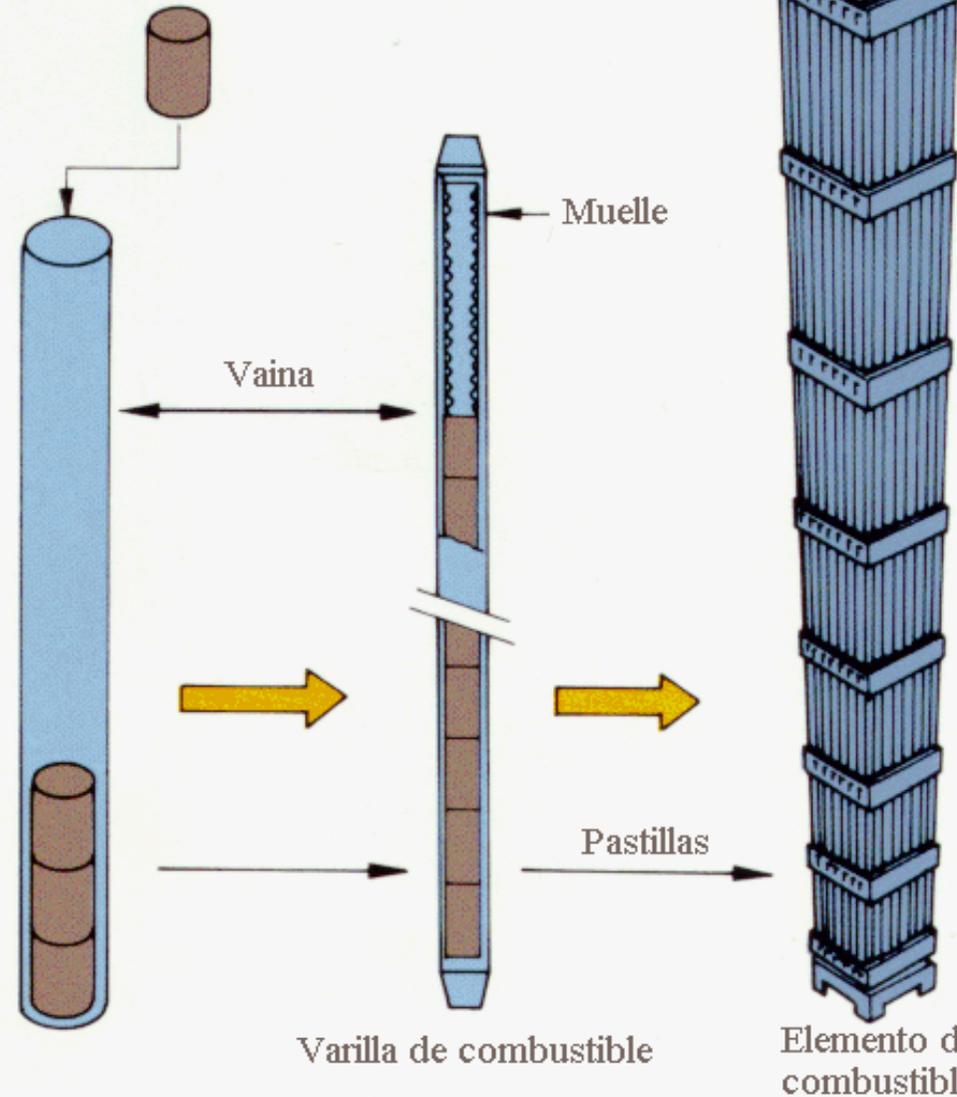
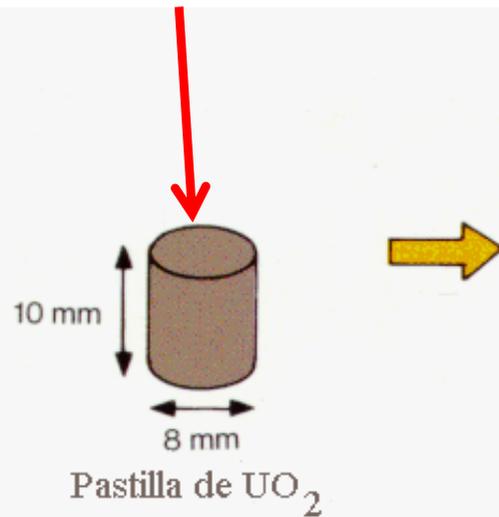
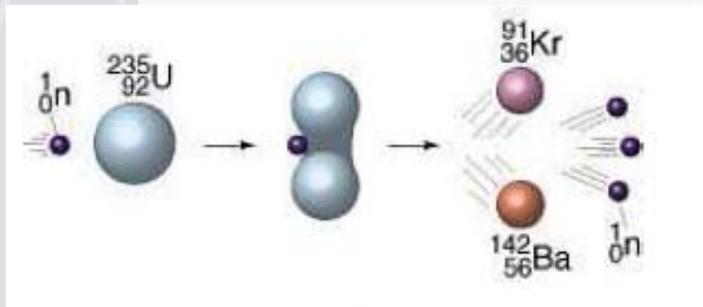
# Centrales Nucleares en España

- **8 reactores en funcionamiento en 6 emplazamientos. ( 7865 MWe)**
- **7,26% del total de la potencia instalada.**
- **Producción en 2010 del 22.5% de la electricidad consumida.**
- **Las CCNN evitan la emisión anual de 40 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes a las emisiones de más de la mitad del parque automovilístico español.**
- **El sector nuclear emplea a 30.000 personas en España (puestos directos e indirectos).**



# ¿Cómo producimos la energía en un reactor nuclear?

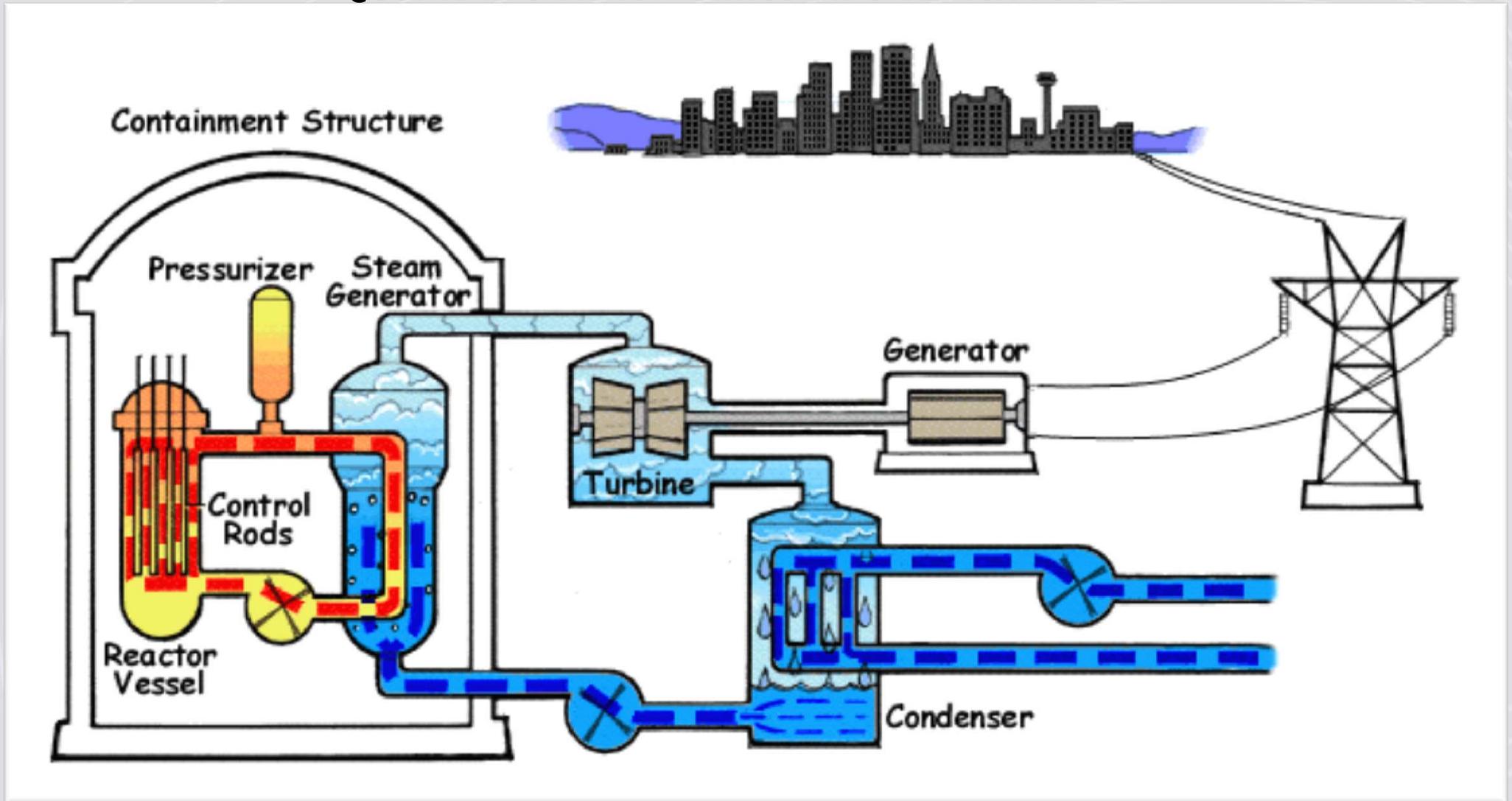
## Fisión nuclear





# Central Nuclear PWR (Pressurized Water Reactor)

¿Cómo la transformamos en electricidad?





# Seguridad Nuclear

- Toda actividad humana, y más concretamente industrial conlleva:
  - Beneficios
  - Riesgos
- La industria nuclear tiene un riesgo radiológico inherente a la naturaleza de la generación eléctrica: **el combustible es radiactivo.**



# La seguridad en las centrales nucleares

## DEFENSA EN PROFUNDIDAD

### Protección multibarrera

**Previene el escape incontrolado**

Materiales radiactivos confinados mediante la interposición de **múltiples barreras herméticas**. Si se produjera el fallo de una de las barreras, actuaría la siguiente barrera.

### Salvaguardias tecnológicas

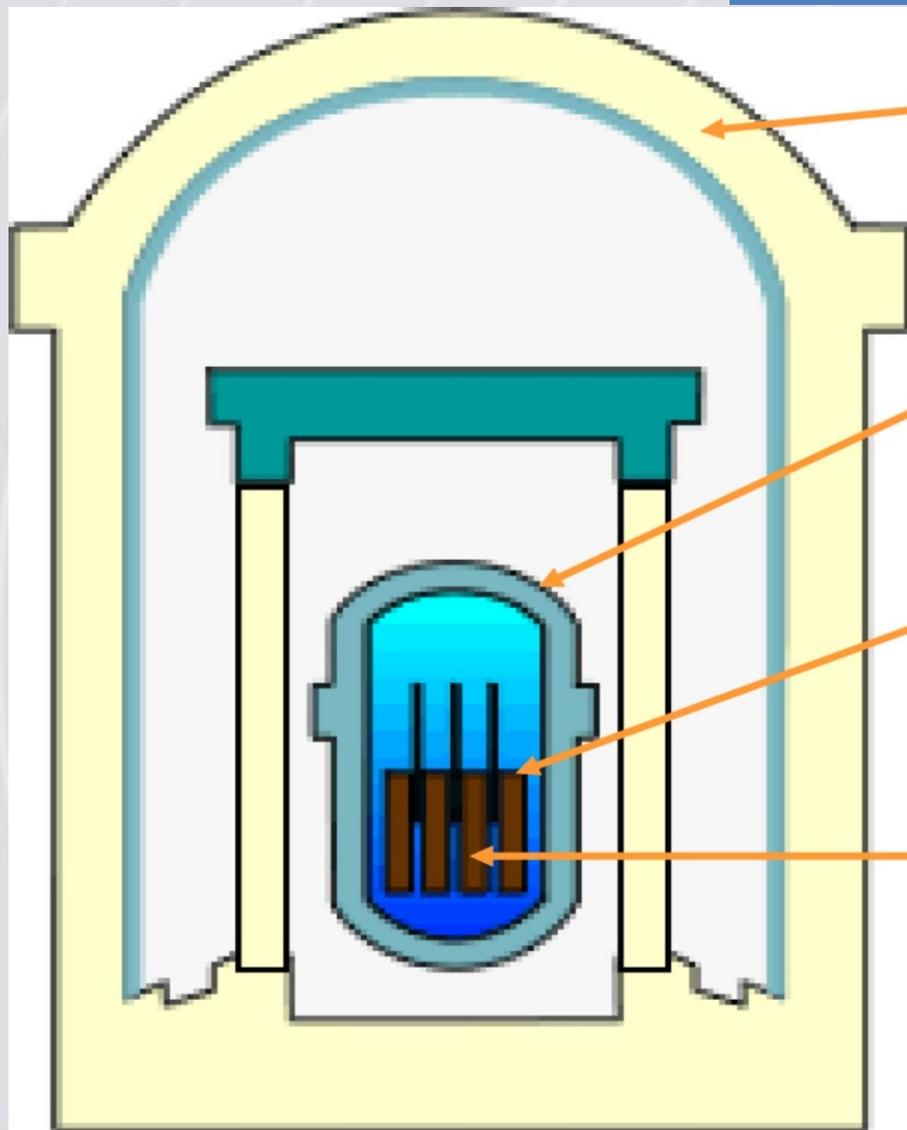
**Protegen la integridad de las propias barreras** frente a fenómenos y accidentes externos o internos:

- Externos: terremotos, huracanes, inundaciones externas, explosiones, pérdida de corriente eléctrica...
- Internos: LOCA, fuegos, inundaciones...



# La seguridad en las centrales nucleares

## Protección multibarrera



**EDIFICIO DE CONTENCIÓN**

**BARRERA DE PRESIÓN DEL REFRIGERANTE**

**VAINA DEL COMBUSTIBLE**

**PASTILLAS DE COMBUSTIBLE**





# Objetivo: asegurar las funciones de seguridad

**CONTROLAR LAS REACCIONES DE FISIÓN**

**(reactor intrínsecamente seguro + sistema de protección del reactor)**

**REFRIGERAR EL COMBUSTIBLE NUCLEAR**

**(incluso una vez detenido el reactor)**

**CONFINAR EL MATERIAL RADIOACTIVO**

**(mediante las mencionadas barreras múltiples)**

**MITIGAR LAS CONSECUENCIAS DE UN ACCIDENTE**

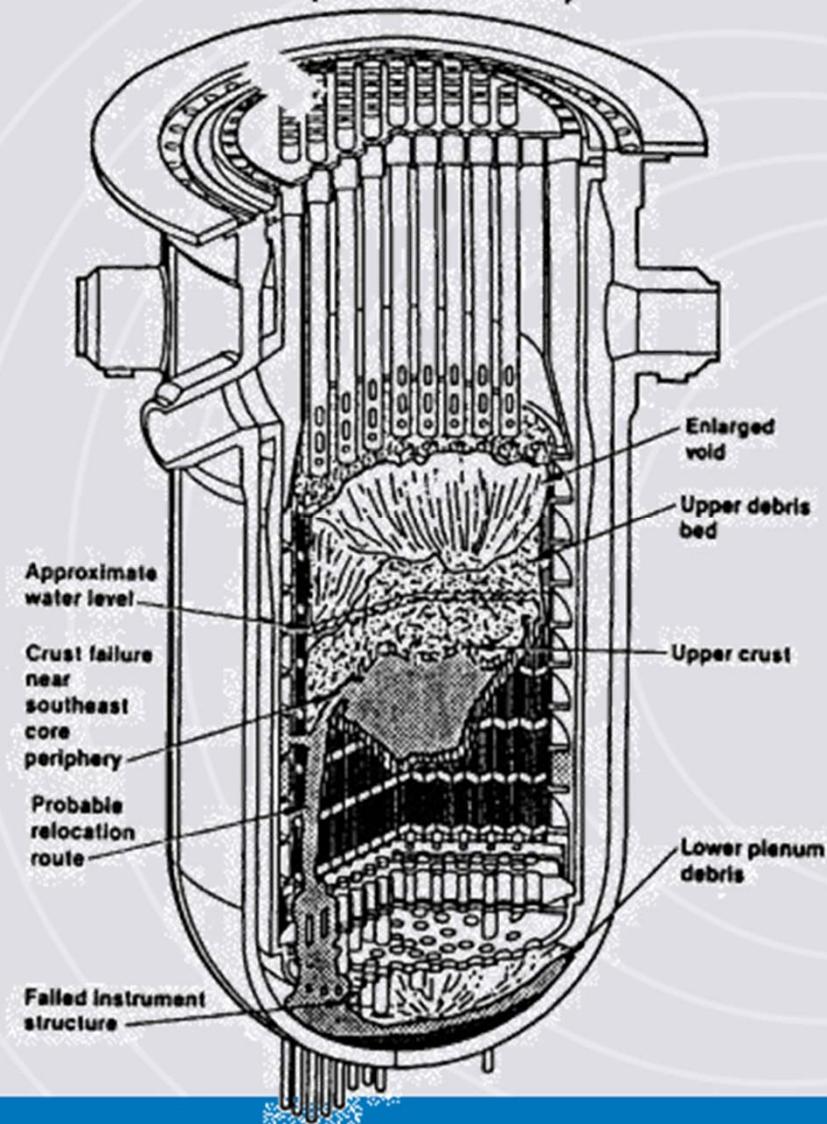
**(en caso de que éste se produjera)**

# ¿Por qué es necesario refrigerar el núcleo?

Si el núcleo de un reactor se queda sin refrigeración podría llegar a fundirse debido al calor de desintegración de los productos radiactivos que alberga (**fusión de núcleo**), estando parado (sin fisiones)

FALSO MITO: la fusión del núcleo nada tiene que ver con la fusión nuclear o con una explosión nuclear

Hypothesized Core Damage Configuration  
(226 Minutes)





# Centrales Nucleares & Electricidad

- ❖ Las centrales nucleares presentan diversas opciones de suministro eléctrico:
  - Red principal (al menos dos conexiones externas).
  - Suministro eléctrico de las centrales hidroeléctricas cercanas (y a veces dedicadas!!)
  - Suministro procedente de Generadores Diesel ( 2 a 4 DGs por unidad).
  - Generadores Diesel de emergencia alternativos (actualmente todas las plantas salvo CN Garoña)
  - Corriente DC procedente de baterías.



# Centrales Nucleares & Electricidad

**Configuración base de los sistemas eléctricos en PWR.**

Sistema	Tren/Equipo	Suministro AC			Suministro de DC*		Autoactuado
		Offsite	Emergencia		Div. A	Div. B	
			Div. A	Div. B			
MFWS		X			X	X	
AFWS	A (TDP y válv.)				X		
	B (MDP y válv.)	X		X		X	
HPIS	A (MDP y valvs.)	X	X		X		
	B (MDP y válv.)	X		X		X	
	C (MDP)	X	X	X	X	X	
Acumuladores							X
LPIS	A (TDP y valvs.)	X	X		X		
	B (MDP y válv.)	X		X		X	
CCW	A (TDP y valvs.)	X	X		X		
	B (MDP y válv.)	X		X		X	
Aislamiento RCS		X	X	X	X	X	X
Refrigeración sellos (RCP)	Se asume refrigerado por HPIS (aunque además puede serlo por el CCW)						
PORVS	1 válvula				X		X
	Válvula de aislamiento	X	X				
SRV	2 válvulas						X
Sistema AC de emergencia	EDG-A (f&b)				X		
	EDG-B (f&b)					X	
Sistema de DC	Div.-A, cargadores	X	X				
	Div.-B, cargadores		X	X			
	Baterías						

\* Sólo instrumentación y algunas válvulas.



# Consecuencias estimativas de un Evento Solar Extremo



Image courtesy of Public Service Electric and Gas and Peter Balma



Space Weather Canada [www.spaceweather.gc.ca](http://www.spaceweather.gc.ca)

Suceso externo: Corrientes inducidas geomagnéticamente (GICs)



PÉRDIDA DE RED ELÉCTRICA EXTERIOR Y/O TRANSFORMADORES PRINCIPALES



**PÉRDIDA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA ALTERNA**



LOSS OF OFF-SITE POWER (LOOP)



Si NO funcionan los DG

STATION BLACKOUT (SBO)



# Loss of Off-site Power (LOOP)

- Definición: Pérdida total de energía eléctrica exterior.

## ➤ BASE DE DISEÑO:

- LOOP: Generadores diesel de emergencia funcionan → Capacidad de mantener parada segura al menos 7 días teniendo en cuenta el inventario de combustible diesel, lubricantes y capacidad de refrigeración.

-Existe posibilidad de prolongar dicho período:

A) Con la utilización de combustible diesel procedente de un tanque redundante como el caso de Trillo, Cofrentes y Garoña)

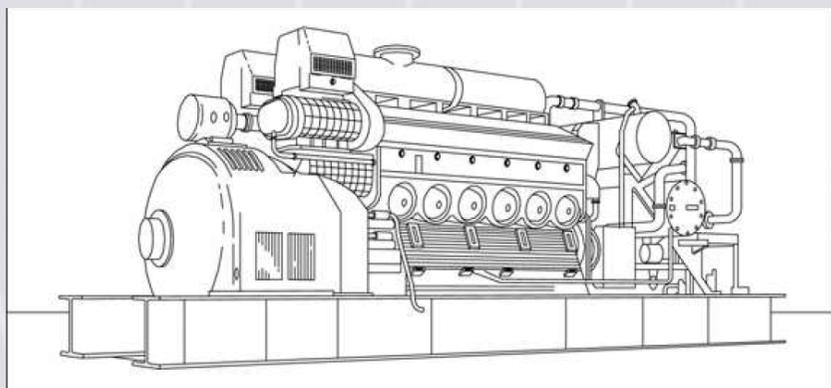
B) Aportando combustible desde el exterior

- LOOP + Pérdida de los generadores diesel de emergencia

A) Disponibilidad de diesel adicional o

B) Sistemas independientes de corriente alterna (turbogeneradores de gas en plantas francesas)

Capacidad de mantener parada segura entre 4 y 8h.



*Generador diesel de emergencia (EDG)*



# Station Blackout (SBO)

- **Definición: Pérdida total de suministro eléctrico**, como la pérdida completa de energía eléctrica de corriente alterna (AC) en los sistemas de distribución eléctrica de la central, tanto en barras relacionadas con el suministro a equipos esenciales para la seguridad como no esenciales. Para que se produzca un suceso de estas características han de **perderse las fuentes disponibles de suministro eléctrico exterior de la planta nuclear** y, además, han de **fallar** en su arranque u operación los **generadores diesel de emergencia (EDG)**. Este suceso no incluye la pérdida de las barras alimentadas por baterías o el suministro eléctrico mediante una fuente alternativa de AC (ACC), si ésta existiese.
- Se define como **AAC a la fuente de energía de AC** que ésta disponible y localizada en o cerca de la central nuclear, reuniendo los siguientes requisitos:
  - **Es conectable**, pero no suele estar integrada dentro del suministro eléctrico exterior ni al sistema de energía AC de emergencia de la planta.
  - Tiene una **probabilidad de fallo mínima** por causa común con la red de suministro eléctrico exterior y el sistema de energía AC de emergencia de la planta.
  - Esta **disponible en un tiempo razonable** tras producirse el SBO.
  - Tiene **suficiente capacidad y fiabilidad** para operar todos los sistemas necesarios para afrontar el SBO durante el tiempo requerido para llevar a parada segura a la planta.



# Station Blackout (SBO)

## ➤ PÉRDIDA TOTAL DE CORRIENTE ALTERNA. SBO PROLONGADO:

- Mantenimiento parada segura mediante los sistemas independientes de C.A.
  - PWR: turbobomba y descarga de vapor a la atmósfera.
  - BWR: condensador de aislamiento o RIC y venteo de contención.
- Acorde con el diseño: duración de baterías entre 2 a 4h  
Alargamiento de la duración de las baterías post-Fukushima → 16h a 24h

## ➤ SBO + PÉRDIDA DE BATERÍAS:

- Mantenimiento de la refrigeración con **operación manual de la turbobomba** y válvulas de alivio a la atmósfera o venteo de contención.
- Aporte de agua a la vasija por medio portátiles o PCI.



# Station Blackout (SBO)

## Estrategias asegurar la refrigeración del reactor

- Reactores PWR tipo Westinghouse:
  - Agua de alimentación auxiliar + válvulas de alivio a la atmósfera
  - Despresurización
  - Compensación de la pérdida de inventario por los sellos de las bombas del primario con los acumuladores (24h). Nuevos sistemas permiten sellos de hasta > 72h.
- Reactores PWR tipo KWU:
  - Agua de alimentación de emergencia + válvulas de alivio a la atmósfera
  - Despresurización
  - Compensación de la pérdida de inventario con los acumuladores
- Reactores BWR/6:
  - Operación del RCIC (Reactor Core Isolation Cooling)  
( o SRV-Sistema de protección contra incendios )
  - Venteo de la contención



# Estudios Realizados UE

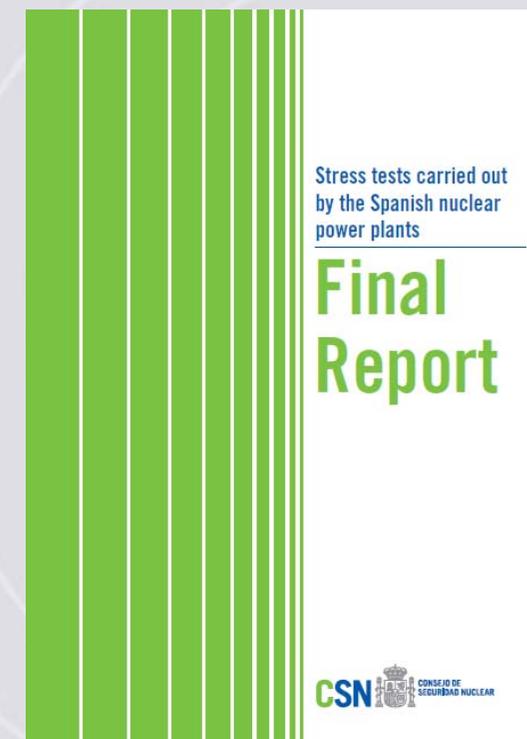
## ➤ Europa: STRESS TEST



Las **pruebas de resistencia** son una **revisión** complementaria y detallada de la **seguridad de las centrales** teniendo en cuenta los **sucesos ocurridos en Fukushima**. Existen tres aspectos a revisar:

- **Fenómenos extremos** más allá de las bases de diseño actuales: terremotos, inundaciones y **otros sucesos externos**.
- **Perdida de funciones básicas de seguridad**: alimentación eléctrica de corriente alterna (**LOOP/SBO**) y sumidero de calor (UHS).
- Capacidades de gestión de accidentes severos y de mitigación de daño al combustible, tanto en el reactor como en las piscinas (SFR).

**El objetivo es identificar las fortalezas y debilidades que deben ser reforzadas y mejoradas par hacer más robusta la respuesta de la central frente a este tipo de escenarios.**





# Estudios Realizados UE

## ❖ CONCLUSIONES **Pérdida de funciones de seguridad:**

### FORTALEZAS

- Alimentación de las centrales desde centrales hidráulicas cercanas. Protocolos de REE para **dar prioridad a la alimentación eléctrica a las centrales nucleares.**
- Capacidad de **operaciones manual para refrigerar el reactor** en caso de pérdida total de alimentación eléctrica. Pruebas y procedimientos para estas operaciones.
- Mejoras introducidas en los sistemas eléctricos y en el sumidero final de calor como resultado de las revisiones periódicas de la seguridad y otros procesos.

### ÁREAS DE MEJORA YA PREVISTAS

- **Equipos portátiles** para asegurar el mantenimiento de las funciones de seguridad (generadores eléctricos, bombas, baterías, ...).
- Medidas para **asegurar los controles y la instrumentación** necesaria en caso de pérdida total de energía eléctrica o del sumidero final de calor.
- Pruebas periódicas de la alimentación desde centrales hidráulicas cercanas.



# Estudios Realizados UE

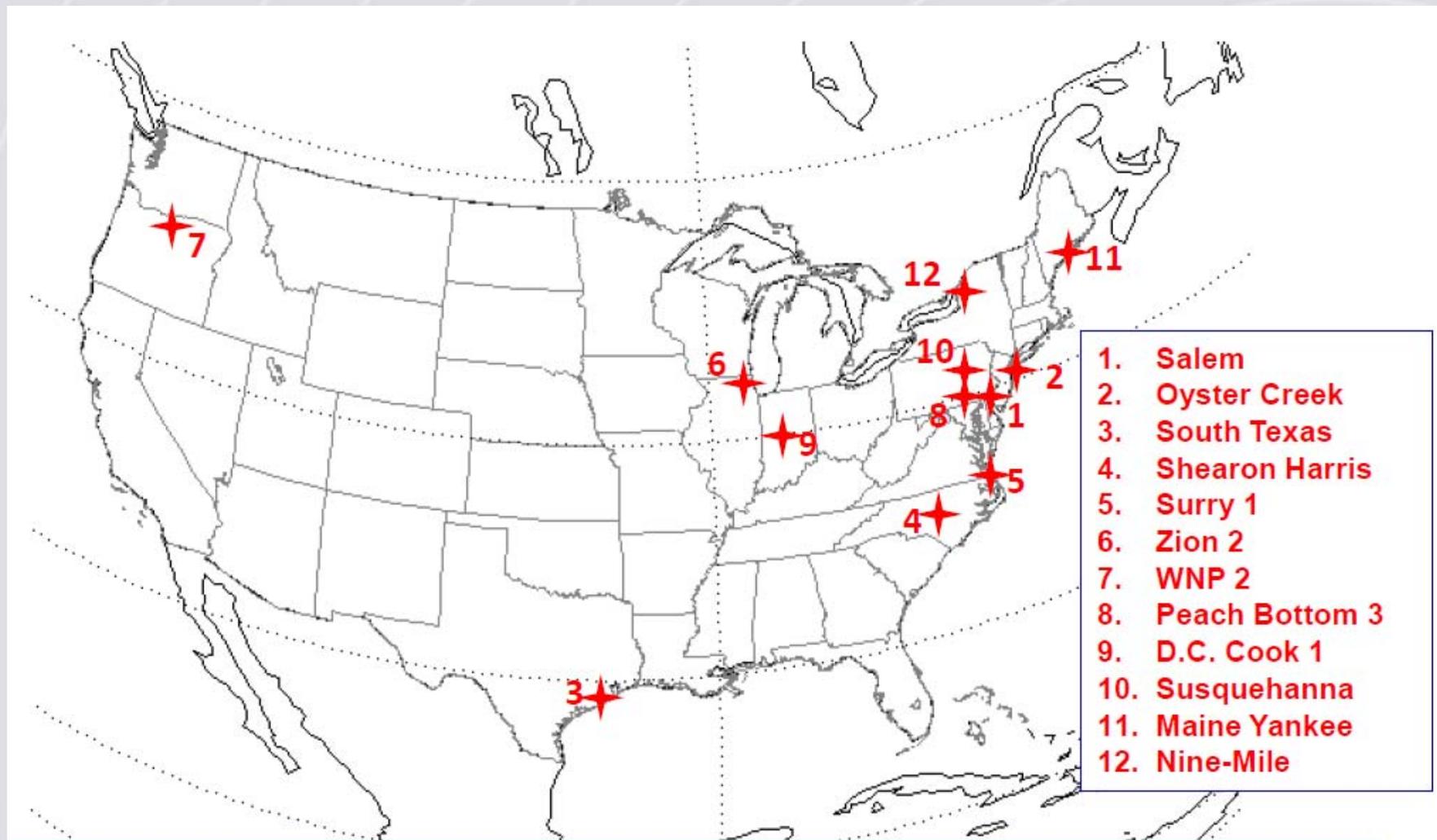
## ➤ Actuaciones previstas:

- Refuerzo de la organización de Emergencias.
- Creación de un centro común de emergencias, con medios humanos y materiales dispuestos a intervenir en cualquier central en un plazo de 24h.
- Construcción en cada emplazamiento de un Centro Alternativo de Gestión de Emergencias (un nuevo edificio resistente a sismos e inundaciones con condiciones de habitabilidad en accidente severo).



# Antecedentes EEUU

En los 25 meses siguientes a la tormenta de Marzo de 1989, 12 transformadores de doce centrales estadounidenses fallaron.



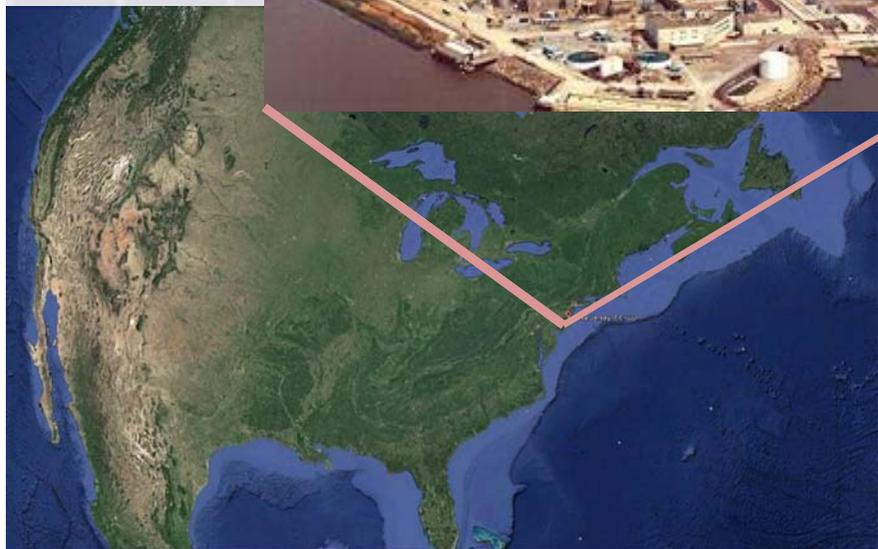
Fuente: **John G. Kappenman**. *Impact of Severe Solar Flares, Nuclear EMP and Intentional EMI on Electric Grids*



# Antecedentes EEUU

- Estudios: NRC-Onsite Emergency Response Capabilities

**-Objetivo:** protección en la medida de lo posible de los transformadores de las plantas mediante la reducción de potencia



Nuclear Plant Power Reductions Attributed to Solar Activity			
<u>Date of Report</u>	<u>Unit Name</u>	<u>Power</u>	<u>Reason</u>
3/31/2001	HOPE CREEK	65%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCE'S
4/1/2001	HOPE CREEK	65%	HOLDING POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCE'S
4/2/2001	HOPE CREEK	80%	HOLDING POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCE'S
4/12/2001	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCE
4/13/2001	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCE
4/18/2001	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES ON "C" MAIN POWER TRANSFORMER
10/2/2001	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES AFFECTING THE MAIN TRANSFORMER
10/3/2001	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES AFFECTING THE MAIN TRANSFORMER
10/4/2001	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES AFFECTING THE MAIN TRANSFORMER
11/24/2001	HOPE CREEK	78%	SOLAR MAGNETIC DISTURBANCE
10/29/2003	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES
10/30/2003	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES
10/31/2003	HOPE CREEK	80%	REDUCED POWER DUE TO SOLAR MAGNETIC DISTURBANCES - WILL REASSESS HOLD AT 1100 EST AND, IF NO PROBLEMS, ESCALATE POWER
10/30/2003	POINT BEACH 1	83%	INCREASING POWER FOLLOWING A DECREASE IN POWER DUE TO GRID GEO-MAGNETIC DISTURBANCES
10/31/2003	POINT BEACH 1	84%	REDUCED POWER DUE TO GRID GEO-MAGNETIC

Fuente: FERC Docket AD12-13-000, NRC Docket NRC-2012-0031



# Estudios Realizados EEUU

➤ EE.UU:

Tormentas Solares



Sucesos Externos

- Diverse and Flexible coping Strategies (FLEX) Implementation guide:

Determinación de los riesgos extremos externos:

Evaluación del impacto de sismos

Evaluación impacto de inundación externa

Evaluación impacto de una tormenta severa con fuertes vientos

Evaluación del impacto de nieve, hielo y frío extremo

Evaluación del impacto de altas temperaturas



# Estudios Realizados EEUU

## Challenges Posed by External Hazards

Hazard Class	Example Potential Site Threats	Potential Considerations
Seismic	<ul style="list-style-type: none"> <li>Loss of off-site power</li> <li>Damage to non-robust electrical equipment</li> <li>Damage to non-robust flat bottom tanks</li> <li>Flooding due to damage to on-site water sources that are not seismically robust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No warning time</li> <li>Widespread infrastructure damage</li> <li>Diversion of national/state resources</li> </ul>
External flooding	<ul style="list-style-type: none"> <li>Loss of off-site power</li> <li>Inundation of plant structures</li> <li>Inundation of key equipment</li> <li>Loss of intake/UHS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substantial warning time possible</li> <li>Possible long duration event</li> <li>Increased flow in groundwater e.g., streams</li> <li>Widespread infrastructure impacts</li> <li>Diversion of national/state resources</li> </ul>
Storms with High Winds (Hurricanes, tornadoes, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Loss of off-site power</li> <li>Loss of intake/UHS</li> <li>Equipment performance issues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Warning possible for some</li> <li>Limited duration event</li> <li>Widespread infrastructure impacts</li> <li>Diversion of national/state resources</li> </ul>
Snow, Ice, Low Temperatures	<ul style="list-style-type: none"> <li>Loss of off-site power</li> <li>Loss of intake/UHS</li> <li>Equipment performance issues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Warning likely</li> <li>Limited duration event</li> <li>Widespread infrastructure impacts</li> </ul>
Extreme High Temperatures	<ul style="list-style-type: none"> <li>Loss of off-site power</li> <li>Loss of intake/UHS</li> <li>Equipment performance issues</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Warning likely</li> <li>Limited duration event</li> <li>Infrastructure impacts</li> </ul>



# Estudios Realizados EEUU

■ **NRC NUREG-1474.** *Effect of Hurricane Andrew on the Turkey Point Nuclear Generating Station from August 20-30, 1992.*



24-Agosto-1992 → Huracán Andrew (categoría 4)



- LOOP durante 5 días.** (30-Ago-1992).
- Generadores Diesel en funcionamiento.
- Comunicaciones con el exterior perdidas durante 4h. Equipos pòrtatiles llevados por helicópteros.
- Zona incomunicada por carretera 1 día. Restaurado 25-Ago-1992

■ **NRC NUREG-1407.** Procedual and Submittal Guidance for Individual Plant Examination Of External Events.

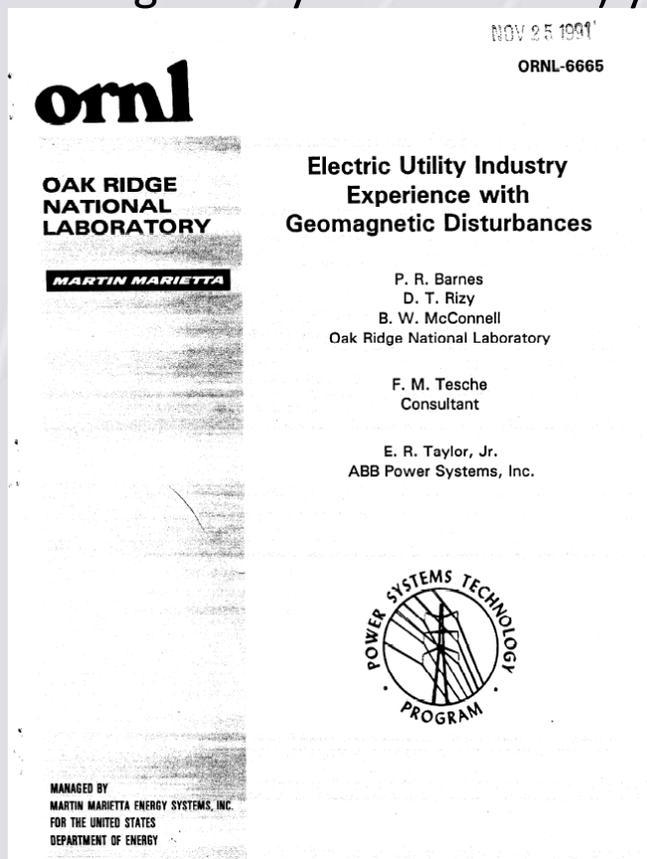


Proporciona directrices de procedimiento para valorar la adecuación de los sistemas de seguridad de la planta frente a eventos externos, tales como terremotos, tornados, inundaciones externas, etc.



# Estudios Realizados EEUU

❖ Otros estudios realizados: Principalmente realizados por la NRC ( Nuclear Regulatory Commission) y el Oak Ridge National Laboratory.



- **Barnes, P.R, et al.** Electric Utility Industry Experience with Geomagnetic Disturbances. **Oak Ridge National Laboratory**

- **Kappenman, John.** Geomagnetic Storms and Their Impacts on the U.S. Power Grid. **Oak Ridge National Laboratory**

- Estudios específicos:

- ▶ Evaluación de la posible respuesta de la Unidad 3 de la Central Nuclear de Indian Point tras la actividad solar del 9-15 Julio, 2012.

*Fuente: INDIAN POINT NUCLEAR GENERATING UNIT 3 – NRC INTEGRATED INSPECTION REPORT 05000286/2012004. ML12312A447.*

- ▶ Diversas instituciones y fundaciones han realizado estudios para la evaluación del impacto de tormentas solares en las centrales nucleares, enviados a la NRC ( Nuclear Regulatory Commission) para su evaluación.



# CONCLUSIONES Operativas

- Las **perturbaciones geomagnéticas** provocadas por las tormentas solares están consideradas dentro de los **sucesos externos**.
- Producirían **pérdida de la alimentación eléctrica** lo que conllevaría loss of off-site power (**LOOP**).
- Con el funcionamiento de los **Generadores diesel** se tendría la capacidad de mantener **parada segura al menos 7 días** teniendo en cuenta el inventario de combustible diesel, lubricantes y capacidad de refrigeración
- En caso de fallo de los generadores diesel (**SBO**) el mantenimiento de la parada segura se realizaría mediante los **sistemas independientes de C.A.** Corriente continua mediante **baterías** con una duración de entre 2 a 4h pudiéndose alargar la duración de las baterías **hasta 24h**.
- En caso de **pérdida** también de la **DC**: mantenimiento de la refrigeración con **operación manual** de la turbobomba y válvulas de alivio a la atmósfera o venteo de contención. Aporte de agua a la vasija por medio portátiles o PCI.



# CONCLUSIONES Estudios

- Existen **estudios en EEUU** como el NRC NUREG-1474 o el NRC NUREG-1407 donde se proporcionan directrices para valorar de los sistemas de seguridad de la planta frente a **eventos externos**, tales como terremotos, tornados, inundaciones externas, etc.
- En **Europa** se llevaron acabo los **Stress Test**, pruebas de resistencia para la revisión complementaria y detallada de la seguridad de las centrales teniendo en cuenta los sucesos ocurridos en Fukushima. El objetivo es **identificar las fortalezas y debilidades** de la central frente a este tipo de escenarios.
- Se han establecido **actuaciones previstas** a implementar tales como, el refuerzo de la organización de Emergencias, la creación de un centro común de emergencias para la intervención en cualquier central en un plazo de 24h. Y la construcción en cada emplazamiento de un Centro Alternativo de Gestión de Emergencias



# REFERENCIAS

- **Jiménez, G.** *Introducción a la generación eléctrica nuclear.* UPM ETSI Industriales, Madrid.
- **Gallego, E.** *Diseño básico termohidráulico de Centrales Nucleares.* UPM ETSI Industriales, Madrid.
- **Expósito, A. Queral. C.** *Secuencias de pérdida total del suministro eléctrico de corriente alterna (SBO).* UPM ETSI Minas, Madrid. Enero 2008.
- **Final Report.** Stress test carried out by Spanish nuclear power plants. CSN (Consejo de Seguridad Nuclear).
- **Peer review country report.** Stress test performed on European nuclear power plants (SPAIN). ENSREG ( European Nuclear Safety Regulators Group).
- **NRC NUREG-1474.** *Effect of Hurricane Andrew on the Turkey Point Nuclear Generating Station from August 20-30, 1992.*
- **NRC information Notice 93-53, Supplement 1:** Effect of Hurricane Andrew on the Turkey Point Nuclear Generating Station and Lessons Learned.



# REFERENCIAS

- **NEI** (Nuclear Energy Institute). Diverse and Flexible Coping Strategies (FLEX) Implementation Guide. Agosto 2012.
- Correspondencia de **Daniel Doyle**, Project Manager, División de renovación de licencias USNRC. Asunto: Respuesta a los comentarios sobre el riesgo de tormentas solares.
- Correspondencia de **Thomas Popik** of Foundation for Resilient Societies, 2011. Asunto: Investigación del impacto de GIC en transformadores
- **Barnes, P.R, et al.** Electric Utility Industry Experience with Geomagnetic Disturbances. Oak Ridge National Laboratory
- **Kappenman, John.** Geomagnetic Storms and Their Impacts on the U.S. Power Grid. Oak Ridge National Laboratory.
- Indian point nuclear generating unit 3 – NRC integrated inspection report 05000286/2012004. ML12312a447.
- **Odenwald, Sten.** *Space Weather: Impacts, Mitigations and Forecasting.* National Institute for Aerospace.