

## **XXVIII Jornadas Nacionales sobre Energía y Educación**

**09.30-11.00 Mesa Redonda**

**“Requisitos para emplazamientos singulares”**

**M<sup>a</sup> Belén Benito Oterino**

**Universidad Politécnica de Madrid**

**24 de Septiembre de 2011**

## *INDICE*

El sismo de Tohoku, 11 de Marzo de 2011

¿Podría ocurrir un terremoto similar en España?      Sismicidad

Conceptos teóricos para caracterización sísmica de emplazamientos de CCNN

Caracterización sísmica de CCNN Españolas

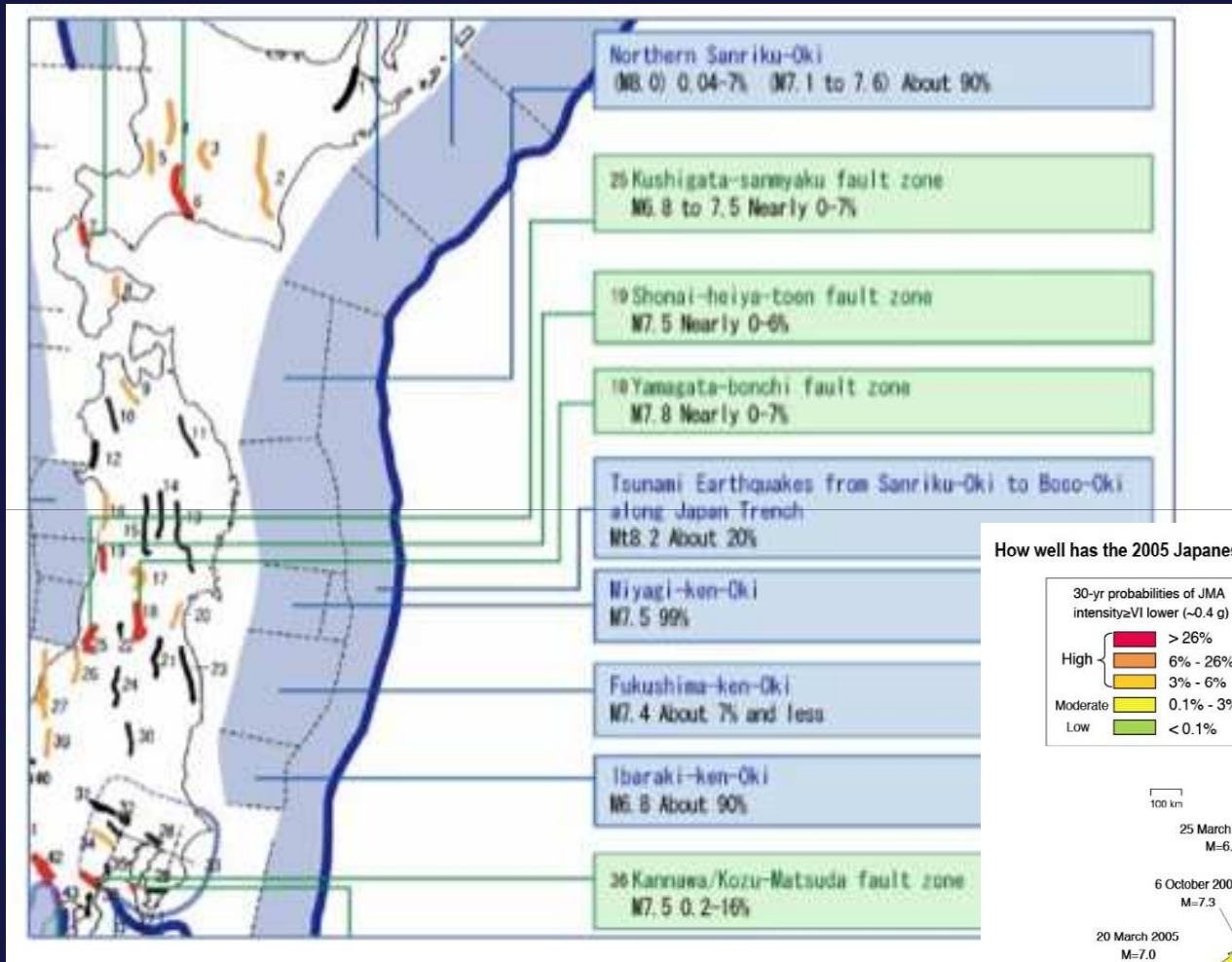
Requisitos para garantizar la seguridad

# 1. El terremoto de Japón

## Tohoku earthquake, March 11, 2011, Magnitude 9



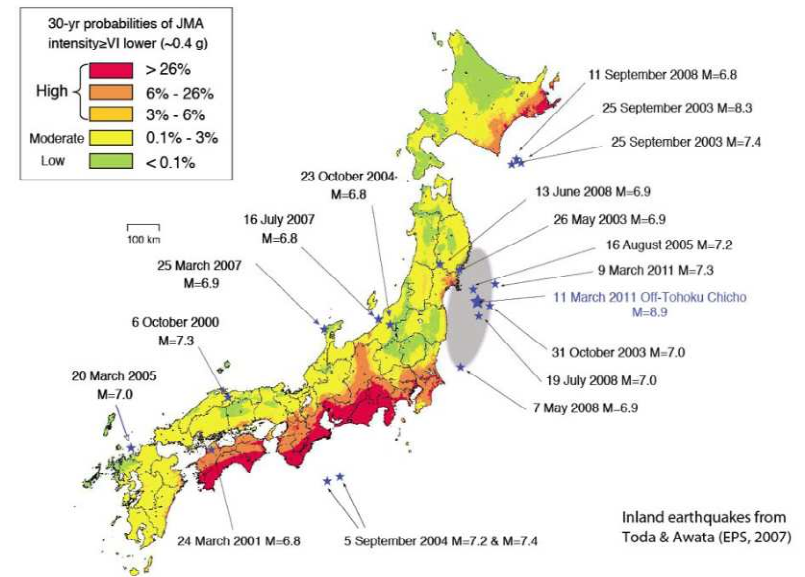
# Modelo de fallas activas para Japon: Mmax 6.8 - 8.2



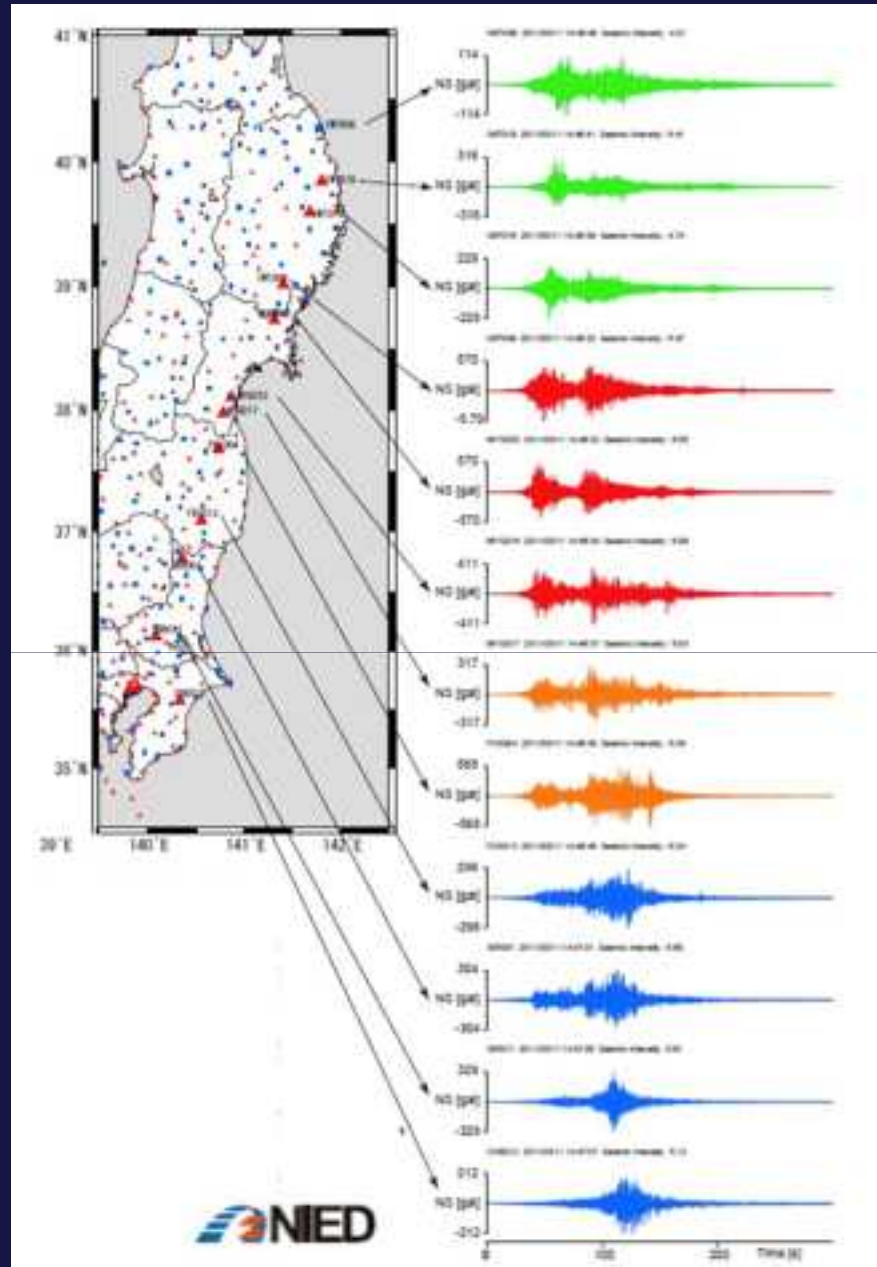
M = 9 no era considerada

Sismos de la ultima decada

How well has the 2005 Japanese National Seismic Hazard Map forecast the last decade of earthquakes?



Will we do any better in the U.S? We need to re-think how we assess maximum magnitudes and earthquake frequency-magnitude distributions



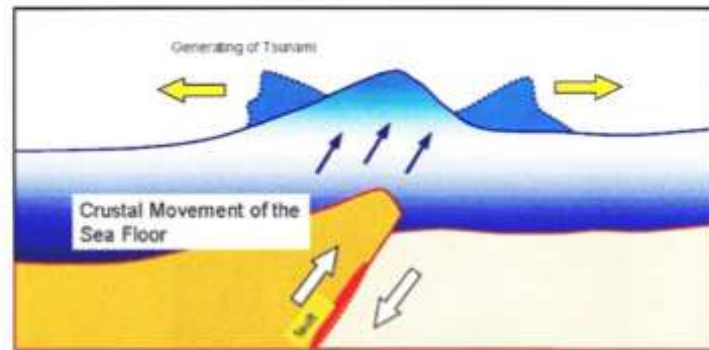
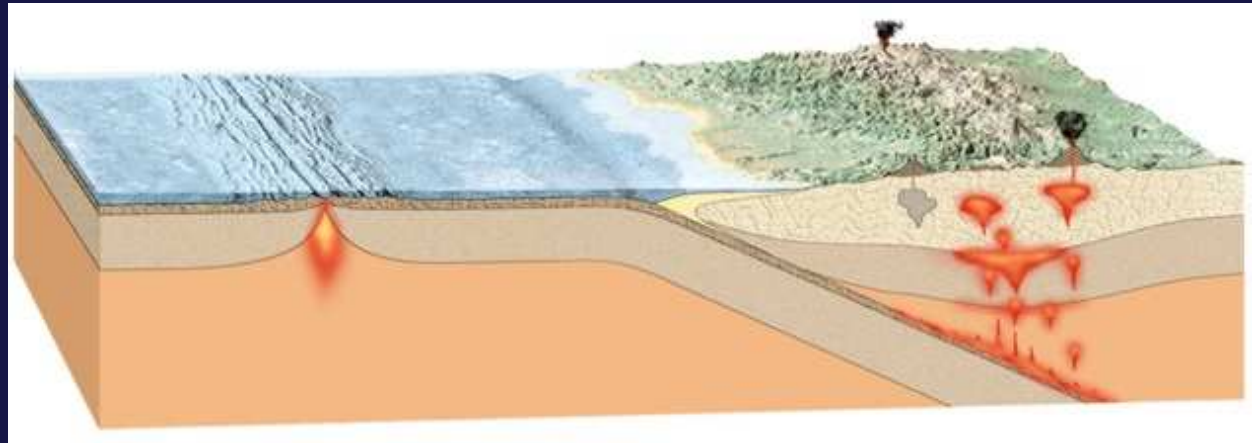
## Acelerogramas registrados

Aceleración pico en el rango  
0.2 -1.5 g a distancias entre  
60 y 100 km de la falla

Muy larga duración (120 s)

# EL TSUNAMI

Zona de subducción



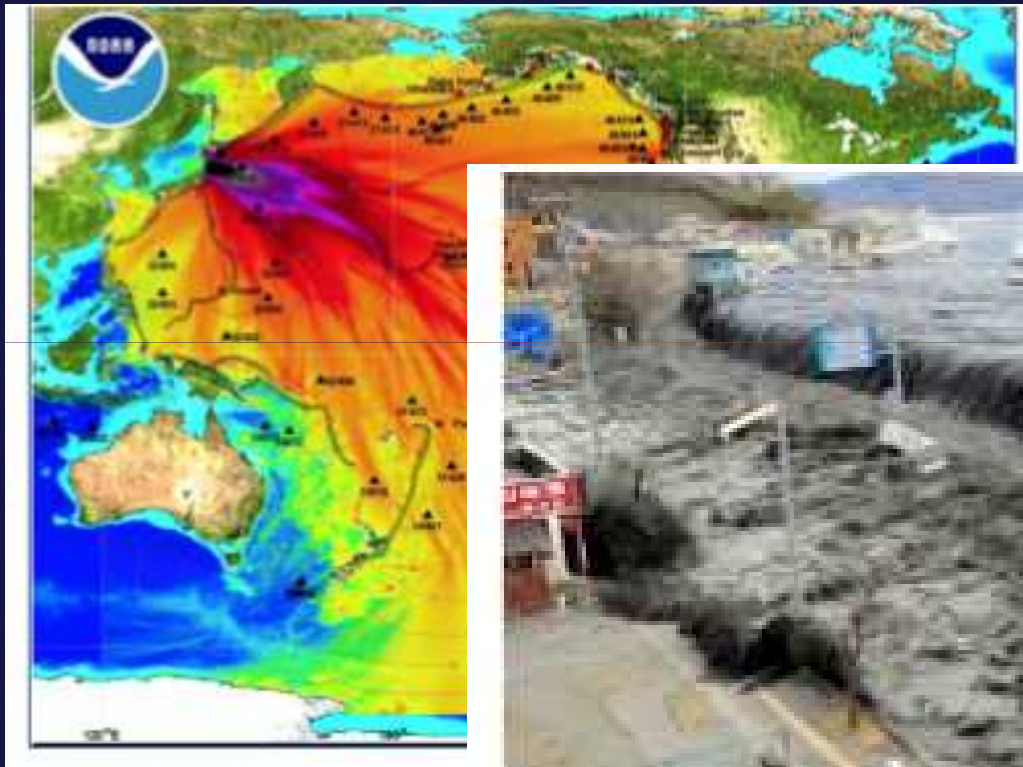
Sea wave



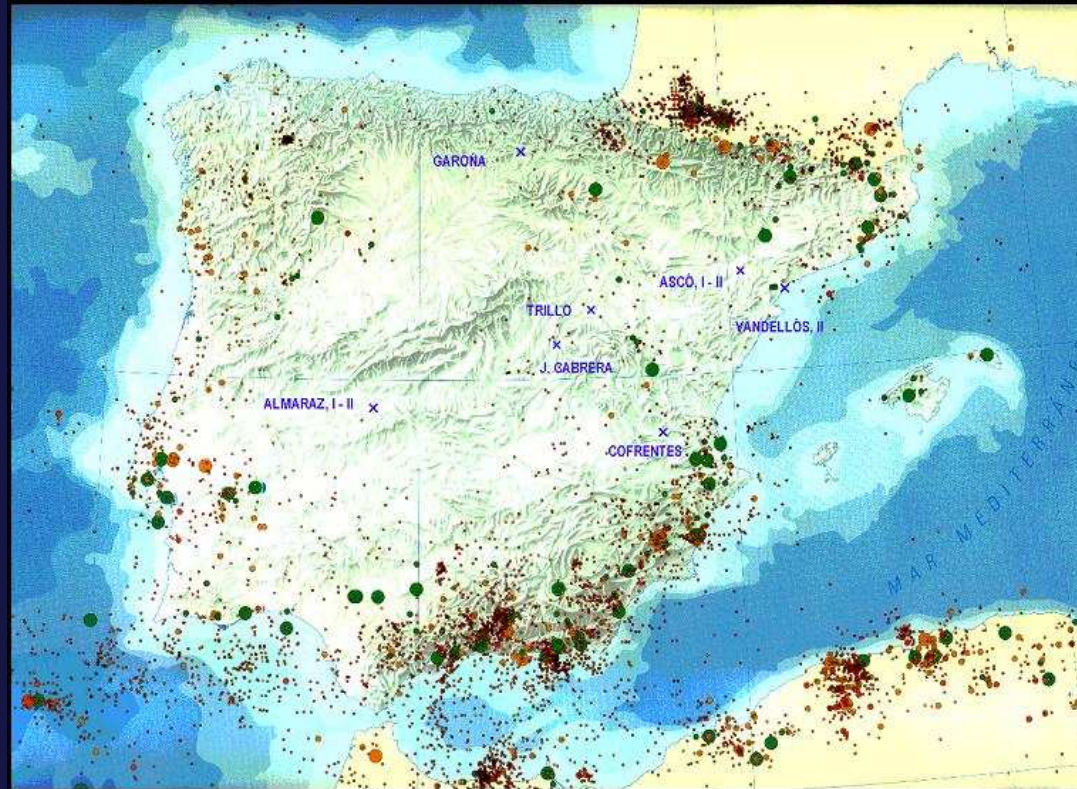
Tsunami



# Propagación y efectos



## 2. ¿Podría ocurrir algo similar en España?



- Sismos ocurridos antes del siglo XX
- Sismos registrados instrumentalmente
- Sismos bien localizados

Sismos de magnitud  $M < 7$  con epicentro en la Península Ibérica

Mayor sismo reportado: Lisboa, 1755,  $M = 8.5$

Vandellós II única CN que podría ser afectada por un Tsunami



### 3. Conceptos teóricos para caracterización sísmica de emplazamientos de CCNN

#### Criterios de seguridad nuclear

El '*terremoto base de diseño*' (SSE) es el máximo terremoto que se considera que podría ocurrir razonablemente en un determinado emplazamiento y, en consecuencia, el que provocaría el máximo movimiento del suelo que se adopta en el diseño de la instalación. Tiene una muy baja probabilidad de ser excedido durante toda su vida de explotación (próxima a  $10^{-5}$  /año)

Este terremoto debe venir caracterizado por *los espectros de respuesta del movimiento del suelo en campo libre, en las componentes horizontal y vertical*

El '*terremoto base de operación*' (OBE) es menos severo que el SSE, suele ser la mitad del SSE, y de ocurrencia más probable. Es el mayor terremoto que se espera razonablemente que ocurra en el emplazamiento a lo largo de la vida operativa de la planta y se asocia a los requisitos de seguridad exigibles para mantener la instalación completa en funcionamiento

Espectro OBE  $\approx 1/3$  del Espectro de diseño SSE.

# ¿Qué parámetros de movimiento caracterizan el OBE y SSE?

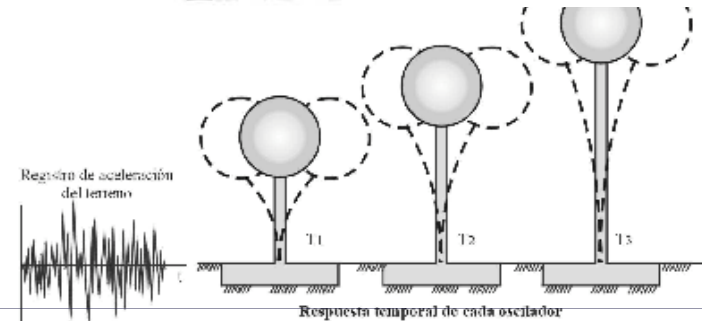
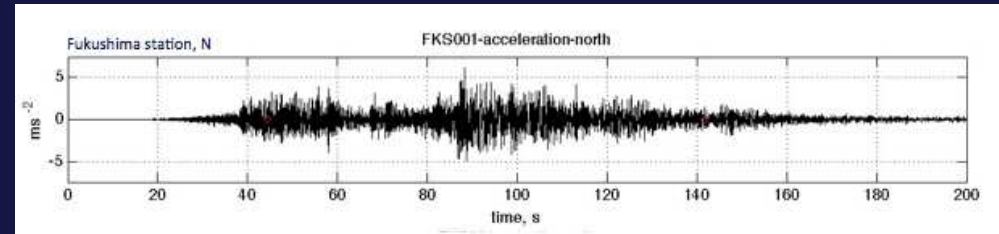
1. Aceleración pico PGA  
(*Peak Ground Acceleration*)

2. Espectro de respuesta

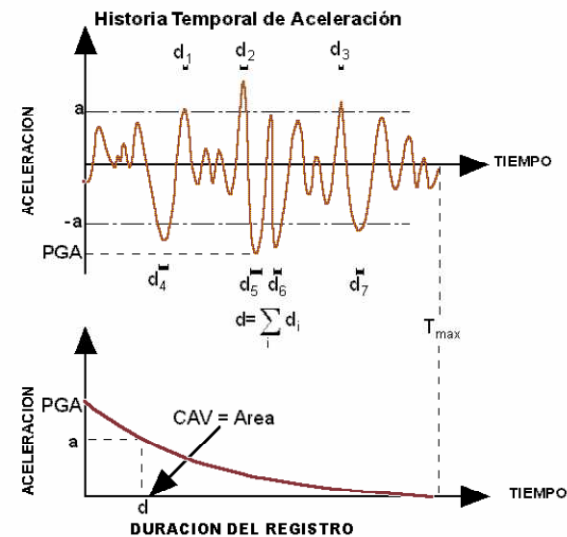
3. Velocidad Absoluta Acumulativa

Area bajo el acelerograma absoluto, teniendo en cuenta solo los valores de aceleración que superen un cierto umbral, en ventanas de 1 s de duración.

Medida de la energía susceptible de causar daño.

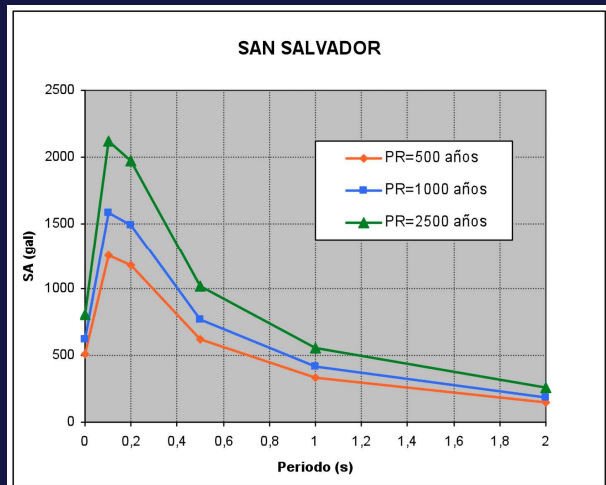
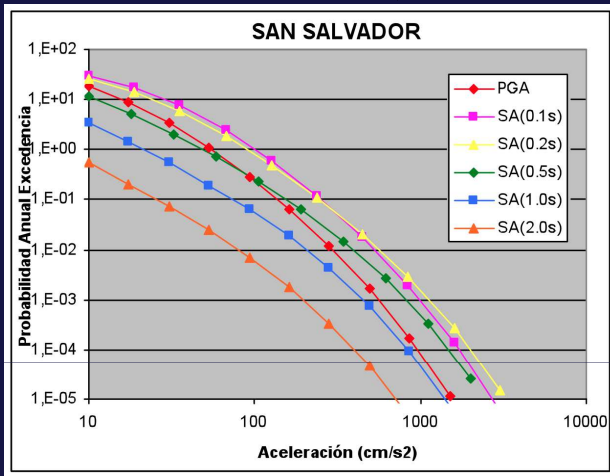


VELOCIDAD ABSOLUTA ACUMULADA (CAV)

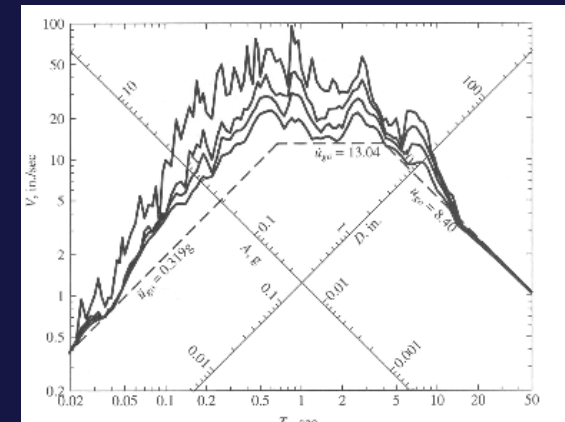
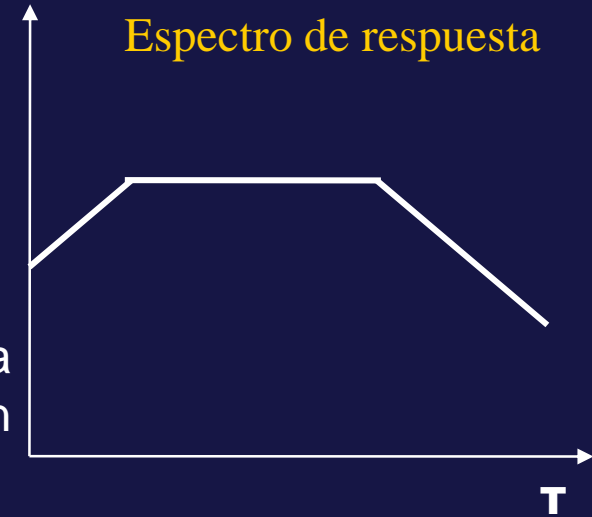


# Construcción de espectro de respuesta (ER)

## Estudios de peligrosidad sísmica



Se “escala” una forma espectral estándar con el valor de PGA



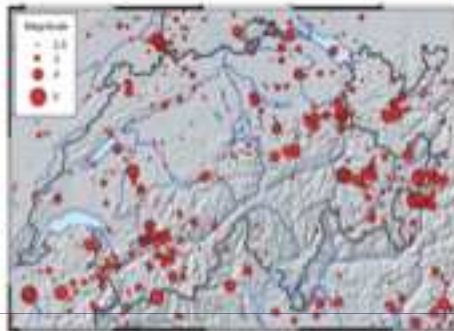
Registro del terremoto de El Centro, 1940

# Fases de un estudio de peligrosidad sísmica

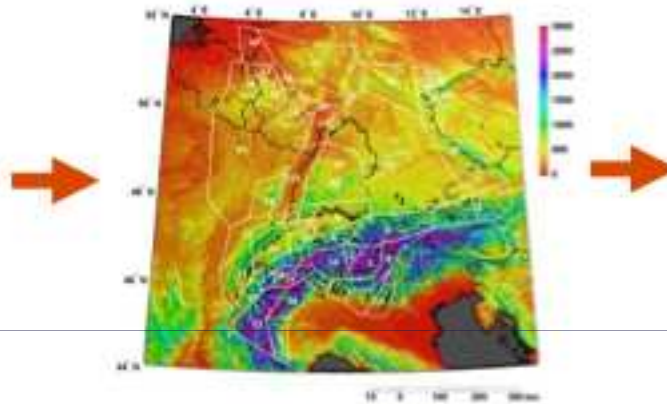
## Seismic Hazard Assessment

Main steps in the probabilistic assessment of seismic hazard (PSHA)

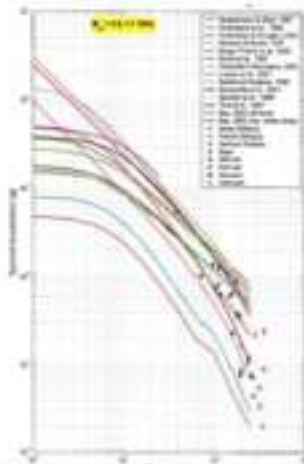
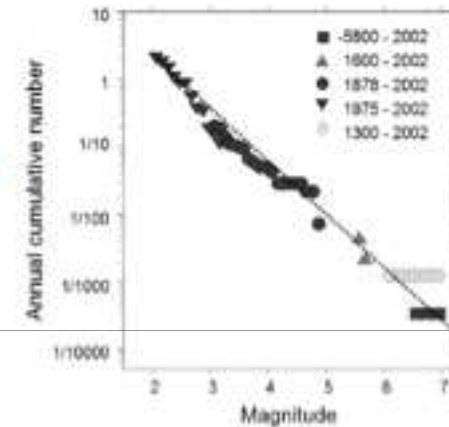
Earthquake catalogue



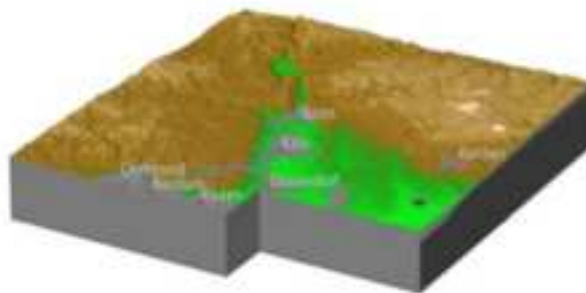
Seismotectonics and active faults



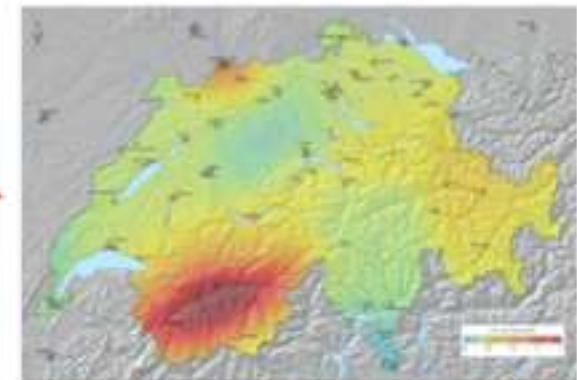
Earthquake activity rates



Attenuation of wave height with distance



Shaking scenario with site amplifications

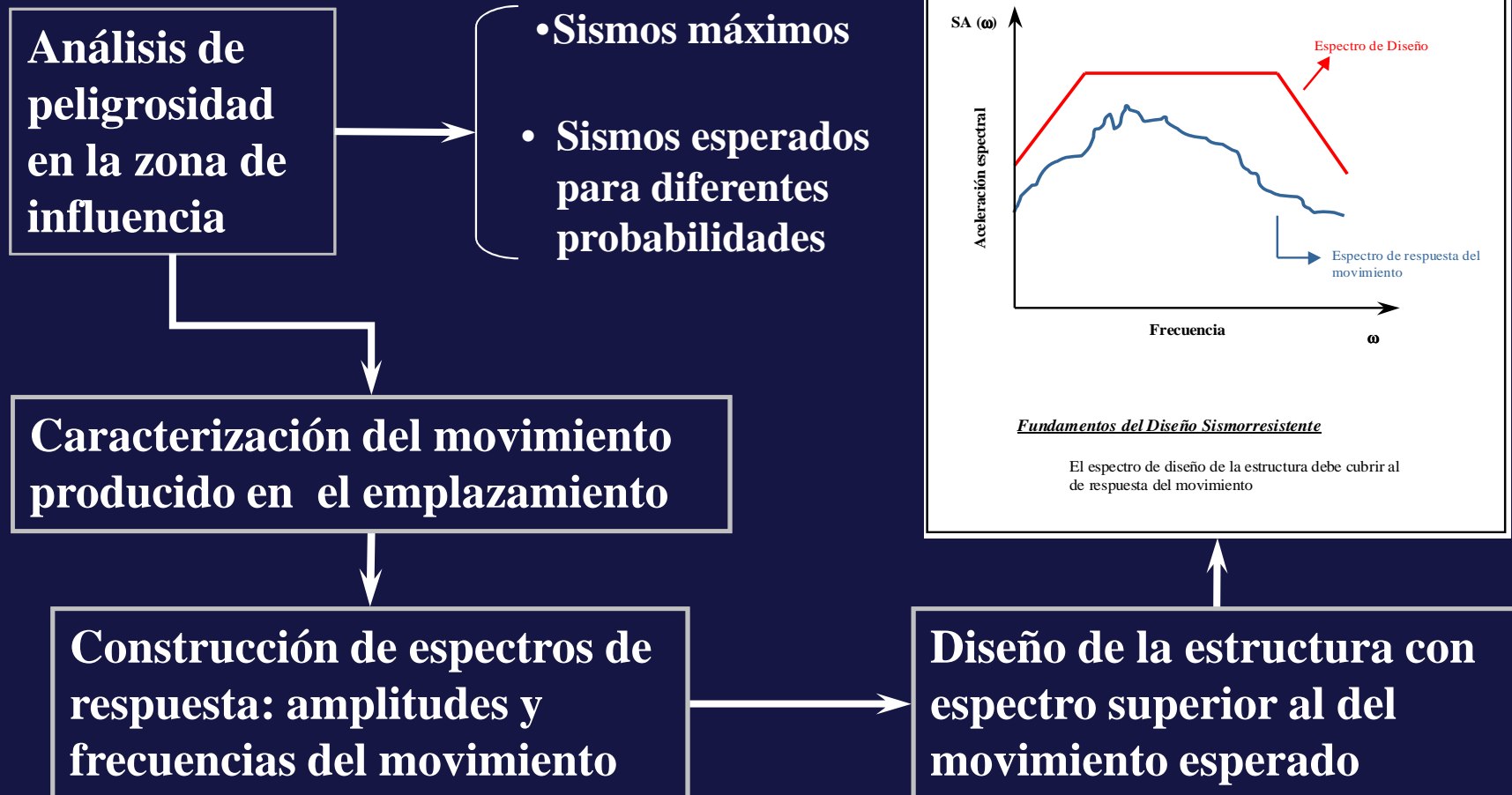


Hazard: ground shaking expected with 10% probability in 50 years

# Fundamentos del diseño sismorresistente

Las estructuras se construyen para resistir los movimientos de los sismos esperados con una probabilidad asumida

## SECUENCIA DE ACTUACIÓN



# Criterios de Excedencia

¿Cuándo se considera excedido el OBE y el SSE?

## Excedencia del SSE

El ER del movimiento excede al del SSE de la CN

## Excedencia del OBE

El ER del OBE (= 2/3 ER del SSE) es excedido por el ER del movimiento

+

El CAV 25 > 0.16 g.s

## Parámetros de diseño de CCNN Españolas ( valores de PGA)

Instalación	Base de Diseño (terremoto SSE)	Margen Sísmico	Base de operación (terremoto OBE)
C.N. Santa María de GAROÑA	0,10 g	0,17 g	0,05 g
C.N. ALMARAZ I y II	0,10 g	0,20 g	0,05 g
C.N. ASCÓ I y II	0,13 g	0,16 g	0,07 g
C.N. COFRENTES	0,17 g	0,28 g	0,085 g
C.N. VANDELLÓS II	0,20 g	> 0,30 g	0,10 g
C.N. TRILLO	0,12 g	0,24 g	0,06 g

La resistencia sísmica real de una instalación nuclear en funcionamiento es siempre superior a la requerida por el SSE. Esta mayor capacidad de resistencia sísmica de una instalación respecto a su base de diseño se denomina *margen sísmico*.

## Requisitos para garantizar la seguridad

En los procesos de revisión periódica de la seguridad de las CCNN se requiere a cada planta que **verifique expresamente el mantenimiento de su margen sísmico**, más allá de su base de diseño, con el fin de asegurar que las condiciones de seguridad sísmica de la planta no se han reducido por ninguna causa durante el periodo de explotación transcurrido.

### ¿Qué ocurre si se supera el OBE?

Sería registrado por los sistemas de vigilancia sísmica existentes se pondría en marcha de forma inmediata un proceso de inspección de la instalación para identificar los posibles daños ocasionados, analizar sus consecuencias para la seguridad y proceder a su reparación.

### ¿Qué ocurre si se supera el SSE?

La CN entra automáticamente en parada



El mayor problema....

“Es Imposible que lo Improbable no ocurra nunca”

Gumbel

Gracias por su atención

## **2.- CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO SÍSMICO DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA.**

Como se requiere en la normativa de seguridad nuclear aplicable (CSN, OIEA, US-NRC), todas las centrales nucleares españolas en funcionamiento han sido diseñadas para resistir los efectos de posibles terremotos y demás fenómenos naturales extremos que pudieran ocurrir en su emplazamiento, de modo que las estructuras, sistemas, equipos y componentes importantes para la seguridad puedan seguir realizando sus funciones incluso en caso de ocurrencia de dichos fenómenos.

El 'terremoto base de operación' (OBE) es menos severo que el SSE, suele ser la mitad del SSE, y de ocurrencia más probable. Es el mayor terremoto que se espera razonablemente que ocurra en el emplazamiento a lo largo de la vida operativa de la planta y se asocia a los requisitos de seguridad exigibles para mantener la instalación completa en funcionamiento. El movimiento del suelo que produce el OBE es resistido por todos los elementos que la planta necesita para continuar su operación normal sin riesgo indebido. Si ocurriera un terremoto que excediera el OBE, la instalación no podría seguir funcionando y tendría que llevarse a la condición de parada segura de forma ordenada, siguiendo los procedimientos de actuación establecidos en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de cada instalación nuclear.

-Terremoto de Lisboa (Portugal), ocurrido el 1 de noviembre de 1755, con magnitud estimada de 8'7 (máximo absoluto).

-Terremoto de Arenas del Rey (Granada), ocurrido el 25 de diciembre de 1884 y de magnitud 6'7.

-Durante los últimos cien años los máximos registrados en España han sido:

✓Terremoto de Jacarilla (Alicante), el 10/09/1919 y con  $M = 5'2$

✓Terremoto de Montilla (Córdoba), el 05/07/1930 y con  $M = 5'6$

✓Terremoto de Dúrcal (Granada), el 29/03/1954 y con  $M = 7$

✓Terremoto en el Golfo de Cádiz (epicentro marino), el 15/04/1964 y con  $M = 6'2$

El 'terremoto base de diseño' (SSE) es el máximo terremoto que se considera que podría ocurrir razonablemente en un determinado emplazamiento y, en consecuencia, el que provocaría el máximo movimiento del suelo que se adopta en el diseño de la instalación. Tiene una muy baja probabilidad de ser excedido durante toda su vida de explotación (próxima a  $10^{-5}$ /año) y se asocia a los máximos requisitos de seguridad. En caso de ocurrencia de este terremoto permanecerían en funcionamiento las estructuras, sistemas, equipos y componentes de la planta que fueran necesarios para garantizar la seguridad nuclear. En resumen, los relacionados con la integridad de la barrera de presión del refrigerante del reactor; con la capacidad de parada del reactor y su mantenimiento seguro, y con la capacidad de prevenir o mitigar accidentes que pudieran generar la liberación incontrolada de efluentes radiactivos.