El riesgo de maremotos en España. Proyecto de la Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos

# Maremotos generados por grandes deslizamientos en el Mediterráneo

<u>Galderic Lastras</u>, Olaia Iglesias, Miquel Canals GRC Geociències Marines, Universitat de Barcelona



Jornada Técnica, Escuela Nacional de Protección Civil, Madrid, 29 y 30 septiembre de 2014

<u>Mecanismos generadores de maremotos</u> -Sismicidad -Erupciones volcánicas y procesos asociados -**Movimientos de masa con componente subacuática** -Fenómenos meteorológicos (meteotsunamis) -Impactos meteoríticos

"movimiento de un volumen de sedimento o roca a favor de la pendiente, a veces según un plano de deslizamiento o un eje de rotación, que tiene todo o parte de su recorrido en ambiente subacuático"



# + Concentración

#### **PROCESO**

#### Caída de rocas (rockfall) Alud rocosa (debris avalanche)

Reptación (creep)

Deslizamiento translacional (slide)

Deslizamiento rotacional (slump)

#### Colada rocosa (debris flow)

Flujo granular (grain flow) Flujo licuefacto (liquefied flow) Flujo fluidificado (fluidized flow)

> Corriente de turbidez (turbidity current)



# **DEPÓSITO RESULTANTE**

#### Olistolito (olistolith) Alud rocosa (debris avalanche)

Depósito de reptación (creep deposit)

Desprendimiento translacional (slide)

Desprendimiento rotacional (slump)

#### Debrita (debrite)

Dep. de flujo granular (grain flow deposit) Dep. de flujo licuefacto (liquefied flow d.) Dep. de flujo fluidificado (fluidized flow d.)

Turbidita (turbidite)



#### Idea: Diversidad de procesos y depósitos. Componentes subaéreos y subacúaticos

#### **Características morfológicas**

Área deslizada Área del depósito resultante <u>Volumen</u> del material deslizado Volumen del depósito resultante Morfología del depósito

Cicatriz: altura, pendiente,... Pendiente en la zona de transporte Pendiente en la zona de depósito Longitud total

Desplazamiento del centro de masas

## **Características sedimentológicas**

Organización interna Granulometría Parámetros geotécnicos Tipología de las arcillas Contenido en agua

#### Características dinámicas

<u>Velocidad</u> Fricción interna Fricción basal Hidroplanning Incorporación de agua Erosión basal e incorporación de sedimento Variación de las características El continuo de los movimientos de masa



Figure 5.17. Frequency density distribution of the average angle of the slope at failure for the seafloor slope failures.

Idea: Diversidad de parámetros que definen el proceso y el depósito



#### Margen atlántico europeo

Deslizamiento de Storegga 90000 km<sup>2</sup>, 3000 km<sup>3</sup>, 8.2 kyr BP (Portugal: 91985 km<sup>2</sup>)

Deslizamiento de Traenadjupet 14100 km<sup>2</sup>, 900 km<sup>3</sup>, 4 kyr BP

Deslizamiento de Canarias 40000 km<sup>2</sup>, 400 km<sup>3</sup>, 13-17 kyr BP

Deslizamiento de El Golfo (El Hierro) 1500 km<sup>2</sup>, 180 km<sup>3</sup>, 13-17 kyr BP

> Datos de: Masson et al. (2002) Canals et al. (2004)



Megaturbidita de Baleares: 60000 km<sup>2</sup>, 500 km<sup>3</sup>, 20-23 kyr BP Megaturbidita de Herodoto: 27000 km<sup>2</sup>, 300 km<sup>3</sup>, 27 kyr BP Deslizamiento occidental del Golfo de León: 16600 km<sup>2</sup>, 153 km<sup>3</sup>, 20 kyr BP Deslizamiento BIG'95 (Ebro): 2200 km<sup>2</sup>, 26 km<sup>3</sup>, 10 kyr BP Deslizamiento SL2 (Rosetta): 5000 km<sup>2</sup>, 500 km<sup>3</sup>, 110 kyr BP (CA Madrid: 8030 km<sup>2</sup>, Isla de Ibiza: 571 km<sup>2</sup>)

#### Idea: Los grandes deslizamientos submarinos son abundantes en el registro geológico

## Idea: Los deslizamientos submarinos como mecanismo generador de tsunamis

Grand Banks (Mosher y Piper, 2007):

-18 de noviembre de 1929; terremoto M7.2 con epicentro en el margen de Terranova.

-Deslizamiento de 200 km<sup>3</sup>; corriente de turbidez que viaja 1000 km a 60-100 km/h

-Ruptura sucesiva de 12 cables telegráficos y telefónicos.

-Generación de un tsunami de 3-8 m (hasta 13 m) de altura. 28 muertos.

Niza (Dan et al., 2007)

-16 de octubre de 1979; las obras de ampliación del aeropuerto colapsaron

-Generación de un tsunami de 3.5 m de altura.

Papúa Nueva Guinea (Tappin et al., 1999)

-17 de julio de 1998; terremoto M7.1 "genera" un tsunami de hasta 15 m (2200 muertos).

-Se considera que un deslizamiento fue el principal mecanismo generador.

Recientemente, el maremoto en Pakistán (2013).







overwhelmed coastal defenses from south of Eukushima to the

Science Magazine 26/09/2014





Deslizamiento de Messina: 120 km<sup>2</sup>, 20 km<sup>3</sup>, H=13 m, 1908 AD (Bili et al., 2008) Deslizamiento de Corinto: 57000 m<sup>3</sup>, H=6 m, 1963 AD (Galanopoulos et al., 1964) Deslizamiento de Gioia Tauro: H=5 m, 1977 AD (Zaniboni et al., 2014) Deslizamiento de Niza: 1.5 km<sup>3</sup>, H=3.5 m, 1979 AD (Dan et al., 2007) Deslizamiento de Sciara di Fuoco: H=9 m, 2002 AD (Tinti et al., 2005)

Papadopoulos et al. (2014)

Idea: "Pequeños" deslizamientos submarinos tsunamigénicos en tiempos históricos

## Idea: También en cuerpos de agua restringidos

Fiordo de Aysén, Chile (Lastras et al., 2013): -21 de abril de 2007; terremoto M6.2 -Centenares de deslizamientos subaéreos/submarinos -Tsunami local









Los casos de Lituya Bay (1958, 524 m) y Vajont (1963) Los abundantes deslizamientos de los fiordos noruegos, el último en enero de 2013.



Urgeles y Camerlenghi (2013)

**Figure 4.** Magnitude indicators of submarine landslides in the Mediterranean Sea. (a) Area (linear scale) versus frequency, (b) area (log scale) versus frequency and kernel density function, (c) area (log scale) versus frequency for passive (grey) and active (white with black outline) margins (see Figure 1 for active tectonic structures in the Mediterranean Sea), (d) volume (log scale) versus frequency and kernel density function.

Los mayores deslizamientos (>10 km<sup>3</sup>) presentan una recurrencia de ~1 kyr. Los de dimensiones más reducidas (>0.1 km<sup>3</sup>), también capaces de producir daños en infraestructuras costeras, presentan una recurrencia de ~100 años, pero podrían ser hasta 5 veces más frecuentes (Urgeles y Camerlenghi, 2013).

#### Idea: Se subestima la frecuencia de los deslizamientos pequeños

## Causas de los deslizamientos submarinos

-Factores precondicionantes (inherentes al sedimento, al contexto geográfico y geológico)

-Mecanismos desencadenantes (triggering mechanisms)

$$FS_{f} = \frac{Fuerzas de cizalla finales}{Fuerzas de resistencia finales} > 1 Deslizamiento$$

Incrementan el esfuerzo de cizalla:

•Sustracción del soporte lateral (e.g. erosión)

•Carga estática: sedimentación, mareas, cambios del nivel del mar, antrópica

•Carga dinámica: terremotos, oleaje de tormenta, antrópica

•Incremento de la pendiente: sedimentación, deformación tectónica o salina,

desarrollo volcánico, subsidencia diferencial, cambios en procesos deposicionales,... Reducen la resistencia:

Factores físico-químicos: alteración mineral, descomposición orgánica, diagénesis
Incremento de la presión de poro: terremotos, sedimentación rápida, cambios en el flujo del fluido, disociación de hidratos de gas...

•Presencia de "capas débiles"

#### El deslizamiento BIG'95



Margen continental del Ebro:

- margen pasivo
- sismicidad reducida
- sedimentación relativamente alta
- I. Columbretes, de origen volcánico
- cañones, sistemas turbidíticos

Data set (1995-actualidad):

- batimetría de multihaz
- intensidad de retrodifusión
- perfiles de sísmica de alta resolución
- perfiles de sísmica de alta penetración
- sonar de barrido lateral
- testigos de sedimento
- fotografía y vídeo submarino

Lastras et al. (2007)



Área afectada: 2200 km<sup>2</sup>, depósito: 2000 km<sup>2</sup>, 26 km<sup>3</sup> Distancia total recorrida: 110 km



Α

Cicatriz principal: 600 m-1200 m de profundidad Longitud 20 km; altura máxima 200 m Depósito de hasta 120 m de potencia Edad mínima establecida por datación: 11.5 kyr BP



Zonas de retrodifusión diferenciadas en forma de cola de caballo Presencia de bloques en la parte distal; canalizado







t = 52 min

**Reconstrucciones batimétricas** a partir de la modelización conceptual y numérica





# **Simulación del tsunami** con COMCOT (Iglesias et al., 2012) (Condiciones actuales de nivel del mar)



# **Simulación del tsunami** con COMCOT (Iglesias et al., 2012) (Condiciones actuales de nivel del mar)



#### Marigramas sintéticos (Iglesias et al., 2012)



<u>Altura y tiempos de llegada</u>: Ibiza: 20 min, 8 m Mallorca: 30 min, 3 m Castellón: 55 min, -6 m

Fenómenos locales: Santa Ponça: 40 min, 10 m





## Amplitudes máximas (Iglesias et al., 2012)

Apilamiento de la ola por asomeramiento en el talud continental del Ebro

-¿Cuál sería el efecto de los numerosos pequeños deslizamientos identificados? -¿Cuál sería el efecto de los deslizamientos que generaron las megaturbiditas? Idea: El registro geológico reciente muestra la existencia de grandes deslizamientos en el Mediterráneo capaces de generar tsunamis de gran poder destructivo

Idea: Prever con exactitud dónde y cuándo se va a producir un deslizamiento tsunamigénico no es trivial.

Idea: Descartar la capacidad tsunamigénica de un terremoto por su escasa magnitud puede ser un error, pues éste podría generar, a su vez, un deslizamiento.

- La cartografía submarina, la caracterización del sedimento superficial y profundo, la identificación de los factores de riesgo y la caracterización de su recurrencia es la principal manera de abordar la identificación de las áreas propicias a sufrir deslizamientos submarinos.
- La modelización de los tsunamis que podrían generar es la principal manera de abordar la identificación de las posibles zonas impactadas.
- El estudio de deslizamientos pasados y la modelización de los posibles tsunamis generados permiten conocer la magnitud del peligro.

"rara avis in terris nigroque simillima cygno" "un ave rara en la Tierra, y muy parecida a un cisne negro"