

Tsunami-HySEA

Simulación Numérica en Tiempo Real y Sistemas de Alerta Temprana de Tsunamis

Jorge Macías Sánchez

Grupo de Investigación EDANYA

(Ecuaciones Diferenciales, Análisis Numérico y Aplicaciones)

Universidad de Málaga



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



“Tsunamis en España”, Lunes 6 Noviembre, 2017

Introducción y Motivación

Objetivos

- **Simulación Numérica y Tsunamis**
- **Sistemas de Alerta Temprana (TEWS)**
- **Mapas de Riesgo y Planes de Actuación**

Motivación

- **Encuentro de Expertos fuentes tsunamigénicas**

Primer paso del camino

- **Puesta a punto de Planes de Actuación**
- **con base a Mapas de Riesgo - estudios numéricos**
- **Previamente, determinar fuentes tsunamigénicas**

Introducción y Motivación

Pregunta

¿Tenemos riesgo (en España) de que se produzca un tsunami que impacte en nuestras costas?



NO



END OF PROGRAM

Introducción y Motivación

Pregunta

¿Tenemos riesgo (en España) de que se produzca un tsunami que impacte en nuestras costas?



SI



DEBEMOS ESTAR PREPARADOS

Introducción y Motivación

Directriz Básica

- 21 de Noviembre de 2015 (BOE - RD 1053/2015)
- Planificación de Prot Civil ante el Riesgo de Maremoto



Evaluación de la peligrosidad de maremotos



Cartografía de Peligrosidad

(Ámbitos territoriales de Riesgo)

Introducción y Motivación

¿Qué dice esta Cartografía de Peligrosidad?

Imprescindible / Aconsejable / Innecesario



Introducción y Motivación

Planes de Comunidades Autónomas

- **Andalucía**
- **Canarias**
- **Galicia**
- **C. Murciana**
- **C. Valenciana**
- **Baleares**
- **Cataluña**

Planes de Actuación de Ámbito Local

Introducción y Motivación



Coordenada X	Coordenada Y	Valor
1	1	0.1
1	2	0.2
1	3	0.3
1	4	0.4
1	5	0.5
1	6	0.6
1	7	0.7
1	8	0.8
1	9	0.9
1	10	1.0
2	1	0.1
2	2	0.2
2	3	0.3
2	4	0.4
2	5	0.5
2	6	0.6
2	7	0.7
2	8	0.8
2	9	0.9
2	10	1.0
3	1	0.1
3	2	0.2
3	3	0.3
3	4	0.4
3	5	0.5
3	6	0.6
3	7	0.7
3	8	0.8
3	9	0.9
3	10	1.0
4	1	0.1
4	2	0.2
4	3	0.3
4	4	0.4
4	5	0.5
4	6	0.6
4	7	0.7
4	8	0.8
4	9	0.9
4	10	1.0
5	1	0.1
5	2	0.2
5	3	0.3
5	4	0.4
5	5	0.5
5	6	0.6
5	7	0.7
5	8	0.8
5	9	0.9
5	10	1.0

Este documento es propiedad de la Universidad Politécnica de Canarias. Toda reproducción o uso no autorizado está expresamente prohibido. Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.



¿Y en España...?

¿Existe esta Cartografía de Peligrosidad por Tsunamis?

NO

¿Por qué?

- ¿Para qué? ¿No es necesario?
- UNESCO no la va a hacer

Pasos a seguir

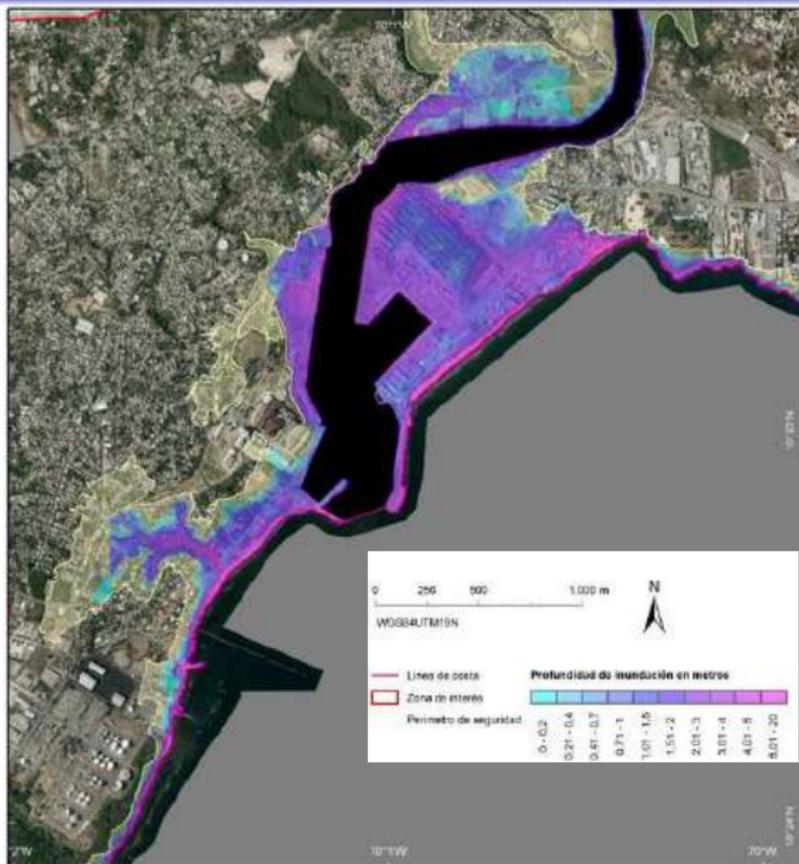
1. Determinar las fuentes tsunamigénicas

Aquellas con potencial impacto en las costas objeto de estudio

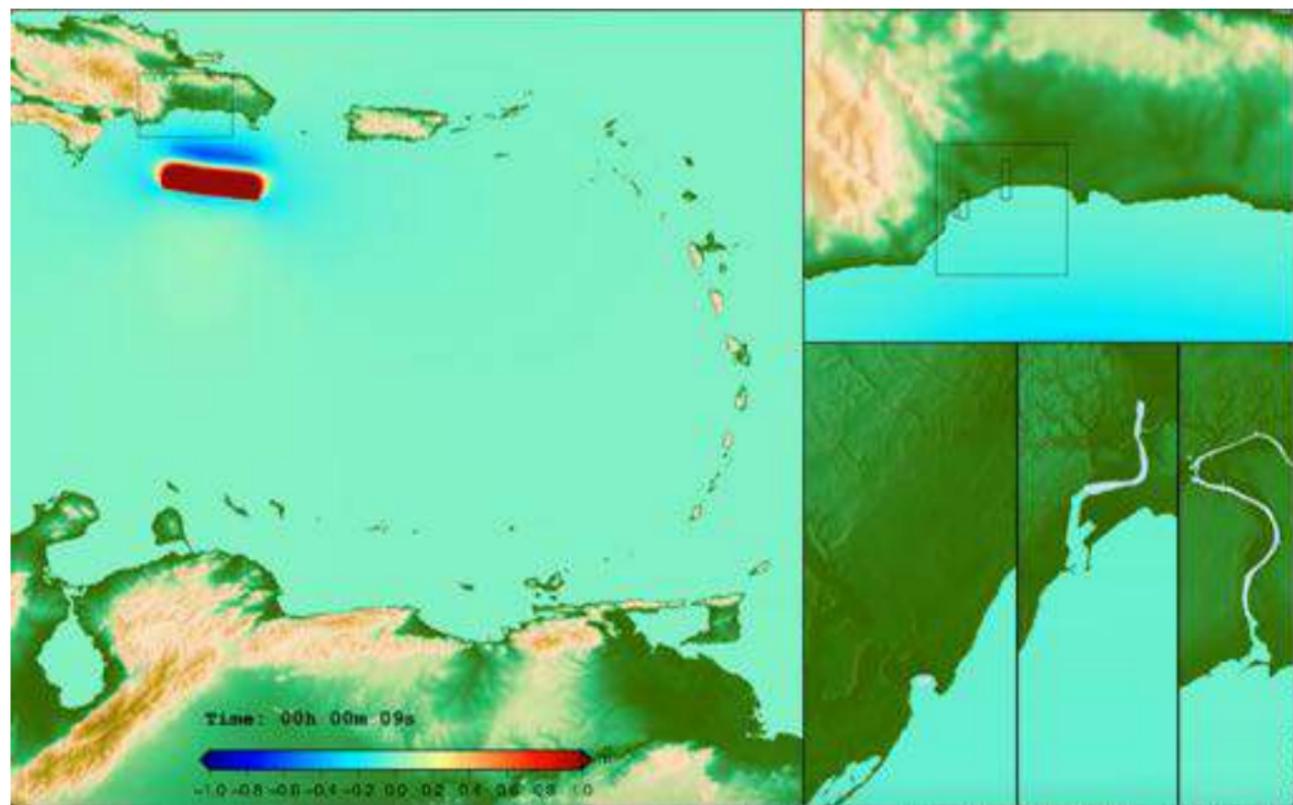
2. Realizar simulaciones numéricas con estas fuentes

Ejemplo en República Dominicana

¿Cómo se hace? → Simulación Numérica



Un ejemplo de Simulación Numérica

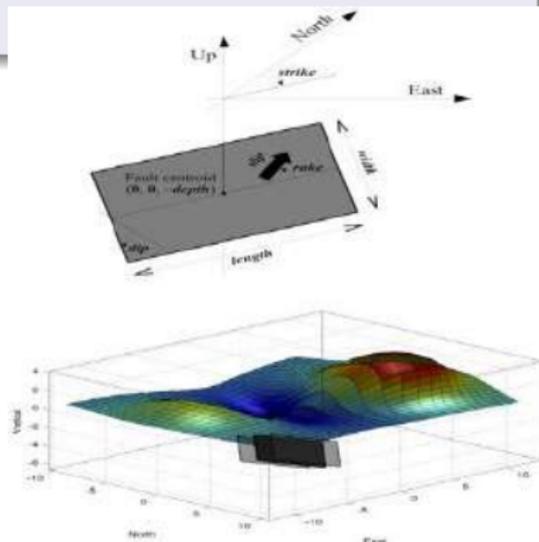
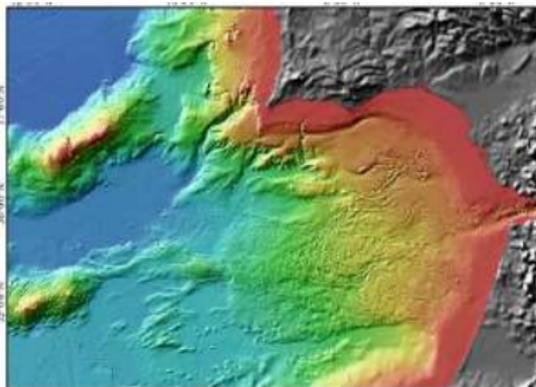


Cómo se hacen estas simulaciones numéricas

Modelos Matemáticos

Ingredientes

- **Modelo de deformación del fondo (Okada)**
- **Modelo de propagación e inundación (Tsunami-HySEA)**
- **Datos topo-batimétricos**



Cómo se hacen estas simulaciones numéricas

Modelo de propagación: Ecuaciones Shallow Water no lineales

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + \frac{g}{2} h^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = gh \frac{\partial H}{\partial x} - S_x, \\ \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + \frac{g}{2} h^2 \right) = gh \frac{\partial H}{\partial y} - S_y. \end{array} \right.$$

- ρ **densidad**; g **gravedad**;
- $H(\mathbf{x})$ **batimetría**; $h(\mathbf{x}, t)$, **espesor de la capa de agua**;
- $(u_x(\mathbf{x}, t), u_y(\mathbf{x}, t))$ **velocidad del fluido**;
- $q_x(\mathbf{x}, t) = u_x(\mathbf{x}, t)h(\mathbf{x}, t)$, $q_y(\mathbf{x}, t) = u_y(\mathbf{x}, t)h(\mathbf{x}, t)$ **flujos**;
- $S_f = (S_x, S_y)$ **efectos de fricción con el fondo**.

Modelos de Propagación de Tsunamis

Modelo Tsunami-HySEA (Grupo EDANYA - UMA)

- **Robusto**
- **Eficiente**
- **Implementación GPUs**



Modelos de Propagación de Tsunamis

Modelo Tsunami-HySEA (Grupo EDANYA - UMA)

- **Eficiente**
- **Implementación GPUs**



- **Mucho más rápido**
- **Tiempos de cálculo mucho más reducidos**

Pero además las GPUs

- **Una capacidad de cálculo sin precedentes**
- **Con un coste del hardware muy reducido**

Modelos de Propagación de Tsunamis

Modelo Tsunami-HySEA (Grupo EDANYA - UMA)

- Eficiente
- Implementación GPUs



- Mucho más rápido
- Tiempos de cálculo mucho más reducidos



Pero...

- Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis?

Modelos de Propagación de Tsunamis

Modelo Tsunami-HySEA (Grupo EDANYA - UMA)

- Eficiente
- Implementación GPUs

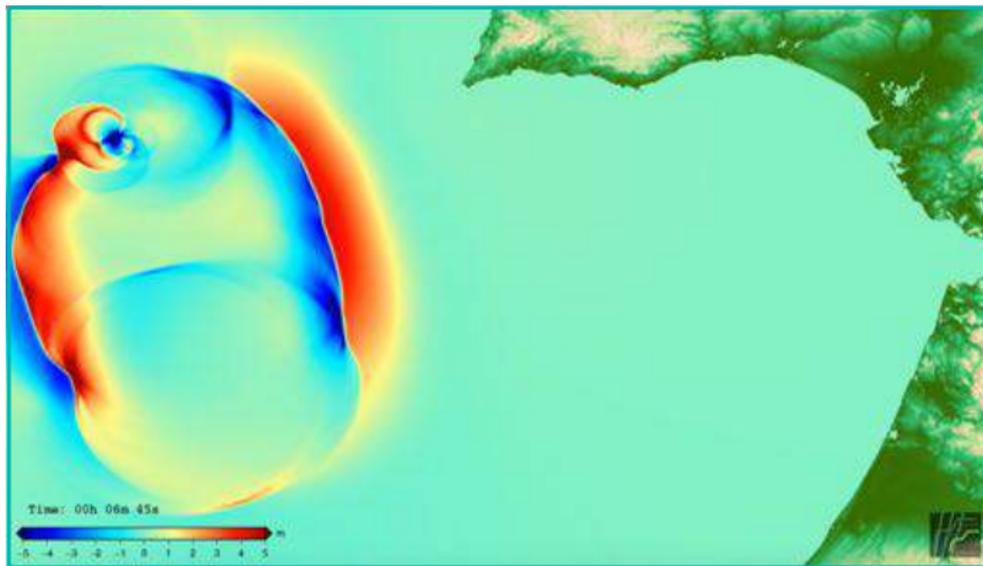


- Mucho más rápido
- Tiempos de cálculo mucho más reducidos

Por hacernos una idea...

- Speed up 200
- $10\text{h} = 36.000\text{ s} / 200 \Rightarrow 180\text{ s} = 3\text{ min}$

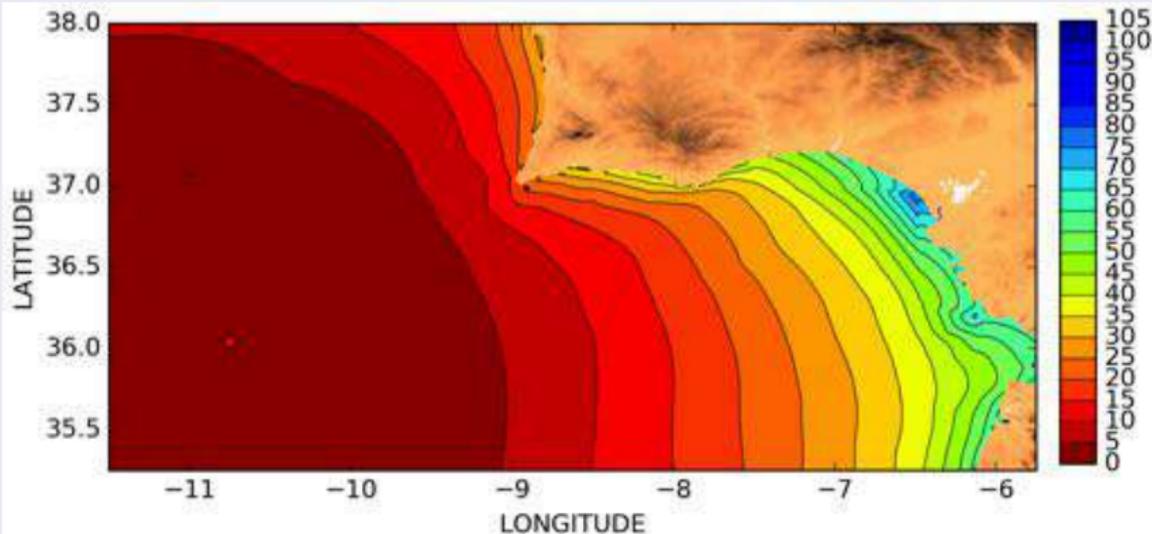
¿Cuánto tarda en llegar el tsunami?



Velocidad de propagación \sqrt{gh}

¿Cuánto tarda en llegar el tsunami?

Tiempos de Llegada



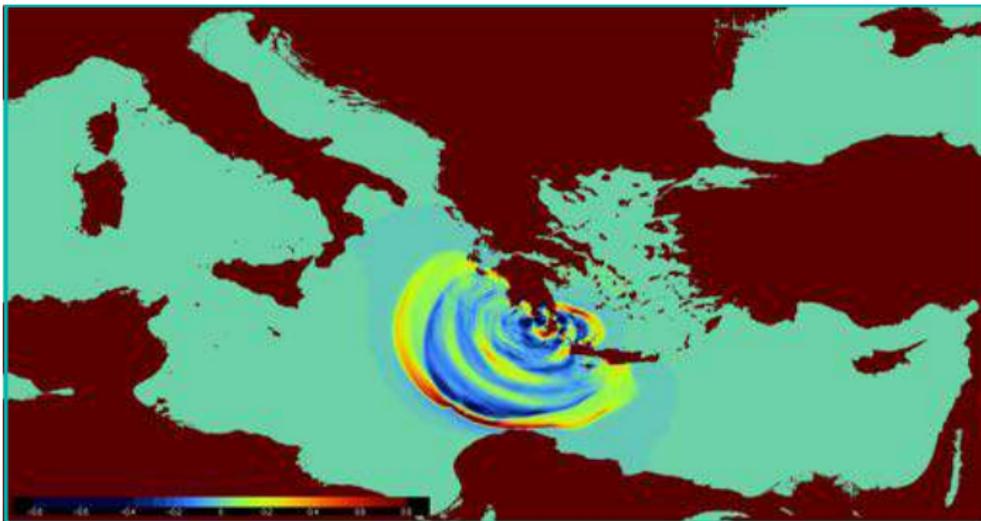
En el Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis de Italia

SAT de Tsunamis para todo el Mediterráneo

- Dominio: todo el Mediterráneo
- Resolución espacial: 30 arc-sec.
- Tamaño de la malla: $5,221 \times 1,921 = 10,029,541$ volúmenes.
- Tiempo de simulación: 8 horas.



En el Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis de Italia



En el Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis de Italia

Tiempo de cálculo necesario. Resultados de speed-up

n. GPUs	Tiempo Cálculo	Speed-up
1	2141.113	1.00
2	1139.477	1.88
4	601.279	3.56
8	378.074	5.66
10	351.969	6.08

Tiempo necesario: por debajo de los 6 min

* Cálculos realizados con nVIDIA Titan Black. 1 Gb ethernet network.

Continuas mejoras

- Balance de carga estática
- Ajuste del CFL
- Nuevas arquitecturas (Fermi, KEPLER, Maxwell, Pascal, Volta)

Por tanto, para un SAT², hay que calcular muy rápido

Colaboración EDANYA-JRC (UE)

- Convenio de colaboración 2015
- Integración de Tsunami-HySEA en TAT (Tsunami Analysis Tool)
- Incorporación al GDACS (Global Disaster and Coordination System)

JRC: Joint Research Center



Por tanto, para un SAT², hay que calcular muy rápido

Colaboración EDANYA-IGN

- Convenio de colaboración 2015
- Desarrollo y mantenimiento de la Red Nacional de Alerta de Tsunamis
- Adquisición de hardware e instalación de software.



Otras colaboraciones

Colaboración EDANYA-NOAA

- Convenio de colaboración 2016
- 5 contratos anuales desde 2012 hasta la actualidad
- Landslide-HySEA es el código oficial de la NOAA para tsunamis generados por deslizamientos.

NOAA: National Oceanographic and Atmospheric Administration

The Landslide-HySEA model benchmarking results

EDANYA Group, University of Malaga
PMEL / NOAA



2017 NTHMP TSUNAMIGENIC LANDSLIDE MODEL BENCHMARKING WORKSHOP,
JANUARY 9-11, 2017

HOSTED BY TEXAS A&M UNIVERSITY AT GALVESTON, TEXAS



Otras colaboraciones

Colaboración EDANYA-SHOA(Chile)-UTFSM(Chile)

- Convenio de colaboración 2017

Colaboración EDANYA-IHC

- Convenio de colaboración 2015
- Integración de Tsunami-HySEA en TsuSy

Colaboración EDANYA-GFZ(Alemania)

- Integración de Tsunami-HySEA en TRIDEC Cloud



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



Tsunami-HySEA approved for Tsunami Risk Assessment in USA

Certificado para estudios de riesgo por Tsunamis en EEUU

- Según los estándares del NTHMP
- Avalado por la NOAA
- Superado proceso de validación y verificación
- Desde inicios de 2017



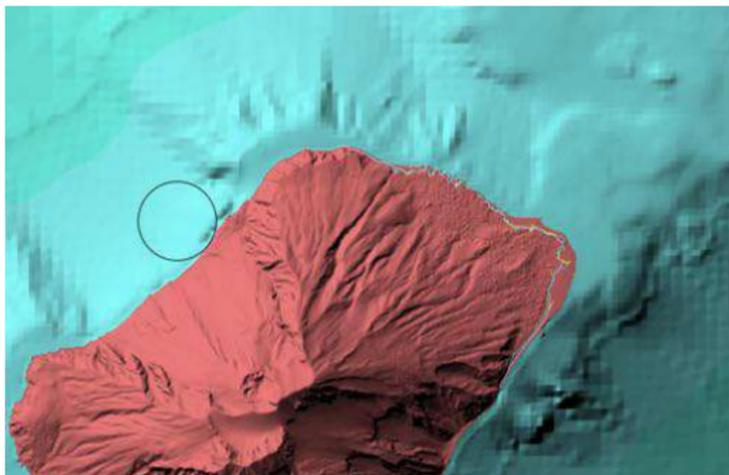
National
Tsunami
Hazard
Mitigation
Program



Fuentes tsunamigénicas sedimentarias

Sistema de Alerta Temprana de Tsunamis en Stromboli

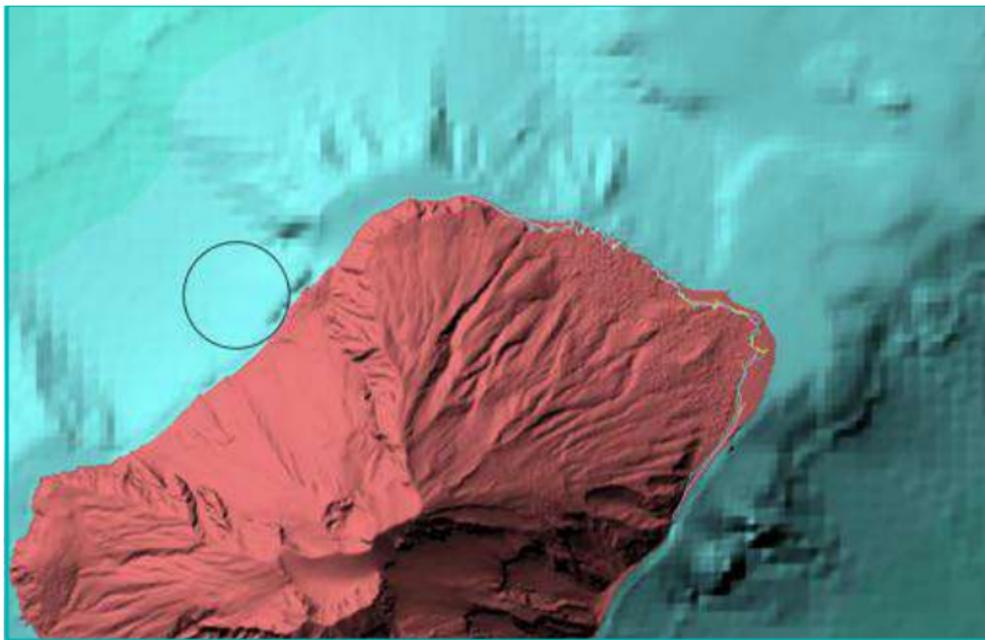
- Proyecto financiado por la Protección Civil de Italia
- Desarrollado en colaboración con INGV Pisa



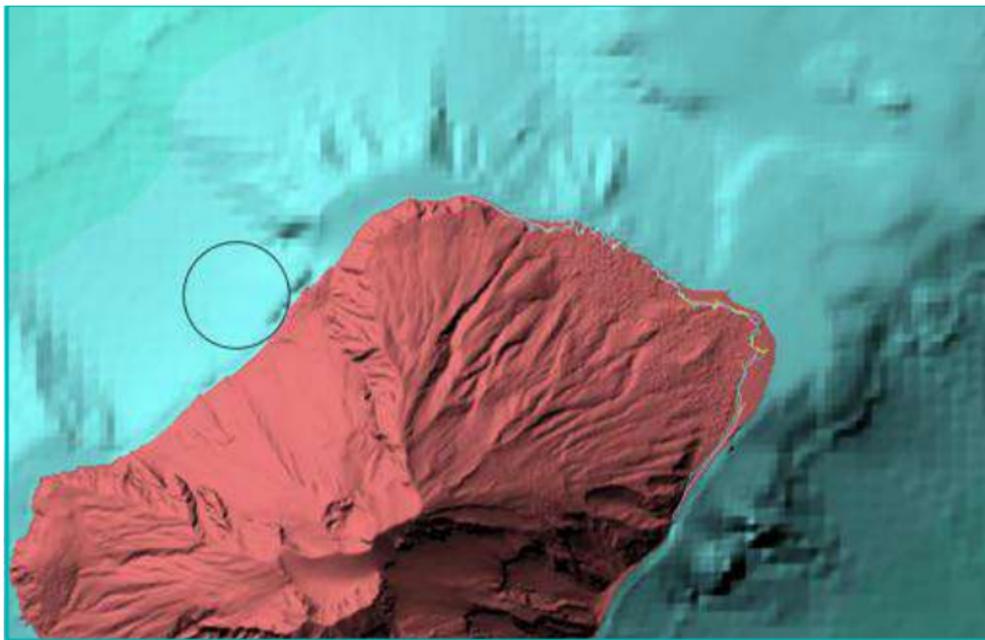
Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia
Sezione di Pisa



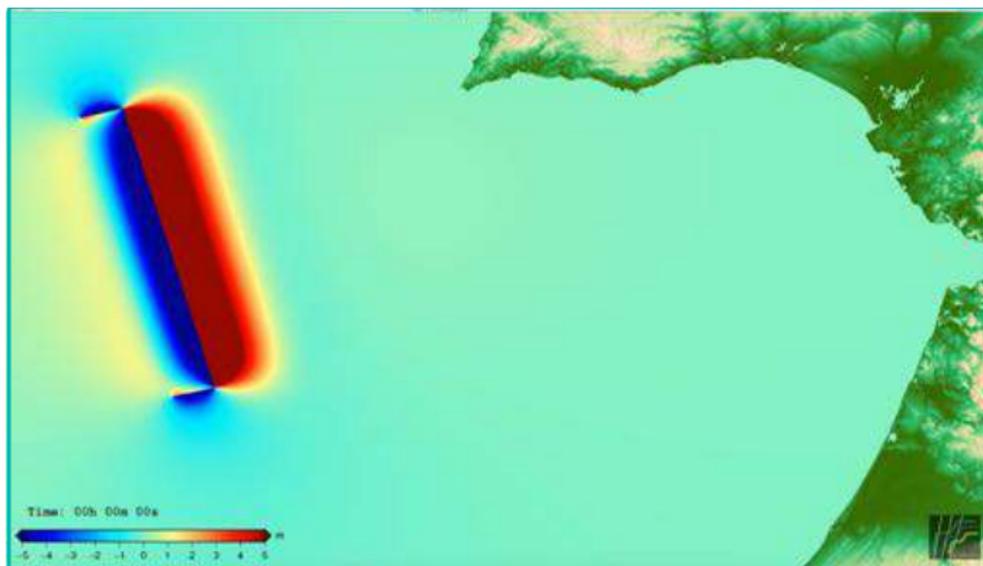
Simulación Stromboli - Evento diciembre 2002



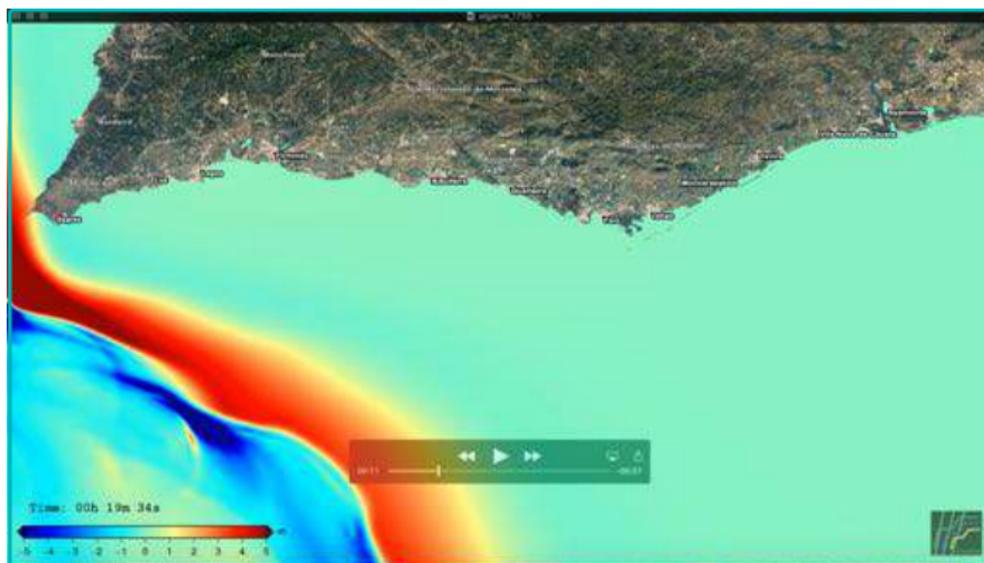
Simulación Stromboli - Evento diciembre 2002



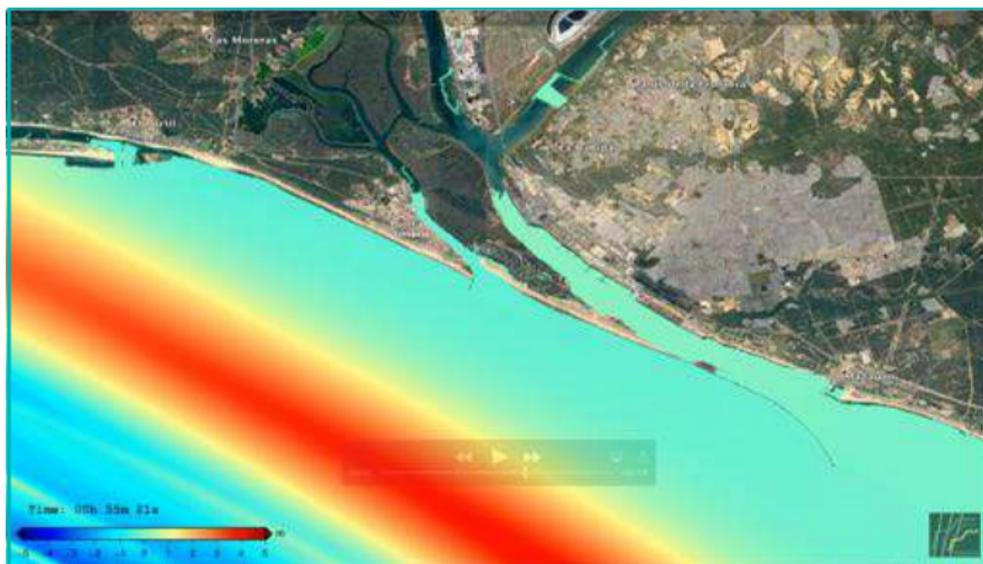
Cádiz 1755 - Simulaciones para “La Gran Ola”



Cádiz 1755 - Simulaciones para “La Gran Ola”



Cádiz 1755 - Simulaciones para “La Gran Ola”



Comentarios Finales

Tenemos (existen) las herramientas tecnológicas

- 1 **Detección**
- 2 **Caracterización**
- 3 **Simulación en tiempo real**

Pero además (y más importante)...

- 1 **Educación** ciudadana y concienciación
- 2 **Planes de Actuación**
- 3 **No olvidar que el riesgo existe... y estar preparados.**

Gracias por su atención

Actividad asociada al Día Mundial de Concienciación ante el Riesgo de Tsunamis



**WORLD
TSUNAMI
AWARENESS
DAY**
5 NOVEMBER
2017



<https://www.uma.es/edanya>

Subscríbete a EDANYA YouTube channel

e-mail: jmacias@uma.es

+FB: <https://www.facebook.com/edanya.uma/>

+TW: [@EdanyaUMA](#), [@JorgeMACSAN](#)