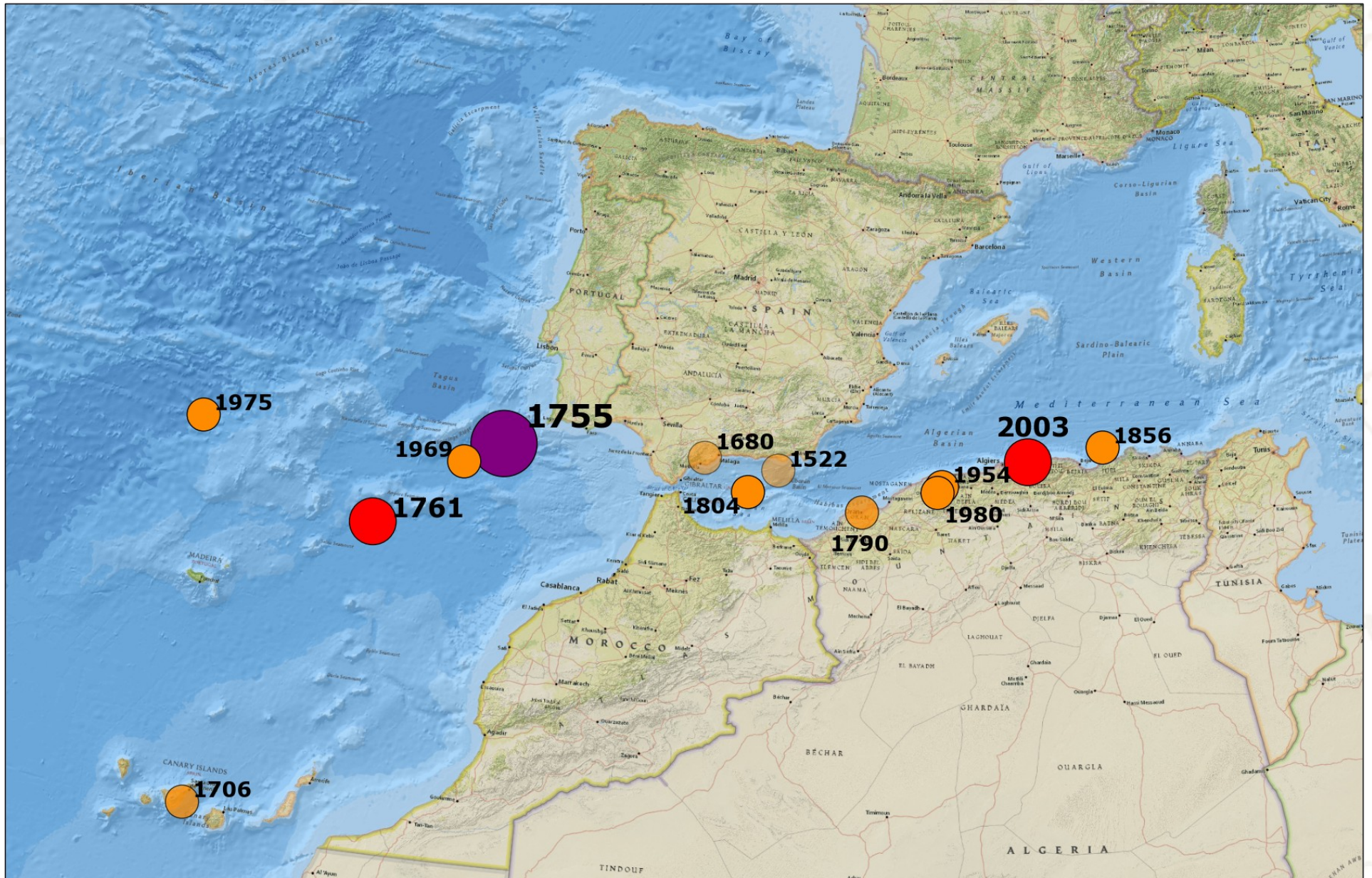


Spanish Tsunami Warning System

Tsunamis in Spain



Tsunamis in Spain (Atlantic)



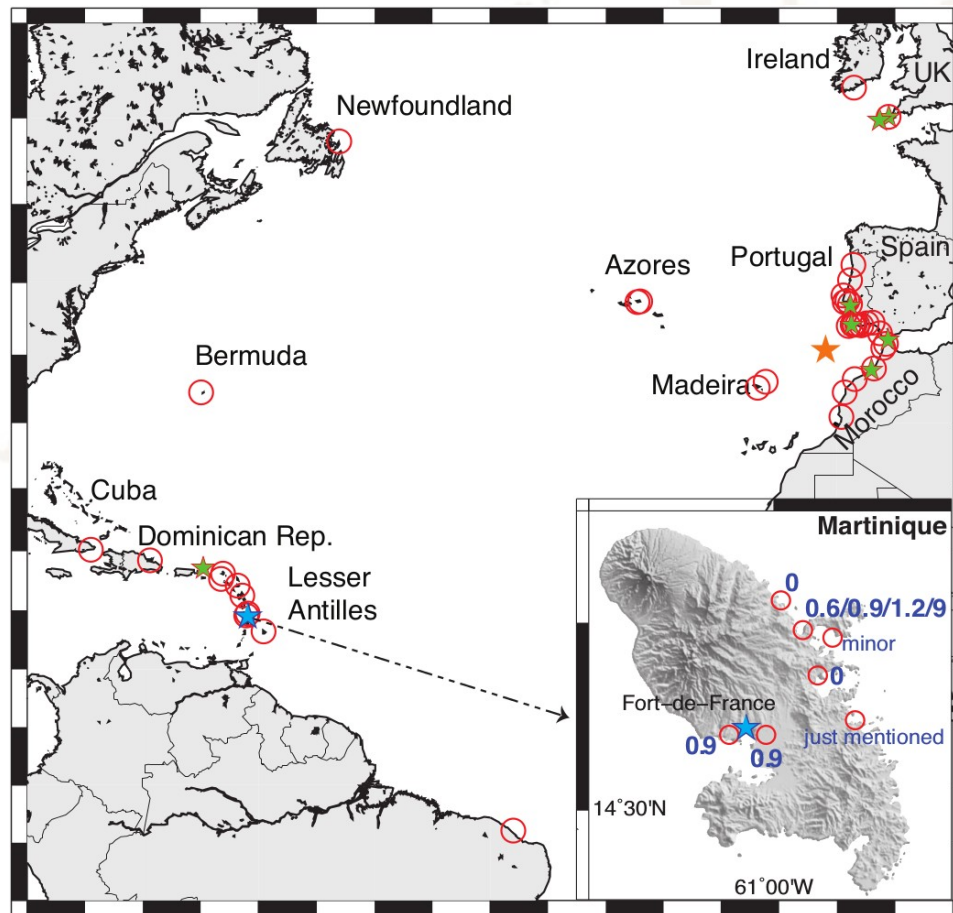
1755 Tsunami



- Magnitude 8.5 earthquake
- 10-15 m wave height
- 1200+ drowned only in Spain

Tsunamis in Spain (Atlantic)

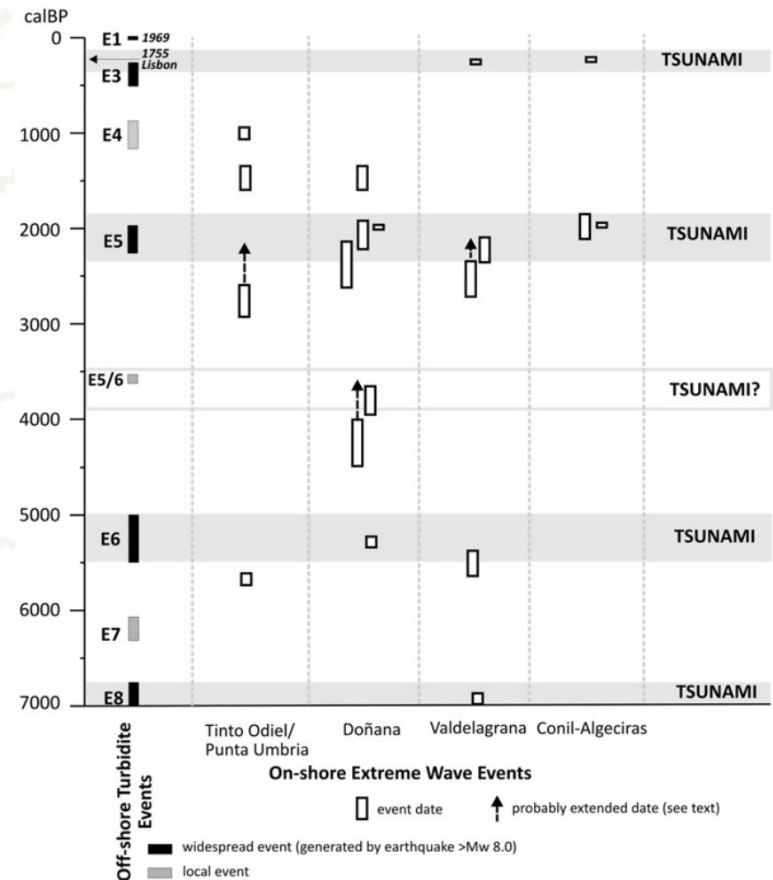
1755 Tsunami deposits



Clouard et al. (2017, in press)

Tsunamis in Spain (Atlantic)

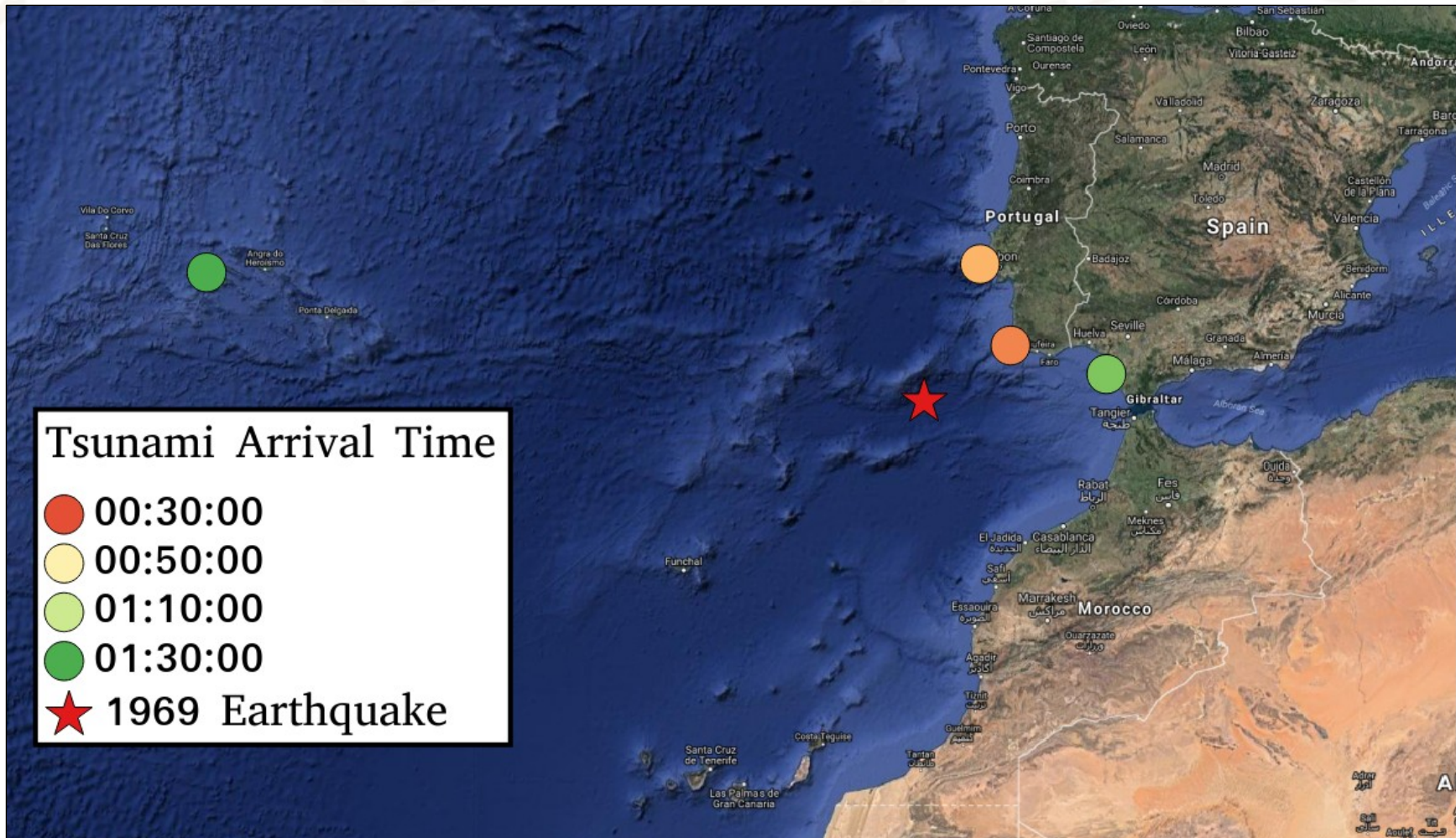
- **Palaeo-tsunamis:** ~5 similar events in the last 7,000 years
- **Historic tsunamis:**
III BC, 881, 1761, 1969



Lario et al. (2011)

Tsunamis in Spain (Atlantic)

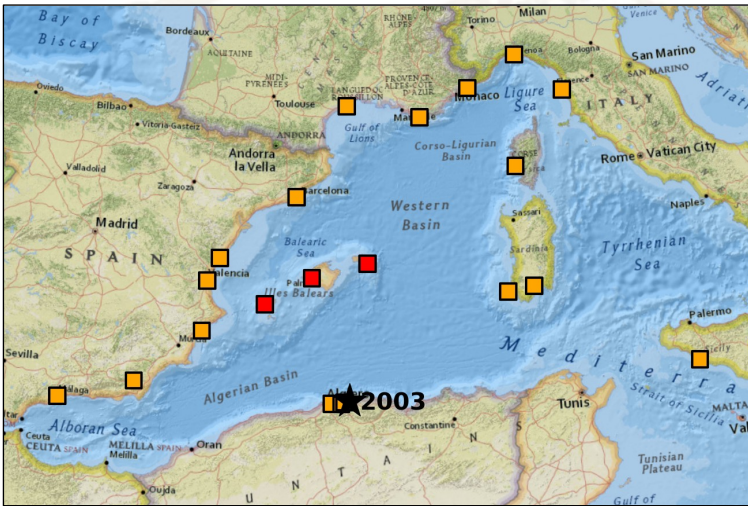
Tsunami arrival time



After Baptista et al. (1992)

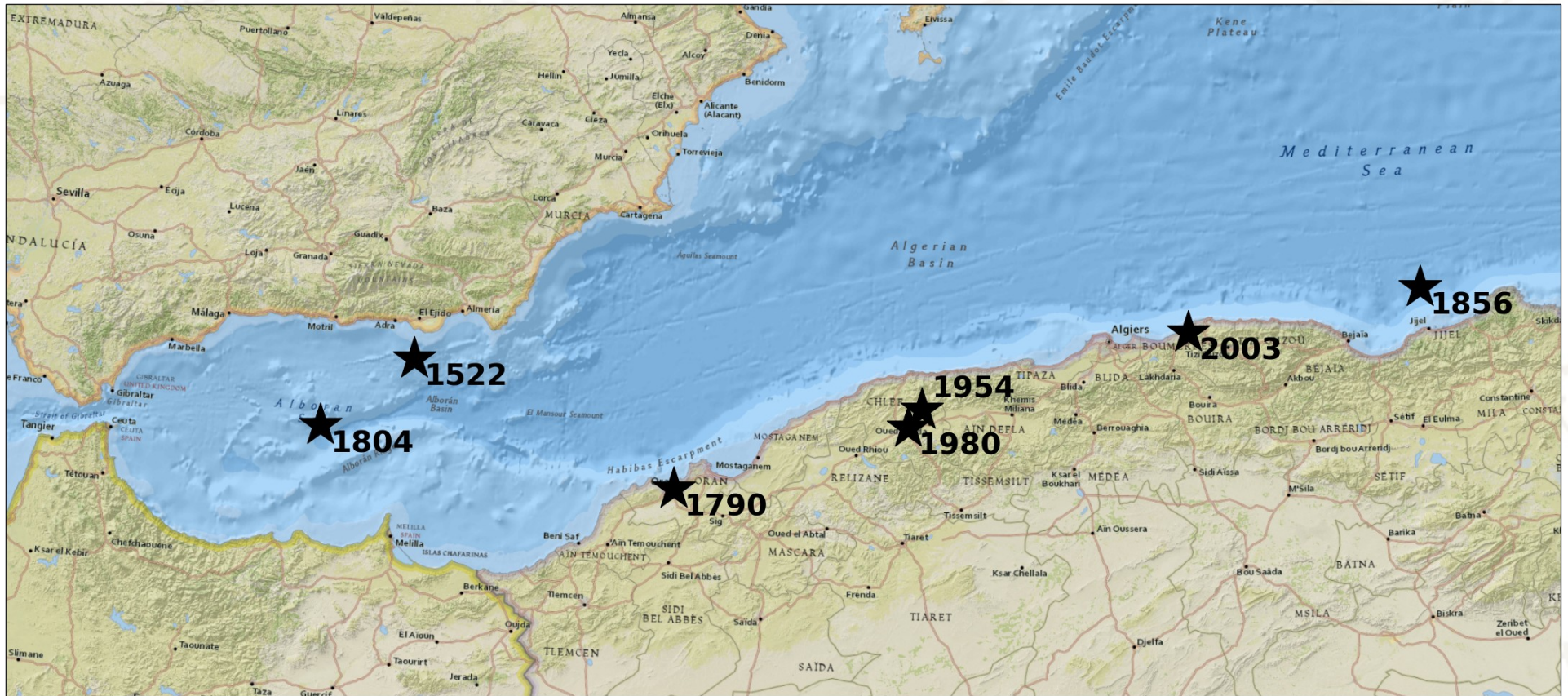
Tsunamis in Spain (Mediterranean)

2003 Tsunami



- Boumerdès (Algeria) M6.8 earthquake
- Whole Western Mediterranean affected
- +1m wave height at Balearic Islands

Tsunamis in Spain (Mediterranean)

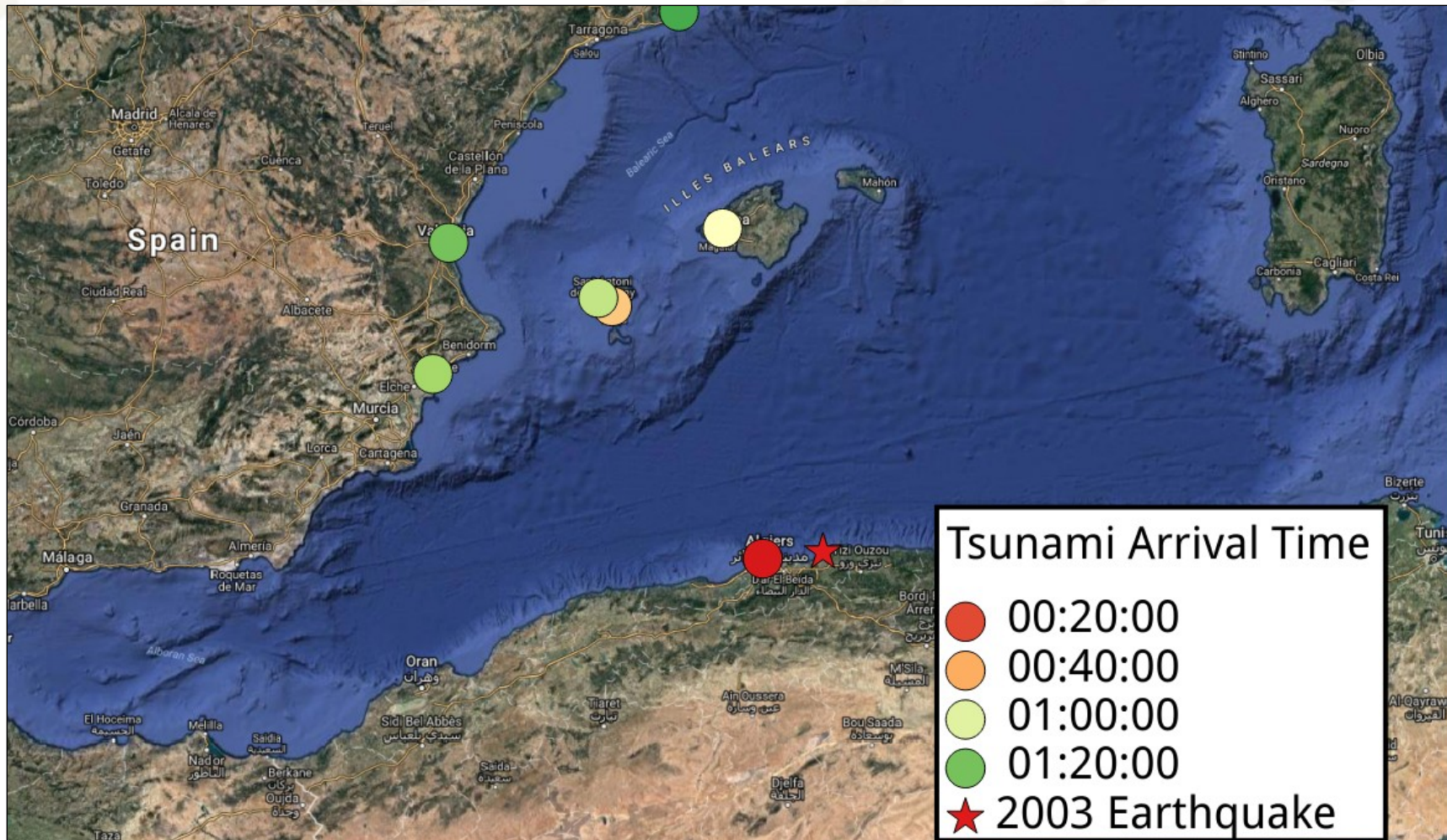


- **Historic tsunamis:**

1522, 1680?, 1790, 1804, 1856, 1954, 1980

Tsunamis in Spain (Atlantic)

Tsunami arrival time



After Alasset et al. (2004)

Tsunamis in Spain

- Big tsunamis NW Atlantic Ocean ~ 1,200 – 1,500 years
- 5 medium – small tsunamis in the last 65 years
- Short tsunami arrival times



SPANISH TSUNAMI WARNING SYSTEM

Spanish TWS Legal Framework

February 2013:

- Parliamentary motion to create a Spanish NTWC

March 2015:

- IGN designated by the IOC as the NTWC

November 2015:

- **Basic Guidelines of Civil Protection against Tsunami Risk**

Work in progress:

- National Plan of Civil Protection against Tsunami Risk
- Regional Plans of Civil Protection against Tsunami Risk

STWS Cooperation Agreements

International organizations

- Joint Research Center (EU)
- Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO)

Sea level networks

- Spanish Port Agency
- Portugal, Balearic, Algerian networks

Tsunami modeling groups

- U. Cantabria, U. Málaga

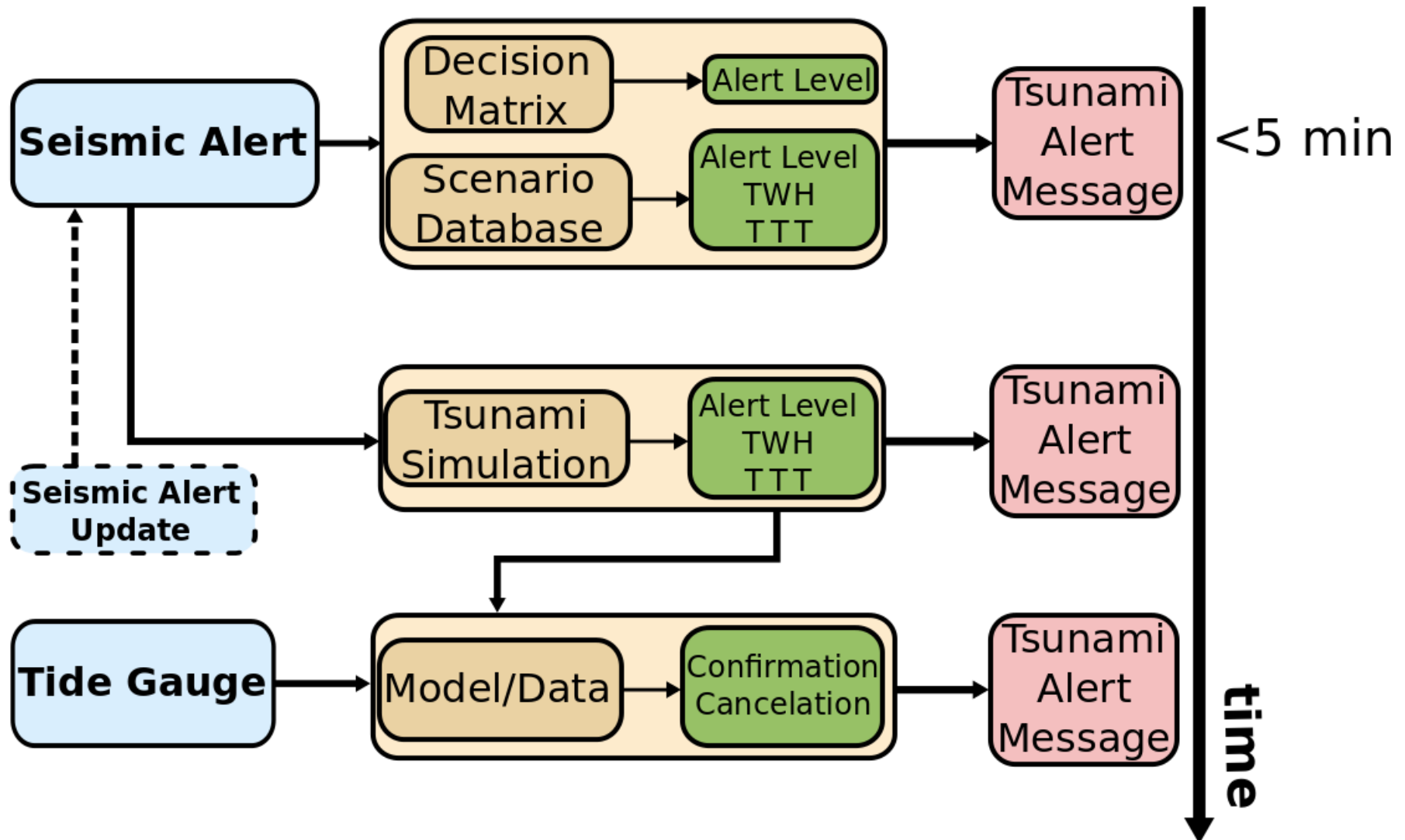
Bathymetry data

- Spanish Navy, IEO, M. Medio Ambiente

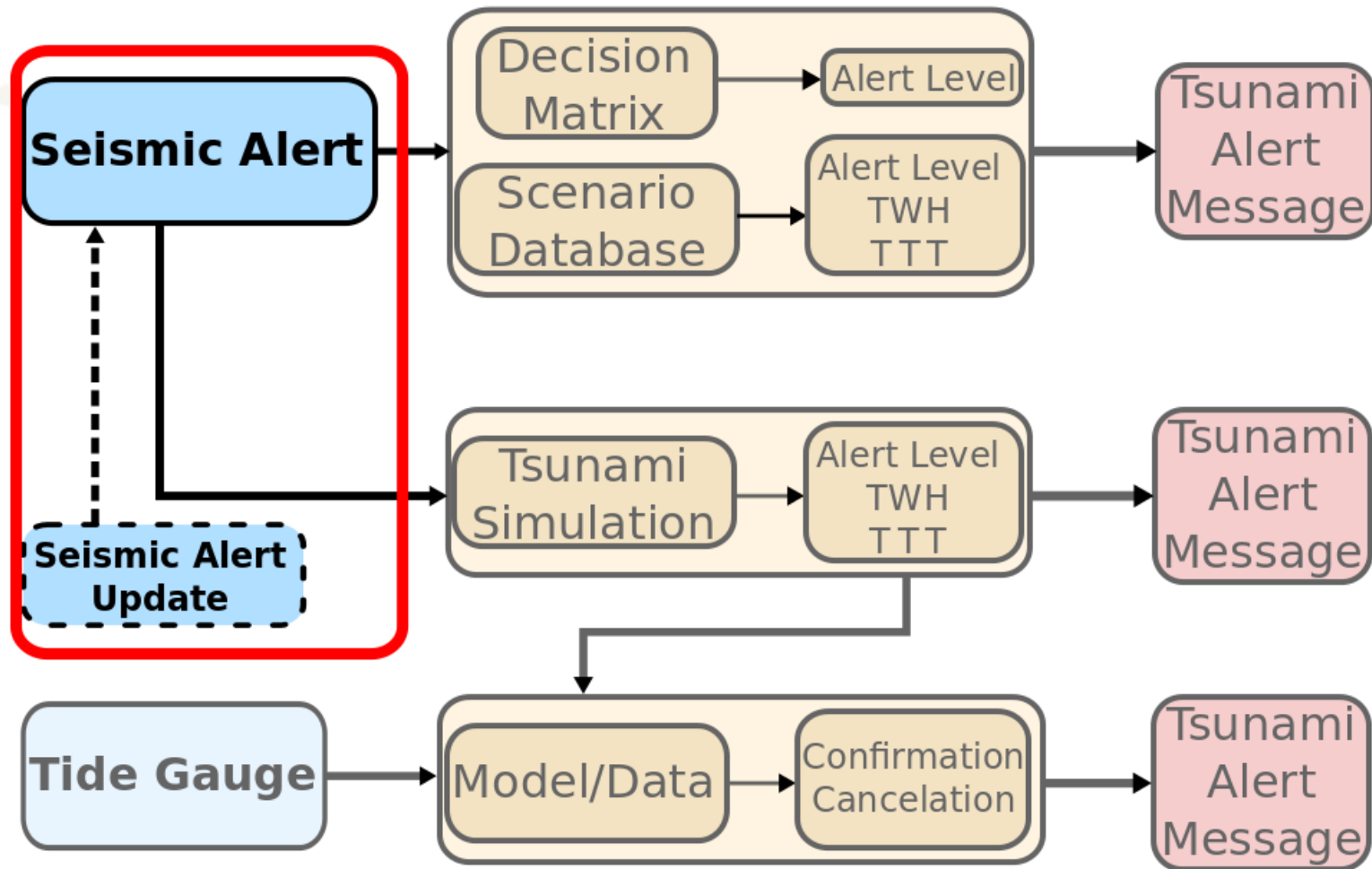
Ionosphere/GNSS

- U. Complutense Madrid

Spanish Tsunami Warning System



Spanish Tsunami Warning System



Seismic Alert

+60 Real Time stations

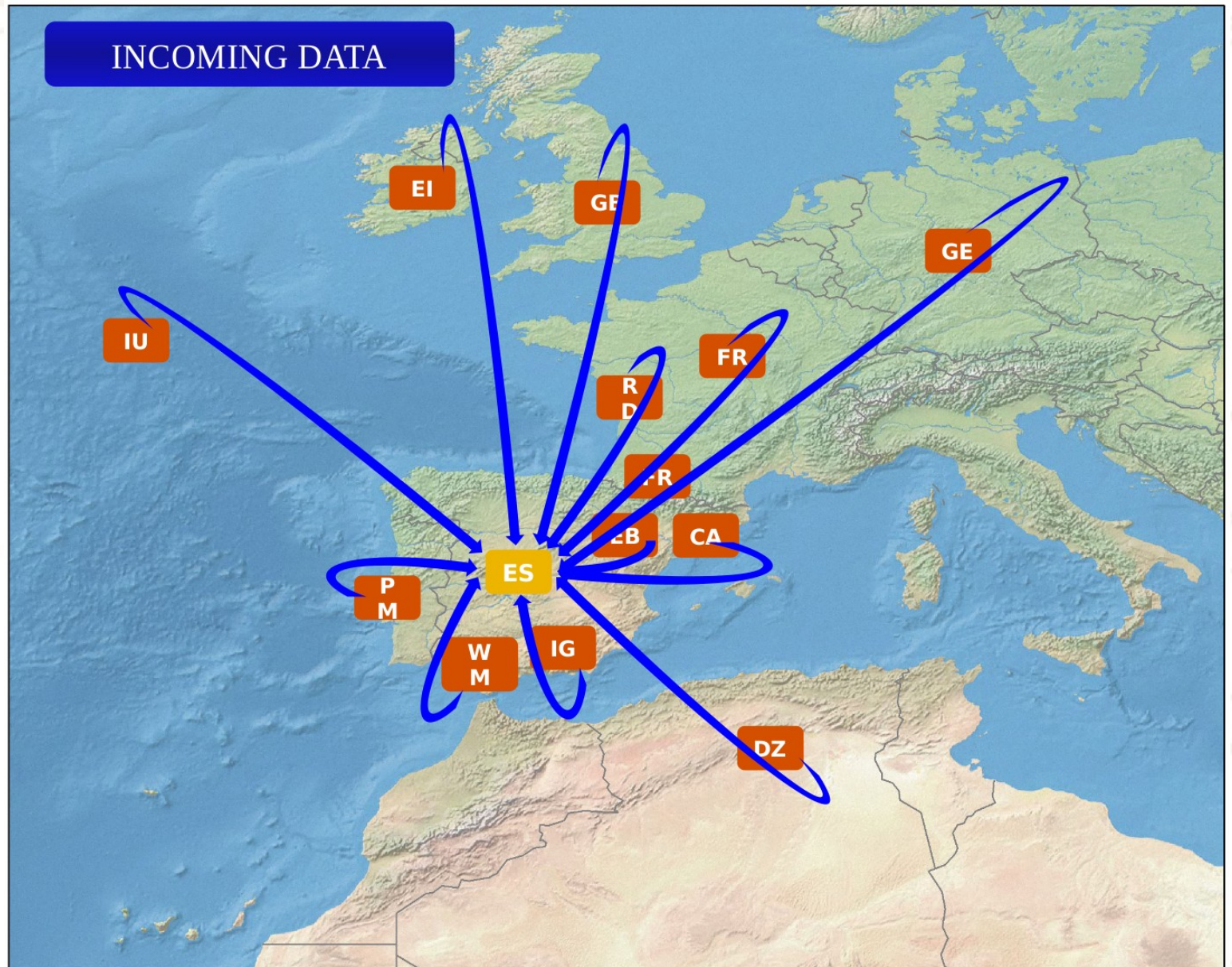


Seismic Alert



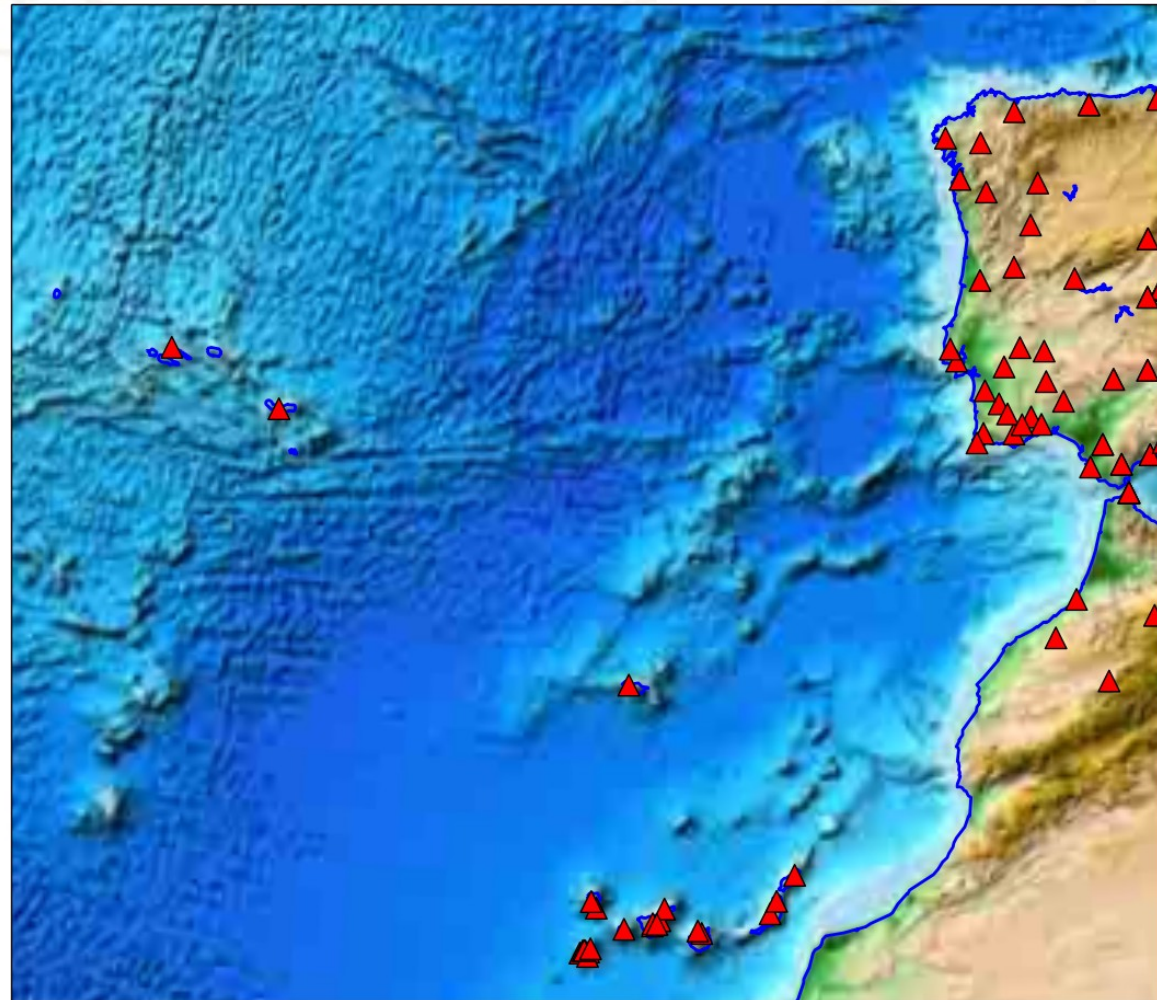
Seismic Alert

Seismic data exchange



Seismic Alert

Atlantic Ocean
coverage



Seismic Alert

Mediterranean Sea coverage



Seismic Alert



24/7 shifts



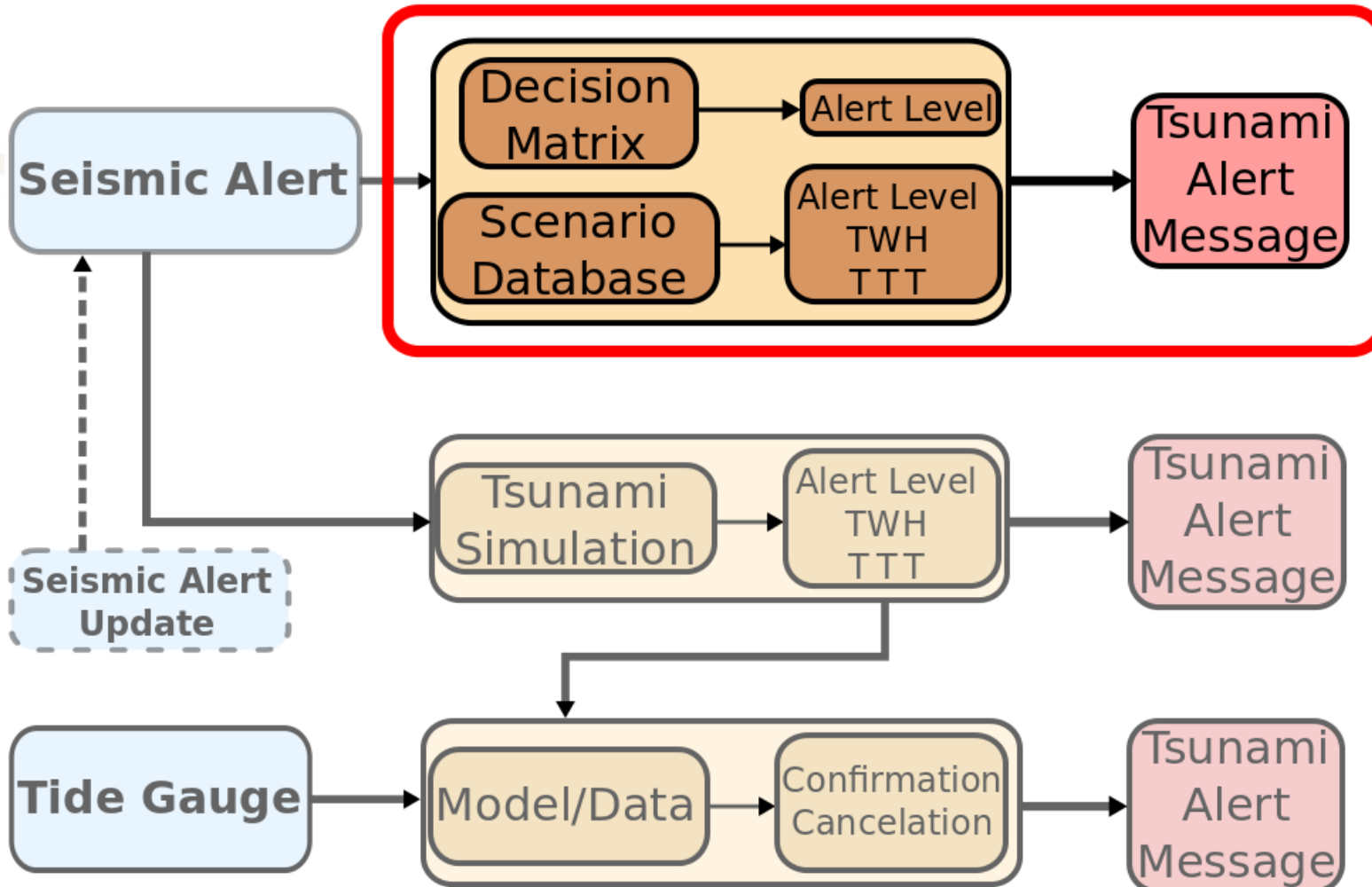
Seismic Alert

The screenshot displays a seismic alert software interface with the following components:

- Left Panel:** Shows event details for "Northern Algeria" on "2016-06-01 15:31:58" with a magnitude of "M 2.9" and a depth of "12.57 km". It includes a map of the region and a table of stations.
- Table:** A table with columns "Used", "Status", and "Phase". The "Used" column contains green checkmarks for all 16 rows. The "Status" column contains "M" for all rows. The "Phase" column contains "Pg", "Sg", "Pn", and "Sn" in a repeating pattern.
- Central Panel:** A "COMUNICADO REVISADO" window for event "ign2016ksxf" at "2016-06-01 15:31:58". It provides the following details:
 - Coordinates: 35.8289° N, 0.6659° E
 - Depth: 13 2.9M(mb)
 - Zone: NE RELIZANE.ARG
 - Time: Madrid 01/06/2016 17:13:01 (T.U.)
 - Location: A 14 km al noreste de RELIZANE
 - Coordinates: Latitud: 35.83 grados norte, Longitud: 0.67 grados este, Profundidad: 13 km
 - Magnitude: Magnitud M(mb) : 2.9
 - Zone: Zona epicentral : NE RELIZANE.ARG
- Map:** A map of the region around Relizane, Algeria, with the epicenter marked by a star. The map includes a scale bar (0-200 km) and the logo of the "Ministerio de Fomento Instituto Geográfico Nacional".
- Right Panel:** A distribution options menu titled "ESTE EVENTO SE ENVIARÁ A:". It includes checkboxes for "FAX", "WEB", "MOVILES GUARDIA/TWITTER", "EMAIL CSEM", and "TENSOR". The "FAX", "WEB", and "MOVILES GUARDIA/TWITTER" options are checked. Below the menu are "CANCELAR" and "CONFIRMAR" buttons.
- Bottom Panel:** A control bar with "LOCSAT" and "Relocate" buttons, a "Profile" dropdown set to "iberia", and checkboxes for "Fix depth" (checked), "Distance cutoff" (1000 km), and "Ignore initial location".

~2 minutes after origin time

First Tsunami Alert Message



First Tsunami Alert Message

ALERTA POR MAREMOTO MENSAJE 1 (2015-11-10 08:02:00 GMT)

EL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL INFORMA QUE SE HA PRODUCIDO UN TERREMOTO CON ID. WESTsunami CON LOS SIGUIENTES PARÁMETROS PRELIMINARES:

HORA INICIAL (GMT*): **2015-11-10 08:00:00**
LOCALIZACIÓN: **GOLFO DE CADIZ**
LATITUD: 36°N
LONGITUD: 10°W
PROFUNDIDAD: 5km.
MAGNITUD: **7.8 Mw**

LOS TERREMOTOS DE ESTA MAGNITUD TIENEN EL POTENCIAL DE GENERAR MAREMOTOS CON OLAS DESTRUCTIVAS A CIENTOS DE KILÓMETROS DEL EPICENTRO.

ALERTA POR MAREMOTO FUERTE EN LAS SIGUIENTES PROVINCIAS:
Huelva, Cádiz, Ceuta, Málaga, Pontevedra, Coruña (A), Asturias, Palmas (Las), Cantabria, Bizkaia

AVISO POR MAREMOTO DÉBIL EN LAS SIGUIENTES PROVINCIAS:
Santa Cruz de Tenerife

ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE ALERTA Y TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA:

CIUDAD	DISTANCIA EPICENTRAL [km]	NIVEL ALERTA	TIEMPO LLEGADA (GMT)
Isla Cristina	274	ALERTA	2015-11-10 08:54:00
Larache (Marruecos)	359	ALERTA	2015-11-10 08:53:00
Assilah (Marruecos)	363	ALERTA	2015-11-10 08:56:00
Tanger (Marruecos)	379	ALERTA	2015-11-10 08:56:00
Casablanca (Marruecos)	344	ALERTA	2015-11-10 08:56:40
Moulay Bouselhame (Marruecos)	358	ALERTA	2015-11-10 08:57:28
Cádiz	338	ALERTA	2015-11-10 09:00:00
Sanlúcar de Barrameda	330	ALERTA	2015-11-10 09:02:00
Huelva	307	ALERTA	2015-11-10 09:04:00
Ceuta	423	ALERTA	2015-11-10 09:14:23
Algeciras	410	ALERTA	2015-11-10 09:18:40
Estepona	438	ALERTA	2015-11-10 09:24:43
Santa Cruz de Tenerife	1024	AVISO	2015-11-10 09:25:38
Las Palmas de Gran Canaria	1014	AVISO	2015-11-10 09:27:00
Arrecife	851	ALERTA	2015-11-10 09:28:00
Santa Cruz de la Palma	1093	AVISO	2015-11-10 09:30:00
Muros	758	ALERTA	2015-11-10 09:31:40
Vigo	700	ALERTA	2015-11-10 09:35:44
Puerto del Rosario	910	ALERTA	2015-11-10 09:37:00
Málaga	506	ALERTA	2015-11-10 09:38:51
A Coruña	830	ALERTA	2015-11-10 09:43:12
Santander	886	ALERTA	2015-11-10 10:13:58
Gijón	916	ALERTA	2015-11-10 10:22:53
Bilbao	1011	AVISO	2015-11-10 10:27:21

UN MAREMOTO ES UNA SERIE DE OLAS, ENTRE OLAS SUCESIVAS PUEDEN PASAR DE 5 MINUTOS A UNA HORA. LA PRIMERA OLA NO TIENE POR QUÉ SER LA MAYOR.
SE ENVIARÁN NUEVOS MENSAJES EN RELACIÓN AL TERREMOTO CON ID. WESTsunami.

LA ALERTA PERMANECERÁ ACTIVA HASTA LA EMISIÓN DE UN MENSAJE DE CANCELACIÓN DE LA MISMA.

EXPLICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DEL NIVEL DE ALERTA:
ALERTA ES PARA OLAS MAYORES DE 0.5 METROS.
AVISO ES PARA OLAS ENTRE 0.2 Y 0.5 METROS.
INFO ES PARA OLAS MENORES DE 0.2 METROS.

*Verano (Hora Oficial = Hora GMT + 2 horas)

*Invierno (Hora Oficial = Hora GMT + 1 Hora)

*(La hora oficial en Canarias es una hora menos que en el resto de España)

- Information
- Advisory
- Watch
- Cancellation

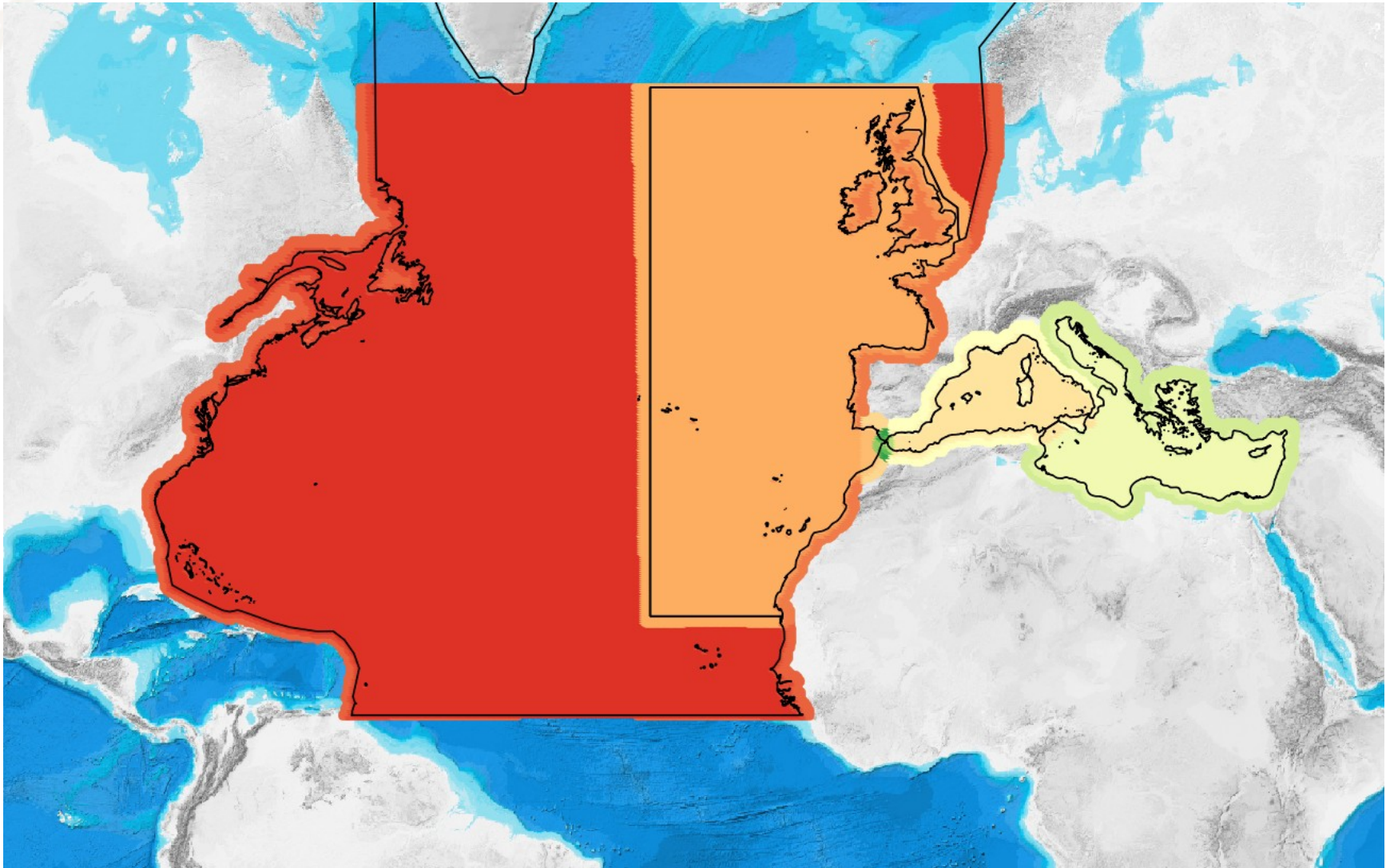
First Tsunami Alert Message

Decision Matrix

Tipo de Mensaje	Altura de ola	Run-up	Efecto en la costa
ALERTA	> 0.5 m	> 1 m	Inundación en la costa
AVISO	0.2 – 0.5 m	< 1 m	Corrientes, retirada del mar, daños en los puertos, pequeña inundación en las playas
INFORMACIÓN			No hay peligro de tsunami

First Tsunami Alert Message

Decision Matrix Areas



First Tsunami Alert Message

Matriz de Decisión para el Atlantico NE					
Profundidad	Localización epicentro	Mw	Tipo de Mensaje		
			Local < 100 km	Regional 100 – 1000 km	Cuenca > 1000 km
< 100 km	En el mar (AP) o menos de 40 km tierra adentro	5.5 – 6.4	INFORMACIÓN		
		6.5 – 6.9	AVISO	INFORMACIÓN	
		7.0 – 7.4	ALERTA	AVISO	INFORMACIÓN
	En el mar (AP o AL) o menos de 100 km tierra adentro	6.5 – 6.9	INFORMACIÓN		
		7.0 – 7.4	AVISO	AVISO	INFORMACIÓN
		7.5 – 7.9	ALERTA	ALERTA	AVISO
		≥ 8.0	ALERTA	ALERTA	ALERTA
> 100 km	En el mar (AP) o menos de 40 km tierra adentro	≥ 5.5	INFORMACIÓN		
	En el mar (AP) o menos de 100 km tierra adentro	≥ 6.5	INFORMACIÓN		
	En el mar (AL) o menos de 40 km tierra adentro	≥ 6.5	INFORMACIÓN		
	En el mar (AL) o menos de 100 km tierra adentro	≥ 7.5	INFORMACIÓN		

AP: Atlántico Próximo Latitud entre 20° y 60°; longitud entre -30 y la costa de África, España, Portugal y Gran Bretaña

AL: Atlántico Lejano Latitud entre 10° y 70°; longitud entre la costa del Caribe y la costa de Europa y África

First Tsunami Alert Message

Matriz de Decisión para el Golfo de Cádiz					
Profundidad	Localización epicentro	Mw	Tipo de Mensaje		
			Local < 100 km	Regional 100 – 400 km	Cuenca > 1000 km
< 100 km	En el mar o menos de 40 km tierra adentro	5.5 – 5.9	INFORMACIÓN		
		6.0 – 6.4	AVISO	INFORMACIÓN	
		6.5 – 6.9	ALERTA	AVISO	INFORMACIÓN
		7.0 – 7.4	ALERTA	ALERTA	AVISO
	En el mar o menos de 100 km tierra adentro	6.5 – 6.9	INFORMACIÓN		
		7.0 – 7.4	AVISO	AVISO	INFORMACIÓN
		7.5 – 7.9	ALERTA	ALERTA	AVISO
		≥ 8.0	ALERTA	ALERTA	ALERTA
> 100 km	En el mar o menos de 40 km tierra adentro	≥ 5.5	INFORMACIÓN		
	En el mar o menos de 100 km tierra adentro	≥ 6.5	INFORMACIÓN		

First Tsunami Alert Message

Matriz de Decisión para el Mediterráneo						
Profundidad	Localización epicentro	Mw	Tipo de Mensaje			
			Local < 100 km	Regional 100 – 400 km	Mediterráneo Occidental	
< 100 km	En el mar (MW) o menos de 40 km tierra adentro	5.5 – 5.9	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	
		6.0 – 6.4	AVISO	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	
		6.5 – 6.9	ALERTA	ALERTA	AVISO	
		≥ 7.0	ALERTA	ALERTA	ALERTA	
	En el mar (MW) o menos de 100 km tierra adentro	6.0 – 6.4	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	
		6.5 – 6.9	AVISO	AVISO	INFORMACIÓN	
		7.0 – 7.4	ALERTA	ALERTA	AVISO	
		≥ 7.5	ALERTA	ALERTA	ALERTA	
	En el mar (ME) o menos de 40 km tierra adentro	6.0 – 6.9			INFORMACIÓN	
		7.0 – 7.4			AVISO	
		≥ 7.5			ALERTA	
	En el mar (ME) o menos de 100 km tierra adentro	6.5 – 7.4			INFORMACIÓN	
		7.5 – 7.9			AVISO	
		> 8.0			ALERTA	
	> 100 km	En el mar (MW) o menos de 40 km tierra adentro	≥ 5.5	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN
		En el mar (MW) o menos de 100 km tierra adentro	≥ 6.0	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN	INFORMACIÓN
En el mar (ME) o menos de 40 km tierra adentro		≥ 6.0			INFORMACIÓN	
En el mar (ME) o menos de 100 km tierra adentro		≥ 6.5			INFORMACIÓN	

MW: Mediterráneo Occidental

Costas de España, Francia, oeste de Italia, Canal de Sicilia, Túnez, Argelia y Marruecos

ME: Mediterráneo Oriental

Costas del este de Italia, Eslovenia, Croacia, Bosnia, Montenegro, Albania, Grecia, Turquía, Siria, Líbano, Israel, Egipto, Libia, Túnez, Canal de Sicilia

First Tsunami Alert Message

Decision Matrix Results in 75 years

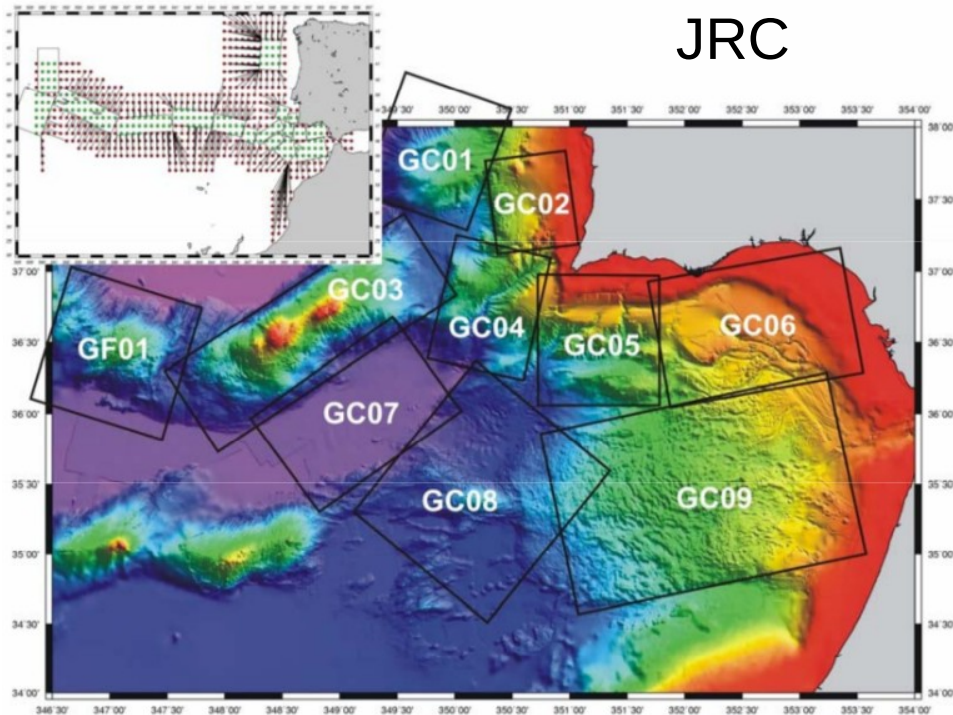
17 Tsunami Alerts issued (1 every 4-5 years)

- 30 % Tsunami in Spain
- 35 % Tsunami but not in Spain
- 35 % No Tsunami
- No Tsunami without alert

229 Information messages (~3 Info messages every year)

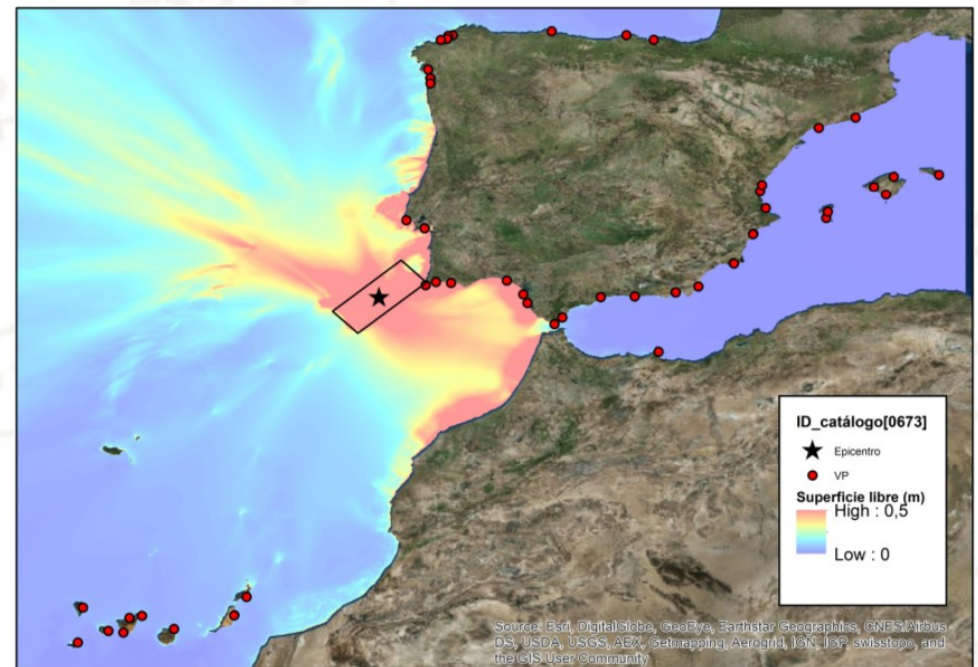
First Tsunami Alert Message

Scenario database



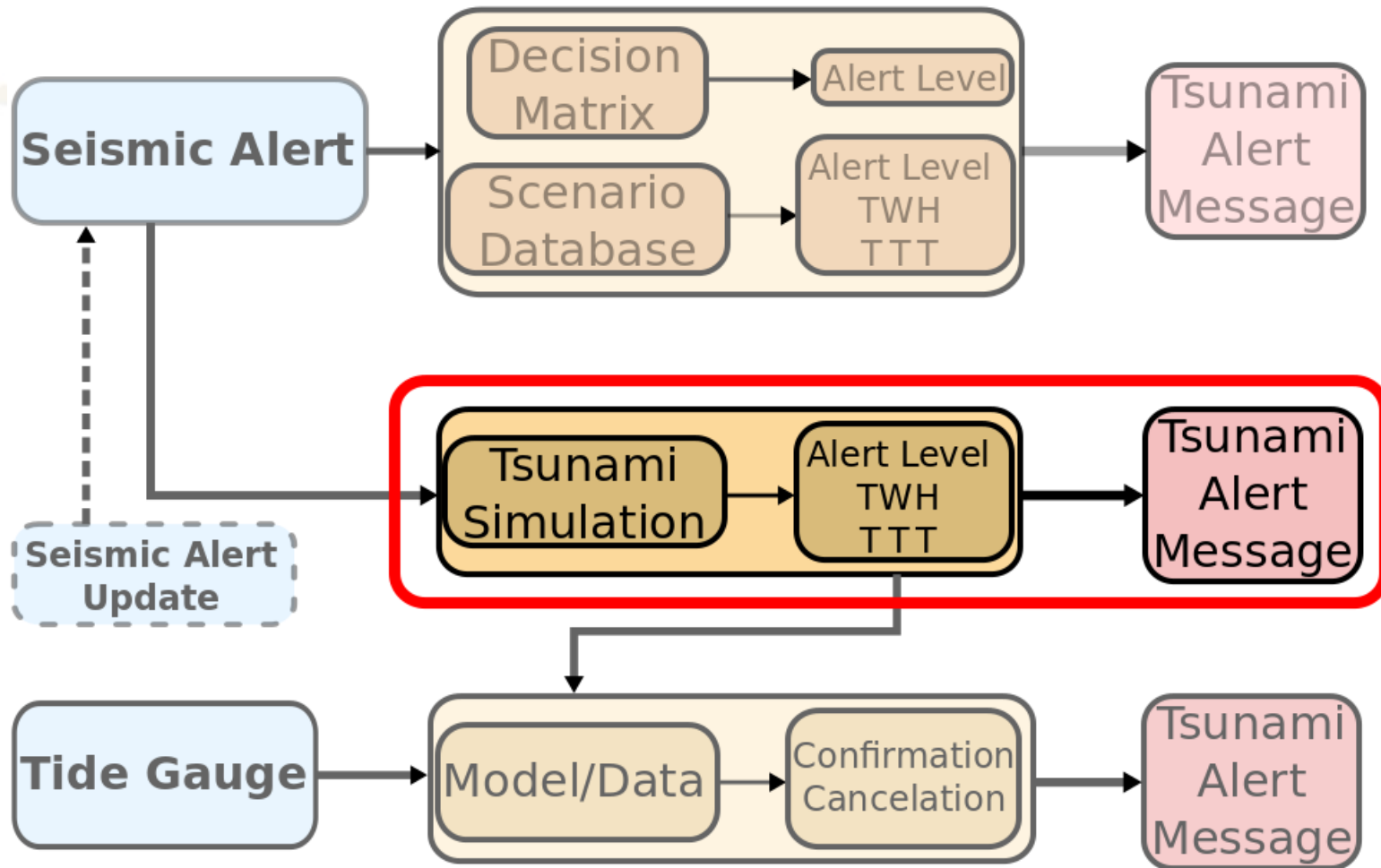
Matias et al. (2012)

IHC (U. Cantabria)



Echave (2016)

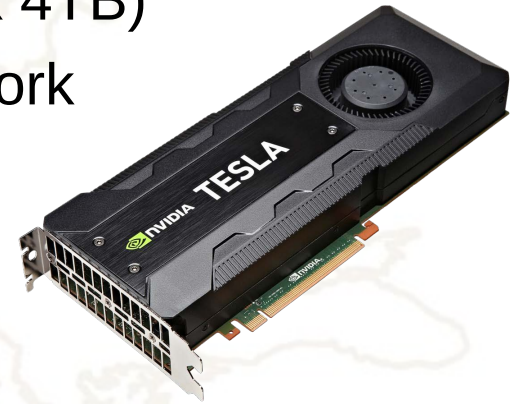
Tsunami Simulation



Tsunami Simulation



- 1 master node
- 2 computing nodes 2x(340 GB, 2 GPU)
- 1 storage node (11 x 4TB)
- 10 GB Internal Network



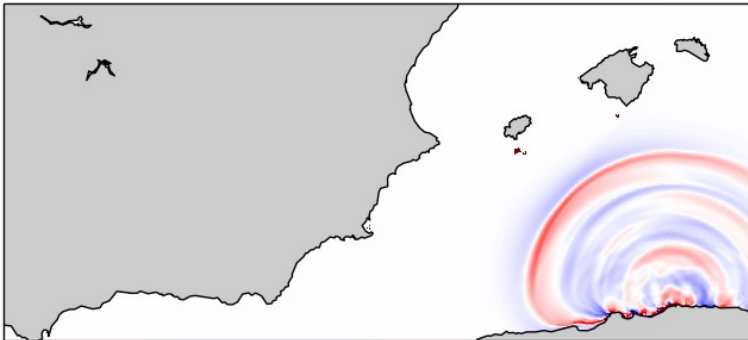
HySEA model (EDANYA U. Málaga)

Simulaciones de Tsunamis

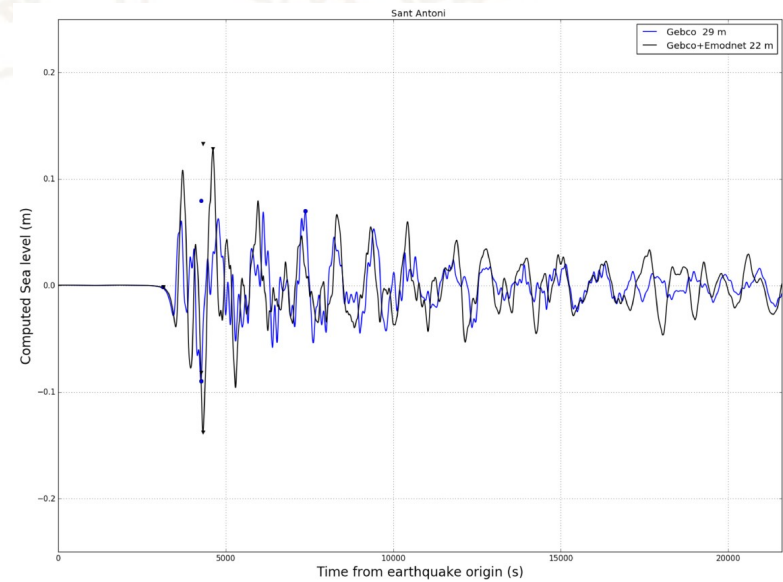
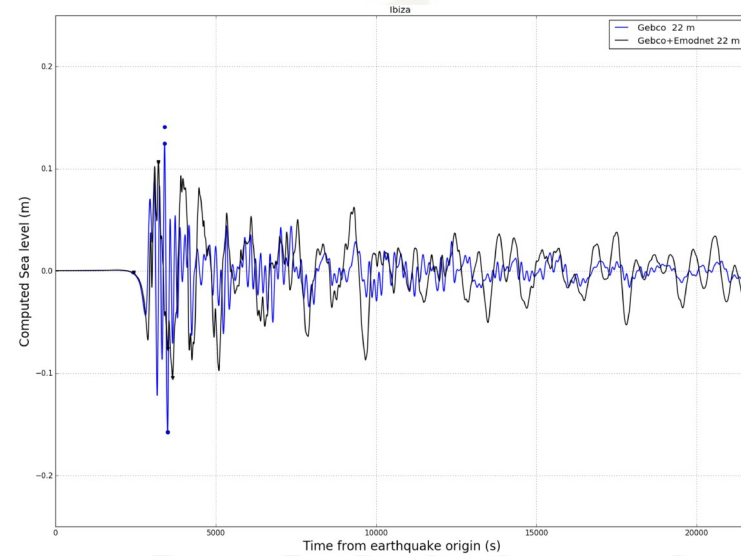
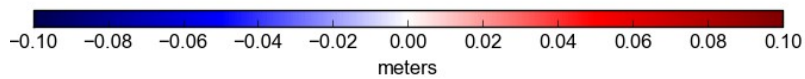
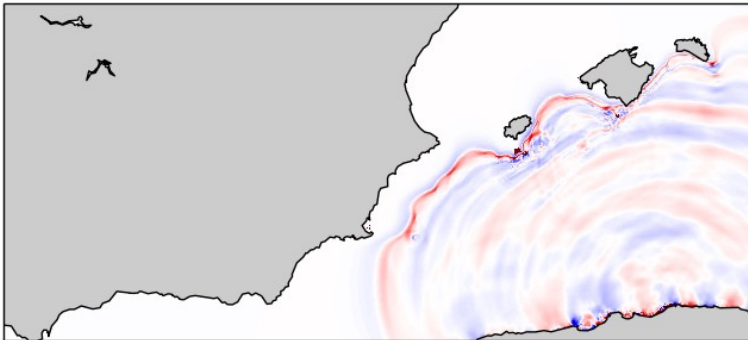
Wave amplitude
time=600.087



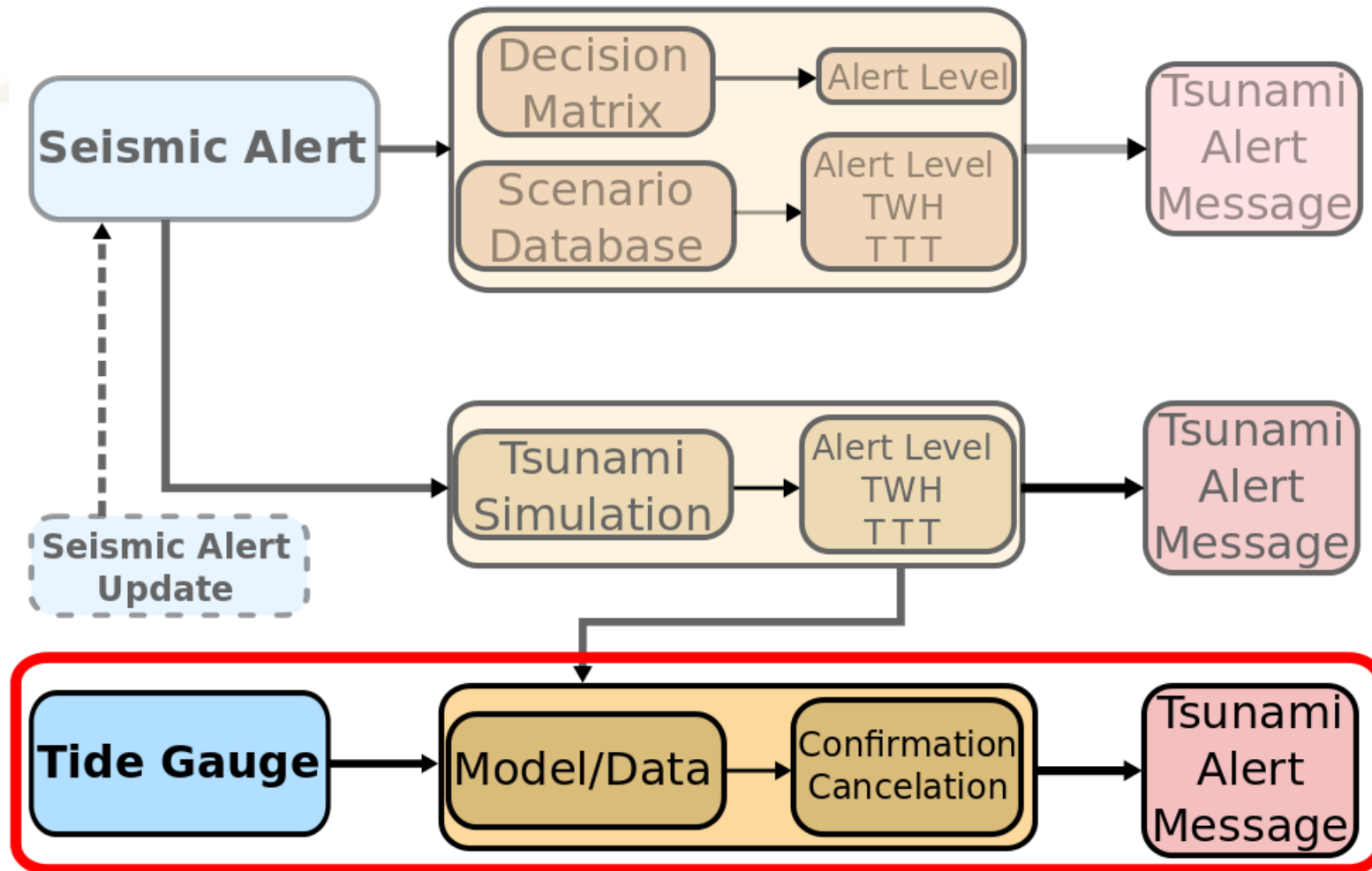
Wave amplitude
time=1200.17



Wave amplitude
time=2400.35

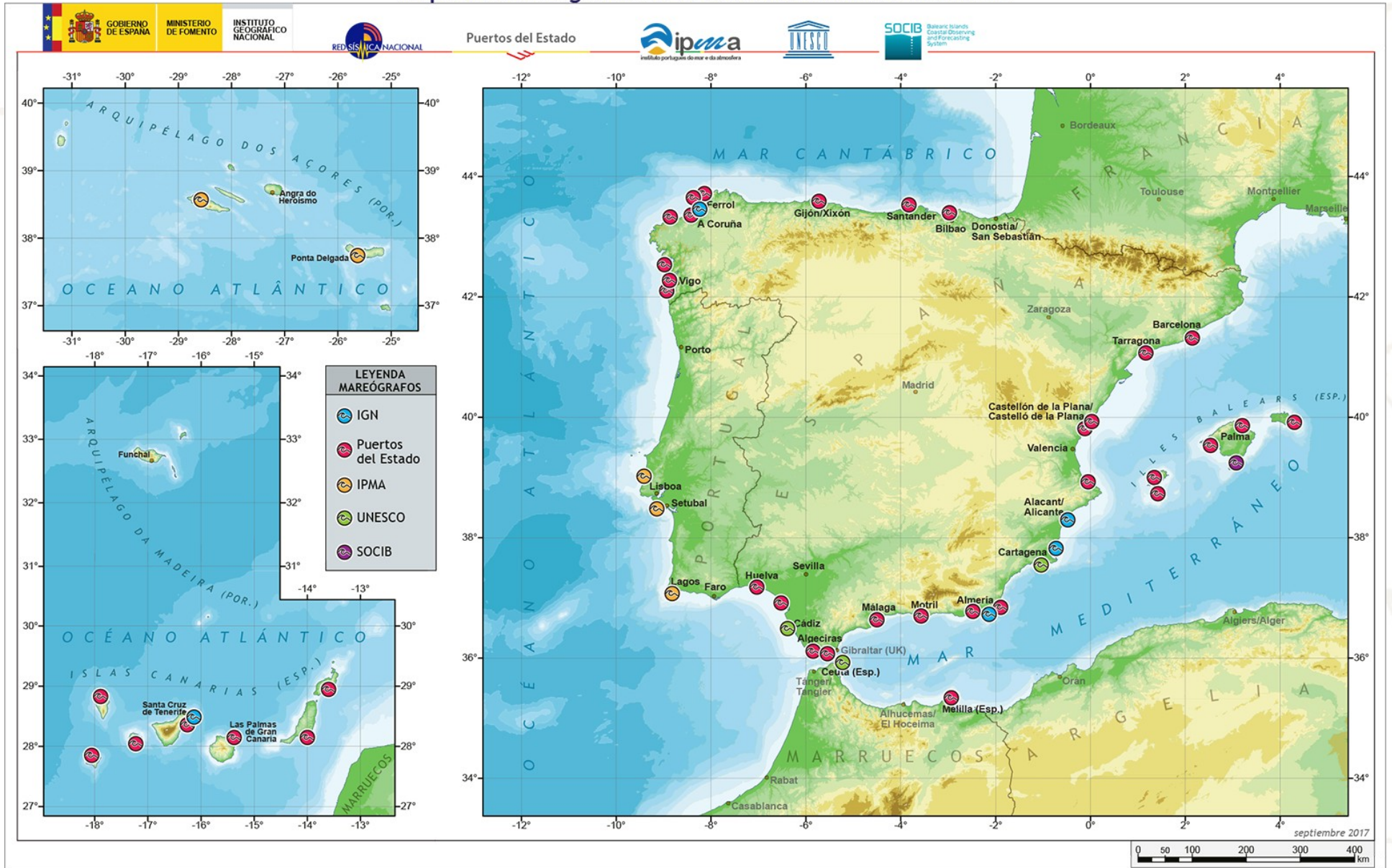


Tsunami verification – Tide Gauges



Real Time Mareographs

Mapa de Mareógrafos de la Red de Alerta de Tsunamis



Real Time Mareographs



Cádiz

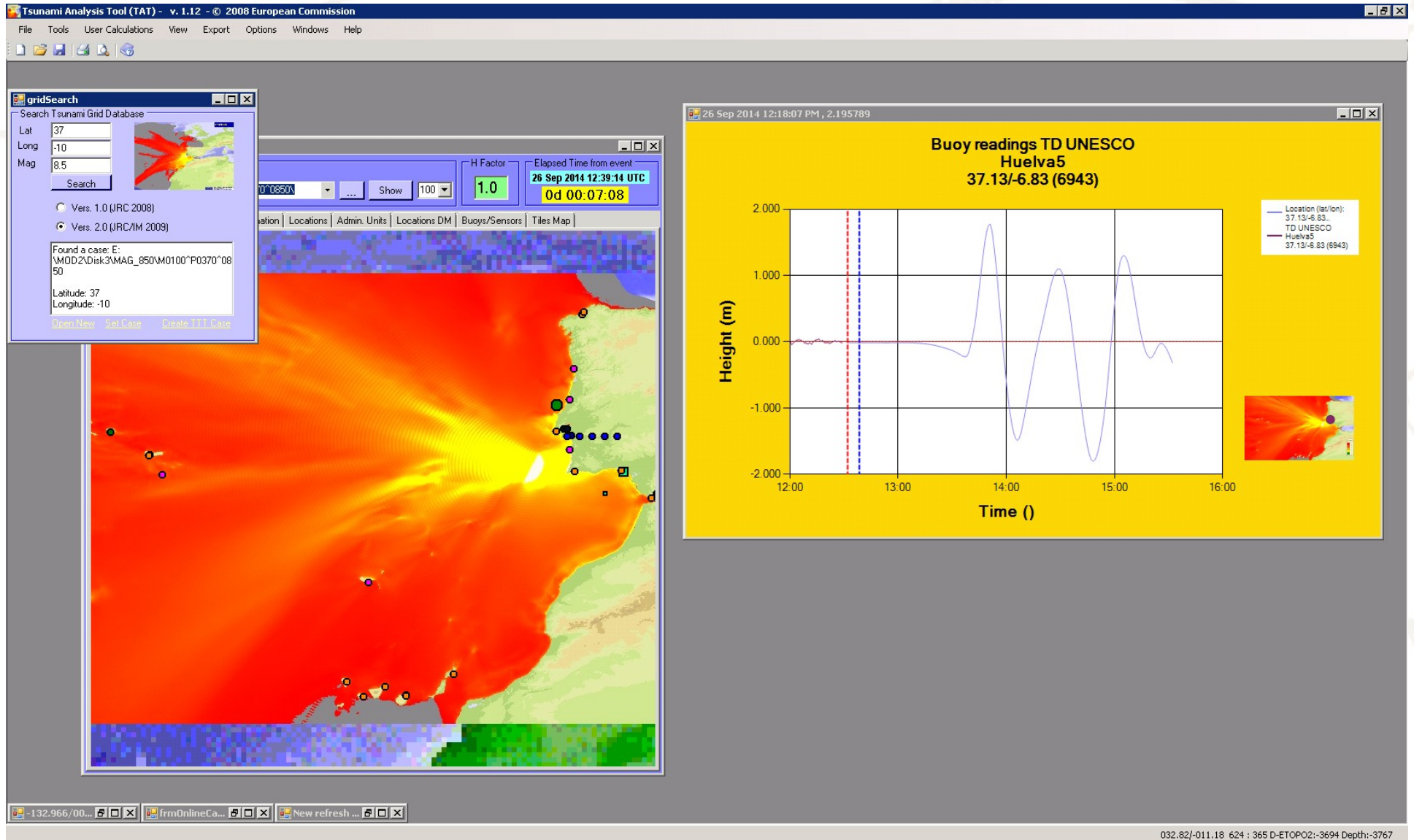


Cartagena



Ceuta

Tsunami verification – Tide Gauges



Tsunami verification – Tide Gauges

Confirmation
Real Measurements

ALERTA POR MAREMOTO MENSAJE 4 (2015-11-10 09:02:24 GMT)

EL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL INFORMA QUE SE HA PRODUCIDO UN TERREMOTO CON ID. WESTsunami CON LOS SIGUIENTES PARÁMETROS PRELIMINARES:

HORA INICIAL (GMT*): **2015-11-10 08:00:00**
LOCALIZACIÓN: **GOLFO DE CADIZ**
LATITUD: 36°N
LONGITUD: 10°W
PROFUNDIDAD: 5km.
MAGNITUD: **7.9 Mw**

LOS TERREMOTOS DE ESTA MAGNITUD TIENEN EL POTENCIAL DE GENERAR MAREMOTOS CON OLAS DESTRUCTIVAS A CIENTOS DE KILÓMETROS DEL EPICENTRO.

ALERTA POR MAREMOTO FUERTE EN LAS SIGUIENTES PROVINCIAS:
Huelva, Cádiz, Ceuta, Málaga, Pontevedra, Coruña (A), Asturias, Palmas (Las), Cantabria, Bizkaia

AVISO POR MAREMOTO DÉBIL EN LAS SIGUIENTES PROVINCIAS:
Santa Cruz de Tenerife

DATOS OBSERVADOS:

CIUDAD	DISTANCIA EPICENTRAL [km]	NIVEL ALERTA	TIEMPO LLEGADA (GMT)	ALTURA MAX. [m]
Lagos (Portugal)	171	ALERTA	2015-11-10 08:27:39	0.97
Cascais (Portugal)	304	ALERTA	2015-11-10 08:34:35	0.79
Setubal (Portugal)	293	ALERTA	2015-11-10 08:49:45	0.68
Isla Cristina	274	AVISO	2015-11-10 08:53:15	0.45
Casablanca (Marruecos)	344	ALERTA	2015-11-10 08:56:06	0.64
Cádiz	338	ALERTA	2015-11-10 08:59:11	0.55
Sanlúcar de Barrameda	330	ALERTA	2015-11-10 09:00:53	0.64
Huelva	307	ALERTA	2015-11-10 09:01:48	0.51

ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE ALERTA Y TIEMPO DE LLEGADA DE LA PRIMERA OLA:

CIUDAD	DISTANCIA EPICENTRAL [km]	NIVEL ALERTA	TIEMPO LLEGADA (GMT)
Larache (Marruecos)	359	ALERTA	2015-11-10 08:52:00
Assilah (Marruecos)	363	ALERTA	2015-11-10 08:55:00
Tanger (Marruecos)	379	ALERTA	2015-11-10 08:55:00
Moulay Bouselhame (Marruecos)	358	ALERTA	2015-11-10 08:57:28
Ceuta	423	ALERTA	2015-11-10 09:10:00
Algeciras	410	ALERTA	2015-11-10 09:12:00
Muros	758	ALERTA	2015-11-10 09:24:00
Estepona	438	ALERTA	2015-11-10 09:24:43
Las Palmas de Gran Canaria	1014	AVISO	2015-11-10 09:25:00
Arrecife	851	ALERTA	2015-11-10 09:26:00
Santa Cruz de Tenerife	1024	AVISO	2015-11-10 09:27:00
Santa Cruz de la Palma	1093	AVISO	2015-11-10 09:28:00
Vigo	700	ALERTA	2015-11-10 09:32:00
Puerto del Rosario	910	ALERTA	2015-11-10 09:34:00
Málaga	506	ALERTA	2015-11-10 09:38:51
A Coruña	830	ALERTA	2015-11-10 09:57:00
Santander	986	ALERTA	2015-11-10 10:13:58
Gijón	916	ALERTA	2015-11-10 10:22:53
Bilbao	1011	AVISO	2015-11-10 10:27:21

UN MAREMOTO ES UNA SERIE DE OLAS. ENTRE OLAS SUCESIVAS PUEDEN PASAR DE 5 MINUTOS A UNA HORA.

Tsunami verification – Tide Gauges

Cancellation

CANCELACIÓN DE ALERTA POR MAREMOTO MENSAJE 6 (2015-11-10 12:58:02 GMT)

EL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL INFORMA QUE SE HA PRODUCIDO UN TERREMOTO CON ID. WESTsunami CON LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

HORA INICIAL (GMT*): **2015-11-10 08:00:00**
LOCALIZACIÓN: **GOLFO DE CADIZ**
LATITUD: 36°N
LONGITUD: 10°W
PROFUNDIDAD: 5km.
MAGNITUD: **7.9 Mw**

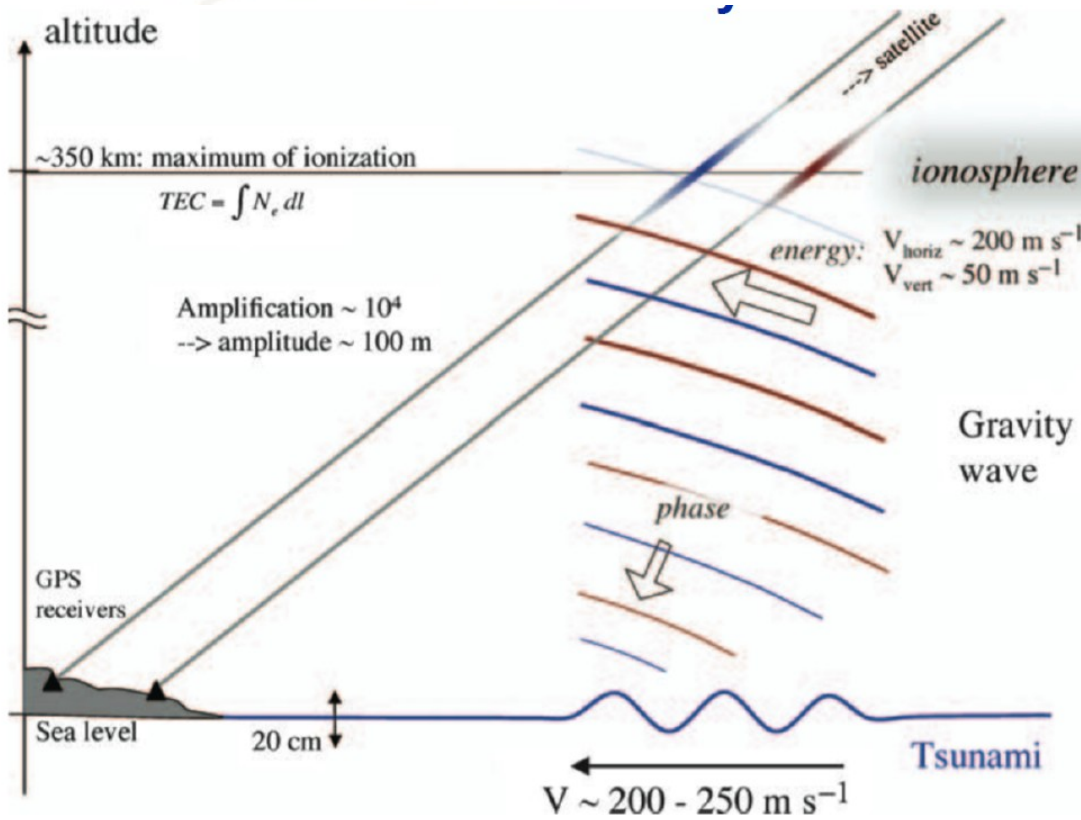
BASÁNDONOS EN LOS DATOS DISPONIBLES SE CANCELA LA ALERTA POR MAREMOTO.
EN LAS PRÓXIMAS HORAS PODRÍAN OCURRIR PEQUEÑAS VARIACIONES EN EL NIVEL DEL MAR Y CORRIENTES ANÓMALAS.
ESTE SERÁ EL ÚLTIMO MENSAJE EN RELACIÓN AL TERREMOTO CON ID. WESTsunami A MENOS QUE SE RECIBAN NUEVOS DATOS.

*Verano (Hora Oficial = Hora GMT + 2 horas)

*Invierno (Hora Oficial = Hora GMT + 1 Hora)

*(La hora oficial en Canarias es una hora menos que en el resto de España)

Ionosphere/GNSS



Artru et al. (2005)



GNSS measurements of ionospheric dynamics (changes in Total Electron Content) can be used to track tsunamis for far field warning

Public Awareness

What to do in a tsunami

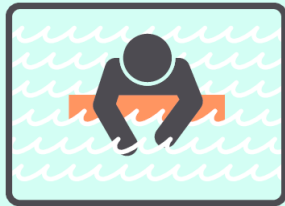
Identify evacuation routes and safe places closer than 15 minutes walk
Roads and bridges can be damaged!



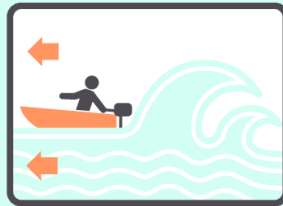
Head for high ground
and inland



Stay away from rivers and estuaries
Tsunamis can travel up rivers!



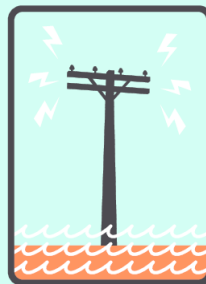
If swept-up, grab something
that floats



If you are on a boat, head to deep waters
(higher than 100 metres deep)



Go to an upper floor
(more than third) of a solid building
As a last resort, climb up a strong tree



If the earthquake struck your area,
watch out for cables or
objects which may fall down

What to do in a tsunami

When to evacuate?

A tsunami may be caused by a distant earthquake unnoticed in your area



If close to shore and feel a
large and long shaking from
an earthquake



If there is a fast recession in
water from the shoreline
Shore water level will rise suddenly!
If you hear a roar similar to the
sound of a freight train



If an official tsunami warning
has been issued



Never wait to watch a tsunami come in
It is impossible to escape it!

When to come back?



Only after officials tell you it is safe
A tsunami is a series of waves that may last for hours!
The next wave may be larger than the first one!

Tsunamis do not look like regular waves; they look more like a
flooding river or a wall of water and debris

INSTITUTO
GEOGRÁFICO
NACIONAL



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Thank you

Juan V. Cantavella Nadal

jvcantavella@fomento.es

Instituto Geográfico Nacional