

L A W I.

That every body perseveres in its state of resting, or of moving uniformly in a right line, as far as it is not compelled to change that state by external forces impressed upon it.

L A W II.

That the change of motion is proportional to the moving force impressed; and is produced in the direction of the right line, in which that force is impressed.

L A W III.

That reaction is always contrary and equal to action: or, that the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.

COSTAS ESPAÑOLAS**PELIGROSIDAD FRENTE A MAREMOTOS**

Informe

a

Dirección General de Protección Civil y Emergencias

Proes	Principia
Informe id. 16090_Peligrosidad Rev. 2 Proyecto no. 16090	Informe no. 1125 Rev. 2 Proyecto no. P-637

24/abril/2017

COSTAS ESPAÑOLAS

PELIGROSIDAD FRENTE A MAREMOTOS

Informe

a

Dirección General de Protección Civil y Emergencias

Documento: PROES: 16090_Peligrosidad Principia: P637-INF-1125	Revisión: 2	Fecha: 24/abril/2017
Preparado: A. Palao M. J. Crespo	Revisado: J. Cruz L. Lacoma	Aprobado: R. Pillado F. Martínez

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Preámbulo.....	1
1.2 Objeto	1
1.3 Alcance	1
1.4 Organización del informe	2
2. METODOLOGÍA.....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Identificación y caracterización de fuentes	4
2.3 Simulaciones numéricas	8
2.3.1 Recopilación de la información topo-batimétrica	8
2.3.2 Selección y homogeneización de los datos de topo-batimetría.....	9
2.3.3 Modelado numérico.....	9
2.3.4 Generación de mapas de resultados	13
3. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES	14
3.1 Fuentes de información	14
3.2 Parámetros de definición	17
3.3 Fallas identificadas	18
3.3.1 Zona 1	18
3.3.2 Zona 2.....	20
3.3.3 Zona 3.....	23
3.3.4 Zona 4.....	24
3.3.5 Zona 5.....	25
3.3.6 Zona 6.....	27
3.3.7 Zona 7.....	27
3.3.8 Zona 8.....	27
3.4 Magnitudes y Desplazamientos	28
3.4.1 Zona 1	28
3.4.2 Zona 2.....	29
3.4.3 Zona 3.....	31
3.4.4 Zona 4.....	32
3.4.5 Zona 5.....	32
3.4.6 Zona 6.....	33

3.4.7 Zona 7	33
3.4.8 Zona 8	33
4. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA	34
4.1 Fuentes consultadas	34
4.2 Integración de las fuentes disponibles	35
4.3 Batimetría y topografía de proyecto	36
5. SIMULACIONES NUMÉRICAS	38
5.1 Mallas	38
5.2 Condiciones iniciales	38
5.3 Condiciones de contorno	39
5.4 Integración temporal	39
5.5 Análisis de sensibilidad del modelo	40
5.5.1 Sensibilidad al tamaño de celda	41
5.5.2 Sensibilidad a la marea	44
5.6 Validación del modelo	50
6. RESULTADOS	53
6.1 Andalucía	58
6.2 Asturias	66
6.3 Canarias	67
6.4 Cantabria	71
6.5 Cataluña	71
6.6 Ciudades autónomas de Ceuta y Melilla	75
6.7 Comunidad Valenciana	76
6.8 Galicia	81
6.9 Islas Baleares	83
6.10 Murcia	84
6.11 País Vasco	85
7. CONCLUSIONES	87
Apéndice I. Referencias	90

Apéndice II. Modelo de propagación de DELFT3D	93
---	----

Apéndice III. Mallas de cálculo	
---------------------------------	--

Apéndice IV. Planos a escala 1:25.000	
---------------------------------------	--

Apéndice V. Evolución del nivel del mar en puntos de interés	
--	--

Apéndice VI. Tiempos de llegada de la sobreelevación asociada al tsunami	
--	--

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2-1 Probabilidad de ruptura en superficie (IAEA, 2015).....	6
Figura 2-2 Parámetros definitorios de una falla (IGME, 2016)	7
Figura 2-3 Transformación de los parámetros del maremoto en condiciones iniciales de elevación del agua por Delft Dashboard	11
Figura 2-4 Malla de Canarias anidada a la general de propagación de tsunamis generados en el banco de Gorringe	12
Figura 3-1 Base de datos QAFI (IGME, 2016)	15
Figura 3-2 Base de datos Proyecto SHARE Tarea 3.2	16
Figura 3-3 Fallas del mapa neotectónico. Zona 2	22
Figura 3-4 Fallas de Álvarez-Gómez et al (2009). Zona 3	24
Figura 3-5 Fallas de la base de datos SHARE. Zona 4	25
Figura 3-6 Equivalencia entre terremotos y eventos destructivos. Zona 4	26
Figura 4-1. Información batimétrica disponible en la red de datos de EMODnet (http://portal.emodnet-bathymetry.eu/)	35
Figura 4-2. Extensión de la información topo-batimétrica facilitada por IGN	36
Figura 5-1 Tsunami para análisis de sensibilidad al tamaño de malla	41
Figura 5-2 Malla de 500 m x 500 m correspondiente al Golfo de Cádiz	42
Figura 5-3 Malla de 100 m x 100 m correspondiente la costa de Cádiz	42
Figura 5-4 Malla de 50 m x 50 m correspondiente la costa de Cádiz	43
Figura 5-5 Elevaciones en la costa para tres tamaños de celda diferentes	43
Figura 5-6 Malla general	45
Figura 5-7 Malla de detalle.....	45
Figura 5-8 Tsunami generado en la simulación	47
Figura 5-9 Metodología seguida en el estudio de sensibilidad de marea.....	48
Figura 5-10 Sensibilidad del modelo a la simulación del tsunami combinado con la marea	49
Figura 5-11. Evolución de la elevación resultante en Cádiz de la propagación del tsunami generado en la falla de Marqués de Pombal.	51
Figura 5-12 Evolución de la elevación resultante en Cádiz de la propagación del tsunami generado en la falla de Horseshoe	52
Figura 6-1. Elevación máxima que podría alcanzarse en la costa española por efecto de un tsunami	54
Figura 6-2. Fallas generadoras de los tsunamis que provocarían las mayores elevaciones en la costa española	55

Figura 6-3. Localización de zonas de la costa española donde podría alcanzarse una elevación máxima superior a 0.5 m por efecto de un tsunami y principales fallas generadoras	57
Figura 6-4. Elevación máxima que se podría alcanzar en Andalucía por efecto de un tsunami	58
Figura 6-5. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Marqués de Pombal	61
Figura 6-6. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Horseshoe.....	62
Figura 6-7. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Alborán Sur.....	63
Figura 6-8. Mapa de nivel del mar asociado a la generación del tsunami en la falla de Portimao-Guadalquivir Bank.....	64
Figura 6-9. Mapas de nivel del mar asociado a la llegada del tsunami generado en la falla de Portimao-Guadalquivir Bank a la costa occidental andaluza	65
Figura 6-10. Elevación máxima que se podría alcanzar en Asturias por efecto de un tsunami	66
Figura 6-11. Elevación máxima que se podría alcanzar en Canarias por efecto de un tsunami	67
Figura 6-12. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Marqués de Pombal	69
Figura 6-13. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Horseshoe	70
Figura 6-14. Elevación máxima que se podría alcanzar en Cantabria por efecto de un tsunami	71
Figura 6-15. Elevación máxima que se podría alcanzar en Cataluña por efecto de un tsunami	72
Figura 6-16. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla neotectónica de Barcelona.....	73
Figura 6-17. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Golfo de Rosas	74
Figura 6-18. Elevación máxima que se podría alcanzar en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla por efecto de un tsunami.....	75
Figura 6-19. Elevación máxima que se podría alcanzar por efecto de un tsunami en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, tiempos de llegada y principales fallas generadoras	76
Figura 6-20. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la	

costa	76
Figura 6-21. Elevación máxima que podría alcanzar el mar en la Comunidad Valenciana por efecto de un tsunami	77
Figura 6-22. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Crevillente	78
Figura 6-23. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Santa Pola	79
Figura 6-24. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de La Marina	80
Figura 6-25. Elevación máxima que podría alcanzar el nivel del mar en Galicia por efecto de un tsunami.....	81
Figura 6-26. Elevación máxima esperable en la costa gallega asociada al tsunami originado en la falla de Marqués de Pombal	82
Figura 6-27. Elevación máxima que podría alcanzar el nivel del mar en la costa balear por efecto de un tsunami. Se presenta el tiempo de llegada mínimo y el asociado al valor de elevación máxima	84
Figura 6-28. Elevación máxima que se podría alcanzar en el País Vasco por efecto de un tsunami	86

LISTA DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 3-1 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 1	19
Tabla 3-2 Parámetros definitorios de las fallas (QAFI). Zona 2	20
Tabla 3-3 Parámetros definitorios de las fallas (neotectónico). Zona 2	23
Tabla 3-4 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 3	24
Tabla 3-5 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 4	25
Tabla 3-6 Magnitudes y desplazamientos de las fallas. Zona 1	28
Tabla 3-7 Magnitudes y trazas para estudio de sensibilidad. Zona 1	29
Tabla 3-8 Parámetros definitorios de las fallas (QAFI). Zona 2	30
Tabla 3-9 Parámetros definitorios de las fallas (neotectónico). Zona 2	31
Tabla 3-10 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 3	32
Tabla 3-11 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 4	32
Tabla 4-1. Bases de datos empleadas en cada zona y para cada tipo de cálculo..	37
Tabla 5-1 Tamaños de celda en las mallas	39
Tabla 5-2 Pasos de tiempo utilizados y números de Courant correspondientes ..	40
Tabla 5-3 Mallas para análisis de sensibilidad al tamaño de celda	42
Tabla 5-4 Mallas general y de detalle para estudio de sensibilidad a la marea....	45
Tabla 5-5. Comparación de la elevación (m) y el tiempo de llegada correspondiente al tsunami crítico en Cádiz.....	52
Tabla 6-1. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa andaluza.....	59
Tabla 6-2. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa canaria	68
Tabla 6-3. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa catalana.....	75
Tabla 6-4. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa valenciana.....	77
Tabla 6-5. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa gallega	83
Tabla 6-6. Elevación máxima y tiempos de llegada del tsunami crítico a la costa murciana	85
Tabla 7-1. Elevaciones máximas y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa española.	87

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Preámbulo

El pasado 21 de noviembre de 2015 se publicó en el BOE el RD 1053/2015, por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos. En su apartado “3.1. Evaluación de la peligrosidad de maremotos” se indica, entre otras cosas, que la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (Protección Civil) establecerá la cartografía de peligrosidad ante maremotos que permita determinar los ámbitos territoriales en los que es imprescindible, aconsejable o innecesaria la elaboración de los correspondientes planes de protección civil.

El 20 de mayo de 2016 Protección Civil adjudicó a la UTE Proes Principia la asistencia técnica para la realización de los análisis y cálculos necesarios a fin de generar la mencionada cartografía de peligrosidad de maremotos en las costas españolas.

El presente informe documenta los trabajos realizados por la UTE Proes Principia como respuesta a la adjudicación mencionada en el párrafo anterior.

1.2 Objeto

El objeto del estudio es la obtención de la peligrosidad frente a maremotos de las costas españolas mediante una aproximación determinista. En concreto se obtendrán dos productos finales:

- Un mapa de peligrosidad con las elevaciones del nivel del mar resultantes en cada punto de la costa.
- Un informe final (documento presente) con la presentación del estudio realizado.

1.3 Alcance

Para la consecución de los objetivos expuestos anteriormente se han llevado a cabo las siguientes tareas:

- Identificación de fuentes sísmicas capaces de generar maremotos que puedan afectar a las costas españolas.
- Identificación de la batimetría y topografía necesarias e integración de ambas en una misma base de datos.
- Realización de simulaciones numéricas que determinen las consecuencias en la costa de cada fuente identificada.
- Análisis de resultados (valores de la elevación del nivel del mar y del tiempo de llegada) y obtención de conclusiones y recomendaciones.
- Documentación del trabajo realizado.

1.4 Organización del informe

El resto del presente informe consta de otros seis capítulos y tres apéndices.

El capítulo 2 se dedica a la descripción de la metodología seguida, tanto para la identificación y caracterización de fuentes tsunamigénicas como para las simulaciones numéricas.

El capítulo 3 describe las fuentes tsunamigénicas identificadas y los parámetros que las caracterizan, que son los que se utilizan para su inclusión en la modelización numérica.

En el capítulo 4 se describe la información batimétrica y topográfica existente, llevando a la configuración finalmente adoptada para las simulaciones numéricas.

Estas simulaciones constituyen el objeto del capítulo 5, donde se detallan las mallas empleadas, las condiciones iniciales, las condiciones de contorno y los parámetros de la integración en el tiempo.

El capítulo 6 presenta los resultados obtenidos, tanto de fallas individuales relevantes como las envolventes.

Por último, el capítulo 7 presenta las conclusiones y recomendaciones que se

desprenden del trabajo realizado.

Seis apéndices completan el informe. El Apéndice I lista las referencias bibliográficas y documentales citadas en el texto. El Apéndice II incluye una descripción del programa de cálculo empleado en las simulaciones. Las diferentes mallas de cálculo empleadas se detallan en el Apéndice III. Los resultados de envolventes de elevación máximas aparecen en el Apéndice IV. El Apéndice V contiene resultados de evolución temporal del nivel del mar en puntos de interés. Los tiempos de llegada asociados a los tsunamis simulados se presentan en el Apéndice VI.

2. METODOLOGÍA

2.1 Introducción

Un cálculo de peligrosidad frente a maremotos supone un estudio multidisciplinar que precisa de la aplicación de conocimientos de geología, sismología, cálculo numérico y juicio ingenieril.

La metodología a seguir se refiere por tanto a todas estas áreas de conocimiento. Es necesario que las sucesivas tareas guarden consistencia entre sí, y que la conclusión de cada parte del trabajo se ajuste a las necesidades de partida de las siguientes partes del trabajo.

Las tareas que pueden identificarse y para las cuales se describe la metodología en las secciones siguientes son:

- Identificación de fuentes tsunamigénicas con su correspondiente caracterización en base a los parámetros que van a alimentar el modelo numérico.
- Dado que la propagación del tsunami depende de la batimetría y sus efectos en la costa dependen de la topografía costera, confección de la batimetría y topografía de cálculo.
- Una vez resueltos los dos puntos anteriores, se puede ya proceder con las simulaciones numéricas.

2.2 Identificación y caracterización de fuentes

Las fuentes potencialmente generadoras de maremotos son fundamentalmente de origen sísmico.

Se ha llevado a cabo una inspección de dos tipos de bases de datos relacionadas con la actividad sísmica:

- Catálogos sísmicos, que contienen la actividad sísmica, tanto histórica como instrumental.
- Fallas sismogénicas, que contienen información relativa a fallas con

potencial de generar terremotos.

Los terremotos se producen por desplazamiento relativo de los dos bloques de terreno situados a ambos lados de la superficie de una falla. Puede suceder que se detecte un terremoto y no llegue a producirse una manifestación en superficie, o incluso que ni siquiera se conozca la falla que lo ha originado. En éste último caso el desconocimiento puede perdurar en el tiempo, o bien dar luz a una investigación que acabe identificando la falla que dio origen al terremoto y que era desconocida hasta el momento.

Para que un terremoto produzca un tsunami es necesario que produzca una rotura en la superficie del fondo marino. Por lo tanto los terremotos generadores estarán asociados a fallas, conocidas o identificables, susceptibles de dar lugar a una modificación del fondo marino.

Los desplazamientos del fondo marino son más probables a medida que aumenta la magnitud del terremoto. Sin embargo no se puede hablar de una magnitud a partir de la cual pueda garantizarse que el terremoto dará lugar a un desplazamiento del fondo, ni tampoco existe una magnitud por debajo de la cual este desplazamiento pueda descartarse absolutamente. Por ello estos temas suelen tratarse en términos de probabilidad.

Existen diversos estudios que evalúan la probabilidad de que un terremoto produzca una rotura de la superficie del terreno en función de la magnitud. Es el caso de las curvas mostradas en la Figura 2-1 (IAEA, 2015), que muestra la probabilidad de que se produzca una rotura en la superficie del terreno (ordenadas) para las diferentes magnitudes (abscisas).

La fuente principal de información es la de las bases de datos de fallas, en las cuales se han identificado todas las fallas cuya traza se encuentra en el fondo marino, bien en su totalidad o en más de la mitad de su extensión. Los datos que es necesario recopilar de cada falla para que sea posible la modelización posterior de su posible tsunami son:

- Traza: intersección del plano de falla con la superficie del terreno, habitualmente definida por las coordenadas geográficas de uno de sus extremos (*fault location*) y el azimut (*strike*) o ángulo formado con la

dirección norte.

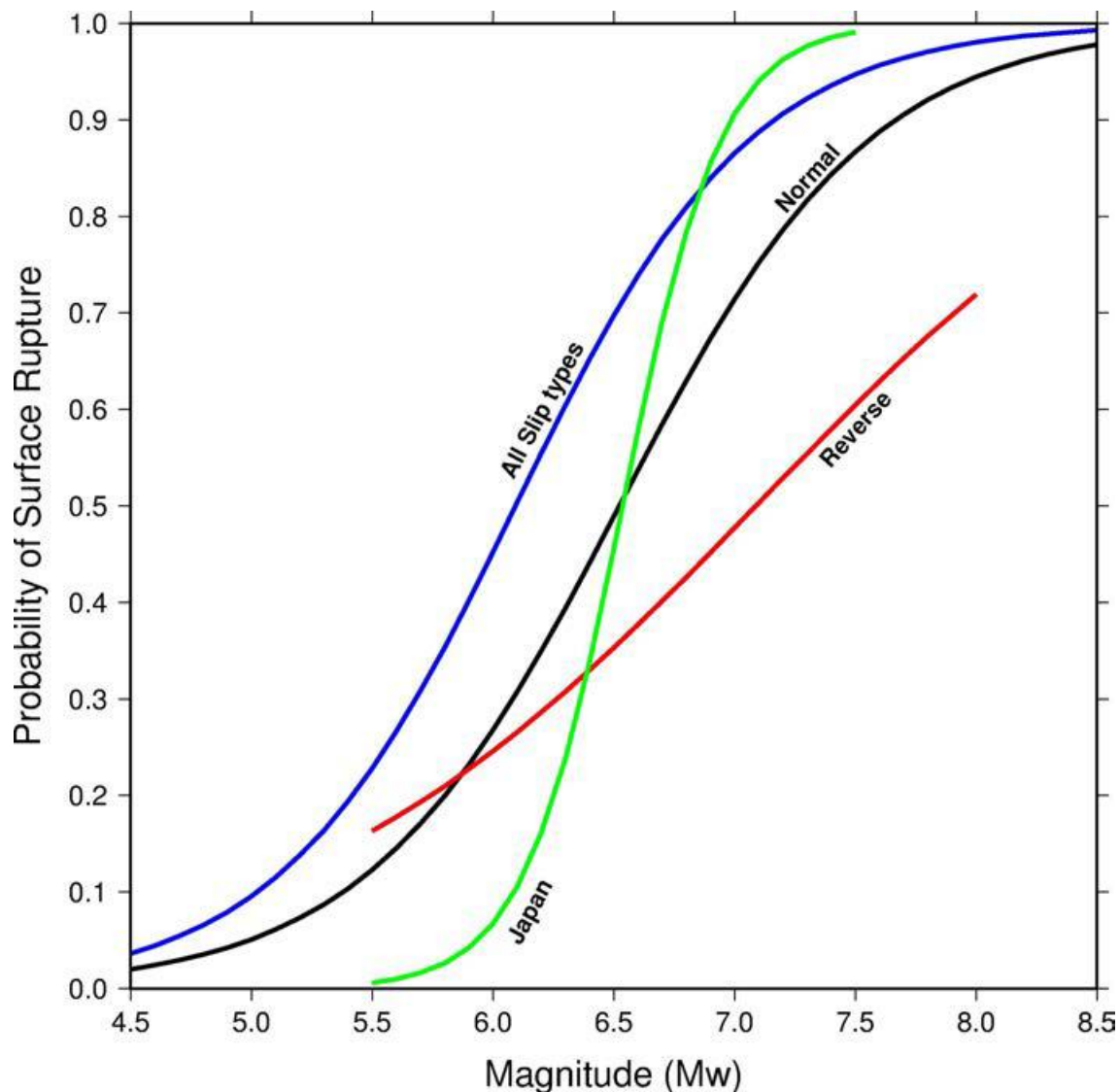


Figura 2-1 Probabilidad de ruptura en superficie (IAEA, 2015)

- Buzamiento (*dip*): ángulo que forma el plano de falla con la horizontal.
- Ancho del plano de falla (*width*), medido en dirección normal a la traza.
- Ángulo de cabeceo (*rake*), se trata del ángulo que forma el vector que define el desplazamiento sobre el plano de falla con la horizontal

Los elementos citados se muestran de manera visual en la Figura 2-2, tomada de IGME (2016). Esta figura indica los elementos de la falla en inglés, motivo por el cual se han indicado los nombres en este idioma entre paréntesis en la lista anterior.

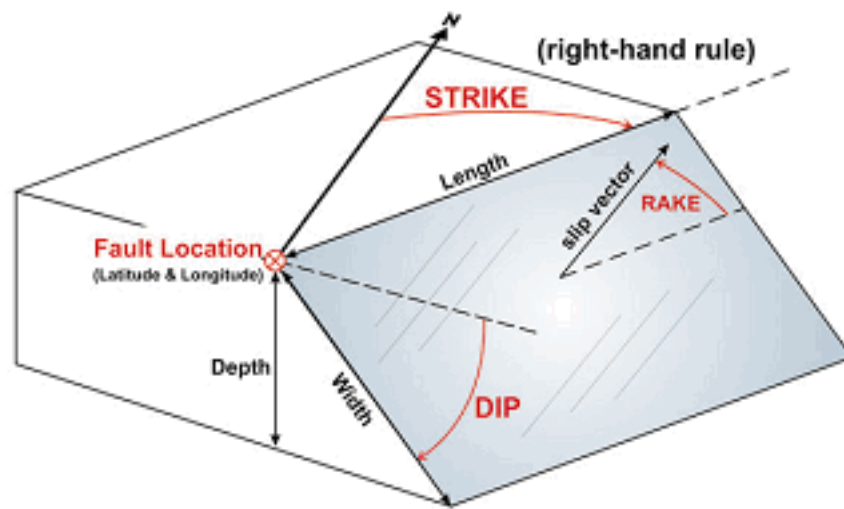


Figura 2-2 Parámetros definitorios de una falla (IGME, 2016)

A partir de los datos expuestos, es posible estimar una magnitud máxima, idealmente una magnitud momento M_w , asociada a la falla. Este ejercicio se hace a partir de las correlaciones empíricas existentes en la literatura científica. Una correlación clásica y bien conocida en este ámbito es la de Wells & Coppersmith (1994), si bien la producción científica ha sido enorme en los últimos años y en este caso se emplearán un conjunto de correlaciones más recientes, como se verá en más detalle en la sección 3.2.

Teniendo una magnitud y los parámetros indicados más arriba, se puede concluir el desplazamiento que tendrá lugar en el plano de la falla en el caso de que se produzca un terremoto de dicha magnitud.

Conocida la magnitud momento M_w , se puede obtener el momento sísmico a partir de la relación de Hanks & Kanamori (1979):

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10,7 \quad (1)$$

donde: M_w es la magnitud momento

M_0 es el momento sísmico

El momento sísmico es probablemente el parámetro sísmico con mayor significado físico que permite describir el tamaño de un terremoto en función de parámetros de la falla que lo origina. El desplazamiento y el momento sísmico están relacionados de la siguiente manera:

$$M_0 = \mu A_r D \quad (2)$$

donde: μ es el módulo a cortante

A_r es el área de ruptura del plano de falla

D es el desplazamiento medio de la superficie que desliza

2.3 Simulaciones numéricas

La metodología empleada para las simulaciones numéricas de generación y propagación de los maremotos que son susceptibles de alcanzar la costa española comprende varias fases:

1. Recopilación de la información topo-batimétrica
2. Selección y homogeneización de los datos de topo-batimetría
3. Modelado numérico
4. Generación de mapas de resultados

2.3.1 Recopilación de la información topo-batimétrica

La simulación numérica necesita conocer la profundidad de la superficie marina en toda la extensión sobre la que se propaga el tsunami en su camino hacia la costa de interés.

Se incluye en esta fase la recopilación de la información topo-batimétrica disponible del área comprendida entre las zonas de generación de los tsunamis seleccionados y la costa española.

Dado que los maremotos se amortiguan muy lentamente, sus efectos pueden recorrer grandes distancias. Por ello la batimetría que se utilice no provendrá de una única fuente de datos. De todas las batimetrías que se recopilen, se necesita identificar la siguiente información de cara a valorar su posible inclusión en el estudio:

- Extensión geográfica
- Distancia entre curvas batimétricas

- Sistema de referencia
- Nivel de referencia

La recopilación de la información topo-batimétrica es imprescindible para la posterior generación de las mallas de cálculo.

2.3.2 Selección y homogeneización de los datos de topo-batimetría

Los datos de topo-batimetría seleccionados para la modelización deben cumplir las siguientes condiciones:

- La combinación de la información topo-batimétrica a utilizar para las simulaciones numéricas debe englobar las zonas de generación de los tsunamis, junto con las zonas de propagación hasta la costa española, incluida ésta.
- En las zonas de generación de maremotos, así como en las de propagación que se encuentren en aguas profundas, se podrá utilizar información batimétrica a escala global con resolución suficiente para generar mallas con tamaños de celda del orden de un kilómetro.
- En las zonas más próximas a la costa, la batimetría a utilizar debe tener una escala regional, con resolución tal que permita obtener mallas con tamaños de celda que ronden los 25-50 m en costa.
- Los datos de topografía y batimetría que vayan a ser usados en la generación del modelo digital del terreno (MDT) deberán referirse al mismo sistema de coordenadas y nivel de referencia (homogeneización).

2.3.3 Modelado numérico

Una vez se dispone de la información topo-batimétrica homogeneizada y de las características de las fuentes tsunamigénicas seleccionadas para la simulación (ver sección 2.2), se está ya en disposición de llevar a cabo la puesta a punto del modelo numérico.

El modelo numérico a utilizar para la simulación de la propagación de un tsunami debe ser uno de los existentes en el mercado con validez contrastada para este tipo de estudios.

Estos modelos resuelven las ecuaciones hidrodinámicas transitorias de aguas someras, pudiendo incluir condiciones iniciales en forma de elevación del nivel del mar; estas condiciones iniciales están asociadas al desplazamiento vertical del fondo marino provocado por la falla generadora del terremoto con epicentro marino.

El modelo numérico utilizado en este estudio es el Delft3D-FLOW. La preparación de las mallas de propagación y el set up del modelo se lleva a cabo mediante la interfaz gráfica Delft Dashboard. Ambas herramientas, Delf3D-FLOW y Delft Dashboard, son desarrolladas y distribuidas por Deltares.

El modelo Delft3D-FLOW es uno de los modelos integrados en el paquete informático Delft3D. Se trata de un programa multidimensional (2D ó 3D) de simulación hidrodinámica que resuelve las ecuaciones hidrodinámicas transitorias de aguas someras. Estas ecuaciones se corresponden con las ecuaciones promediadas de Navier Stokes (RANS) para un flujo incompresible, aplicando la hipótesis de aguas someras y la aproximación de Boussinesq. Para la propagación de tsunamis, las ecuaciones anteriores se resuelven promediadas en vertical (2D).

Las ecuaciones resueltas representan los principios físicos de conservación de volumen, de masa y de cantidad de movimiento. El detalle de las características del modelo así como de las ecuaciones que resuelve se presenta en el apéndice II

Delft3D-FLOW lleva a cabo la integración temporal mediante el método de diferencias finitas. Además, este modelo permite el uso de mallas anidadas, por lo que se pueden obtener resultados con mayor grado de detalle en las zonas de interés (la costa española) optimizando de este modo la resolución espacial y el tiempo de cálculo.

La interfaz gráfica Delft Dashboard permite generar de manera fácil y rápida las condiciones iniciales asociadas al tsunami (Figura 2-3). Para ello hace uso del modelo de Okada (1985), comentado en detalle en la sección 2.2.

Del mismo modo, con la interfaz gráfica Delft Dashboard se generan los ficheros con las condiciones de contorno del modelo, que en el caso de propagaciones de tsunamis se limitan a cumplir con la condición de Riemann en la malla principal, de cara a evitar fenómenos de reflexión en los contornos. De hecho, la condición de Riemann permite que las ondas salientes crucen el contorno abierto sin reflejarse

hacia el interior del dominio computacional.

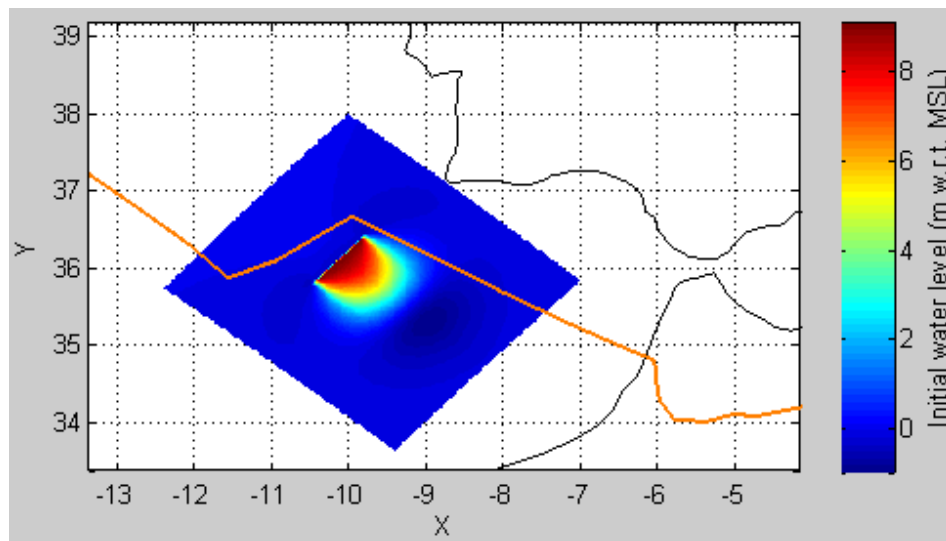


Figura 2-3 Transformación de los parámetros del maremoto en condiciones iniciales de elevación del agua por Delft Dashboard

En el caso de mallas anidadas, la condición de contorno en la malla anidada se corresponde con series de nivel en puntos localizados en el contorno de la malla.

Estas series de nivel son extraídas directamente de la malla de simulación anterior, que incluye por completo a la malla anidada (ver ejemplo en Figura 2-4). Los ficheros de condiciones de contorno asociados al “nesting”, o anidamiento, son fácilmente generados con esta interfaz gráfica.

El paso de tiempo seleccionado para llevar a cabo la integración temporal en las simulaciones debe cumplir con la condición de Courant para la propagación de la onda:

$$CFL_{wave} = 2\Delta t \sqrt{gH} \sqrt{\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2}} < 1 \quad (3)$$

donde: CFL es el número de Courant

Δt es el paso de tiempo

g la gravedad

H la profundidad

$\Delta x/\Delta y$ el tamaño de malla en la dirección X e Y respectivamente.

Si este criterio no se cumple, pueden aparecer problemas de inestabilidad en el resultado de la simulación numérica.

Como resultado de las simulaciones numéricas realizadas se obtiene, para cada simulación:

- Mapas de elevación del nivel en planta para diferentes instantes de la simulación.
- Series temporales de nivel del mar en los puntos de interés seleccionados, que se corresponden con puntos de la malla que coinciden con la ubicación de la línea de costa (ver ejemplo del contorno de costa de las Islas Canarias en Figura 2-4).

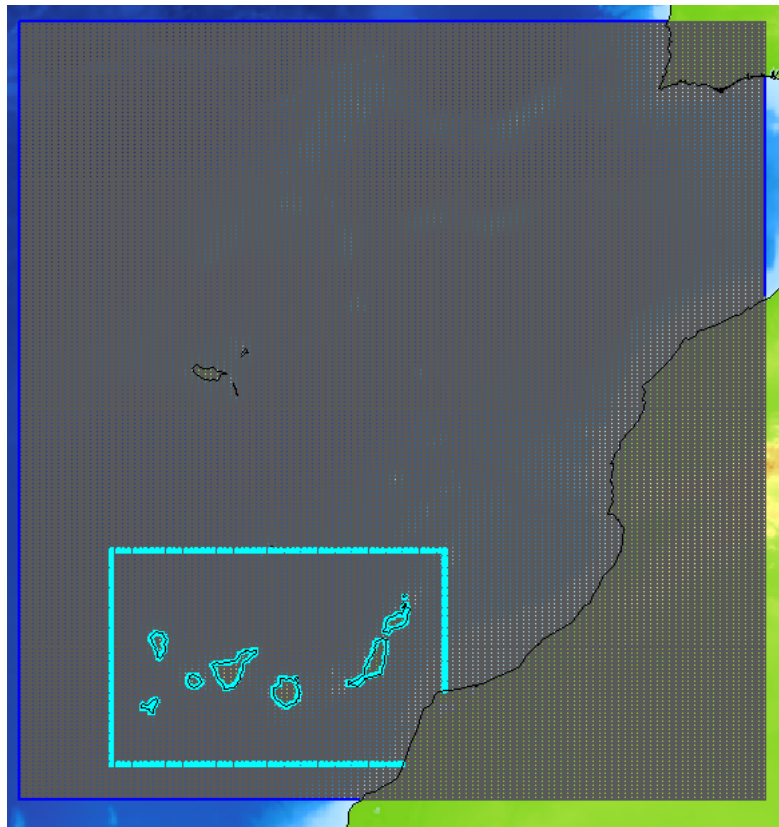


Figura 2-4 Malla de Canarias anidada a la general de propagación de tsunamis generados en el banco de Gorringe

2.3.4 Generación de mapas de resultados

A partir de los resultados de punto obtenidos en la simulación numérica con mallas de 500 m x 500 m, se obtiene la envolvente de elevaciones máximas de nivel en cada punto de la costa española y se identifica la falla generadora del tsunami que provoca dichas elevaciones máximas. Estos resultados son representados en mapas haciendo uso del software ArcGIS.

Junto con estos mapas generales de la costa española, es objeto de este proyecto presentar mapas a escala 1:25.000 con la elevación máxima que podría llegar a alcanzarse en la costa por efecto de un tsunami. Para ello, se ha incorporado a la información anterior los resultados de las simulaciones realizadas en mallas de detalle (de 50 m x 50 m o 25 m x 25 m).

Dado que los resultados obtenidos a lo largo de la costa son valores de elevación en puntos específicos, se realiza una interpolación numérica para poder mostrar los resultados de elevación del nivel mediante una traza continua en los mapas a escala 1:25.000.

Además de estos resultados en planta, se obtienen resultados de evolución del nivel del mar asociados a puntos de las mallas que coinciden con la localización de los mareógrafos cercanos a las zonas críticas detectadas.

3. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES

3.1 Fuentes de información

Como se comentó en la sección 2.2 los dos tipos de bases de datos que es necesario investigar se refieren a la actividad sísmica y a las fallas existentes.

El catálogo sísmico de referencia empleado es el del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que cubre la totalidad del territorio español y se extiende algo más allá de sus fronteras por el norte de África, Portugal y sur de Francia. Los eventos de interés del catálogo son aquéllos que por su magnitud son susceptibles de generar un tsunami. Se ha fijado en este caso el límite inferior en una magnitud de 6,5. Además de la magnitud habría que tener en cuenta la cinemática de la falla que ha producido el sismo, sin embargo no se ha filtrado por este factor debido a la incertidumbre que tiene este dato en el catálogo, que en muchos casos ni siquiera aparece.

En relación a las fallas, la base de datos principal es la Quaternary Active Fault Database of Iberia (QAFI) desarrollada por García-Mayordomo et al (2012) y que se puede consultar en la página web del IGME (2016), institución que también realiza su mantenimiento y actualización en colaboración con el Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) de Portugal. Esta base de datos cubre las superficies españolas y portuguesas, así como la zona marina próxima a las mismas.

La QAFI contiene fallas que presentan evidencia geológica de actividad durante el cuaternario (últimos 2,6 millones de años). Para cada falla, además de mostrarse gráficamente, puede también consultarse otra información específica sobre la misma, que está organizada de la siguiente manera:

- Geometría: se proporciona la longitud, rumbo, buzamiento, profundidades mínima y máxima, ancho y área.
- Actividad cuaternaria: evidencias y edad de los depósitos más recientes afectados por la falla, tasa de deslizamiento, deslizamiento máximo en un evento y número de eventos sísmicos.
- Potencial sísmico: magnitud máxima, intervalo de recurrencia y fecha del último gran terremoto.

- Sismicidad asociada: en caso de que exista, se proporcionan los datos que permiten identificar el evento.
- Referencias de los estudios existentes en la literatura técnica sobre esta falla.

La Figura 3-1 muestra una imagen donde pueden apreciarse las fallas contenidas en la QAFI. En esta misma figura se han señalado dos zonas denominadas Zona 1 y Zona 2 que se emplearán más adelante en la descripción presentada en la sección 3.3 sobre las fallas identificadas.

Se ha consultado también la base de datos europea de fallas sismogénicas (The European Database of Seismogenic Faults – EDSF) compilada en el marco del proyecto europeo SHARE (Basili et al, 2013). La Figura 3-2 muestra una imagen de la interfaz gráfica de dicha base de datos.



Figura 3-1 Base de datos QAFI (IGME, 2016)

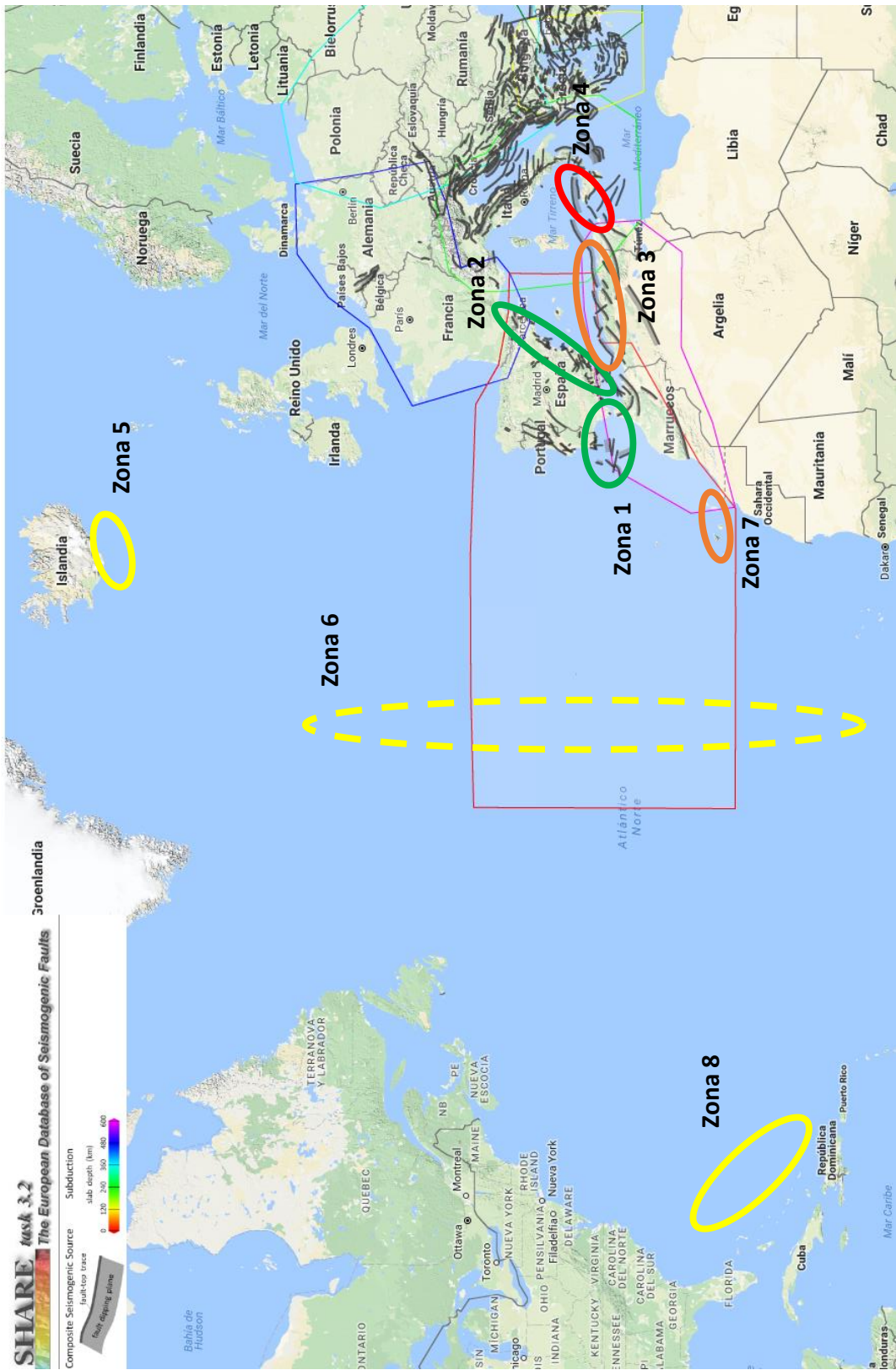


Figura 3-2 Base de datos Proyecto SHARE Tarea 3.2

Esta base de datos se ha compilado a partir de información de diversas instituciones europeas, en general equivalentes al IGME español; de hecho la información de las fallas cercanas a la costa española proviene de la QAFI, aunque se trata de una versión anterior a la actual.

Esta base de datos se ha consultado con un doble objetivo:

- Identificar posibles zonas tsunamigénicas, más allá de las dos zonas mostradas en la base de datos QAFI (Figura 3-1).
- Obtener información adicional, en los casos en que esto parezca pertinente.

La base de datos QAFI incluye únicamente fallas que hayan sido objeto de estudios específicos publicados. La aplicación web de la QAFI incluye la posibilidad de representar fallas cartografiadas en el Mapa Neotectónico de España (ITGE-ENRESA, 1998), distinguiendo dos tipos según el período que alcance su actividad: Plioceno y Cuaternario. En este caso pareció adecuado considerar ciertas fallas del mapa neotectónico cuya actividad alcanza el período cuaternario. Se trata en general de fallas que, además de aparecer en el mapa neotectónico, están referenciadas en otros estudios geológicos de tipo regional.

Por último, otra fuente de información que se ha consultado es la literatura técnica general, en especial aquella relacionada con fallas tsunamigénicas, siendo el trabajo de Álvarez-Gómez et al (2009) el que se ha tomado como referencia para las fallas del norte de Argelia.

3.2 Parámetros de definición

En la sección 2.2 se ha expuesto la metodología a seguir para la caracterización e identificación de fallas.

Los parámetros de definición de la falla se han tomado de las respectivas bases de datos mencionadas en la sección anterior, en concreto:

- Traza: cada falla se ha simplificado a un segmento recto definido por las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de los dos extremos; de ellos se desprende la longitud, que será el parámetro que se utilice en la siguiente sección.

- Buzamiento: ángulo que forma el plano de falla con la horizontal.
- Ancho del plano de falla, medido en dirección normal a la traza.
- Ángulo de cabeceo: se trata del ángulo que forma el vector que define el desplazamiento sobre el plano de falla con la horizontal.

Los ángulos de definición de la falla (buzamiento y cabeceo) que se han utilizado siguen el convenio de Aki y Richard (1980, 2002). Éste es el mismo convenio empleado en la base de datos QAFI.

La determinación de la magnitud máxima se ha hecho en términos de la magnitud momento M_w usando las correlaciones recomendadas por Stirling y Goded (2012). Este trabajo se desarrolló a petición de la fundación Global Earthquake Model (GEM), bajo una doble motivación: en primer lugar se trataba de compilar todas las correlaciones existentes y, hecho esto, recomendar el conjunto de correlaciones más apropiado para diferentes regímenes tectónicos y tipos de falla.

En concreto las correlaciones empleadas, siguiendo la notación de Stirling y Goded (2012) son las de corteza de borde de placa (*plate boundary crustal*, tipo A), fallas lentas con una tasa de deslizamiento inferior a 10 mm/año (*low plate boundary faults*, tipo A2). Para este subconjunto se ofrecen cuatro correlaciones para fallas en dirección, tres correlaciones para fallas inversas y una correlación para fallas normales. Para los casos en que se ofrece más de una correlación (fallas inversas y normales) se ha optado por la media aritmética de las magnitudes indicadas por cada una de las correlaciones.

3.3 Fallas identificadas

3.3.1 Zona 1

La zona 1 comprende fallas en el área del Golfo de Cádiz y el Banco de Gorringe; incluye un total de ocho fallas de la base de datos QAFI (Figura 3-1).

Los parámetros que definen la geometría de la falla, junto con la descripción de su cinemática se muestran en la Tabla 3-1. Puede verse que hay 6 fallas inversas, por lo tanto relevantes desde el punto de vista tsunamigénico, y otras dos fallas en

dirección (de tipo dextral) que no son relevantes en este sentido.

QAFI ID	Nombre	Cinem.	Traza (km)	Ancho (km)	Buz. (°)	Cabeceo (°)
AT001	Gorringe Bank	Inversa	124	61,0	55	90
AT002	Portimao-Guadalquivir	Inversa	100	48,8	55	90
AT004	Marques de Pompal	Inversa	52,6	123	24	90
AT005	Horseshoe	Inversa	92,0	120	30	90
AT006	Coral Patch Ridge (1/2)	Inversa	53,0	24,0	30	90
AT007	Coral Patch Ridge (2/2)	Inversa	54,0	24,0	30	90
AT008	Lineament N	Dextral	130	55,0	90	180
AT009	Lineament S	Dextral	170	55,0	90	180

Tabla 3-1 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 1

El ángulo de cabeceo en las fallas inversas mostradas en la Tabla 3-1 es de 90°. La base de datos QAFI indica un margen de error para este valor, sin embargo en un contexto determinista como el que estamos, se ha dejado en 90° por tratarse del valor más conservador.

En este conjunto de fallas hay dos a las que se les asocia, con mayor o menor incertidumbre, algún terremoto registrado en el catálogo del IGN.

A las fallas de Marqués de Pombal y Horseshoe se les atribuye el terremoto del 1/nov/1755, conocido como “terremoto de Lisboa”. Se trata de un terremoto de gran repercusión en la Península Ibérica, tanto por sus efectos destructivos desde el punto de vista de movimiento del suelo, como del tsunami que llegó a diversos puntos de la costa, entre ellos la zona de Huelva y Cádiz. En la época en que ocurrió el terremoto no se disponía de registros instrumentales que permitan conocer su magnitud; no obstante debido a su gran repercusión ha sido un terremoto ampliamente estudiado en lo que respecta a la localización de su epicentro y a su magnitud, cuyo valor lo sitúan varios autores en 8,5.

Otros terremotos más recientes se han atribuido a la falla de Horseshoe, en concreto el terremoto de 1969 de magnitud $M_w = 8,0$ (Gracia et al, 2010), y el terremoto de 12/feb/2007 de magnitud $M_w = 6,0$ (Stich et al, 2007).

Las tasas de deslizamiento reportadas en las fallas de esta zona están estimadas en algunos casos, como por ejemplo el de la falla de Horseshoe. Estando en torno a los 0,4 mm/años. Los períodos de recurrencia oscilan entre los 1000 y los 2000 años. Estos datos no tienen influencia en los resultados, por encontrarnos en un contexto determinista.

3.3.2 Zona 2

La zona 2 comprende fallas en el Mediterráneo que rodea la costa este de la Península así como el Mar de Alborán. Esta zona incluye un total de 31 fallas procedentes de la base de datos QAFI (Figura 3-1) y otras 10 tomadas del mapa neotectónico (ITGE y ENRESA, 1998), proyecto financiado por ENRESA a finales de los 80 y realizado por el actual IGME con la colaboración de universidades y otros centros de investigación.

Para el caso de las fallas tomadas de la base de datos QAFI, los parámetros que definen la geometría de la falla, junto con la descripción de su cinemática, se muestran en la Tabla 3-2. En la zona de levante comprendida entre Cataluña y Murcia predomina la tipología de falla normal, con alguna falla inversa en torno a Bajo Segura y Santa Pola; en la zona de mar de Alborán la tipología es inversa en algún caso con componente horizontal; todas estas fallas son por tanto relevantes desde el punto de vista tsunamigénico. Hay un total de 9 fallas en dirección (dextral o sinistral) que no son relevantes en este sentido.

QAFI ID	Nombre	Cinem.	Traza (km)	Ancho (km)	Buz. (°)	Cabeceo (°)
ME001	Golfo de Rosas	Normal	76	16	60	-90
ME002	Amposta Western Fault	Normal	18	16	60	-90
ME003	Amposta Central Fault	Normal	35	16	60	-90
ME004	Amposta E Quaternary Fault	Normal	16	6,0	30	-90
ME005	Cabo de Cullera W Fault	Normal	28	16	60	-90
ME006	Cabo de Cullera C-W Fault	Normal	25	16	60	-90
ME007	Cabo de Cullera C-E Fault	Normal	48	16	60	-90
ME008	Cabo de Cullera E Fault	Normal	16	16	60	-90
ME009	SW of Columbretas Basin	Normal	10	16	60	-90

Tabla 3-2 Parámetros definitorios de las fallas (QAFI). Zona 2

QAFI ID	Nombre	Cinem.	Traza (km)	Ancho (km)	Buz. (°)	Cabeceo (°)
ME010	Alborán Ridge N	Sinestr-Inversa	37	13	60	45
ME012	Alborán Ridge S	Inversa-Sinestr	93	13	60	70
ME013	Jebha Offshore	Inversa-Sinestr	58	13	60	70
ME014	Tofiño Bank	Inversa-Sinestr	49	16	45	75
ME015	Carboneras (2/2)	Sinestral	36	11	90	0
ME016	Adra	Normal-dextral	19	15	80	-135
ME017	Yussuf (1/2)	Dextral	95	11	90	170
ME018	Yussuf (2/2)	Dextral	99	11	90	170
ME019	Al-Idrisi (1/2)	Sinestral	55	11	75	10
ME020	Al-Idrisi (2/2)	Sinestral	17	11	75	10
ME021	Bajo Segura Offshore	Inversa	29	13	60	90
ME023	Santa Pola	Inversa	36	9,2	60	90
ME024	La Marina	Inversa	39	9,2	60	90
ME025	Barcelona	Normal	52	17	60	-90
ME026	Delta del Ebro	Normal	52	17	60	-90
ME027	Seco de Palos Fault Zone	Sinestral	40	8,0	90	0
ME028	Don Juan Fault Zone	Dextral	60	8,0	90	180
ME029	Las Moreras - Escarpe Mazarrón (1/3)	Dextral	32	8,0	90	180
ME030	Las Moreras - Escarpe Mazarrón (2/3)	Dextral	27	8,0	90	180
ME031	Las Moreras - Escarpe Mazarrón (3/3)	Sinestral	41	8,0	90	0
ME032	Averroes	Inversa-dextral	44	26	23	135
ES600	Crevillente (Alicante) (3/3)	Inversa	40	16	65	80

Tabla 3-2 (cont.) Parámetros definitorios de las fallas (QAFI). Zona 2

Se han considerado también 10 fallas que están presentes en el mapa neotectónico. Su posición puede verse en la Figura 3-3.

Las fallas identificadas en el mapa neotectónico a lo largo de la costa de Tarragona y Barcelona y no registradas en la QAFI proceden de la cartografía del mapa neotectónico de España (ITGE y ENRESA, 1998), que así mismo proceden de unos trabajos anteriores dentro del proyecto denominado: Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes.

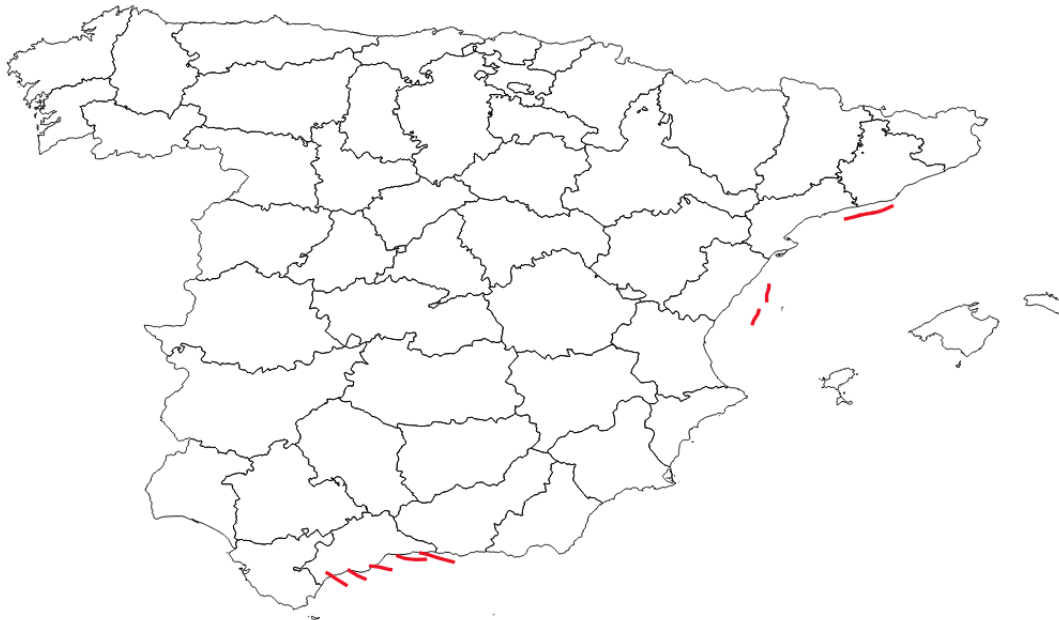


Figura 3-3 Fallas del mapa neotectónico. Zona 2

Se trata de una colección de mapas a E 1:200.000 de la plataforma marina de la costa, si bien cabe señalar que es un proyecto inacabado, faltan por ejemplo, la zona de la costa valenciana. En particular la hoja de Tarragona (IGME y IJA, 1986) y la de Barcelona (ITGE y ICM, 1989) fueron realizadas en colaboración con organismos del CSIC en Cataluña, en concreto el Instituto Jaume Almera (IJA) y el Instituto de Ciencias del Mar (ICM), respectivamente.

Para las diez fallas del mapa neotectónico, los parámetros que definen la geometría de la falla, junto con la descripción de su cinemática, se muestran en la Tabla 3-3.

Para este conjunto de fallas, en general no se suministra en la QAFI mucha información relativa a su tasa de actividad o su período de recurrencia. En el caso de la Falla del Golfo de Rosas la tasa está en torno a 0,04 mm/y el intervalo de recurrencia entre 60000 y 70000 años. Otras fallas en torno a la costa de Valencia y Murcia presentan tasas y períodos de recurrencia del mismo orden de magnitud.

3.3.3 Zona 3

La zona 3 comprende fallas frente a la costa de Argelia. Esta zona no está cubierta por la base de datos QAFI, sin embargo sí que aparecen fallas en la base de datos del SHARE (Figura 3-2). Esta misma zona fue estudiada desde el punto de vista tsunamigénico por Álvarez-Gómez et al (2009).

Se ha considerado como mejor opción el tomar los parámetros asignados por estos autores. La posición de las fallas puede verse en la Figura 3-4.

Nombre	Cinem.	Traza (km)	Ancho (km)	Buz. (°)	Cabeceo (°)
Tarragona-Barcelona (1/3)	Normal	16	17	60	-90
Tarragona-Barcelona (2/3)	Normal	14	17	60	-90
Tarragona-Barcelona (3/3)	Normal	24	17	60	-90
Castellón Norte	Normal	23	17	60	-90
Castellón Sur	Normal	21	17	60	-90
Torrox-Motril	Normal	40	10	80	135
Rincón de la Victoria-Torrox	Normal	33	10	80	135
Fuengirola	Normal	24	10	80	135
Marbella	Normal	22	10	80	135
Estepona	Sinestr-Inversa	28	10	80	135

Tabla 3-3 Parámetros definitorios de las fallas (neotectónico). Zona 2

A este conjunto de fallas de Álvarez-Gómez et al (2009) se ha añadido una falla de la propia base de datos SHARE situada en la costa oeste de Argelia, frente a Orán.

El conjunto de Álvarez-Gómez et al (2009) es un grupo de 9 fallas inversas representativas de un mismo evento que ocurra a lo largo de la costa argelina. El conjunto de parámetros que definen estas fallas se muestra en la primera fila de la Tabla 3-4.

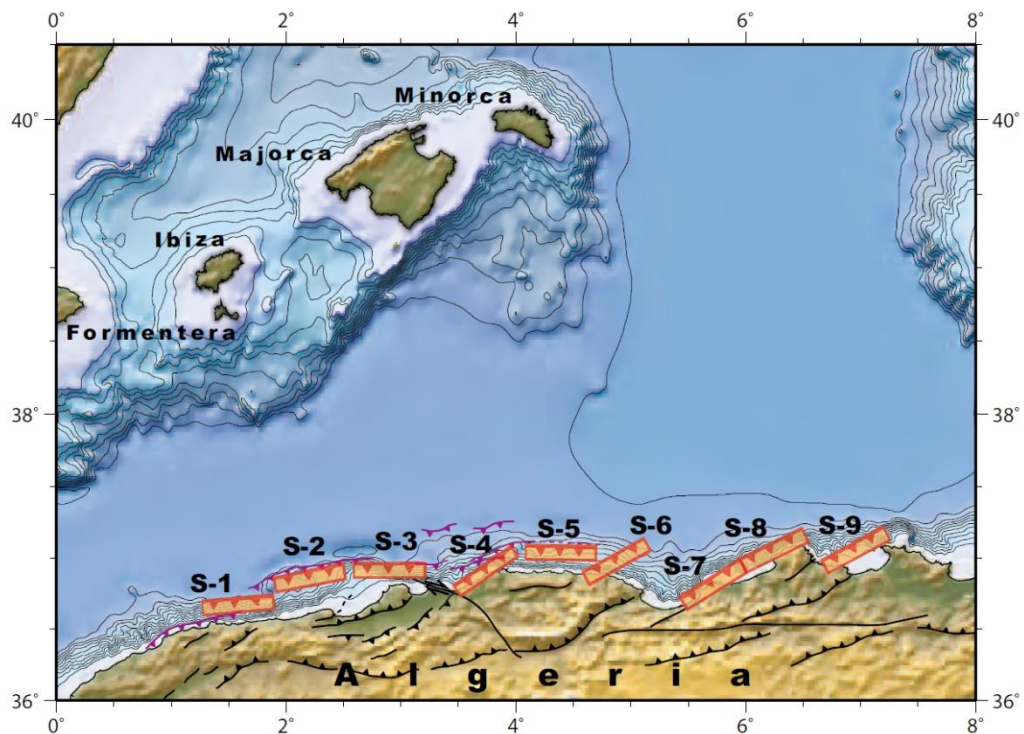


Figura 3-4 Fallas de Álvarez-Gómez et al (2009). Zona 3

SHARE ID	Nombre	Cinem.	Traza (km)	Ancho (km)	Buz. (°)	Cabeceo (°)
--	Costa Argelia (9 fallas)	Inversa	55	16	90	90
DZCS004	El Marsa Offshore	Inversa	25	27	55	90

Tabla 3-4 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 3

La misma Tabla 3-4 muestra los parámetros que definen la falla tomada de la base de datos SHARE para esta zona.

3.3.4 Zona 4

La zona 4 comprende fallas situadas entre Túnez y Nápoles.

De nuevo esta zona no está cubierta por la base de datos QAFI, sin embargo sí que aparecen fallas en la base de datos del SHARE (Figura 3-2), de la cual se han

tomado en este caso los datos para definir las fallas. La posición de las fallas puede verse en la Figura 3-5.

Se trata de dos fallas inversas representativas de un mismo evento de magnitud 7,3 (Álvarez-Gómez et al, 2009) que coincide con el valor que se obtiene al aplicar las correlaciones de Stirling y Goded (2012). El conjunto de parámetros que definen estas fallas se muestra en la Tabla 3-5.

SHARE ID	Nombre	Cinem.	Traza (km)	Ancho (km)	Buz. (°)	Cabeceo (°)
ITCS090	Sicily-Tunisia	Inversa	100	10,4	60	90
ITCS014	Southern Tyrrhenian	Inversa	70	24,9	40	90

Tabla 3-5 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 4

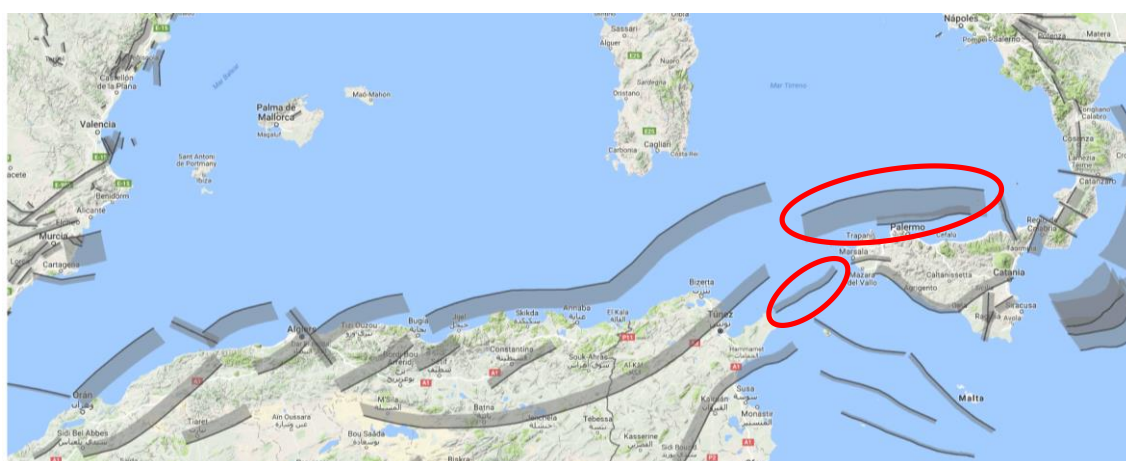


Figura 3-5 Fallas de la base de datos SHARE. Zona 4

3.3.5 Zona 5

La zona 5 pretende representar la posibilidad de que tenga lugar actividad volcánica en Islandia que acabe originando un tsunami que alcance las costas españolas.

Se ha realizado una equivalencia, en términos energéticos, entre una gran erupción volcánica y un evento sísmico. Para ellos se ha recurrido a la conocida gráfica del

USGS (Figura 3-6) en la que se relacionan diversos eventos destructivos con magnitudes de terremotos a través de consideraciones energéticas. En el gráfico mostrado aparece la erupción volcánica de Krakatoa, ocurrido en Indonesia en 1883, catalogado como uno de los eventos volcánicos más destructivos de la historia. Este evento se pone a la misma altura que un terremoto de magnitud 8,5.

En este caso, al ser la magnitud el punto de partida, los parámetros para modelizar la falla generadora del tsunami se han calculado de manera que aplicando las correlaciones de Stirling y Goded (2012) se obtenga dicha magnitud. Los parámetros finalmente asignados a la falla son:

- Cinemática: inversa
- Traza: 280 km
- Ancho: 35 km
- Buzamiento: 90°
- Cabeceo: 90°

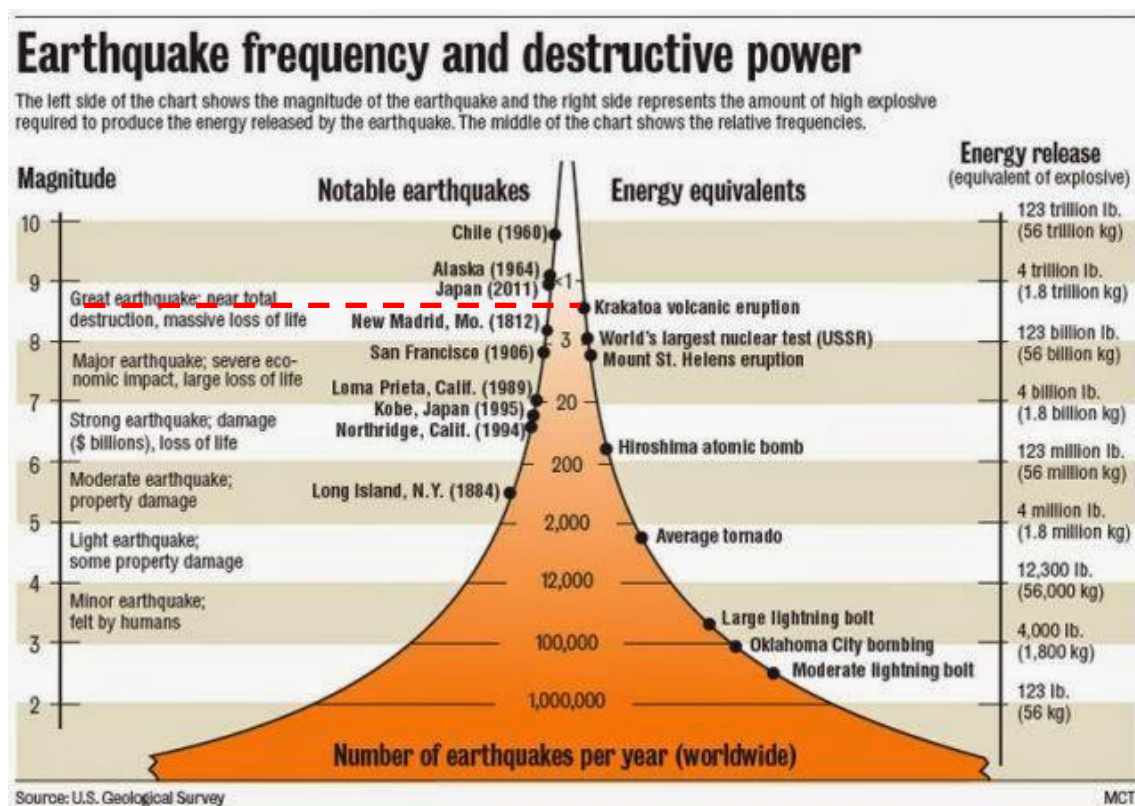


Figura 3-6 Equivalencia entre terremotos y eventos destructivos. Zona 4

3.3.6 Zona 6

La zona 6 se refiere a la Dorsal Medio-Atlántica y comprende dos tipos básicos de fuentes sismogénicas:

- fallas normales, que controlan la divergencia entre las placas tectónicas y, por tanto, la apertura oceánica;
- fallas en dirección, perpendiculares a las anteriores, y que controlan la deriva lateral de la dorsal (zonas de falla transformantes).

Las fallas normales de la Dorsal Medio-Atlántica producen mucha sismicidad, dado su papel activo en la creación de fondo oceánico, pero la magnitud de estos terremotos no suele superar los 6,5 grados y, por tanto, el desplazamiento vertical del fondo marino no es relevante en términos tsunamigénicos.

Las fallas en dirección se localizan en zonas donde la dirección general de la dorsal experimenta bruscos desplazamientos laterales. Estas zonas se denominan zonas de falla transformante y en ellas se localizan fallas de gran longitud que pueden llegar a producir terremotos de magnitudes del orden de 7,5. Se trata de fallas de geometría muy vertical y con desplazamiento fundamentalmente en la horizontal, motivo por el cual tampoco son relevantes desde el punto de vista tsunamigénico.

3.3.7 Zona 7

La zona 7 comprende el archipiélago canario. En esta zona se ha identificado únicamente una falla, presente en el mapa neotectónico y también incluida en el trabajo de Mezcueta et al (1992). Se trata de una falla situada entre las islas de Tenerife y Gran Canaria con una longitud de unos 84 km y un ancho de 15 km. Su buzamiento se estima en 80° y se trata de una falla en dirección (sinistral) con un ángulo de cabeceo de 15°, motivo por el cual de antemano puede indicarse que al ser su componente fundamentalmente horizontal no será relevante desde el punto de vista tsunamigénico.

3.3.8 Zona 8

La zona 8 se refiere al Caribe. Se ha optado por representar un evento sísmico de carácter conservador, con objeto de comprobar el impacto que pueda llegar a tener

en las costas españolas.

Las características de la falla generadora del tsunami son:

- Cinemática: inversa
- Traza: 280 km
- Ancho: 35 km
- Buzamiento: 90°
- Cabeceo: 90°

3.4 Magnitudes y Desplazamientos

3.4.1 Zona 1

A partir de los parámetros mostrados en la Tabla 3-1, y con las correlaciones de Stirling y Goded (2012) indicadas en la sección 3.2, se ha determinado la magnitud máxima que es susceptible de generar cada una de las fallas, para a continuación determinar un desplazamiento medio asociado a dicha magnitud de acuerdo a Hanks y Kanamori (1979) (ecuación (1)). Los resultados se muestran en la Tabla 3-6.

QAFI ID	Nombre	Cinem.	M_w	Desplazamiento (m)
AT001	Gorringe Bank	Inversa	8,0	5,64
AT002	Portimao-Guadalquivir Bank	Inversa	7,9	4,78
AT004	Marques de Pompal	Inversa	8,5	32,5
AT005	Horseshoe	Inversa	8,5	19,1
AT006	Coral Patch Ridge (1/2)	Inversa	7,3	2,98
AT007	Coral Patch Ridge (2/2)	Inversa	7,4	3,04
AT008	Lineament N	Dextral	7,6	1,48
AT009	Lineament S	Dextral	7,8	1,68

Tabla 3-6 Magnitudes y desplazamientos de las fallas. Zona 1

Para las dos fallas que presentan sismicidad asociada (Marqués de Pombal y Horseshoe) la magnitud que resulta de las correlaciones de Stirling y Goded (2012)

para falla inversa resulta ser inferior a la magnitud de 8,5 que se atribuye al terremoto de Lisboa (sección 3.3.1). En concreto aplicando las correlaciones mencionadas, las magnitudes que resultan son de 7,7 para Marqués de Pombal y 8,0 para Horseshoe. En el caso de Horseshoe, el valor coincide con el terremoto observado en 1969 y atribuido a esta falla.

Al encontrarnos en un contexto de estudio determinista, para estas dos fallas se adoptará una magnitud $M_w = 8,5$. El desplazamiento se calcula de acuerdo a esta magnitud y las características indicadas en la Tabla 3-1. Al tratarse de una magnitud superior a la típica para su geometría, los desplazamientos resultantes son elevados. Los cálculos de referencia se realizarán con la geometría indicada en la Tabla 3-1 y los valores de desplazamiento en el plano de falla de la Tabla 3-6.

Adicionalmente se realizará un estudio de sensibilidad teniendo en cuenta los diferentes valores de los parámetros mencionados anteriormente; en concreto se analizarán los siguientes casos para las fallas de Marqués de Pombal y Horseshoe:

- Magnitud resultante de las correlaciones de Stirling y Goded (2012) y geometría de la Tabla 3-1.
- Magnitud $M_w = 8,5$ y traza modificada con objeto de hacerla consistente con esta magnitud de acuerdo a las correlaciones de Stirling y Goded (2012).

Las variaciones de parámetros consideradas en el estudio de sensibilidad se muestran en la Tabla 3-7.

	Caso Referencia		Sensibilidad 1		Sensibilidad 2	
	M_w	L (km)	M_w	L (km)	M_w	L (km)
Marques de Pompal	8,5	52,6	7,7	52,6	8,5	200
Horseshoe	8,5	92,0	8,0	92,0	8,5	200

Tabla 3-7 Magnitudes y trazas para estudio de sensibilidad. Zona 1

3.4.2 Zona 2

A partir de los parámetros mostrados en las Tablas 3-2 y 3-3, y con las

correlaciones de Stirling y Goded (2012) indicadas en la sección 3.2, se ha determinado la magnitud máxima que es susceptible de generar cada una de las fallas, para a continuación determinar un desplazamiento medio asociado a dicha magnitud de acuerdo a Hanks y Kanamori (1979) (ecuación (1)).

Los resultados se muestran en la Tabla 3-8 para las fallas procedentes de la QAFI (Tabla 3-2) y en la Tabla 3-9 para las procedentes del neotectónico (Tabla 3-3).

Los valores de la tabla reflejan que las magnitudes de los terremotos asociados a las fallas de la costa este de España en general se encuentran por debajo de $M_w = 7,0$, salvo la falla de Golfo de Rosas en Gerona y la de Crevillente a la altura de Elche. Para la zona del Sur y Sureste peninsular, las magnitudes son más elevadas superando en general $M_w = 7,0$.

QAFI ID	Nombre	Cinem.	M_w	Desplazamiento (m)
ME001	Golfo de Rosas	Normal	7,0	1,0
ME002	Amposta Western Fault	Normal	6,7	1,5
ME003	Amposta Central Fault	Normal	6,8	1,3
ME004	Amposta E Quaternary Fault	Normal	6,7	4,2
ME005	Cabo de Cullera W Fault	Normal	6,8	1,4
ME006	Cabo de Cullera C-W Fault	Normal	6,8	1,4
ME007	Cabo de Cullera C-E Fault	Normal	6,9	1,2
ME008	Cabo de Cullera E Fault	Normal	6,7	1,6
ME009	SW of Columbretas Basin	Normal	6,6	1,8
ME010	Alborán Ridge N	Sinestr-Inversa	7,0	2,4
ME012	Alborán Ridge S	Inversa-Sinestr	7,5	6,2
ME013	Jebha Offshore	Inversa-Sinestr	7,3	3,8
ME014	Tofiño Bank	Inversa-Sinestr	7,2	3,1
ME015	Carboneras (2/2)	Sinestral	6,7	1,0
ME016	Adra	Normal-dextral	6,7	1,6
ME017	Yussuf (1/2)	Dextral	7,1	1,5
ME018	Yussuf (2/2)	Dextral	7,1	1,5
ME019	Al-Idrisi (1/2)	Sinestral	6,9	1,2
ME020	Al-Idrisi (2/2)	Sinestral	6,4	0,67
ME021	Bajo Segura Offshore	Inversa	6,9	1,9

Tabla 3-8 Parámetros definitorios de las fallas (QAFI). Zona 2

ME023	Santa Pola	Inversa	6,9	2,6
ME024	La Marina	Inversa	6,9	2,8
ME025	Barcelona	Normal	6,9	1,0
ME026	Delta del Ebro	Normal	6,9	1,0
ME027	Seco de Palos Fault Zone	Sinistral	6,6	1,0
ME028	Don Juan Fault Zone	Dextral	6,8	1,3
ME029	Las Moreras - Escarpe Mazarrón (1/3)	Dextral	6,5	0,92
ME030	Las Moreras - Escarpe Mazarrón (2/3)	Dextral	6,5	0,86
ME031	Las Moreras - Escarpe Mazarrón (3/3)	Sinistral	6,6	1,0
ME032	Averroes	Inversa-dextral	7,2	2,4
ES600	Crevillente (Alicante) (3/3)	Inversa	7,1	2,5

Tabla 3-8 (cont.) Parámetros definitorios de las fallas (QAFI). Zona 2

Nombre	Cinem.	M_w	Desplazamiento (m)
Tarragona-Barcelona (1/3)	Normal	6,7	1,4
Tarragona-Barcelona (2/3)	Normal	6,7	1,5
Tarragona-Barcelona (3/3)	Normal	6,8	1,3
Castellón Norte	Normal	6,8	1,3
Castellón Sur	Normal	6,7	1,3
Torrox-Motril	Inversa-dextral	7,0	2,8
Rincón de la Victoria-Torrox	Inversa-dextral	6,9	2,3
Fuengirola	Inversa-dextral	6,7	1,6
Marbella	Inversa-dextral	6,6	1,5
Estepona	Inversa-dextral	6,8	1,9

Tabla 3-9 Parámetros definitorios de las fallas (neotectónico). Zona 2

3.4.3 Zona 3

A partir de los parámetros mostrados en la Tabla 3-4, y con las correlaciones de Stirling y Goded (2012) indicadas en la sección 3.2, se ha determinado la magnitud

máxima que es susceptible de generar cada una de las fallas, para a continuación determinar un desplazamiento medio asociado a dicha magnitud de acuerdo a Hanks y Kanamori (1979) (ecuación (1)). Los resultados se muestran en la Tabla 3-10.

Álvarez- Gómez et al (2009) asignan un valor de $M_w = 7,3$ al conjunto de 9 fallas a lo largo de la costa argelina (Figura 3-4); este valor de magnitud coincide con el que se obtiene al aplicar las correlaciones de Stirling y Goded (2012).

SHARE ID	Nombre	Cinem.	M_w	Desplazamiento (m)
--	Costa Argelia (9 fallas)	Inversa	7,3	3,9
DZCS004	El Marsa Offshore	Inversa	6,9	1,3

Tabla 3-10 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 3

3.4.4 Zona 4

A partir de los parámetros mostrados en la Tabla 3-5, y con las correlaciones de Stirling y Goded (2012) indicadas en la sección 3.2, se ha determinado la magnitud máxima que es susceptible de generar cada una de las fallas, para a continuación determinar un desplazamiento medio asociado a dicha magnitud de acuerdo a Hanks y Kanamori (1979) (ecuación (1)). Los resultados se muestran en la Tabla 3-11.

SHARE ID	Nombre	Cinem.	M_w	Desplazamiento (m)
ITCS090	Sicily-Tunisia	Inversa	7,5	7,0
ITCS014	Southern Tyrrhenian	Inversa	7,5	3,9

Tabla 3-11 Parámetros definitorios de las fallas. Zona 4

3.4.5 Zona 5

La zona 5, en Islandia, comprende una única falla de las características indicadas en la sección 3.3.5. Como ya se mencionó en dicha sección, los parámetros se han escogido con objeto de tener una magnitud de 8,5 de acuerdo a Stirling y Goded (2012). El desplazamiento que se obtiene con los parámetros de la falla y $M_w = 8,5$ es de 21,5 m.

3.4.6 Zona 6

Para la zona 6 no se ha seleccionado ninguna falla para modelizar por las razones expuestas en la sección 3.3.6, por lo que no se han realizado cálculos de magnitud o desplazamiento de ninguna falla.

Se ha incluido un apartado específico sólo en aras a la completitud de la sección.

3.4.7 Zona 7

La zona 7, Canarias, comprende una única falla de las características indicadas en la sección 3.3.7. La magnitud resultante de aplicar las correlaciones de Stirling y Goded (2012) es $M_w = 7,1$ y el desplazamiento compatible con los parámetros de la falla y dicha magnitud es 1,4 m.

Conviene recordar que se trata de una falla en dirección, con ángulo de cabeceo de tan sólo 15°, por lo que su potencial tsunamigénico es bajo.

3.4.8 Zona 8

La zona 8 del Caribe incluye una única falla de las características indicadas en la sección 3.3.8. Al igual que ocurría en el caso de Islandia, los parámetros se han escogido con objeto de tener una magnitud de 8,5 de acuerdo a Stirling y Goded (2012). El desplazamiento que se obtiene con los parámetros de la falla y $M_w = 8,5$ es de 21,5 m.

4. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA

4.1 Fuentes consultadas

De cara a la simulación de los tsunamis generados por los terremotos asociados a las fallas seleccionadas, es necesario recopilar información batimétrica y topográfica que se extienda desde las zonas de generación de los tsunamis hasta la costa española. Las fuentes de datos de batimetría y topografía consultadas como base para la modelización se describen a continuación:

- Información batimétrica correspondiente a las Ecocartografías del litoral español, pertenecientes a la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. (<http://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>). Se trata de batimetrías de detalle realizadas con sonda Multihaz de la plataforma costera sumergida, a escalas 1:1.000 y 1:5.000. Comprende desde el límite del Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) hasta la batimetría de 50 m.
- Información batimétrica facilitada por el Instituto Español de Oceanografía (IEO). Esta información comprende datos de batimetría de la costa española con resolución variable (200 m, 150 m, 100 m y 50 m). Las coordenadas de estos datos se encuentran referidas al sistema de referencia WGS84 y proyectadas a UTM en su huso correspondiente.
- Información batimétrica facilitada por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM): se corresponde con la información batimétrica perteneciente a la red de datos de EMODnet (<http://www.emodnet.eu>) y consiste en una malla de puntos con datos de batimetría cada 200 m. La extensión de esta base de datos se presenta en la Figura 4-1.
- Información topográfica facilitada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que engloba datos batimétricos del EMODnet ensamblados con topografía. Se trata de una malla de puntos con información cada 25 m, que incluye toda la costa española (Figura 4-2).
- Datos batimétricos de la red GEBCO. Esta información se encuentra en coordenadas geográficas y en el sistema de referencia WGS84. (https://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/gebco/). Estos datos se utilizaron para completar la información batimétrica necesaria para las mallas de los tsunamis originados en el Caribe (ver apartado 3.4.8).

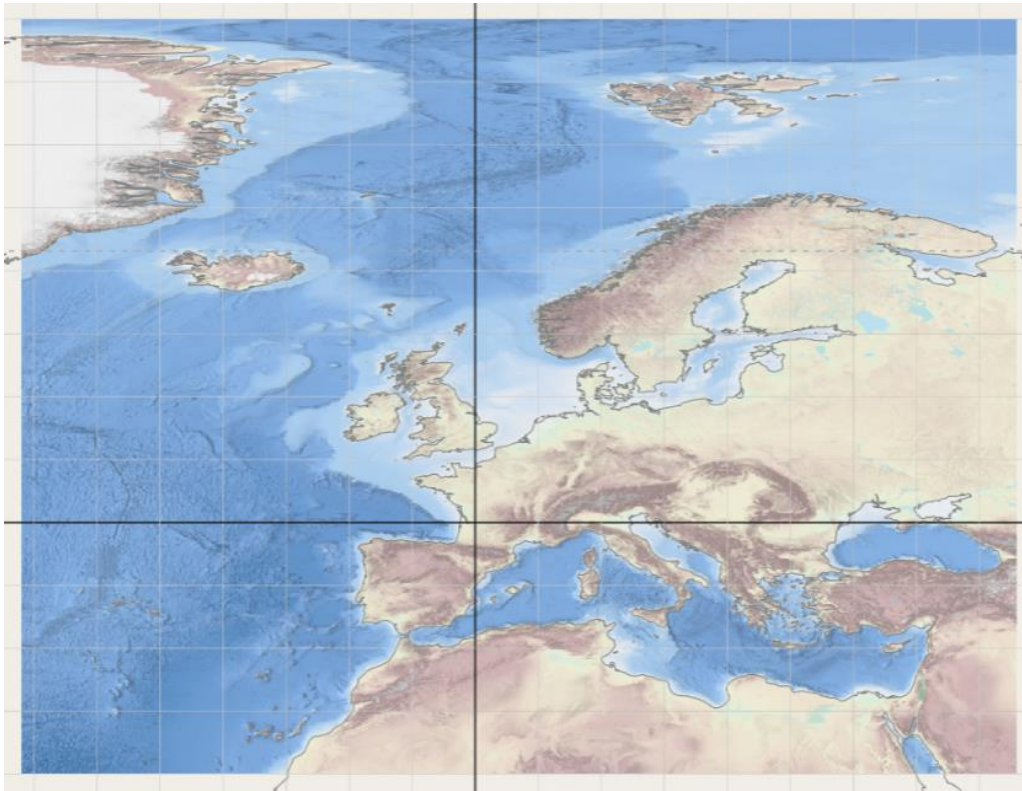


Figura 4-1. Información batimétrica disponible en la red de datos de EMODnet (<http://portal.emodnet-bathymetry.eu/>)

4.2 Integración de las fuentes disponibles

Los datos de topografía y batimetría seleccionados para la generación de las mallas de propagación se corresponden con los facilitados por el IGN, ensamblados con los extraídos de la red GEBCO (para completar la información en la zona del Caribe) y con datos descargados directamente de EMODnet para completar la información batimétrica en la zona de Islandia e Italia.

Con esta información se cubre la topo-batimetría de toda la zona de estudio con una resolución que en su mayor parte es de 25 m, que es la resolución que presentan los datos del IGN. Por otra parte las zonas de menor resolución corresponden a las de generación de tsunamis, donde el grado de detalle requerido es menor.

Finalmente, la información batimétrica y topográfica seleccionada para la simulación numérica se integra en un modelo digital del terreno (MDT) representado en coordenadas geodésicas, cuyas cotas están referidas al nivel medio del mar.

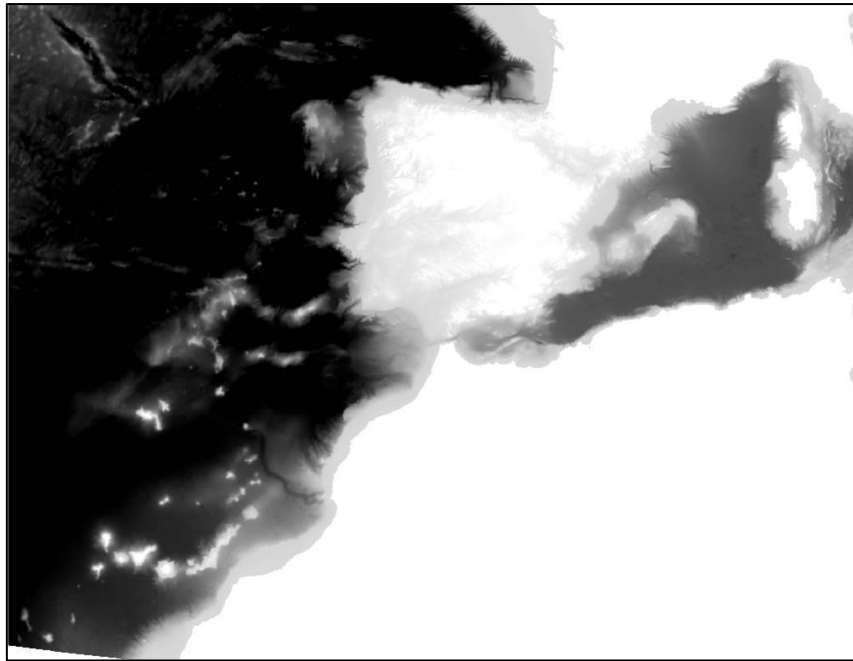


Figura 4-2. Extensión de la información topo-batimétrica facilitada por IGN

4.3 Batimetría y topografía de proyecto

Como resultado de la integración de la información topográfica y batimétrica anteriormente citada, se obtiene el modelo digital del terreno de proyecto.

En la Tabla 4-1 se recoge la fuente de información batimétrica utilizada en la generación de las mallas de cálculo para la simulación de la propagación de los tsunamis correspondientes a cada zona tsunamigénica.

Se diferencia entre mallas que incluyen como condición inicial el suceso generador y mallas anidadas, cuyas condiciones de contorno son generadas en cálculos anteriores.

	Suceso generador	Malla anidada
Zona 1	IGN	IGN
Zona 2	IGN	IGN
Zona 3	EMODnet (IHM)-IGN	IGN
Zona 4	EMODnet (IHM)-IGN	IGN
Zona 5	EMODnet (IHM)-IGN	IGN
Zona 7	EMODnet (IHM)-IGN	IGN
Zona 8	GEBCO-IGN	IGN

Tabla 4-1. Bases de datos empleadas en cada zona y para cada tipo de cálculo

5. SIMULACIONES NUMÉRICAS

5.1 Mallas

Para la realización de las simulaciones numéricas de la propagación de los tsunamis seleccionados se ha realizado en primer lugar una sectorización de la zona de proyecto por zonas de ubicación de las fallas generadoras de los maremotos.

Como ya se había reflejado en apartados anteriores, se han diferenciado un total de 8 zonas en función de las áreas de generación de los maremotos (Figura 3-2).

Hecho esto se construyó, para cada una de estas zonas, una malla general que se extiende desde la zona de generación de los maremotos hasta la costa española a fin de poder simular su propagación.

Con el fin de obtener resultados comparables en toda la costa española, se han generado mallas con una resolución de 500 m x 500 m. Los resultados obtenidos con estas mallas permiten delimitar los tramos de costa donde cabe esperar las mayores elevaciones del nivel del mar, así como las fallas generadoras de tsunamis responsables de provocar estas elevaciones máximas.

Seleccionadas las zonas críticas, se pasa entonces a realizar simulaciones numéricas de las situaciones pésimas con mayor grado de detalle, utilizando mallas con una resolución de al menos 50 m x 50 m. Los tamaños de celda utilizados en cada malla se recogen en la Tabla 5-1.

5.2 Condiciones iniciales

Como condiciones iniciales en las simulaciones numéricas realizadas se introducen las elevaciones del nivel inicial ocasionadas por los sucesos generadores.

En la sección 3.4 ya se presentó para cada zona los datos de desplazamiento correspondientes a cada falla.

La Figura 2-3 muestra como ejemplo una elevación del nivel del mar empleada para especificar las condiciones iniciales en una simulación.

		Generación	Anidado
Zona 1	Andalucía	500 m x 500 m	50 m x 50 m / 25 m x 25 m
	Galicia	1000 m x 1000 m	500 m x 500 m
	Canarias	3000 m x 3000 m	500 m x 500 m 50 m x 50 m
Zona 2		500 m x 500 m	50 m x 50 m (Alicante y Andalucía oriental)
Zona 3		3 km x 3 km	500 m x 500 m
Zona 4		3 km x 3 km	500 m x 500 m
Zona 5		3 km x 3 km	500 m x 500 m
Zona 7		500 m x 500 m	--
Zona 8		5 km x 5 km	500 m x 500 m (Canarias)

Tabla 5-1 Tamaños de celda en las mallas

Los detalles asociados a las mallas utilizadas en las simulaciones numéricas realizadas se presentan en el Apéndice III.

5.3 Condiciones de contorno

En los contornos de la malla principal se impone la condición de Riemann con objeto de evitar fenómenos de reflexión (ver sección 2.3.3)

En las mallas anidadas, las condiciones de contorno son condiciones de nivel, que se extraen directamente de los niveles determinados con la malla predecesora. Para ello, se incluyen como puntos de control en la simulación de la malla de generación los coincidentes con el contorno de la malla anidada (Figura 2-4). Los datos de nivel obtenidos se toman como condición de contorno en la simulación de la propagación del tsunami con la malla anidada.

5.4 Integración temporal

Tal y como se ha comentado en el apartado 2.3.3, el paso de tiempo seleccionado para la integración en el tiempo en las simulaciones debe satisfacer la condición de Courant para la propagación de la onda (ecuación (3)).

Si este criterio no se cumpliera, aparecerían problemas de inestabilidad en el

proceso de integración.

Los pasos de tiempo seleccionados en cada malla de simulación, así como los números de Courant asociados, se presentan en la Tabla 5-2.

		Malla de generación		Malla anidada	
		Δt (min)	CFL	Δt (min)	CFL
Zona 1	Andalucía	0.1	0.128	0.05	0.198
	Galicia	0.1	0.066	0.005	0.006
	Canarias	0.1	0.023	0.1	0.121
Zona 2	Levante N	0.1	0.097	--	--
	Levante centro	0.1	0.1	0.01	0.017
				0.005	0.027
				0.005	0.031
	Levante S	0.1	0.094	--	--
	Alborán	0.1	0.092	0.005	0.026
Zona 3		0.1	0.017	0.1	0.1
Zona 4		0.1	0.019	--	--
Zona 5		0.1	0.024	0.005	0.006
Zona 7		0.1	0.121	0.005	0.054
				0.01	0.09
Zona 8		1	0.163	0.1	0.121

Tabla 5-2 Pasos de tiempo utilizados y números de Courant correspondientes

5.5 Análisis de sensibilidad del modelo

Se incluyen en este apartado los análisis de sensibilidad necesarios para conocer las incertidumbres de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas.

Los resultados del modelo pueden variar en función del tamaño de celda utilizado en la propagación. Se analiza por tanto el efecto del tamaño de celda en los resultados de la modelización.

Además, se presenta un análisis del efecto que tendría la marea en el resultado de la modelización, con idea de valorar la posibilidad de considerar como elevación total la correspondiente a la suma directa del nivel de marea y la elevación asociada al tsunami.

5.5.1 Sensibilidad al tamaño de celda

Para estudiar la sensibilidad del modelo al tamaño de celda, se comparan los resultados de la modelización del tsunami generado en la falla de Horseshoe sobre la zona de Cádiz, donde se obtiene la elevación máxima asociada a este tsunami.

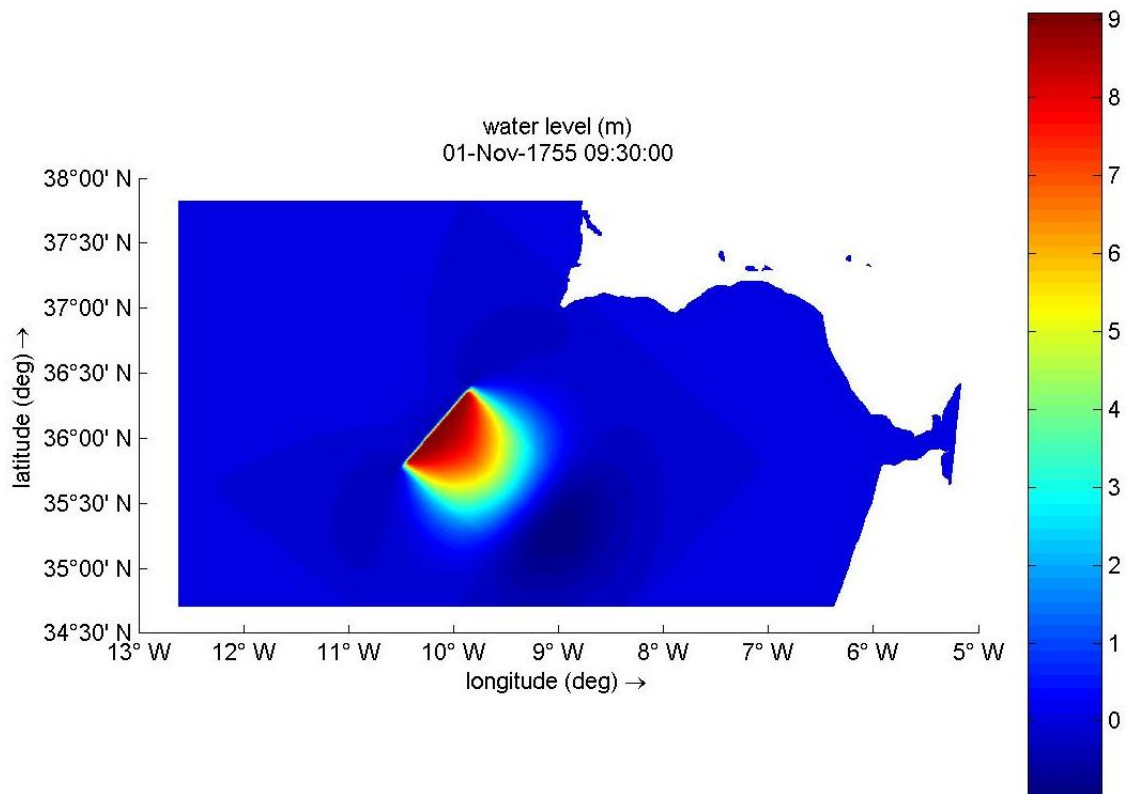


Figura 5-1 Tsunami para análisis de sensibilidad al tamaño de malla

Se han utilizado mallas con celdas de distintos tamaños, concretamente se trata de celdas cuadradas con lados de 500 m, 100 m y 50 m.

En la Tabla 5-3 se presentan las características principales de las mallas utilizadas para llevar a cabo estos análisis y en las Figuras 5-5 a 5-7 se muestran gráficamente estas mallas.

Se ha realizado la comparación de los resultados en el tramo de costa correspondiente a la malla más pequeña, que abarca 55 km de longitud. Los resultados obtenidos con los distintos tamaños de malla se muestran conjuntamente en la Figura 5-5.

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (m)	ΔY (m)	X_0 (m)	Y_0 (m)
500 x 500	1536	625	500	500	-12.619	34.701
100 x 100	1000	900	100	100	-6.377	35.766
50 x 50	980	900	50	50	-6.180	35.930

Tabla 5-3 Mallas para análisis de sensibilidad al tamaño de celda

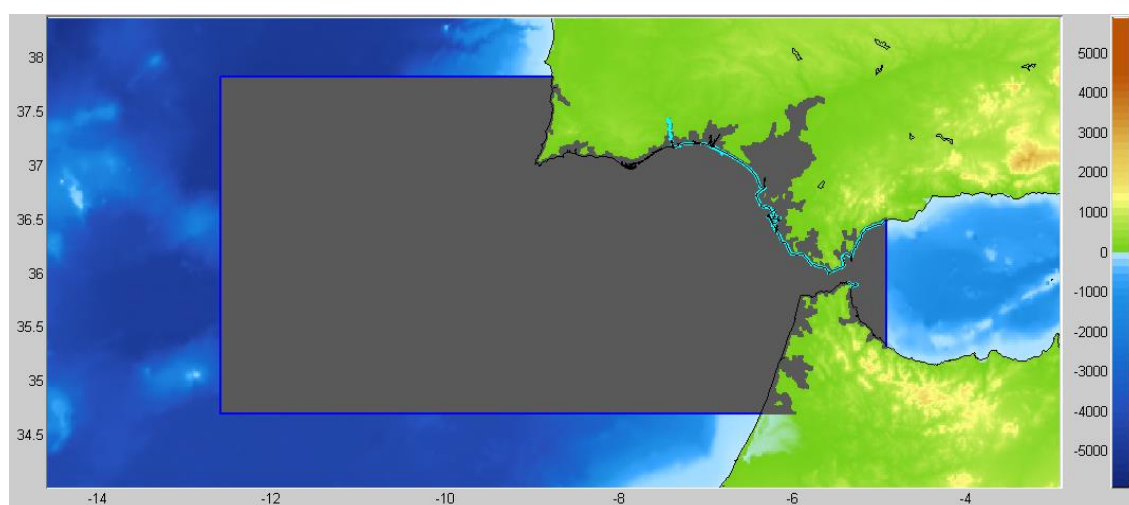


Figura 5-2 Malla de 500 m x 500 m correspondiente al Golfo de Cádiz

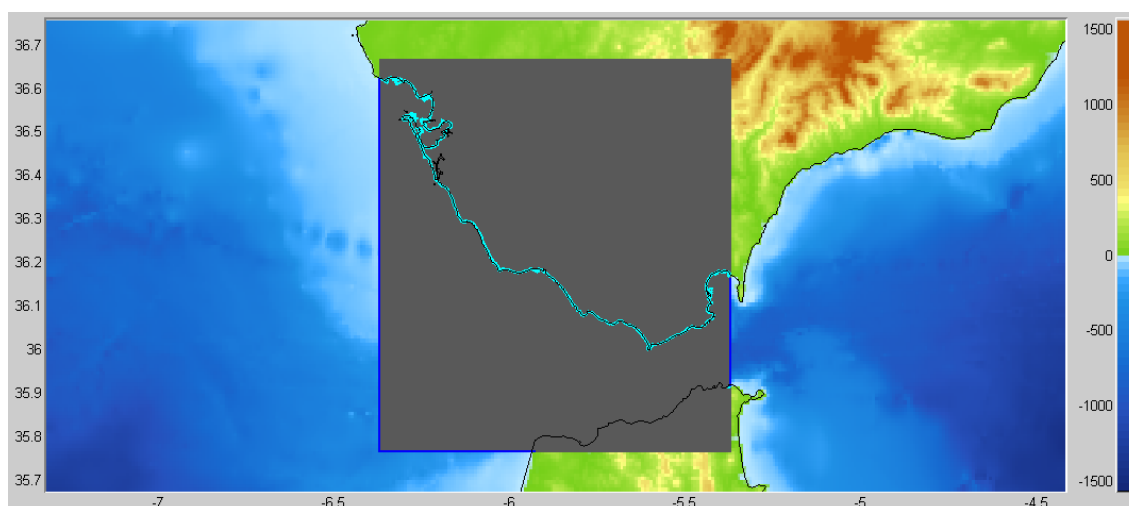


Figura 5-3 Malla de 100 m x 100 m correspondiente la costa de Cádiz

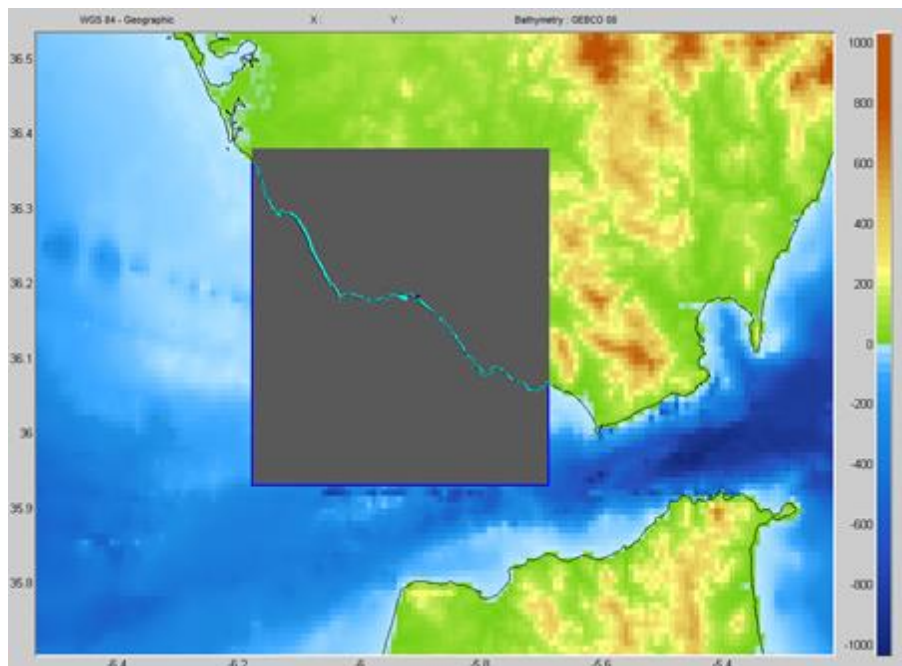


Figura 5-4 Malla de 50 m x 50 m correspondiente la costa de Cádiz

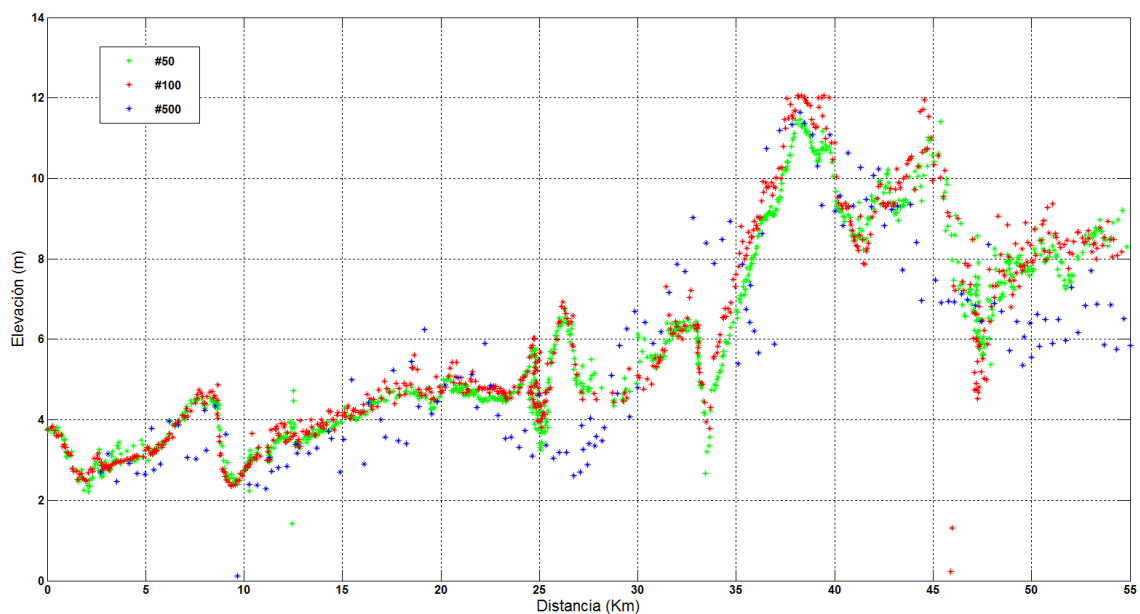


Figura 5-5 Elevaciones en la costa para tres tamaños de celda diferentes

De los resultados mostrados en la figura se deduce que los rangos de elevación se mantienen en el mismo orden de magnitud para todos los tamaños de malla, siendo algo mayor el valor máximo de elevación que se obtiene con la malla de 100 m x 100 m (en torno a 12 m).

Los datos obtenidos con la malla de 50 m x 50 m siguen el mismo patrón pero con valores de elevación ligeramente inferiores. En el caso de la elevación máxima, las mayores diferencias observadas entre los valores producidos con las distintas mallas es del orden de 0.5 m.

Estas variaciones en el resultado de elevación son previsibles, ya que el valor de la profundidad media en los puntos más próximos a la costa varía en función del tamaño de la celda, lo que afecta directamente al valor de elevación.

5.5.2 Sensibilidad a la marea

El principal inconveniente que se encuentra al llevar a cabo estas modelizaciones estriba en que Delft Dashboard codifica los maremotos como condiciones iniciales (para el instante de tiempo $t = 0$) de elevación de la lámina de agua asociadas con unas condiciones de contorno de tipo Riemann para evitar las reflexiones en los contornos del modelo.

Para la simulación de la marea, las condiciones de contorno vienen determinadas por los constituyentes armónicos en el contorno exterior y requieren de varios días de simulación hasta estabilizar las oscilaciones y así obtener una señal de marea adecuada.

En resumen, los intervalos de tiempo de trabajo para cada uno de los dos elementos que actúan (maremoto y marea) son muy diferentes, así como las condiciones de contorno, por lo que su acoplamiento es complejo y conlleva unos tiempos de cálculo considerables.

Para solventar este inconveniente se ha contactado con Deltares y se ha generado un programa mediante Matlab para modificar los archivos de Delft y poder obtener resultados de la simulación conjunta de maremoto y marea, acoplando ambos en el instante de tiempo que resulta más desfavorable, es decir, en la máxima elevación del nivel del mar generado por el maremoto y el instante en que ocurre la pleamar máxima.

Para ejecutar esta simulación se anidan una malla general y una malla de detalle con las características mostradas en la Tabla 5-4 y en las Figuras 5-6 y 5-7.

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	365	163	0.02	0.02	-11.640	34.560
Detalle	360	250	0.000845	0.000845	-6.720	36.823

Tabla 5-4 Mallas general y de detalle para estudio de sensibilidad a la marea

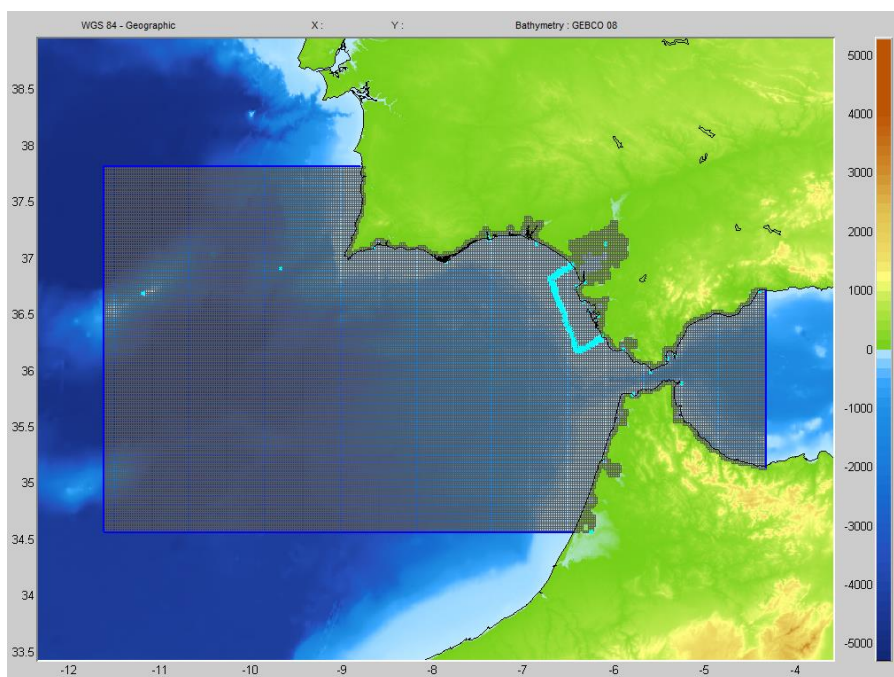


Figura 5-6 Malla general

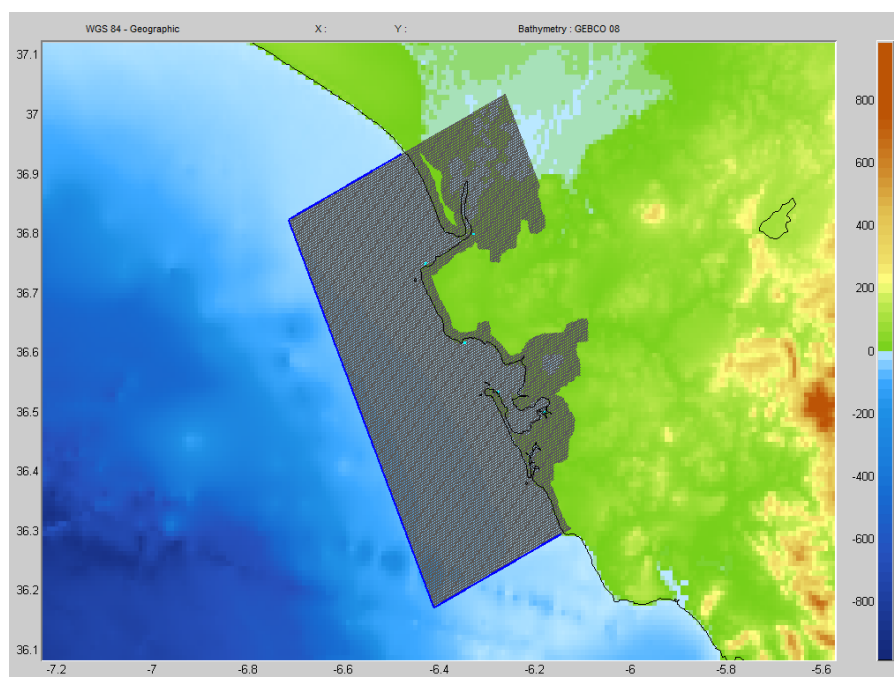


Figura 5-7 Malla de detalle

La metodología que se ha seguido para llevar a cabo la simulación consta de los siguientes pasos:

- a) Simulación de la marea en la malla general, anidada la malla de detalle. Esta simulación comienza antes del tsunami para que, cuando este último tiene lugar, se haya ya estabilizado la oscilación cíclica de la marea. El tiempo final de esta simulación coincide con el tiempo final de la simulación del tsunami. Una vez simulada la marea en la malla general, se obtienen los datos de conexión para simular la marea en la malla de detalle.
- b) Simulación del tsunami en la malla general, que se lleva a cabo independientemente de la simulación de la marea.
- c) Se obtienen los datos de conexión para simular la marea y el tsunami en la malla general. Para ello se lee con Matlab el archivo donde se almacena el nivel del mar obtenido en la simulación anterior a partir de la generación del tsunami. Posteriormente se crea un archivo con la suma de los valores de nivel del mar obtenidos en la simulación de la marea y los obtenidos en la simulación del tsunami en cada celda de la malla general. De esta forma se genera un nuevo archivo de condiciones iniciales que incorpora ambos fenómenos combinados desde el instante de tiempo en el que se genera el tsunami.
- d) Se simula la acción combinada de marea y el tsunami en la malla general en la que se ha anidado la malla de detalle. De este modo, se obtienen los datos de conexión a la malla de detalle que combina los datos de marea y del tsunami.
- e) Creación en Matlab de un archivo que contiene, para la malla de detalle, las condiciones de contorno asociadas a la simulación de marea (en el espacio temporal que discurre entre el inicio de la simulación de marea y el instante inmediatamente anterior a la generación del tsunami) y a la acción combinada de marea y tsunami generadas en el paso anterior(a partir del instante de generación del tsunami).
- f) Simulación de la malla de detalle utilizando como archivo de conexión el generado en el paso previo.

En la Figura 5-8 se muestra el tsunami generado en la simulación llevada a cabo y

en la Figura 5-9 se muestra el esquema de la metodología explicada anteriormente.

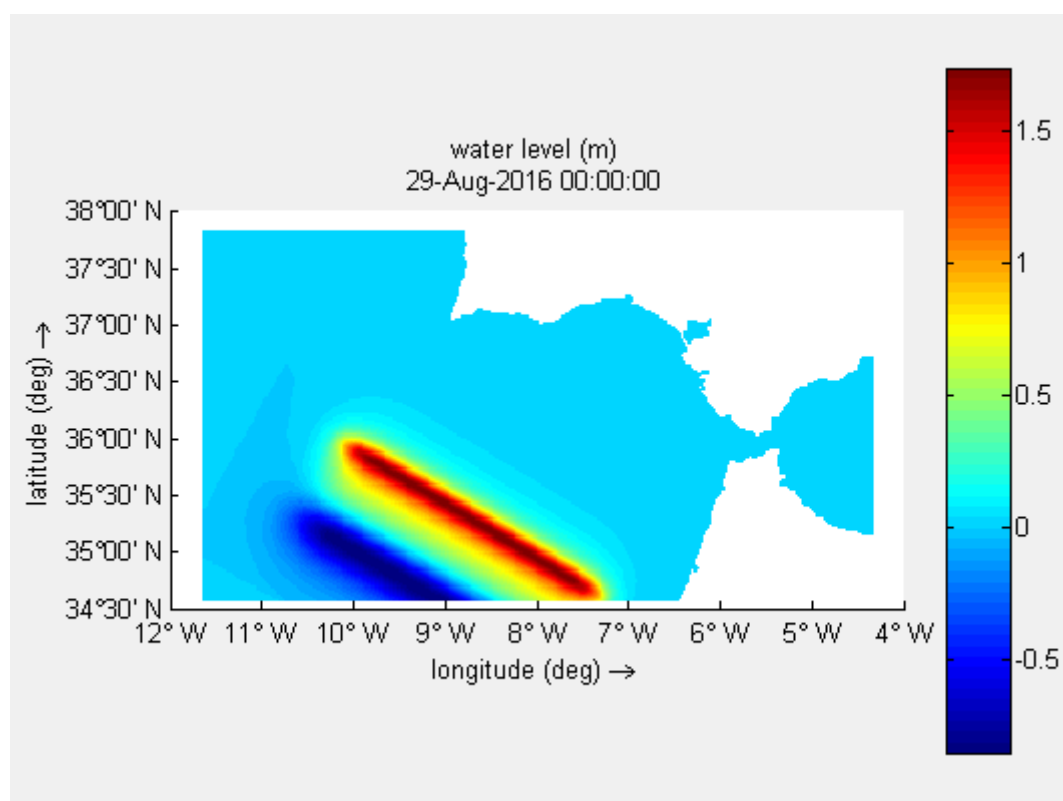
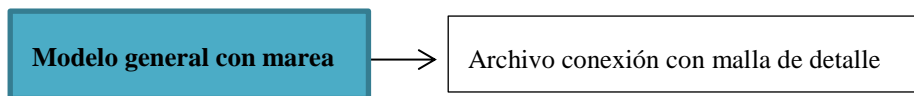


Figura 5-8 Tsunami generado en la simulación

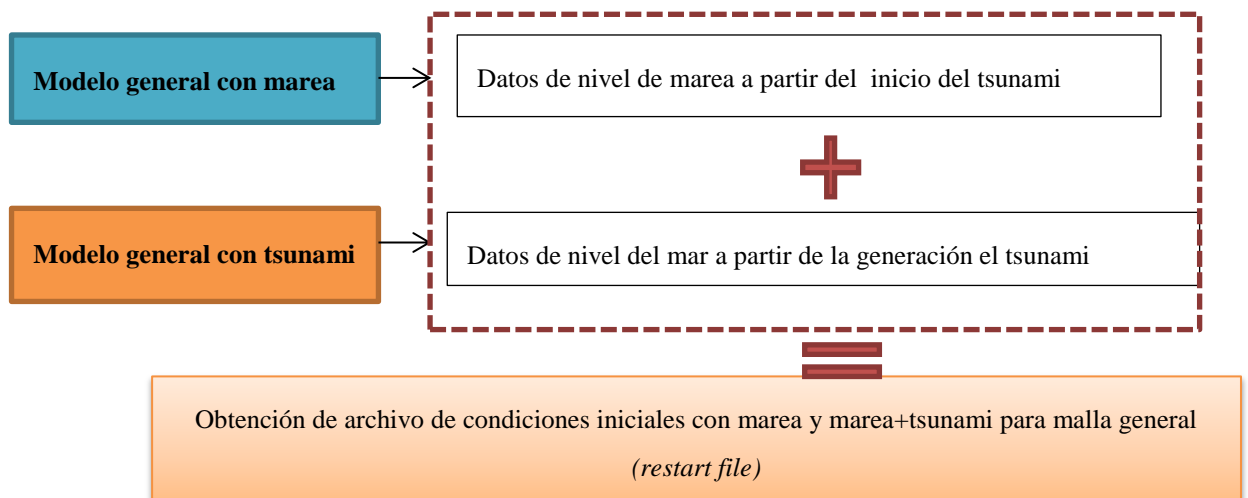
PASO 1:



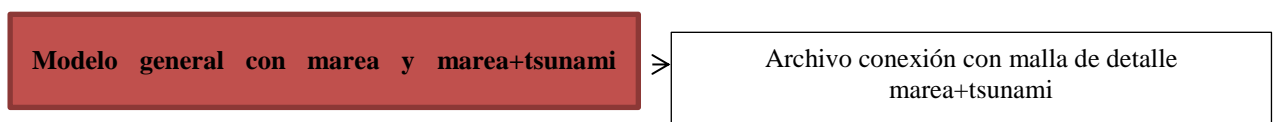
PASO 2:



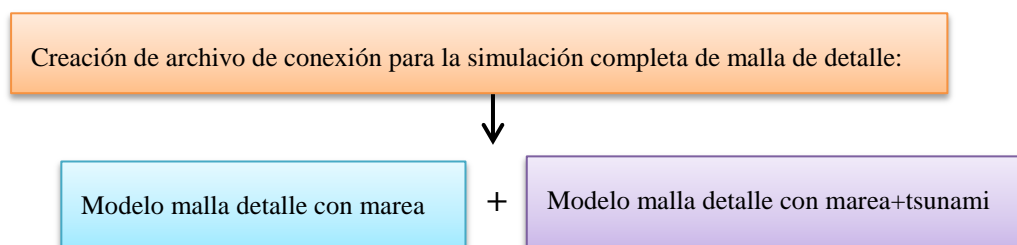
PASO 3:



PASO 4:



PASO 5:



PASO 6:



Figura 5-9 Metodología seguida en el estudio de sensibilidad de marea

En la Figura 5-10 se muestran series temporales de nivel generadas durante el proceso de análisis de sensibilidad de la marea en puntos localizados en Chipiona, Rota y Cádiz.

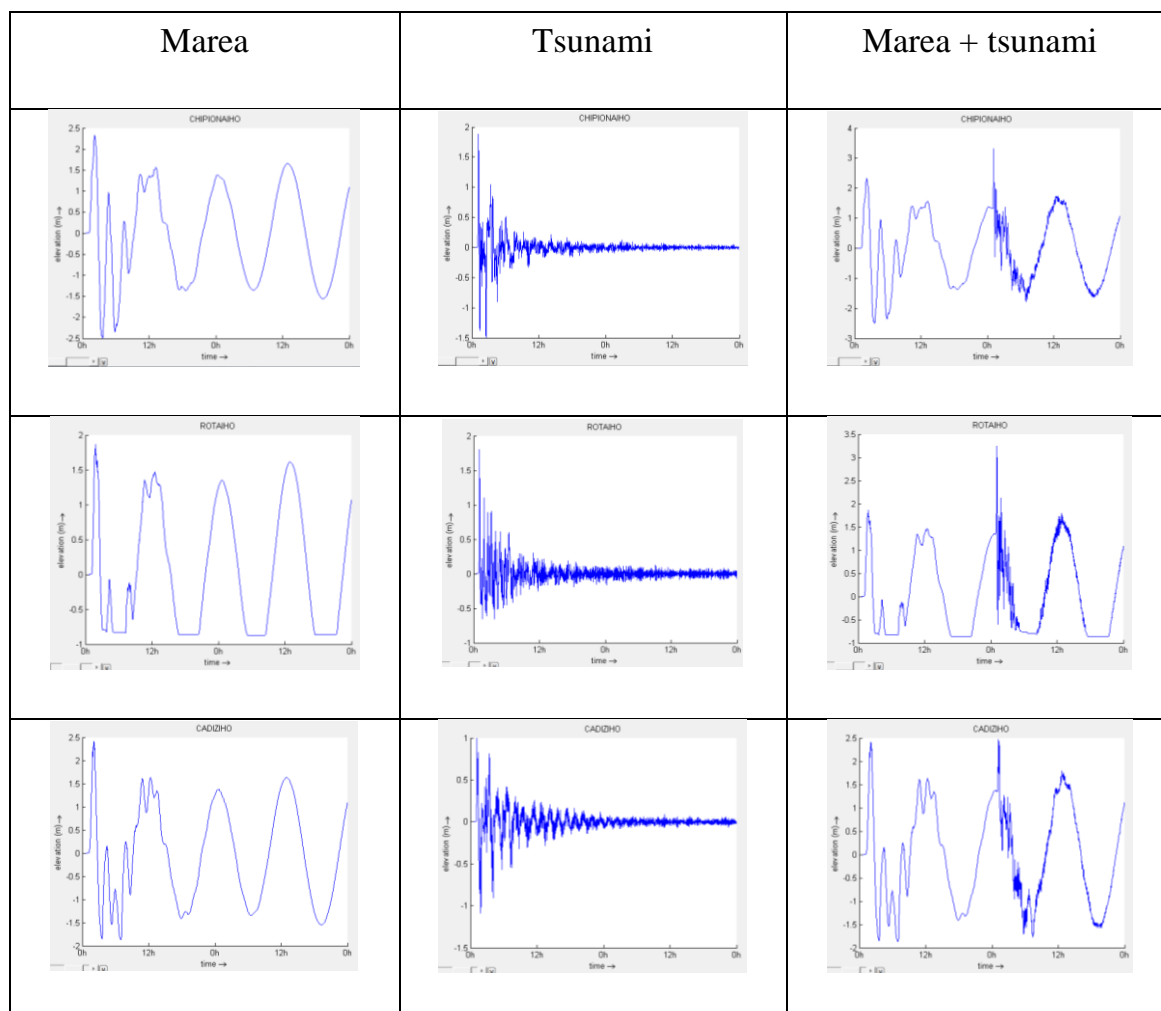


Figura 5-10 Sensibilidad del modelo a la simulación del tsunami combinado con la marea

De los resultados presentados en la Figura 5-10 se extrae que la elevación del nivel del agua obtenida en la simulación donde se combinan marea y tsunami es aproximadamente igual a la suma de los resultados individuales obtenidos en el caso de simulaciones de marea y tsunami de manera independiente.

Por tanto, la elevación total máxima esperable en cada tramo de la costa española se podrá extraer mediante la suma directa del nivel de marea máximo característico de cada zona y la elevación máxima que podría llegar a alcanzarse por el paso de un tsunami.

5.6 Validación del modelo

Para la validación del modelo se tienen en cuenta los resultados obtenidos en las simulaciones correspondientes a los tsunamis generados en la falla de Marqués de Pombal y en la falla de Horseshoe (zona de generación 1), fallas a las que algunos estudios atribuyen el tsunami de 1755.

Hay que recalcar el hecho de que a día de hoy no se conoce con seguridad la falla o combinación de fallas generadoras de dicho tsunami. Igualmente, la antigüedad del evento hace necesario tomar el valor de elevación registrado para este tsunami como un dato más bien cualitativo, con una incertidumbre importante por el hecho de no existir en esa época instrumentos precisos capaces de registrar la elevación del nivel del mar.

Tras la revisión de la documentación bibliográfica relativa al tsunami de 1755, se considera como valor de referencia para la validación del modelo un ascenso del nivel (*run-up*) de 15 m y un tiempo de llegada del tsunami a Cádiz (coordenadas 6.30°W, 36.5°N) de 78 min \pm 15 min (Baptista et al, 1998).

A continuación se presentan los resultados de elevación esperable en Cádiz asociada a la propagación de los tsunamis generados en la falla de Marqués de Pombal (Figura 5-11) y en la falla de Horseshoe (Figura 5-12). En la Tabla 5-5 se muestran los valores objeto de comparación.

Los resultados de la propagación del tsunami generado en la falla de Marqués de Pombal muestran una elevación máxima en la zona de Cádiz que ronda los 6 m. que se alcanzaría a los 70 minutos de la generación del tsunami.

Los resultados de la propagación del tsunami generado en la falla de Horseshoe prevén una elevación máxima en la zona de Cádiz que llega a los 10 m-12 m. que se alcanzaría a los 65 minutos de la generación del tsunami.

Por tanto, los valores obtenidos en la simulación numérica se encuentran dentro del rango de valores esperables registrados en la bibliografía, considerándose por tanto que el modelo queda validado. En concreto, los datos obtenidos de la simulación del tsunami generado en la falla de Horseshoe se asemejan bastante a los calificados como más certeros en el artículo de referencia.

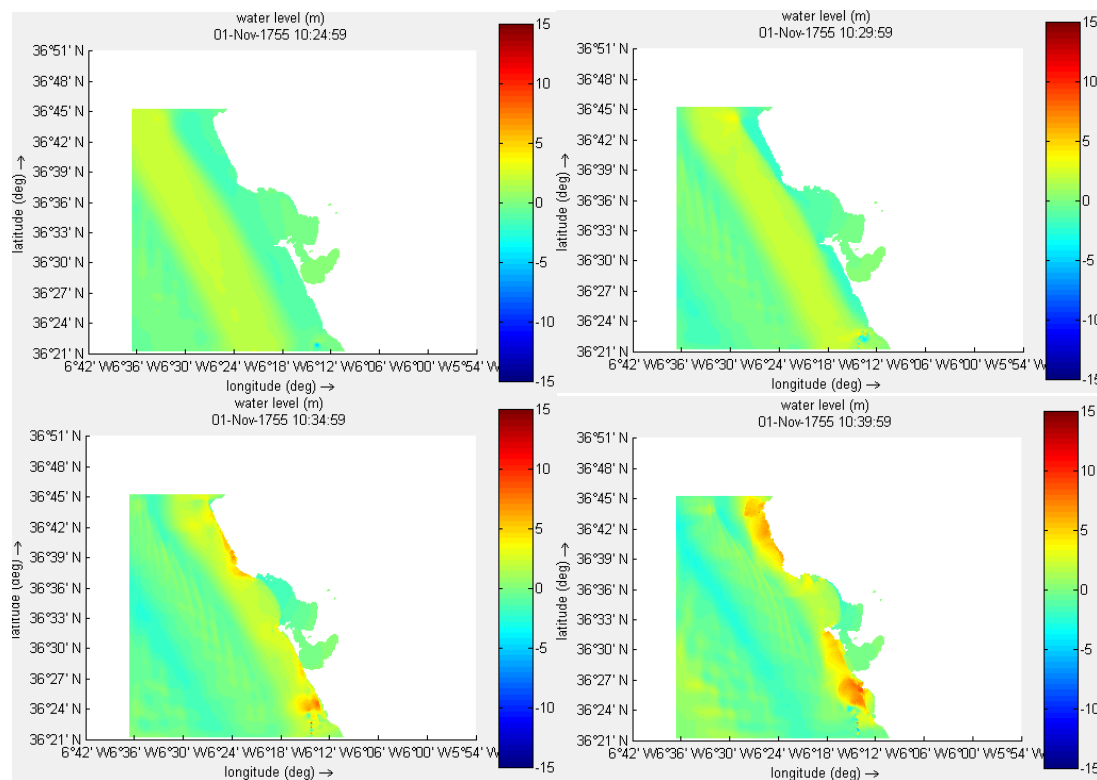


Figura 5-11. Evolución de la elevación resultante en Cádiz de la propagación del tsunami generado en la falla de Marqués de Pombal.

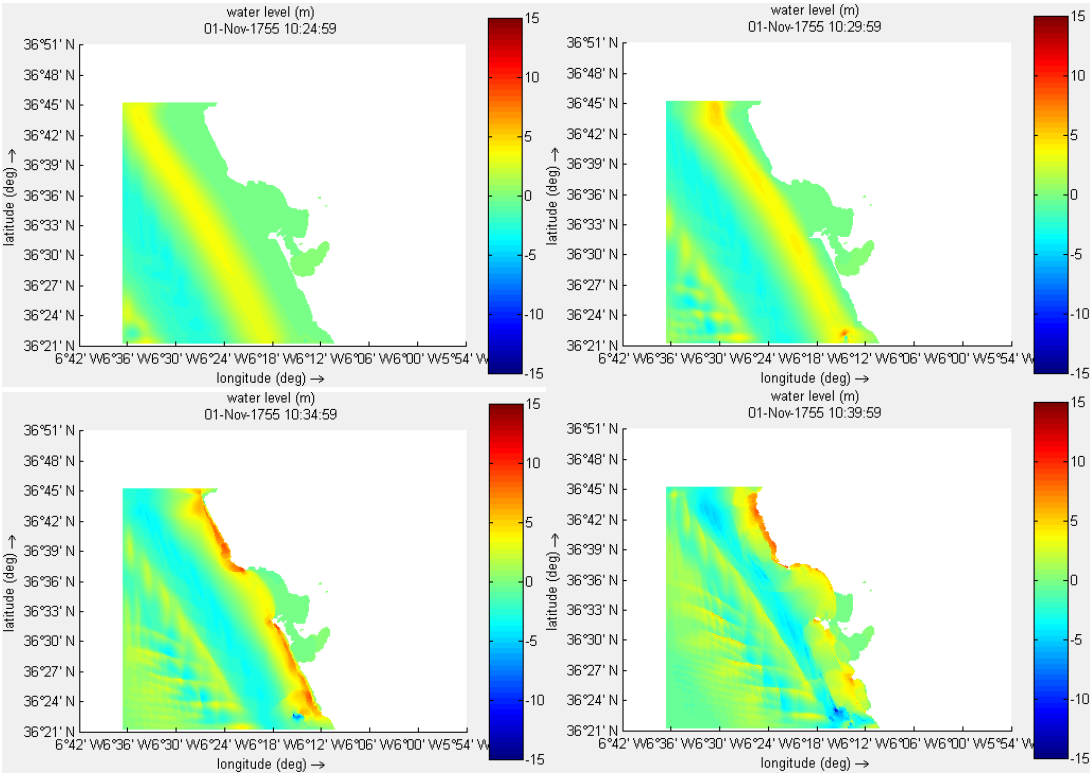


Figura 5-12 Evolución de la elevación resultante en Cádiz de la propagación del tsunami generado en la falla de Horseshoe

CÁDIZ	Elevación (m)	Rango de tiempo de llegada (min)
Bibliografía	15	[63,93]
Marqués de Pombal	6	70
Horseshoe	10-12	65

Tabla 5-5. Comparación de la elevación (m) y el tiempo de llegada correspondiente al tsunami crítico en Cádiz.

6. RESULTADOS

Se presentan y analizan en este apartado los resultados de elevación máxima obtenidos tras el post-proceso de todos los eventos de tsunami propagados con mallas de 500 m x 500 m.

Para ello se han extraído y comparado, de todas las simulaciones realizadas, los resultados de elevación en celdas de agua cercanas a la costa, quedándonos con el valor máximo. Así, los resultados que se presentan se corresponderían con la situación pésima de elevación que podría llegar a alcanzar cada tramo de costa aquí representado. Dada la escala del modelo, estos datos deben interpretarse de manera cualitativa, lo que es suficiente para el objeto de este estudio.

La interpretación cuantitativa requerida para el desarrollo de planes de emergencia posteriores tendrá que realizarse a partir de estudios de simulación numérica con mayor nivel de detalle.

Junto con el mapa de elevación máxima, se presenta el mapa con las fallas generadoras de estas elevaciones máximas en cada tramo de la costa española.

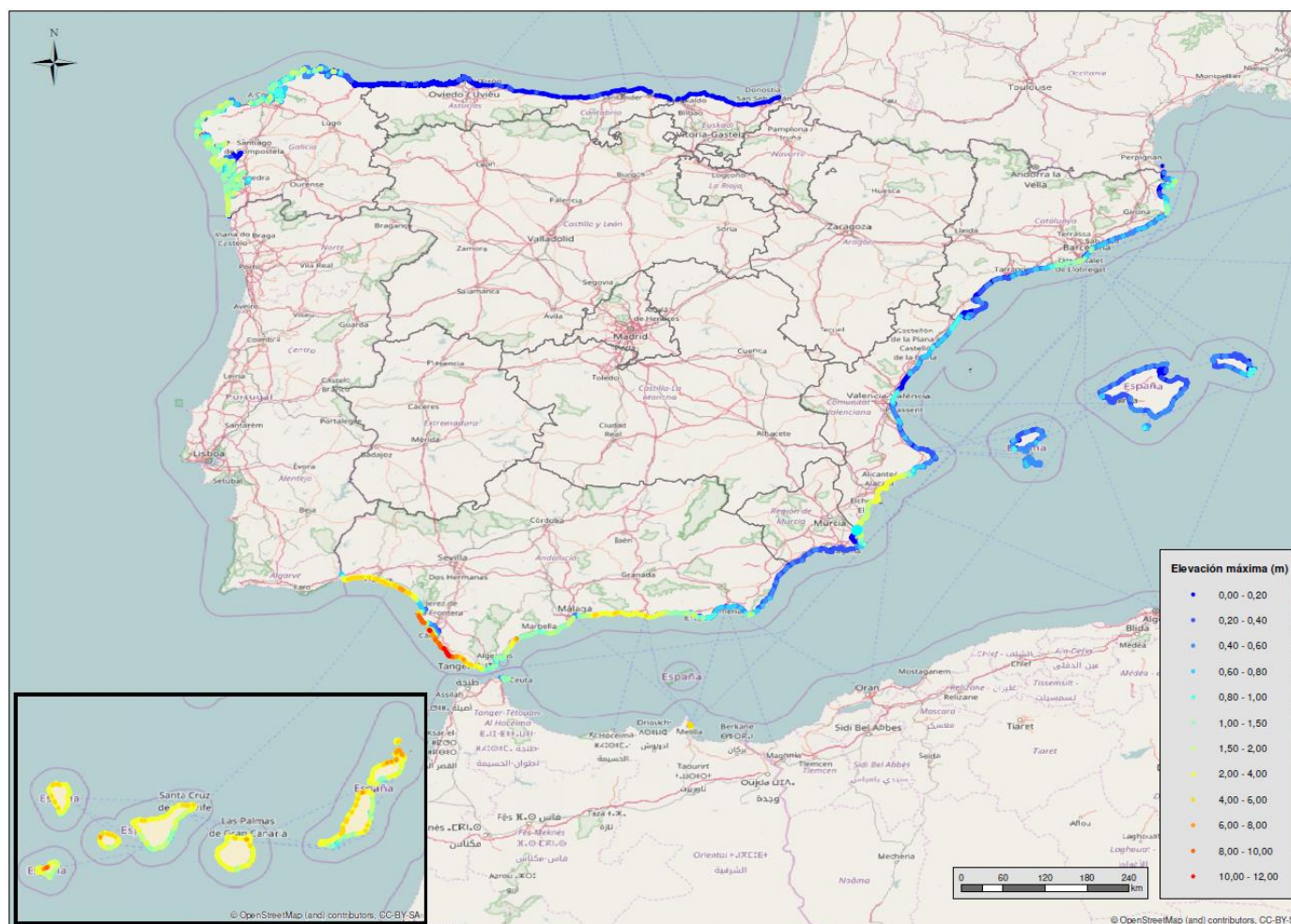


Figura 6-1. Elevación máxima que podría alcanzarse en la costa española por efecto de un tsunami

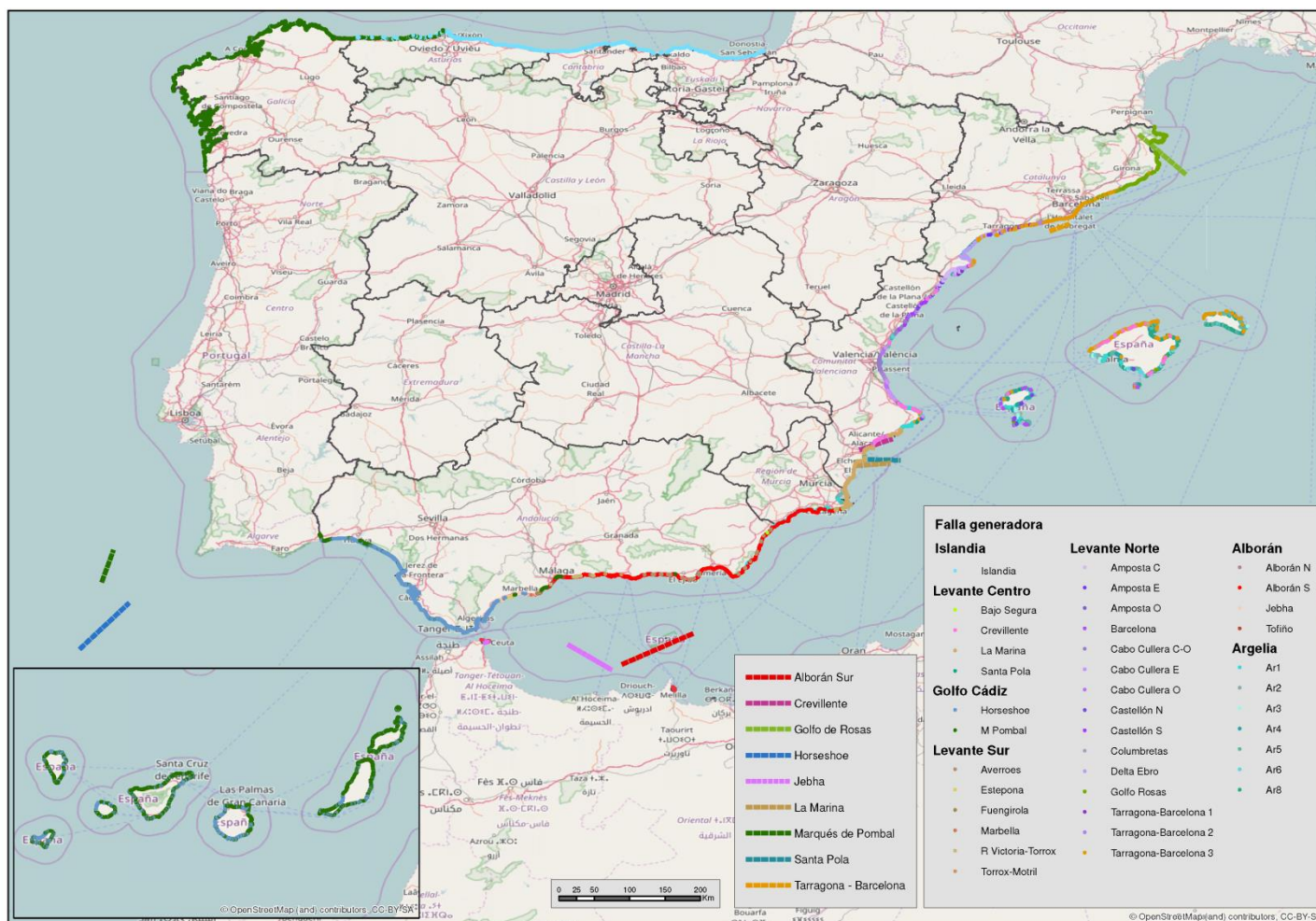


Figura 6-2. Fallas generadoras de los tsunamis que provocarían las mayores elevaciones en la costa española

Las imágenes de elevaciones máximas en la costa española y sus fallas generadoras permiten localizar a simple vista y de manera cualitativa las zonas críticas dónde pueden llegar tsunamis de mayor envergadura, así como las fallas asociadas a la elevación máxima que podría generarse como consecuencia de estos tsunamis.

Las zonas costeras críticas, donde pueden alcanzarse las mayores elevaciones de nivel asociadas a la llegada de un tsunami, son:

- Andalucía, y de ésta especialmente su costa occidental a donde llegarían los tsunamis generados en el Banco de Gorringe. Aunque asociadas a tsunamis de menor intensidad que en la zona occidental, a Andalucía oriental podrían llegar elevaciones incluso superiores a 4 metros asociadas a tsunamis generados en la falla de Alborán Sur.
- Canarias, sobretodo en la zona Norte de las islas, cuyas elevaciones máximas que se pueden alcanzar vendrían asociadas a los tsunamis generados en el Banco de Gorringe.
- Galicia, a donde podría llegar también el efecto de tsunamis generados en el Banco de Gorringe e incluso de Islandia (estos últimos asociados a elevaciones de menor envergadura en la zona).
- Comunidad Valenciana, y en concreto la costa alicantina, que podría verse afectada por las fallas de Crevillente, Santa Pola y La Marina.
- La costa catalana, donde las mayores elevaciones del nivel se producirían por tsunamis generados en las falla neotectónica de Barcelona o en la falla del Golfo de Rosas.

Esto no quiere decir que un tsunami generado en otra falla no vaya a alcanzar un determinado tramo de costa, sino que la elevación producida se espera sea inferior a la recogida en la Figura 6-1.

En la Figura 6-3 se representan las zonas de la costa española donde podría alcanzarse una elevación máxima superior a 0.5 m por efecto de un tsunami, junto con las principales fallas generadoras de esta elevación.

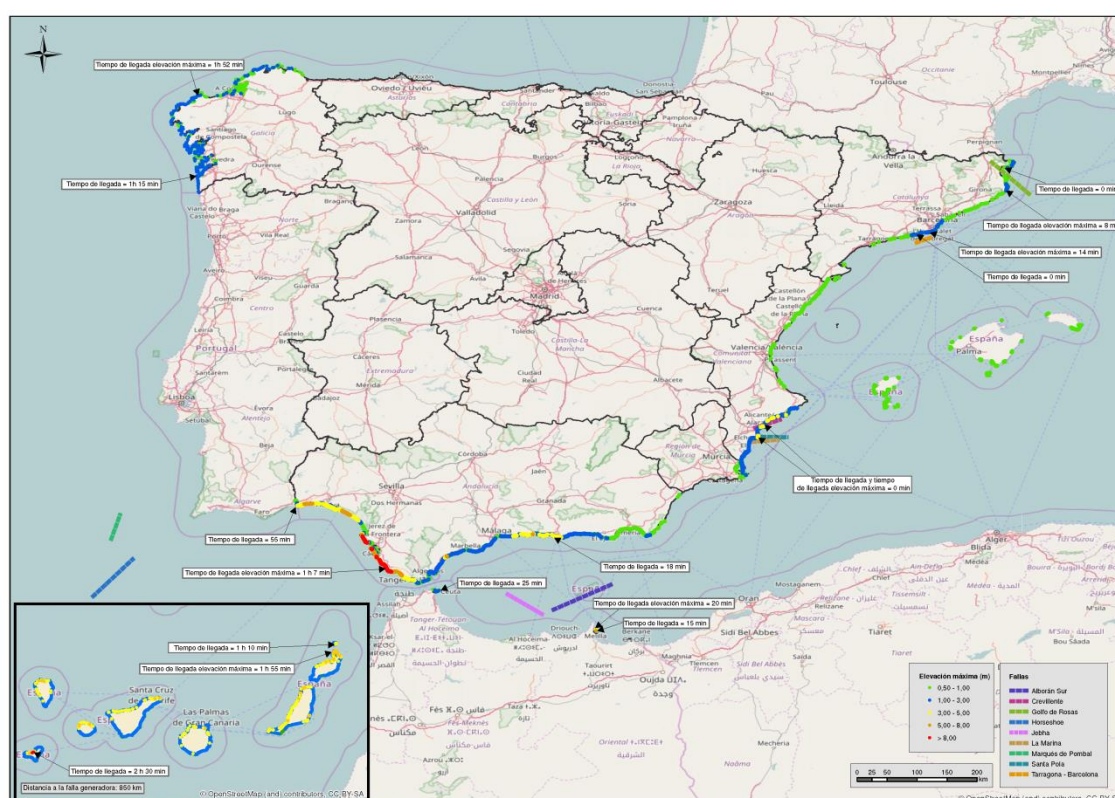


Figura 6-3. Localización de zonas de la costa española donde podría alcanzarse una elevación máxima superior a 0.5 m por efecto de un tsunami y principales fallas generadoras

A continuación, se analizan los resultados obtenidos para cada comunidad autónoma presentando, junto con la elevación máxima que podría alcanzarse en el tramo costero asociado a cada comunidad autónoma, la elevación máxima asociada a casos discretos de propagación de los tsunamis en aquellas zonas denominadas críticas, en los que se incluye además el tiempo de llegada del tsunami a la costa, entendiendo éste como el correspondiente a la llegada de la envolvente superior de elevaciones a la costa.

Los archivos de resultados obtenidos en todas las simulaciones numéricas realizadas se facilitan a Protección Civil en formato digital.

El Apéndice IV incluye los mapas de elevación máxima que puede llegar a alcanzarse en la costa española por efecto de un tsunami, a escala 1:25.000.

Además de estos resultados en planta, en el Apéndice V se muestran los

resultados de evolución del nivel del mar asociados a puntos de la malla coincidentes con mareógrafos cercanos a las zonas críticas detectadas.

Los resultados en planta de la elevación del nivel del mar en el instante de generación del tsunami y cuando toca la costa, obtenidos en todas las simulaciones numéricas realizadas, se incluyen en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Se presentan también los tiempos mínimos de llegada de los tsunamis analizados.

6.1 Andalucía

Andalucía es sin lugar a dudas la comunidad autónoma que alberga una mayor necesidad de generar un plan de protección civil ante el riesgo de maremotos. En concreto, la franja occidental podría verse afectada por tsunamis generados en la zona 1, de donde proceden los tsunamis de mayores consecuencias registrados en la costa española. En concreto, se obtienen elevaciones máximas que rondan los 12 metros en la zona de Cádiz (especialmente en la capital y en el tramo entre Conil y el Cabo de Trafalgar).

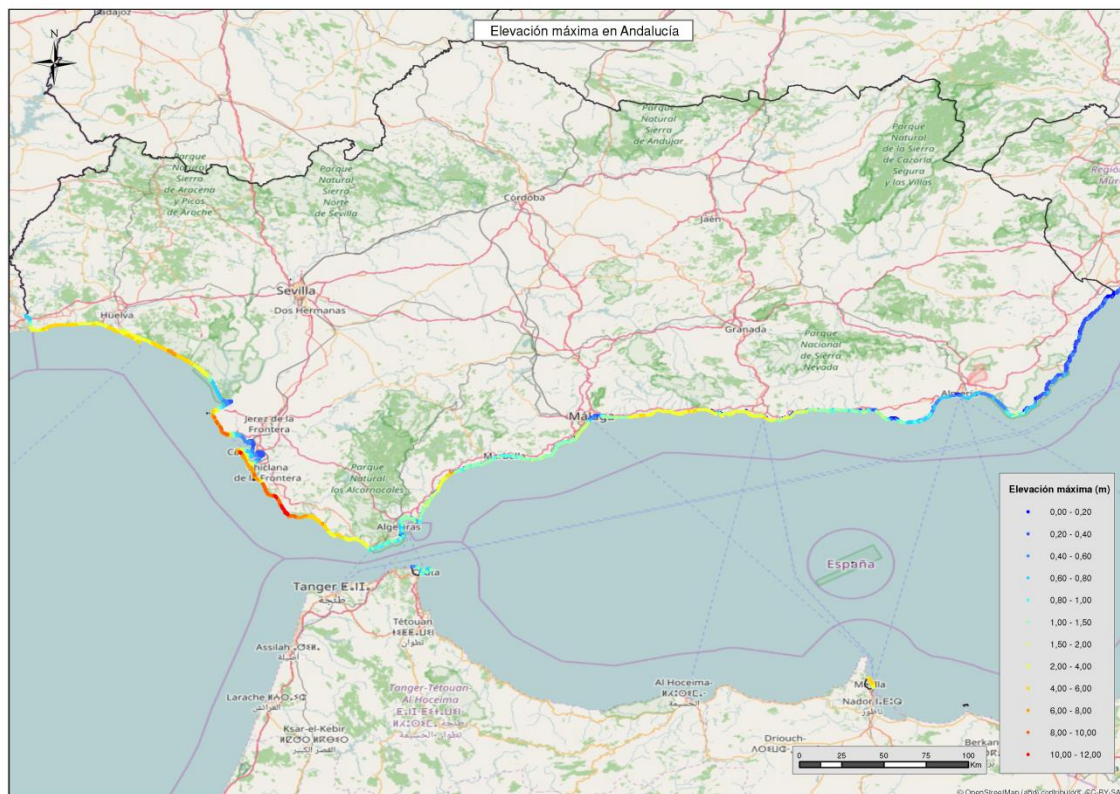


Figura 6-4. Elevación máxima que se podría alcanzar en Andalucía por efecto de

un tsunami

De los tsunamis considerados en este estudio, son los procedentes de la falla de Marqués de Pombal y de Horseshoe (zona 1) los que podrían producir las elevaciones máximas registradas en la costa occidental, mientras que en la costa oriental estas elevaciones máximas estarían relacionadas con el tsunami generado en la falla de Alborán Sur (Figura 6-2).

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la simulación de los casos discretos que resultan pésimos para la costa andaluza:

- Tsunami generado en la falla de Marqués de Pombal
- Tsunami generado en la falla de Horseshoe
- Tsunami generado en la falla de Alborán Sur

En las Figuras 6-5 a 6-7 se presenta, junto con la elevación máxima que puede llegar, el tiempo mínimo de llegada y el tiempo de llegada de la elevación máxima total para cada uno de los casos mostrados.

En la Tabla 6-1 se recoge la elevación máxima que podría alcanzar la costa andaluza y los tiempos de llegada correspondientes a cada falla crítica analizada:

Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a la costa andaluza	Tiempo de llegada de elevación máxima
Marqués de Pombal	8.1	55 min	1h 8 min
Horseshoe	11.6	56 min	1h 8 min
Alborán Sur	5.9	19 min	30 min

Tabla 6-1. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa andaluza

En el caso de Andalucía occidental, se ha comprobado que existen fallas más cercanas a la costa que, aunque en principio generarían tsunamis de menor magnitud, éstos llegarían antes a la costa que los tsunamis críticos analizados anteriormente.

En la Figuras 6-8 y 6-9 se presenta el resultado de evolución en planta del nivel del mar asociado al tsunami generado en la falla de Portimao-Guadaluquivir Bank, por ser éste el correspondiente al menor tiempo de llegada a este tramo de costa.

Los tiempos de llegada en este caso se reducen a 35 minutos en Huelva y 50

minutos en Cádiz.

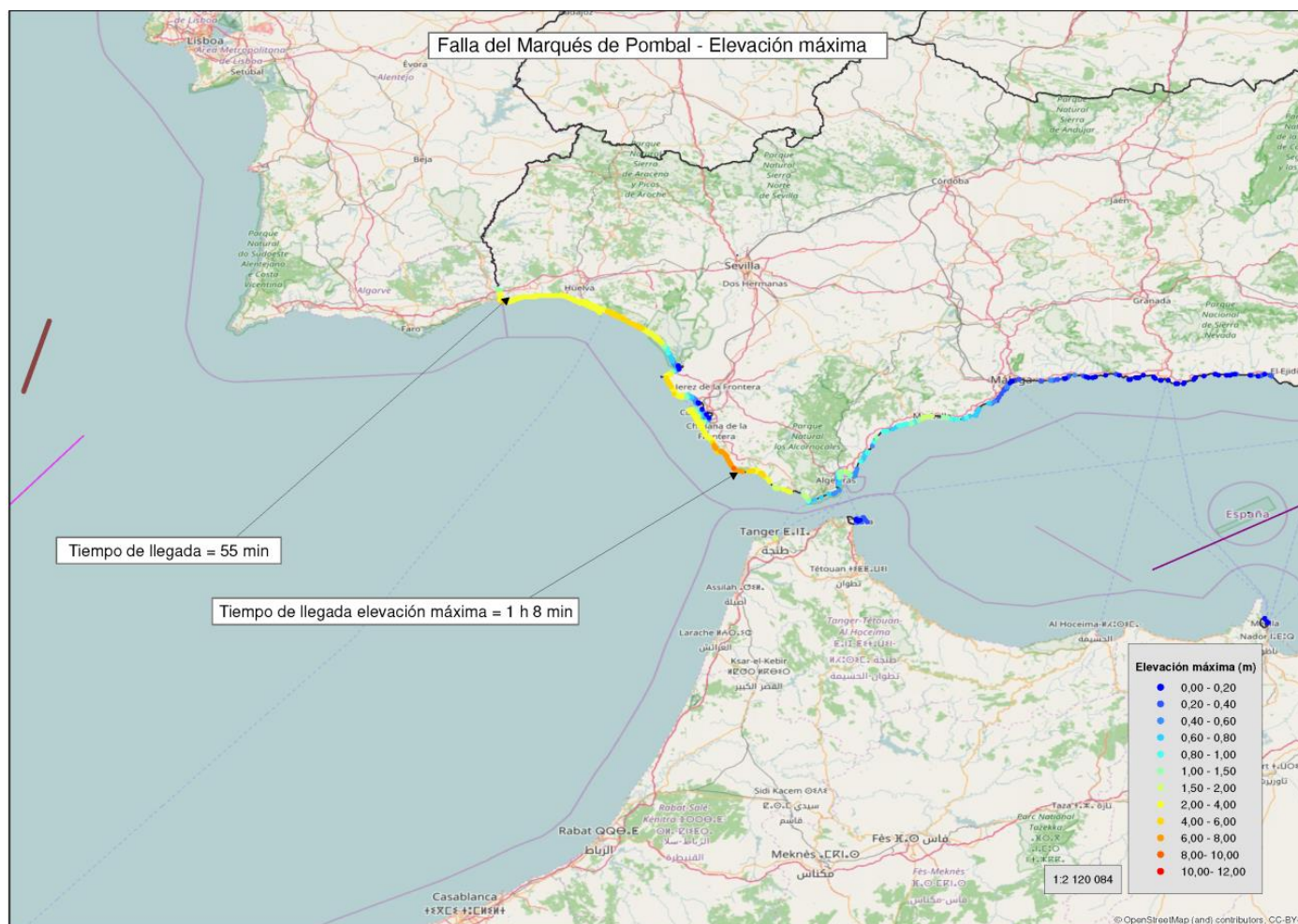


Figura 6-5. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Marqués de Pombal

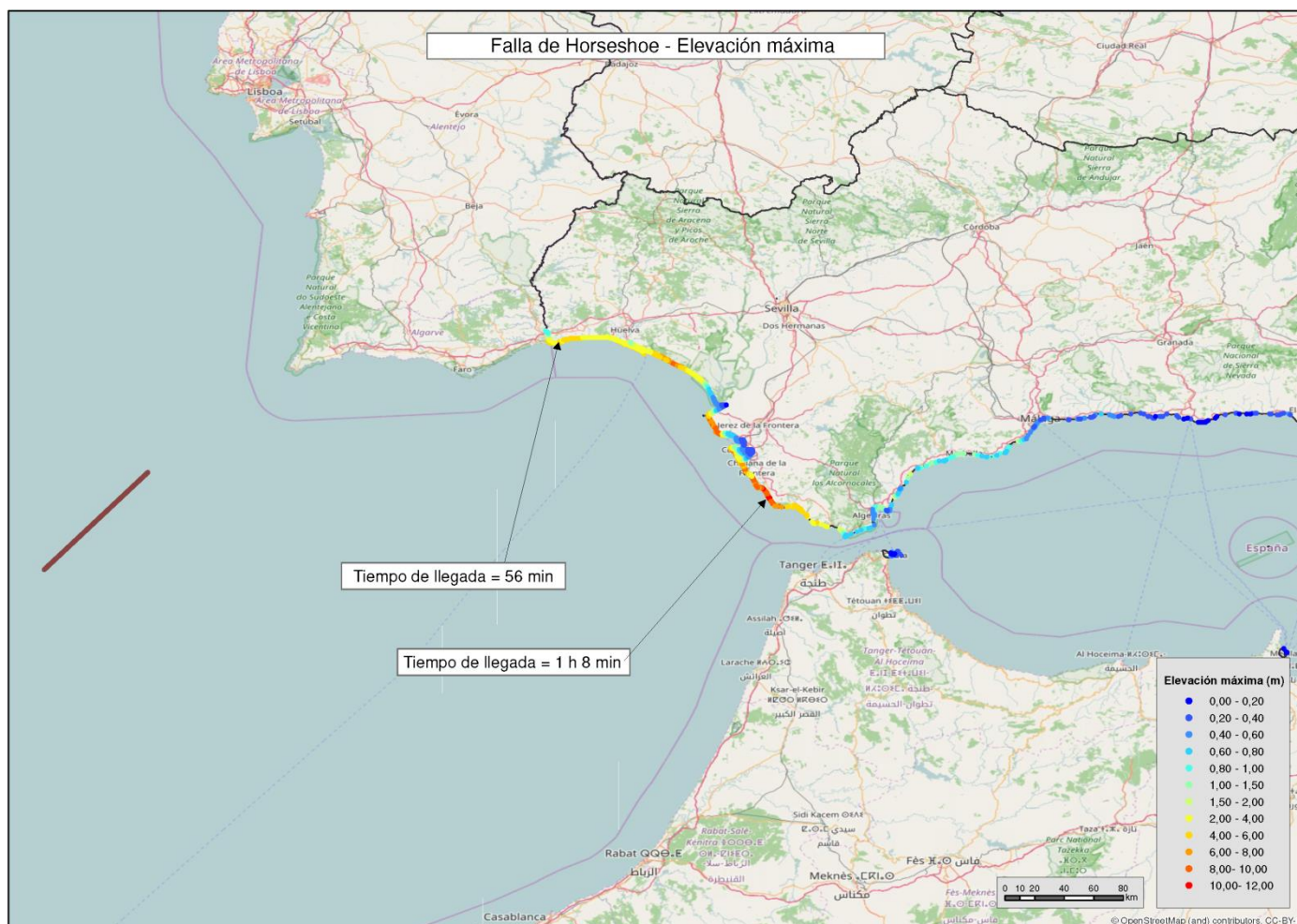


Figura 6-6. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Horseshoe



Figura 6-7. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Alborán Sur

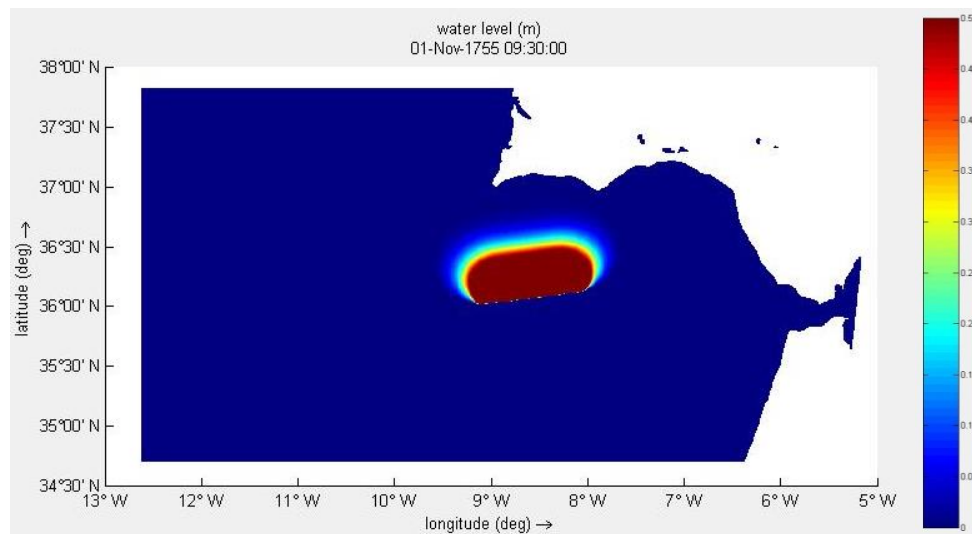


Figura 6-8. Mapa de nivel del mar asociado a la generación del tsunami en la falla de Portimao-Guadaluquivir Bank

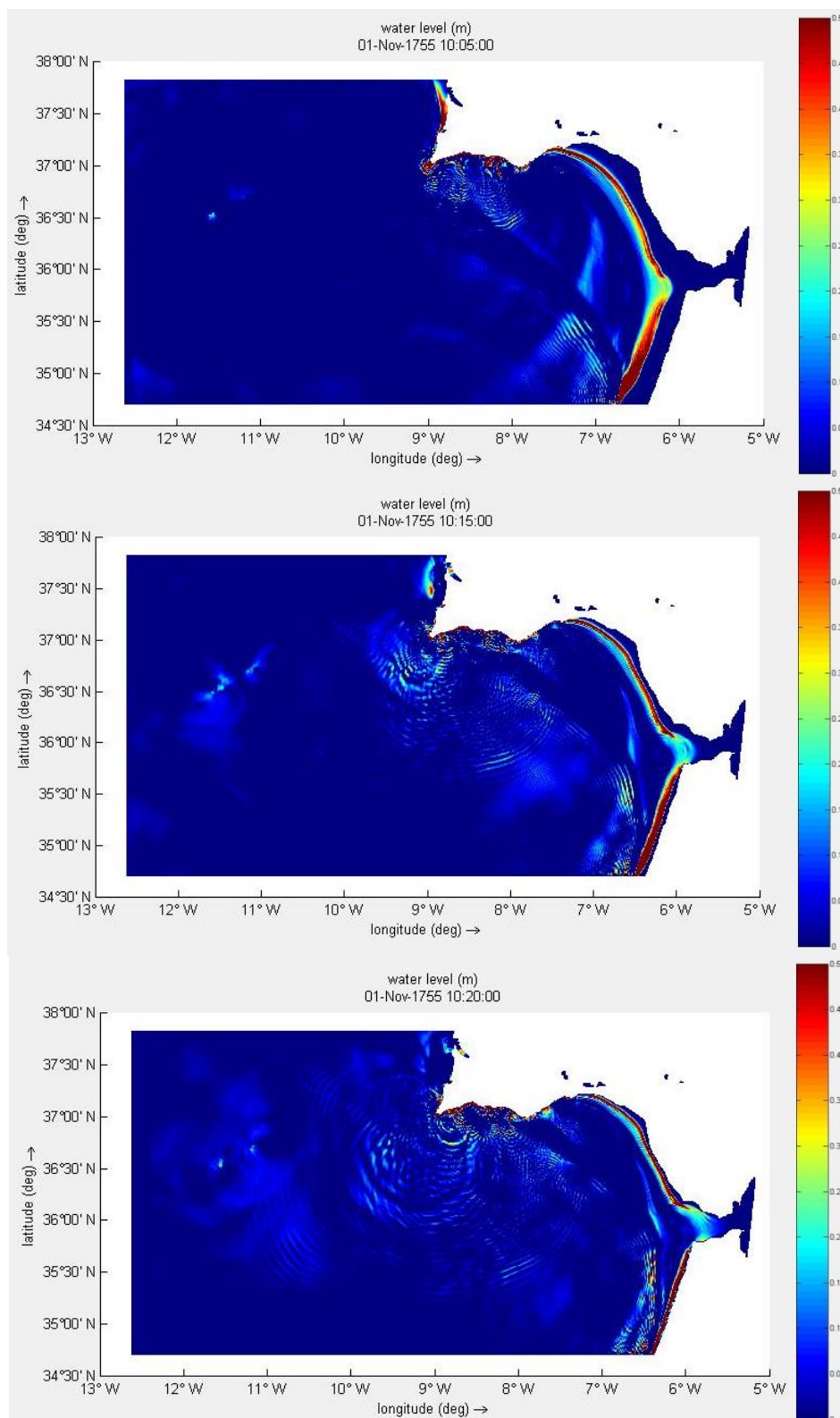


Figura 6-9. Mapas de nivel del mar asociado a la llegada del tsunami generado en la falla de Portimao-Guadalquivir Bank a la costa occidental andaluza

6.2 Asturias

En esta comunidad autónoma se esperan elevaciones máximas inferiores a 0.5 m en todo su tramo costero. En concreto, el valor máximo obtenido en esta comunidad autónoma es de 0.48 m.

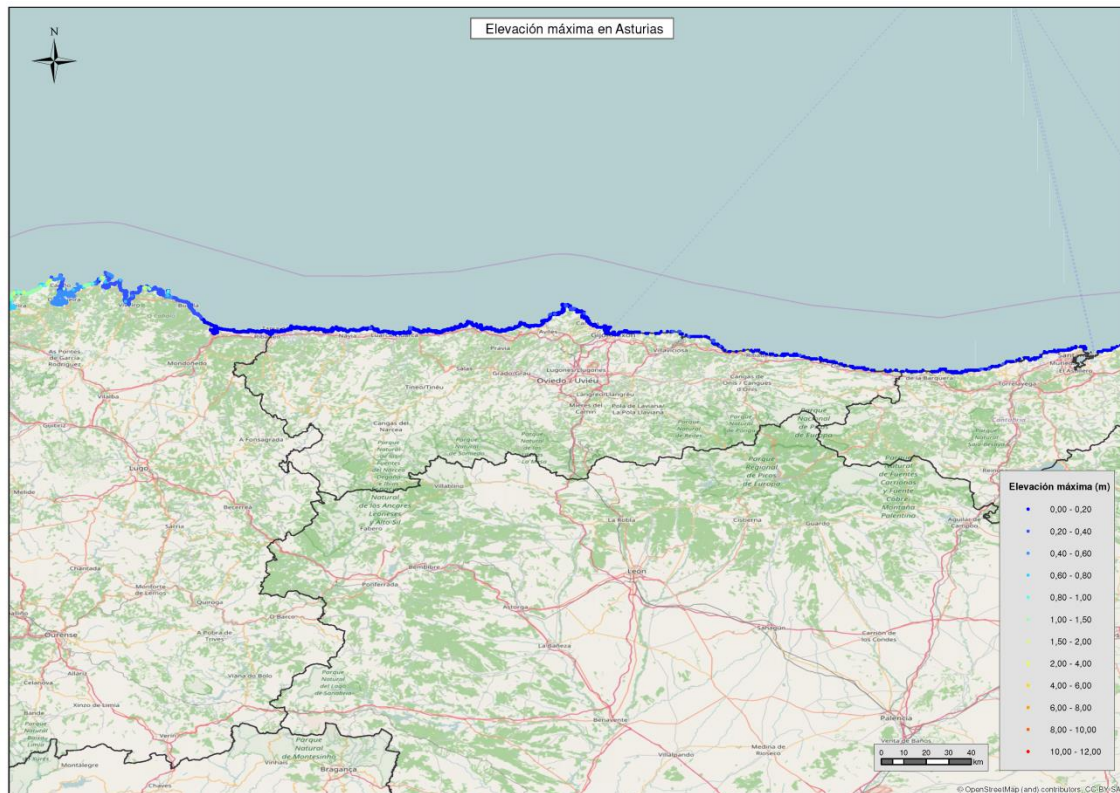


Figura 6-10. Elevación máxima que se podría alcanzar en Asturias por efecto de un tsunami

Los tsunamis que generarían las elevaciones máximas en esta zona serían los correspondiente a la zona 5 (Islandia) y a la zona 1 (falla de Marqués de Pombal), esta última afectaría al tramo más occidental. Igualmente, se estima que podría llegar el efecto de tsunamis de gran magnitud originados en otras fallas del Banco de Gorringe, pero que por su localización y magnitud generarían elevaciones de menor envergadura sobre este tramo costero.

Aunque los valores de elevación máxima obtenidos en esta zona pueden resultar a priori bajos, habría que estudiar de manera más detallada el efecto que estos tsunamis podrían llegar a generar sobre la costa, sobre todo en las zonas costeras más inundables (desembocaduras/bahías).

6.3 Canarias

A Canarias podrían llegar tsunamis procedentes de tres zonas diferentes: La zona 1 (Banco de Gorringe), la zona 7 (falla entre Tenerife y Gran Canaria) y la zona 8 (falla del Caribe).

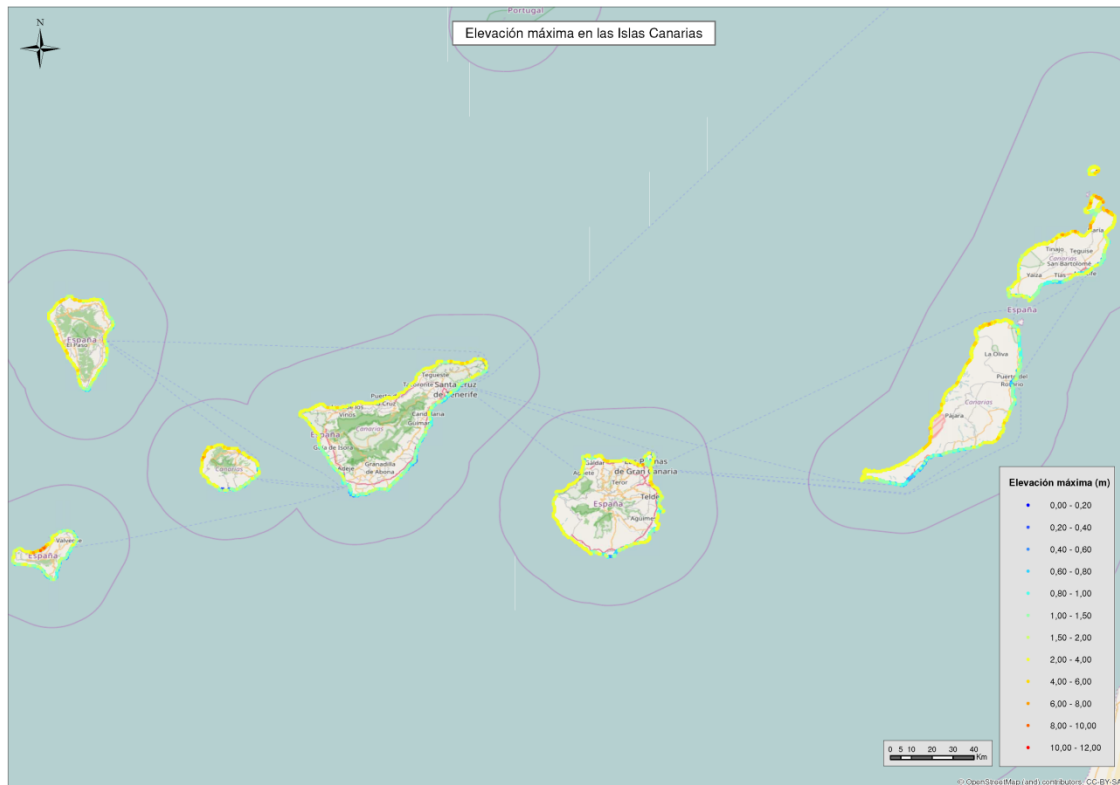


Figura 6-11. Elevación máxima que se podría alcanzar en Canarias por efecto de un tsunami

Las elevaciones máximas que se podrían alcanzar en Canarias por efecto de un tsunami llegan hasta aproximadamente 8 m. En general, las mayores elevaciones se concentran en la vertiente norte de las islas, siendo especialmente altas en las islas de Lanzarote y El Hierro.

Estas elevaciones máximas que podría alcanzar el nivel del mar en las islas vendrían asociadas a los tsunamis generados en las fallas de Marqués de Pombal y de Horseshoe, ambas en el Banco de Gorringe (Figura 6-2).

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la simulación de estos casos pésimos sobre la costa canaria.

Se presenta, junto con la elevación máxima que puede llegar, el tiempo mínimo de llegada y el tiempo de llegada de la elevación máxima para cada uno de los casos mostrados.

La elevación máxima que podría alcanzar la costa canaria, junto con los tiempos de llegada correspondientes a cada falla crítica analizada, se presentan a modo de tabla.

Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a costa	Tiempo de llegada de elevación máxima
Marqués de Pombal	7.7	1h 20min	1h 55min
Horseshoe	9.8	1h 10min	2h 40 min

Tabla 6-2. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa canaria

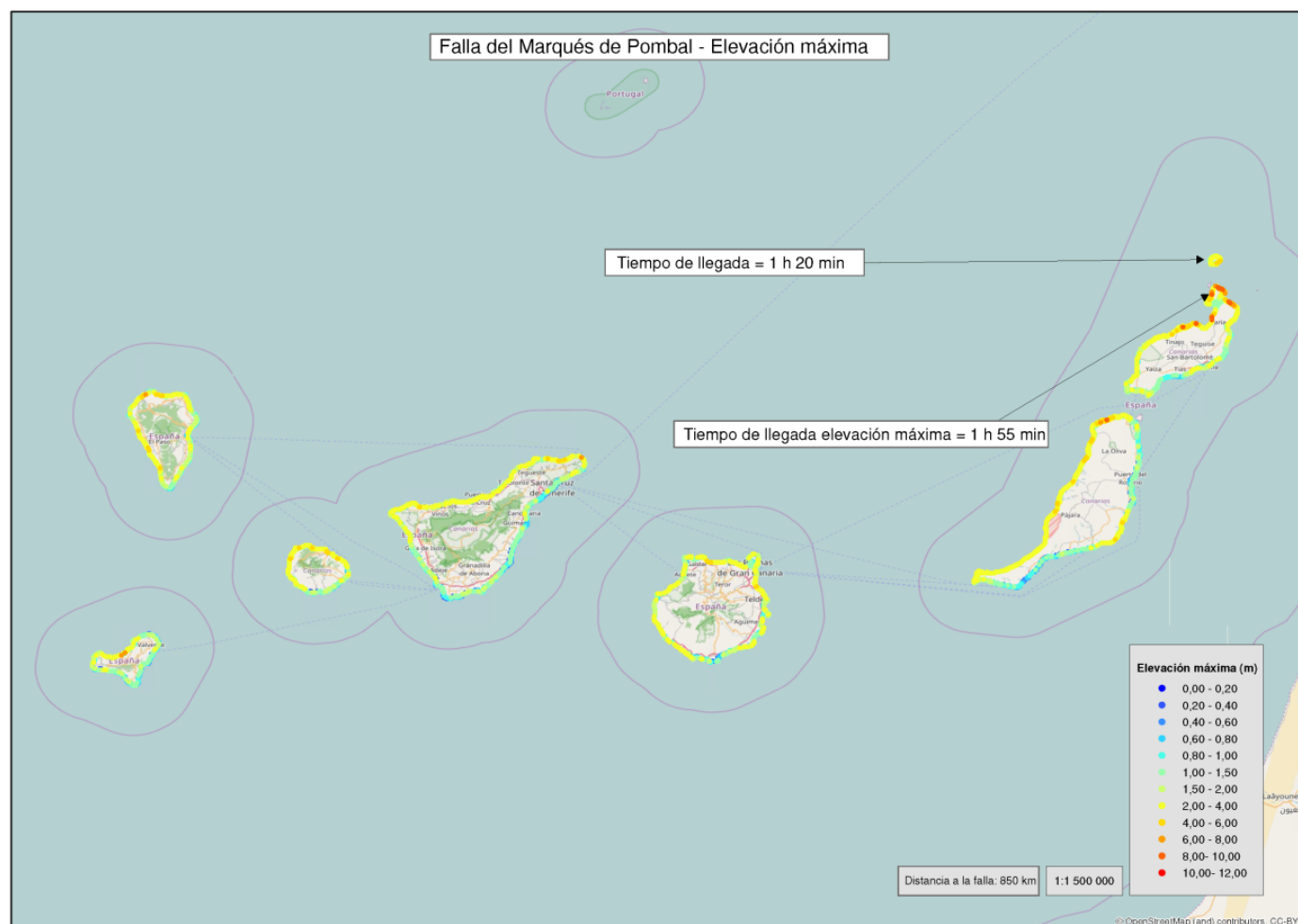


Figura 6-12. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Marqués de Pombal

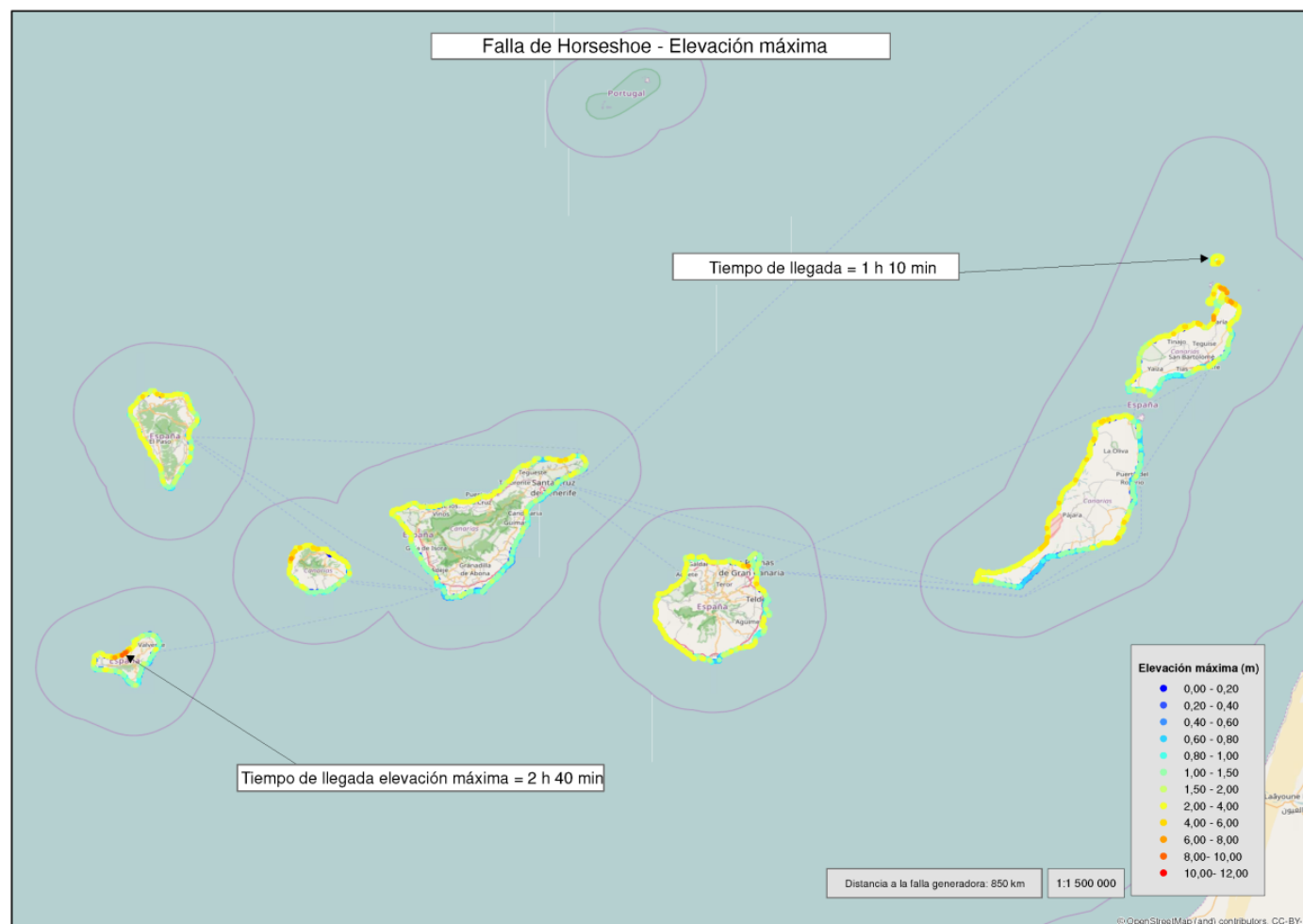


Figura 6-13. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Horseshoe

6.4 Cantabria

En esta comunidad autónoma se esperan elevaciones máximas inferiores a 0.5 m en todo su tramo costero. En concreto, el valor máximo obtenido en esta comunidad autónoma es de 0.45 m.

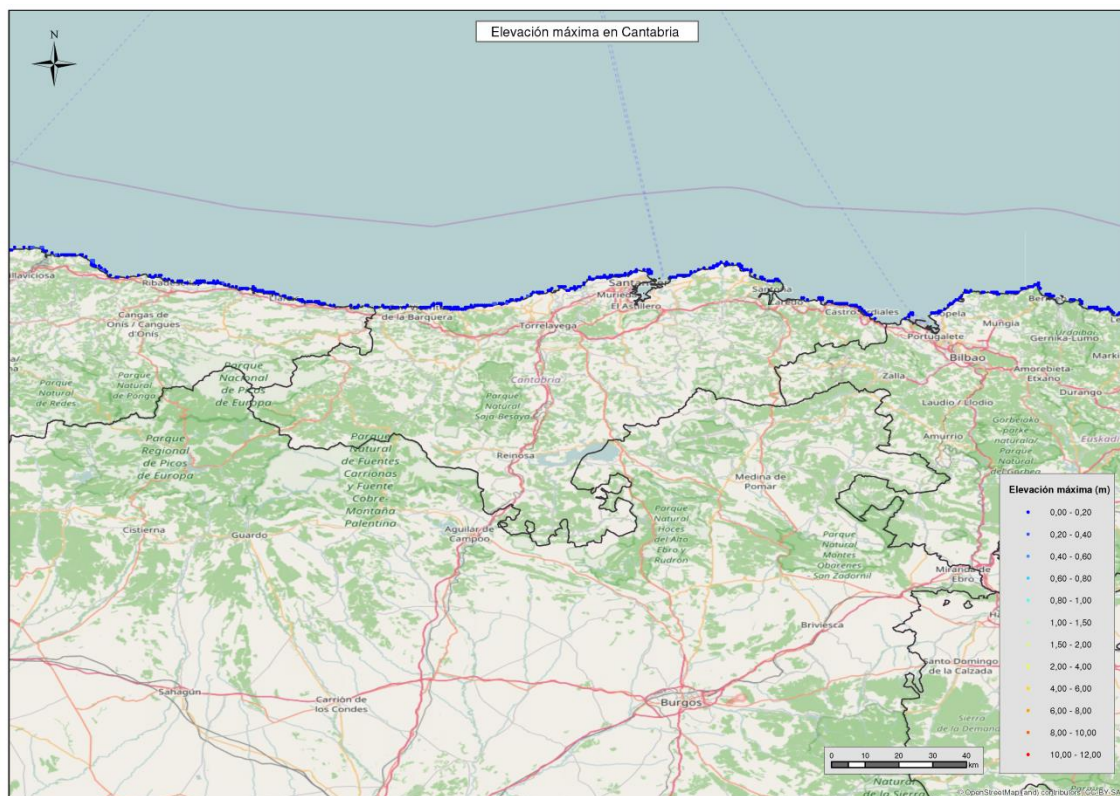


Figura 6-14. Elevación máxima que se podría alcanzar en Cantabria por efecto de un tsunami

El tsunami que generaría las elevaciones máximas en esta zona sería el correspondiente a la zona 5 (Islandia), aunque no se descarta que pueda llegar el efecto de tsunamis de gran magnitud originados en fallas del Banco de Gorringe. En ese caso, las elevaciones esperables serían muy bajas.

Al igual que ocurre en Asturias, en esta zona se recomienda estudiar de manera más detallada el efecto que este tsunami podría llegar a generar sobre la costa, sobre todo en las zonas costeras más inundables (desembocaduras/bahías).

6.5 Cataluña

Las zonas críticas donde podrían llegar a alcanzarse elevaciones superiores a 1

metro son la franja costera frente a Barcelona y el tramo costero del Golfo de Rosas (entre Cabo Creus y Calella de Palafrugell).

Los tsunamis que podrían llegar a generar elevaciones algo superiores a 1 m en esta comunidad autónoma son dos: el generado en la falla neotectónica de Barcelona y el generado en la falla del Golfo de Rosas. El problema principal asociado a la generación de tsunamis en estas fallas, radica en el hecho de que ambas se ubican muy cercanas a costa (la del Golfo de Rosas llega incluso a cortar la costa), lo que hace que el tiempo de respuesta sea prácticamente nulo.

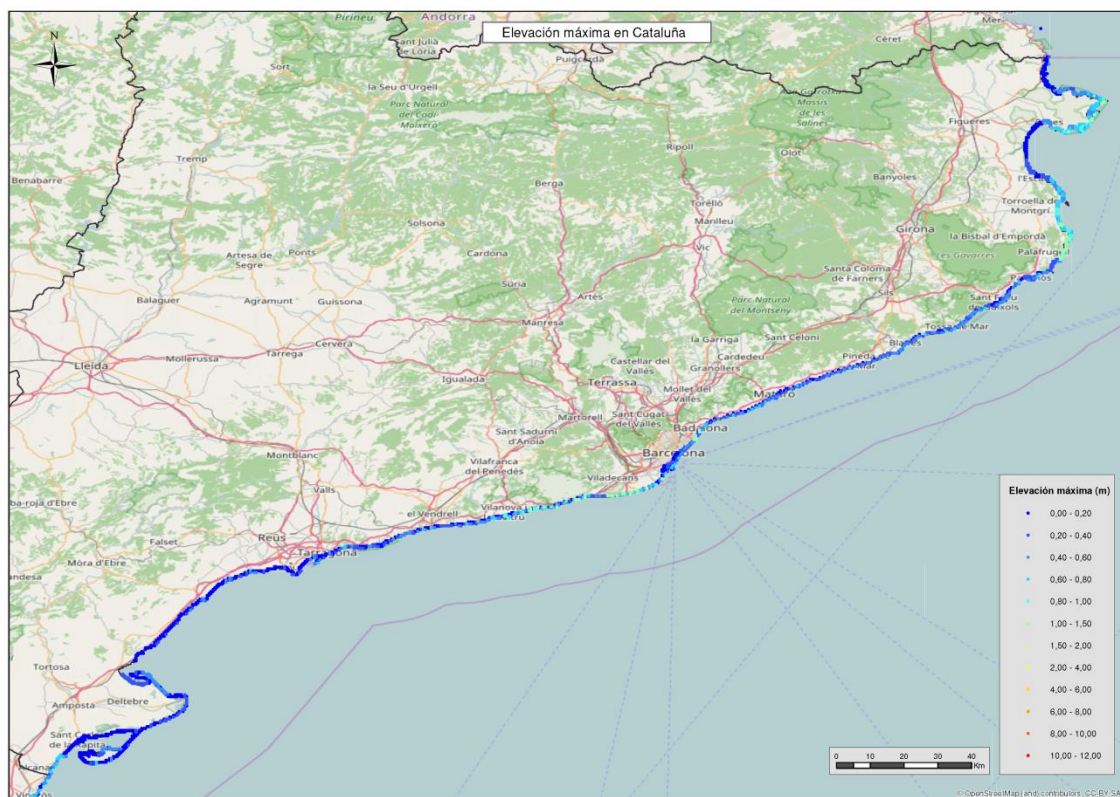


Figura 6-15. Elevación máxima que se podría alcanzar en Cataluña por efecto de un tsunami

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la simulación de estos casos pésimos sobre la costa catalana. Se presenta, junto con la elevación máxima que se puede llegar a alcanzar, el tiempo mínimo de llegada y el tiempo de llegada de la elevación máxima para cada uno de los casos mostrados.

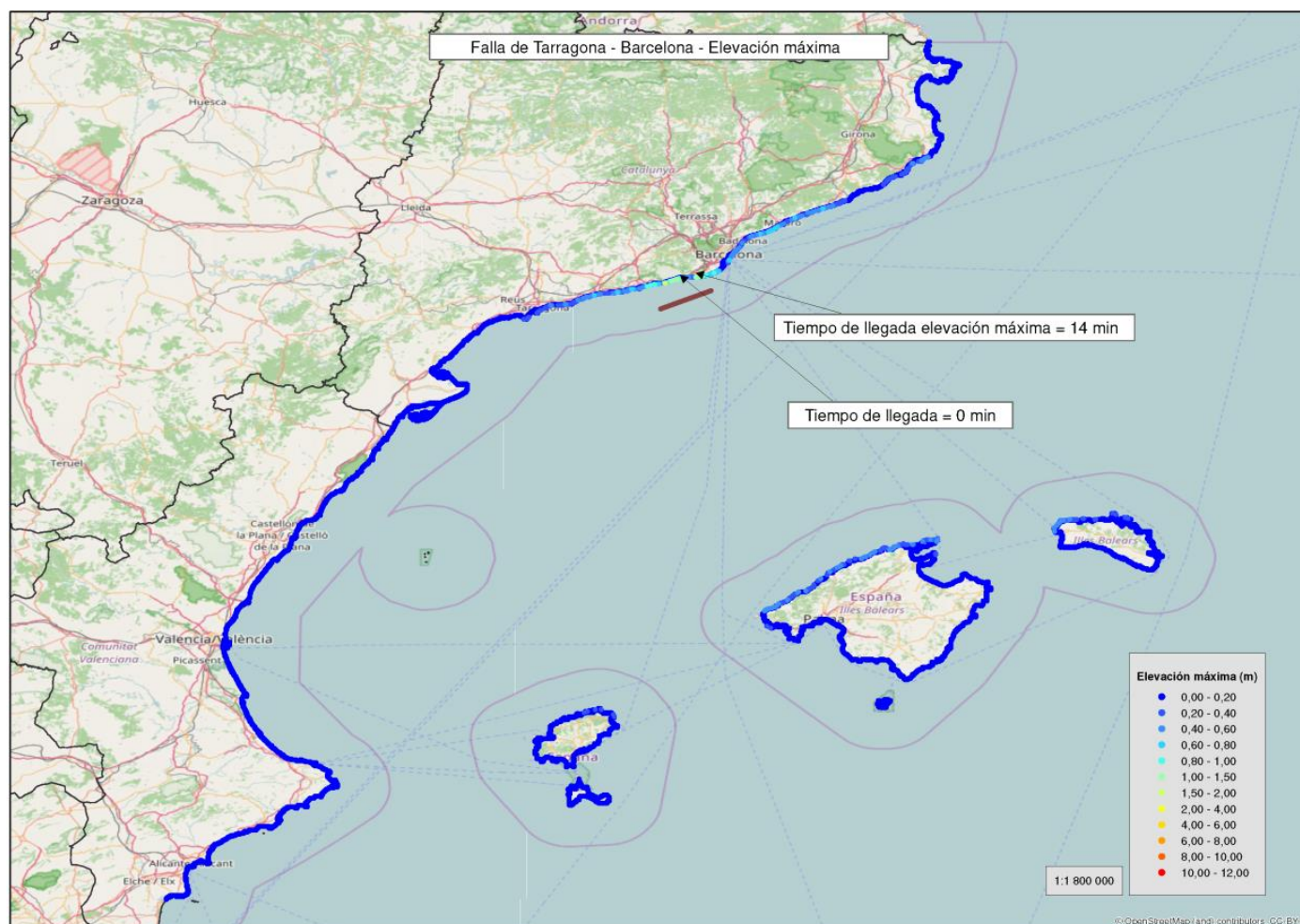


Figura 6-16. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla neotectónica de Barcelona

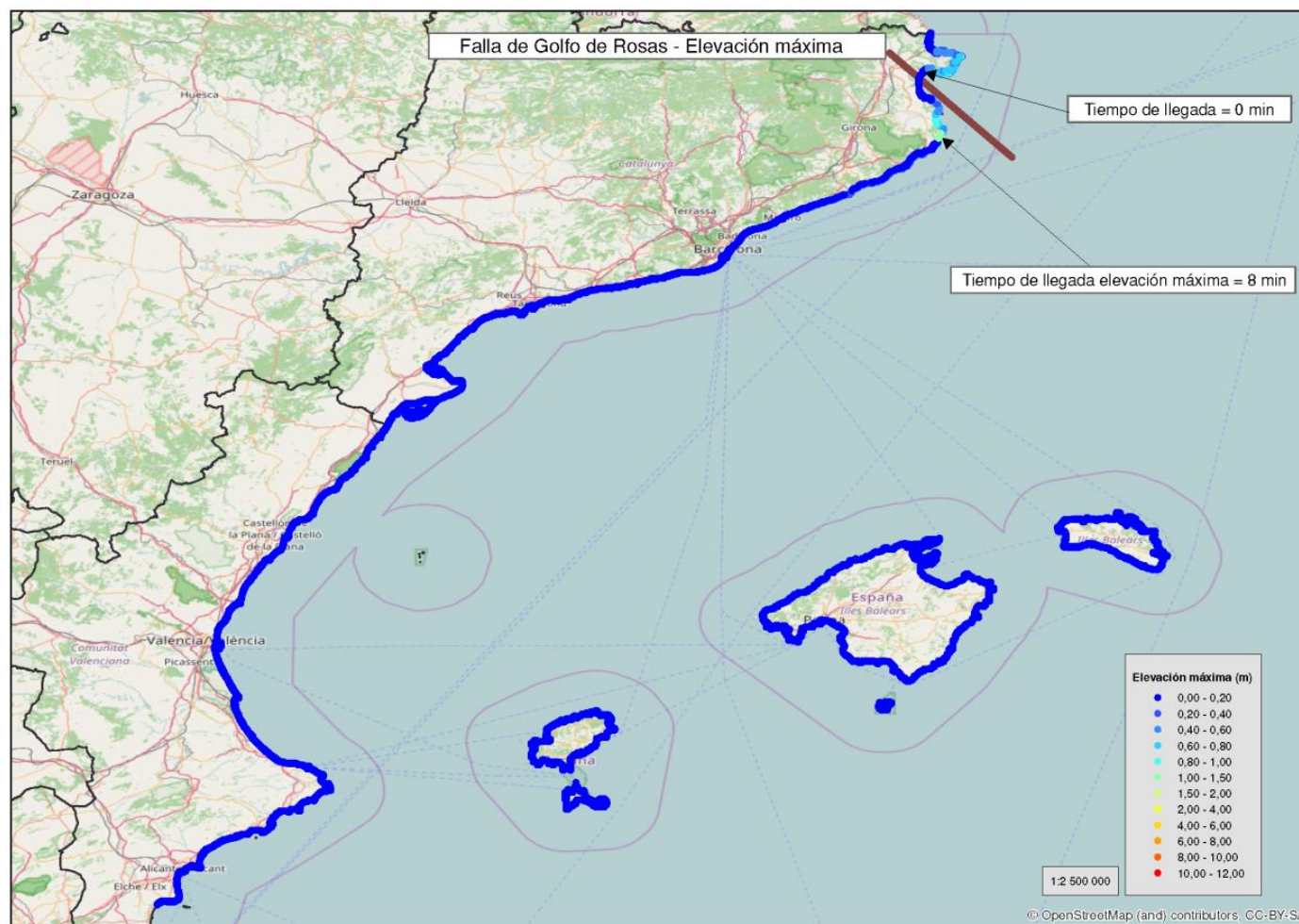


Figura 6-17. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Golfo de Rosas

A continuación se presenta la elevación máxima que podría alcanzar la costa, junto con los tiempos de llegada correspondientes a cada falla crítica analizada.

Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a costa	Tiempo de llegada de elevación máxima
Neotectónica de Barcelona	1.6	0 min	14 min
Golfo de Rosas	1.4	0 min	8 min

Tabla 6-3. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa catalana

6.6 Ciudades autónomas de Ceuta y Melilla

Las elevaciones máximas que podrían llegar a alcanzarse por el paso de un tsunami en estas ciudades autónomas son del orden de 1 m en Ceuta y de 5.5 m en Melilla.

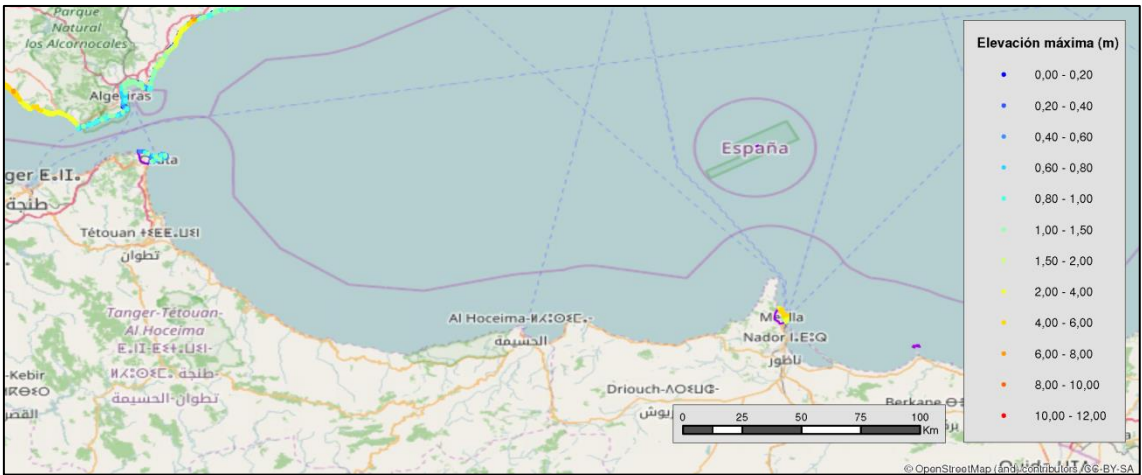


Figura 6-18. Elevación máxima que se podría alcanzar en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla por efecto de un tsunami

El tsunami que podría generar la elevación máxima en Ceuta sería el originado en la falla de Jebha mientras que, para Melilla, el tsunami que podría generar la elevación máxima sería el originado en la falla de Alborán Sur.

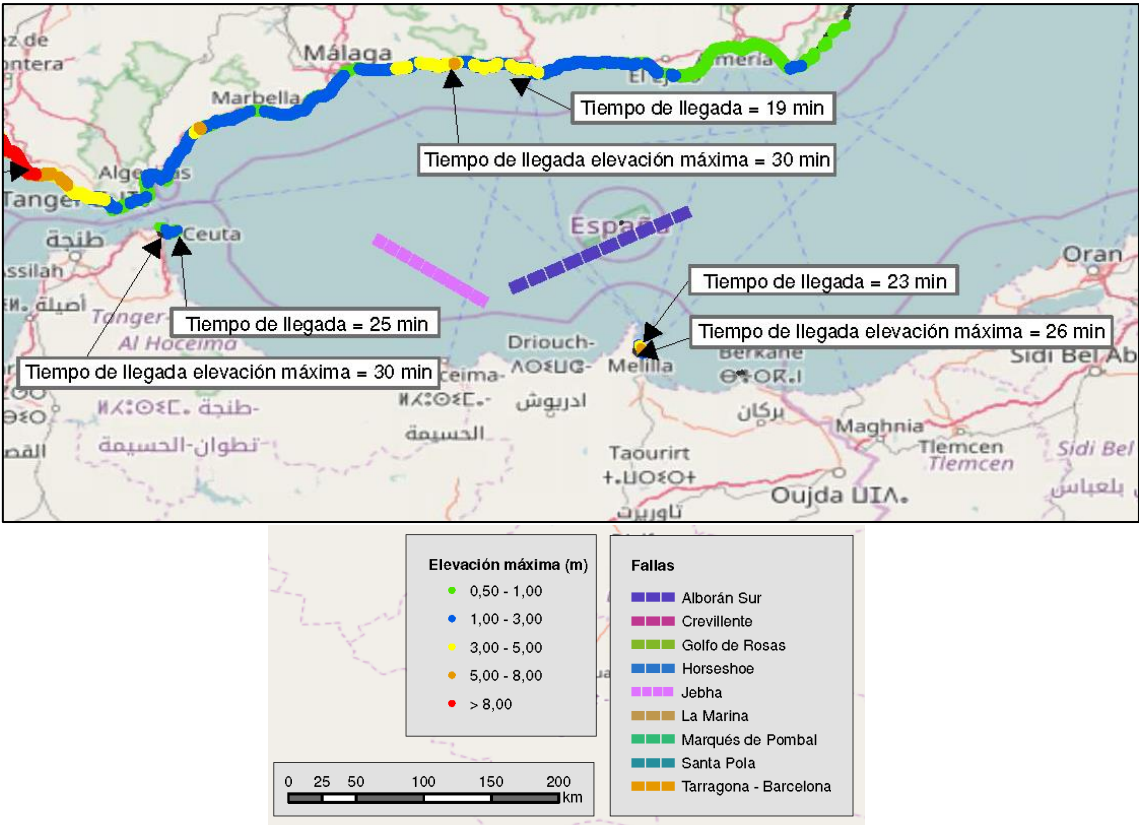


Figura 6-19. Elevación máxima que se podría alcanzar por efecto de un tsunami en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, tiempos de llegada y principales fallas generadoras

A continuación se presenta el valor de la elevación máxima que podría alcanzar el tsunami en estas ciudades autónomas, junto con los tiempos de llegada correspondientes a cada falla crítica analizada.

	Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a costa	Tiempo de llegada de elevación máxima
Ceuta	Jebha	1.2	25 min	30 min
Melilla	Alborán Sur	5.4	23 min	26 min

Figura 6-20. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa

6.7 Comunidad Valenciana

Las zonas críticas de la comunidad valenciana ante la posible generación de un tsunami se concentran en Alicante y más concretamente en el tramo comprendido

entre Benidorm y el límite sur de la comunidad autónoma.

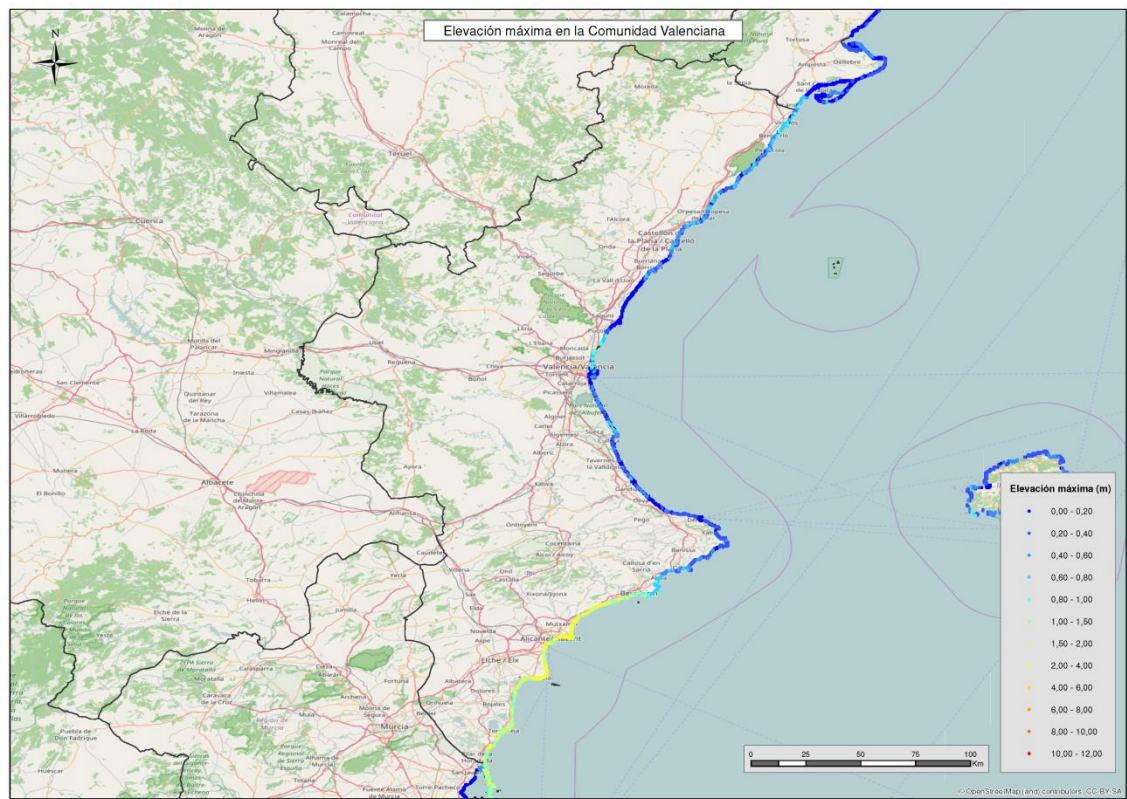


Figura 6-21. Elevación máxima que podría alcanzar el mar en la Comunidad Valenciana por efecto de un tsunami

Los tsunamis que podrían generar estas elevaciones máximas se corresponden con los generados en las fallas de Crevillente, Santa Pola y La Marina.

A continuación se presentan las elevaciones máximas que podrían llegar a alcanzar la costa valenciana debido a la generación de estos tsunamis, junto con los tiempos de llegada correspondientes a cada falla crítica analizada.

Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a costa	Tiempo de llegada de elevación máxima
Crevillente	1.22	0 min	0 min
Santa Pola	1.2	0 min	0 min
La Marina	3.35	0 min	28 min

Tabla 6-4. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa valenciana.

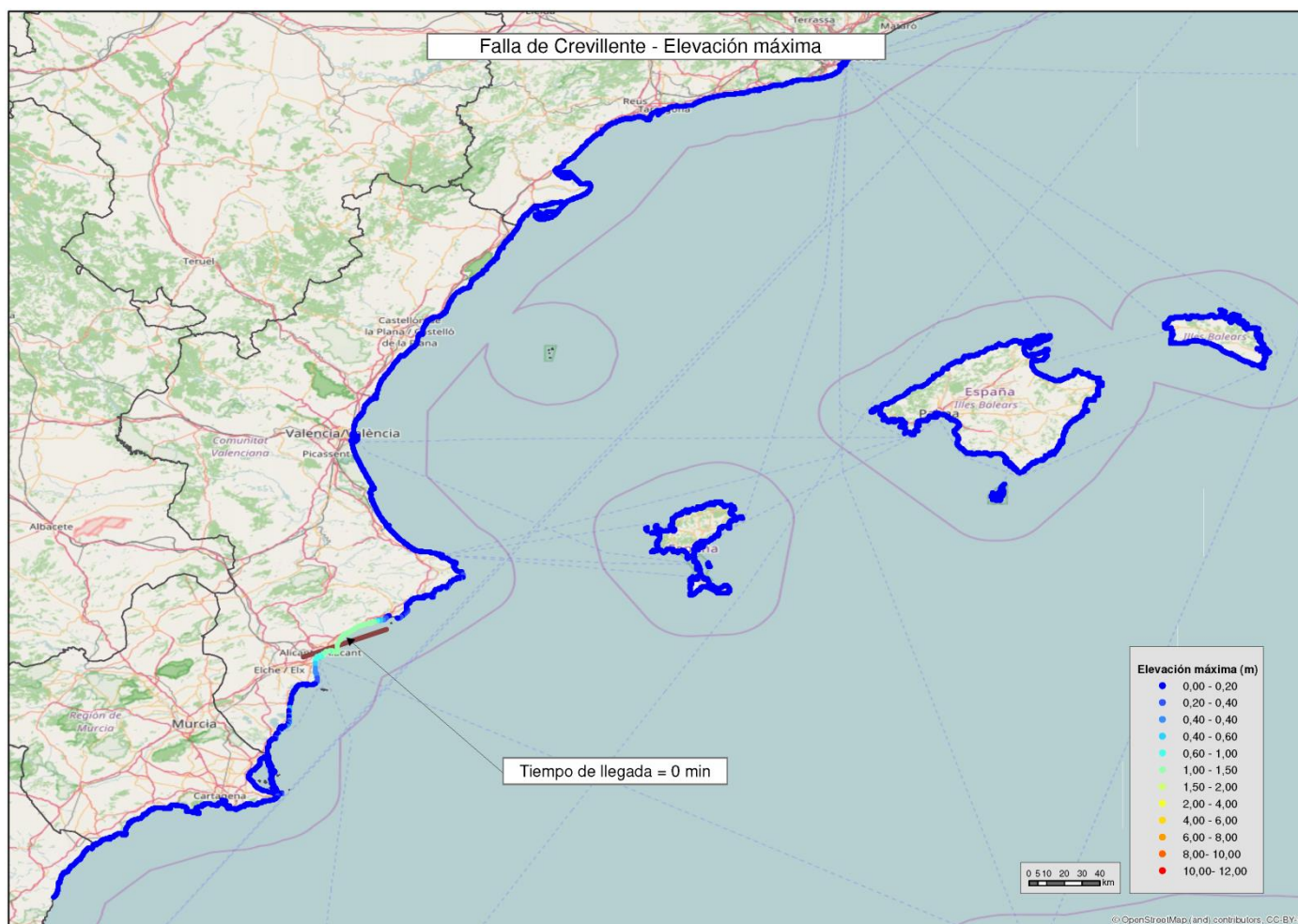


Figura 6-22. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Crevillente

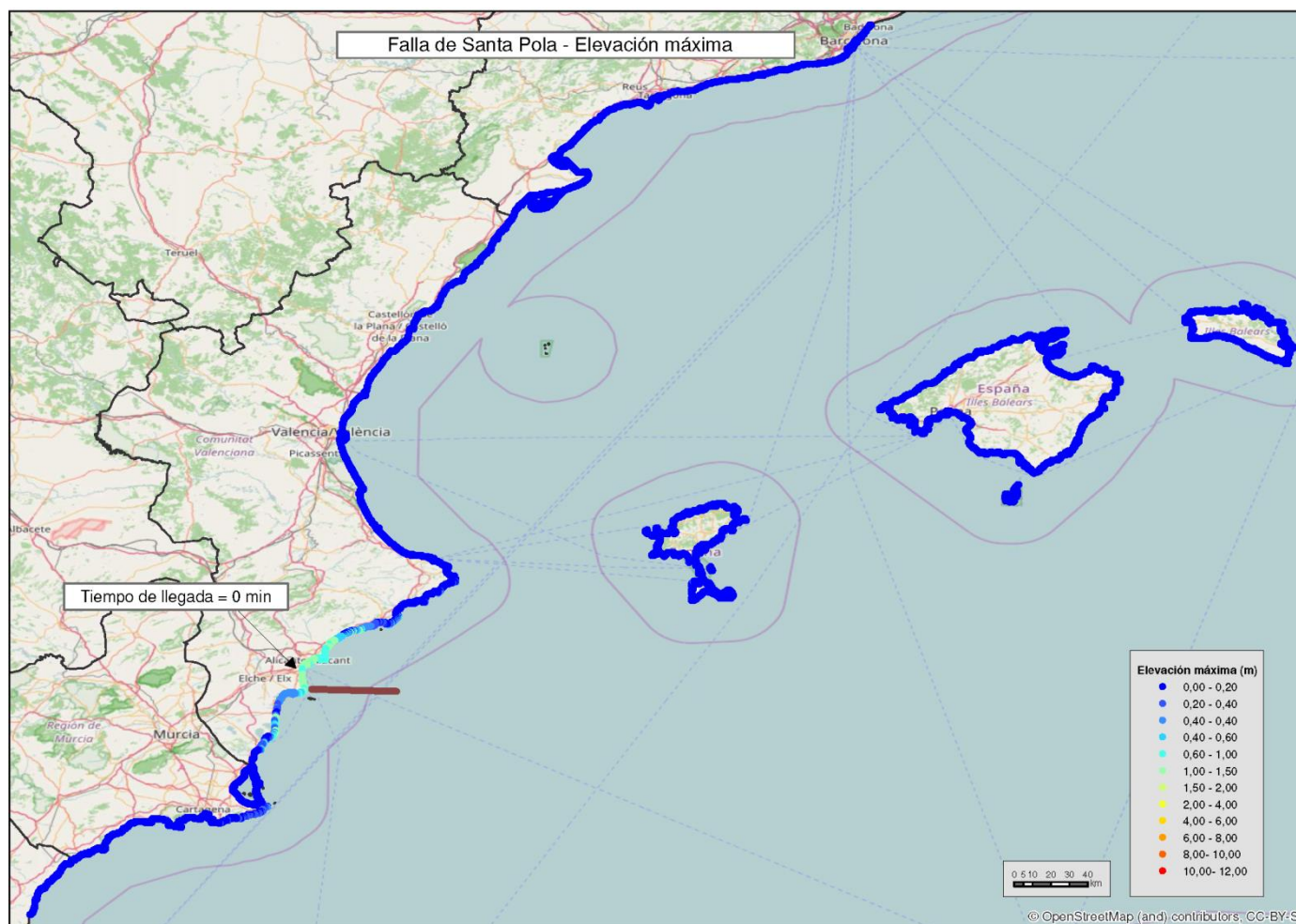


Figura 6-23. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de Santa Pola

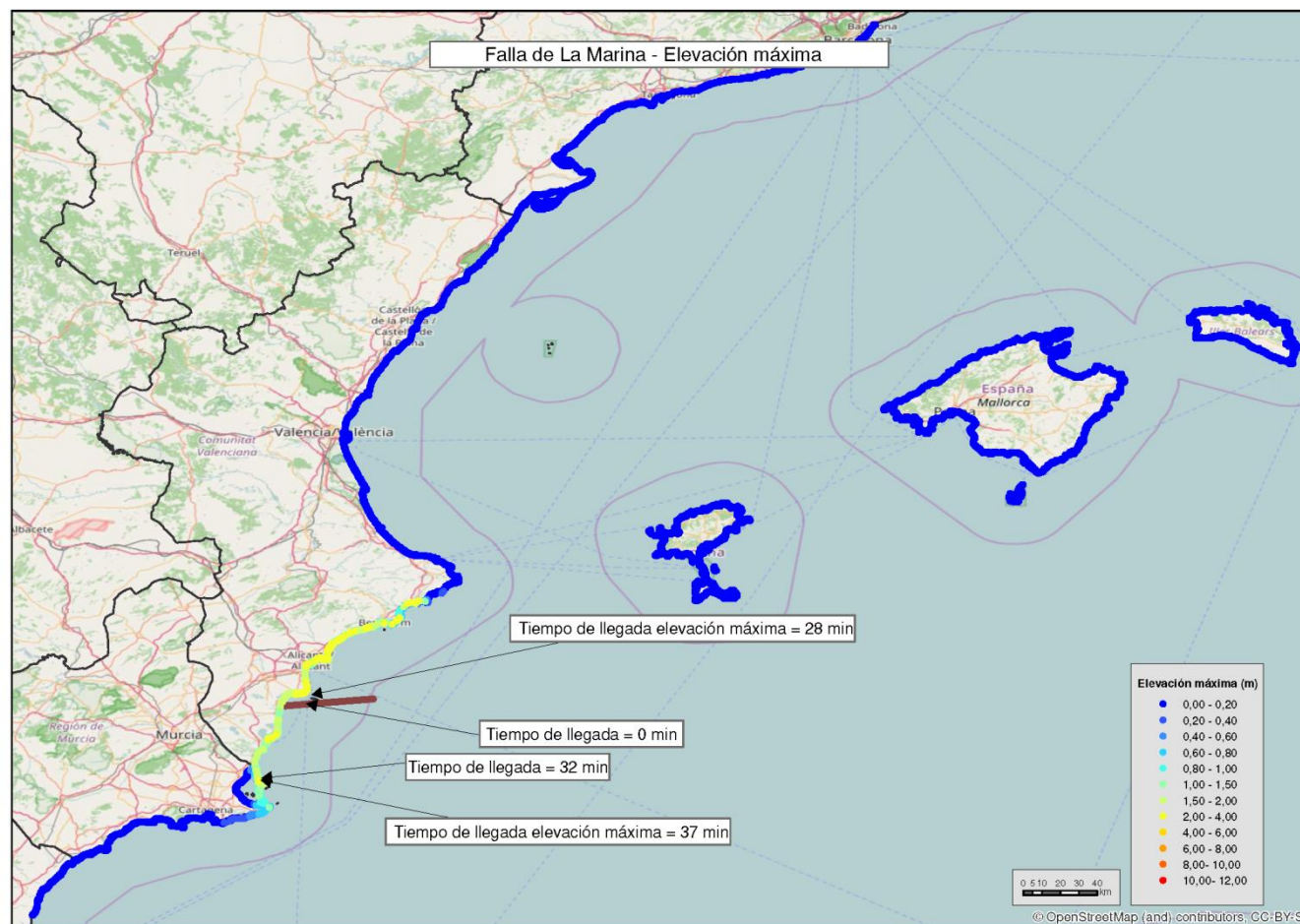


Figura 6-24. Elevación máxima esperable asociada al evento de tsunami originado en la falla de La Marina

6.8 Galicia

Los tsunamis que son susceptibles de afectar a la costa gallega son fundamentalmente los originados en el banco de Gorringe (en especial el de la falla de Marqués de Pombal) y el que tiene su origen en Islandia (Figura 6-2). De todos ellos, es el originado en la falla de Marqués de Pombal el que podría dar lugar a los valores máximos de elevación en esta costa.

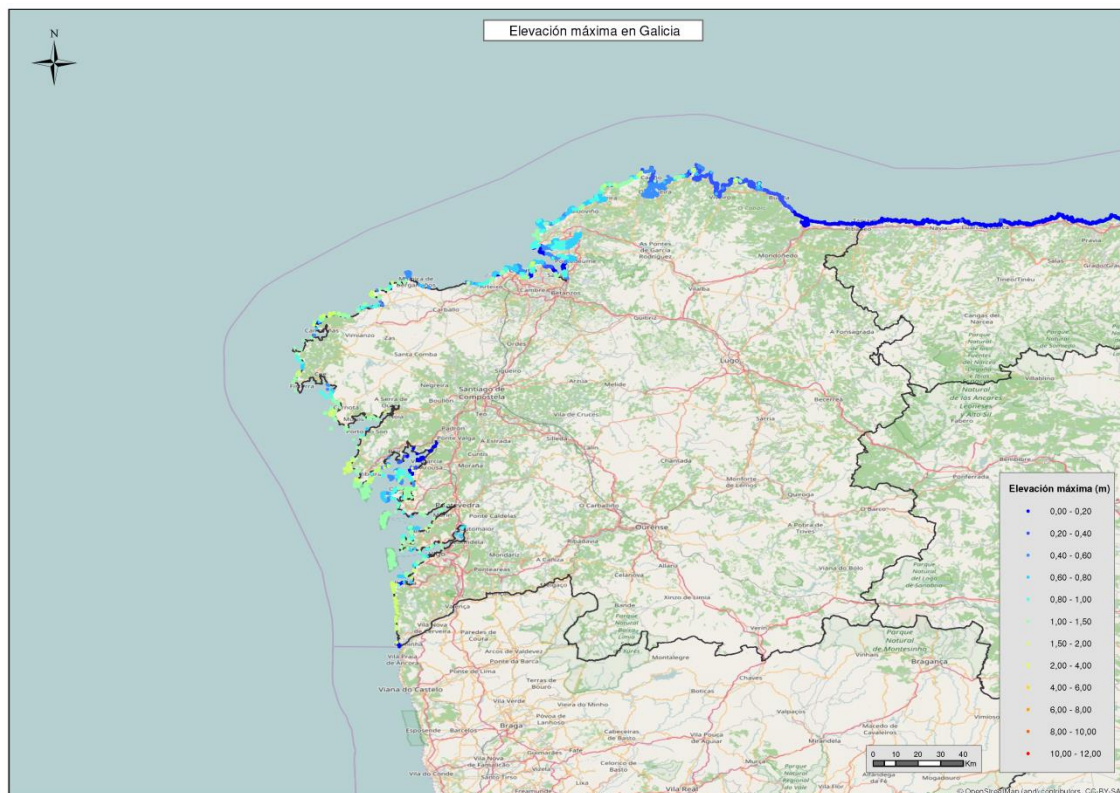


Figura 6-25. Elevación máxima que podría alcanzar el nivel del mar en Galicia por efecto de un tsunami

La elevación máxima que podría llegar a alcanzarse en esta zona es del orden de 2 metros, y se localiza en el tramo de costa cercano a Malpica de Bergantiños, aunque se observa gran variabilidad en la elevación a lo largo de la costa debido a la morfología costera particular que presenta esta comunidad autónoma.

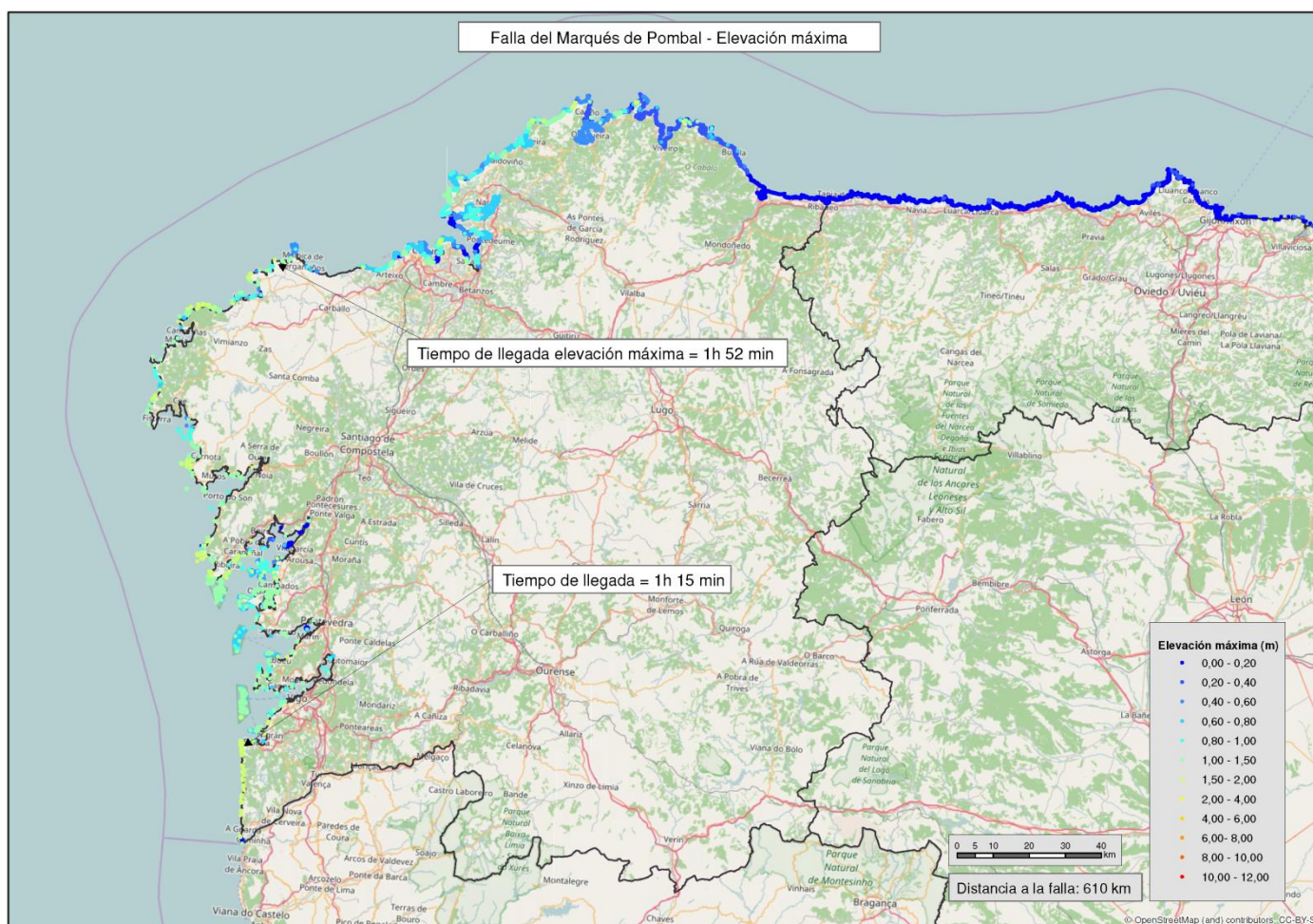


Figura 6-26. Elevación máxima esperable en la costa gallega asociada al tsunami originado en la falla de Marqués de Pombal

A continuación se presenta la elevación máxima que podría llegar a alcanzar la costa gallega debido a la generación del tsunami en la falla de Marqués de Pombal, junto con el tiempo mínimo de llegada y el tiempo de llegada de la elevación máxima.

Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a costa	Tiempo de llegada de elevación máxima
Marqués de Pombal	1.98	1h 15min	1h 52min

Tabla 6-5. Elevación máxima y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa gallega

6.9 Islas Baleares

Las elevaciones máximas que se podrían llegar a alcanzar en la costa balear, vendrían asociadas a los tsunamis generados en la falla neotectónica de Barcelona y en diversas fallas de Argelia. En concreto, las elevaciones máximas que se podrían registrar en la franja norte de las islas vendrían asociadas al tsunami generado en la falla neotectónica de Barcelona, mientras que en el resto de la costa balear predominaría el efecto de los tsunamis generados en las fallas de Argelia (Figura 6-2).

Las elevaciones máximas en esta costa por efecto de un tsunami no se espera que lleguen a superar 1 m. En caso de registrarse valores superiores de elevación, éstos estarían relacionados con tsunamis generados simultáneamente en varias fallas cercanas.

La elevación máxima que podría llegar a alcanzar la costa balear es de 0.95 m. Esta elevación máxima podría producirse por el tsunami generado en la falla de Argelia (5). El tiempo de llegada asociado a esta elevación máxima es de 50 minutos. Sin embargo, este tsunami podría alcanzar la costa balear en 34 minutos.

En la costa norte, el tiempo de llegada del tsunami generado en la falla neotectónica de Barcelona es de 28 minutos. El valor máximo de elevación asociada a este tsunami podría llegar a ser de 0.6 m y se registraría a los 37 minutos de la generación.

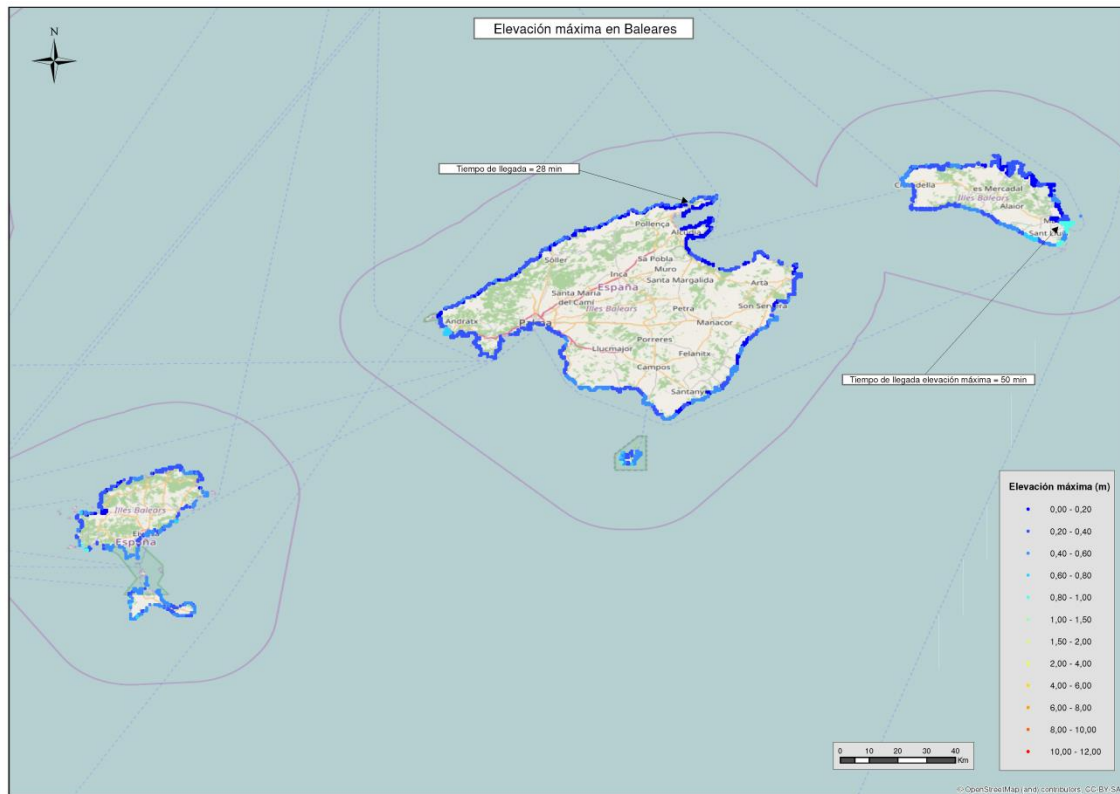


Figura 6-27. Elevación máxima que podría alcanzar el nivel del mar en la costa balear por efecto de un tsunami. Se presenta el tiempo de llegada mínimo y el asociado al valor de elevación máxima

6.10 Murcia

La costa murciana puede verse afectada por tsunamis generados en las fallas de Levante sur, Alborán, Argelia y en las fallas de Crevillente, Santa Pola y La Marina. Aun así, las elevaciones máximas que podrían llegar a alcanzar la costa murciana son en general de baja envergadura, registrándose los mayores valores en la franja norte.

Estas elevaciones máximas están relacionadas con el tsunami que se podría llegar a generar en la falla de La Marina (Figura 6-2).

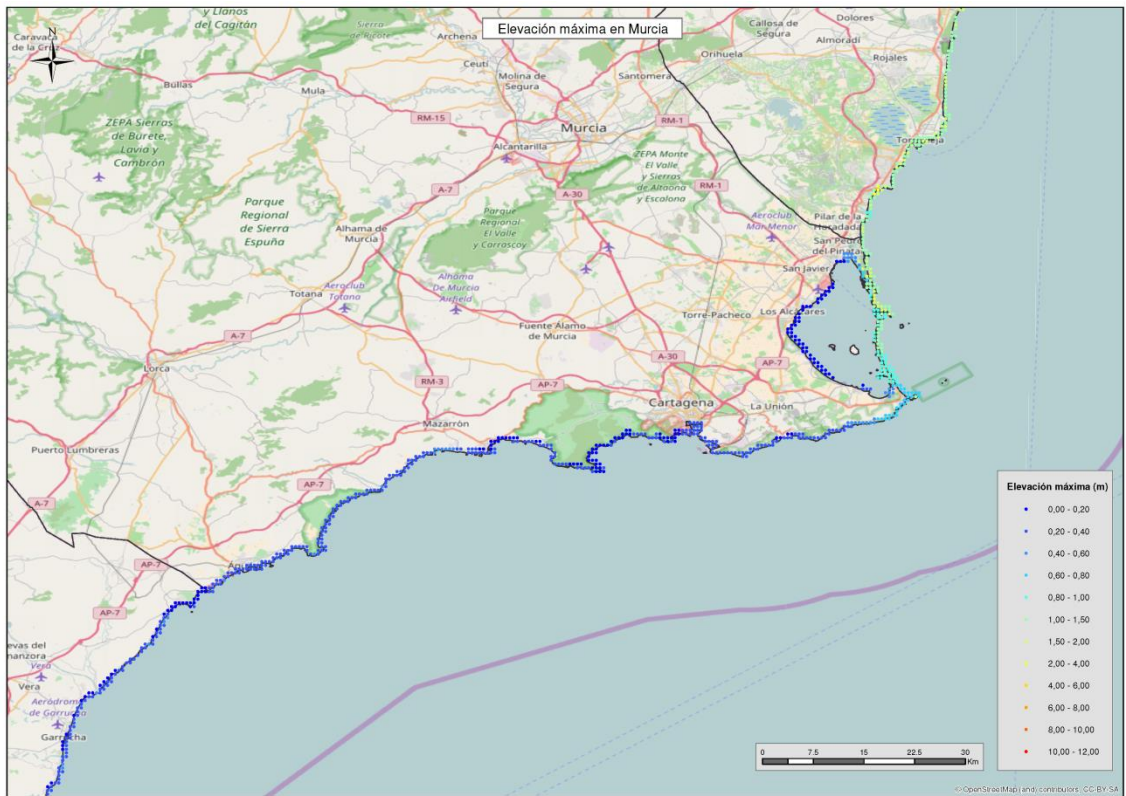


Figura 6-28. Elevación máxima que podría alcanzar el nivel del mar en la costa murciana por efecto de un tsunami

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la simulación del tsunami generado en la falla de La Marina (Figura 6-24), donde se presenta el tiempo de llegada a la costa murciana y el tiempo de llegada de la elevación máxima registrada en esta zona.

Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada a costa	Tiempo de llegada de elevación máxima
La Marina	2.04	32 min	37 min

Tabla 6-6. Elevación máxima y tiempos de llegada del tsunami crítico a la costa murciana

6.11 País Vasco

En esta comunidad autónoma se esperan las menores elevaciones máximas de toda la costa española, con valores máximo de 0.24 m.

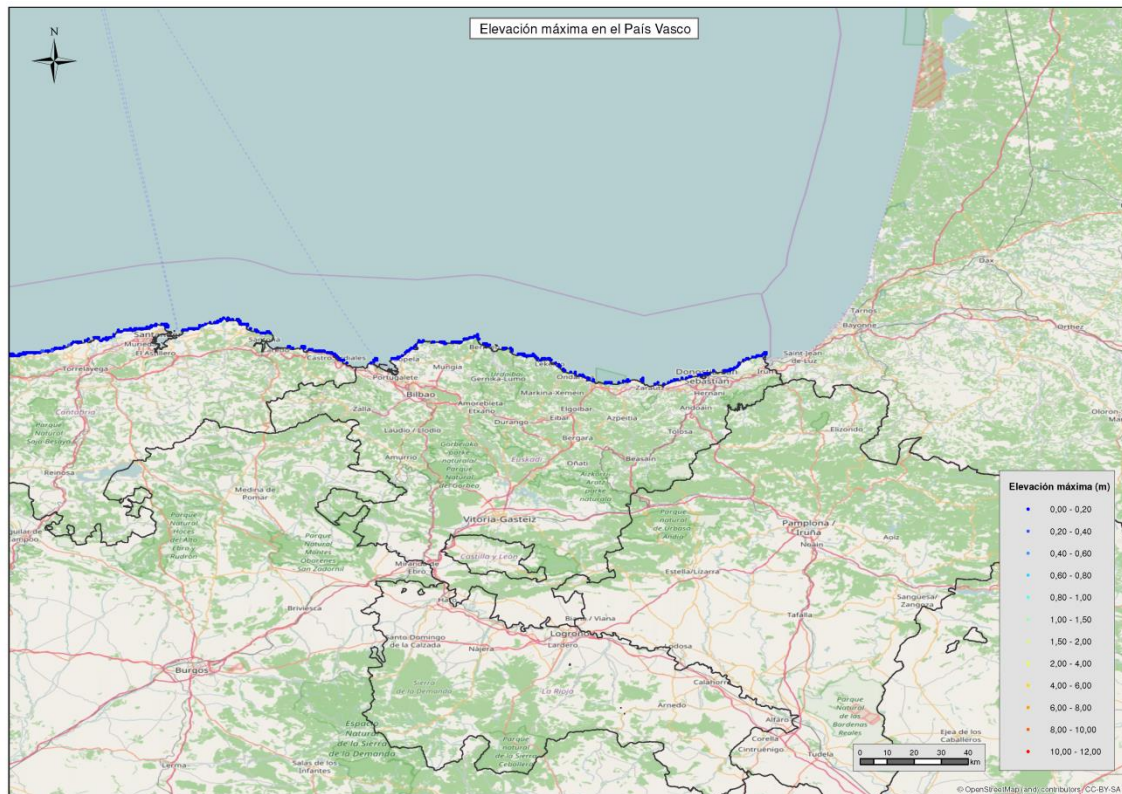


Figura 6-29. Elevación máxima que se podría alcanzar en el País Vasco por efecto de un tsunami

El tsunami que generaría las elevaciones máximas en esta zona sería el correspondiente a la zona 5 (Islandia), estimándose depreciable el efecto de tsunamis de gran magnitud originados en fallas del Banco de Gorringe.

7. CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo un estudio de peligrosidad determinista frente a maremotos en las costas españolas haciendo uso del estado del conocimiento en materia de caracterización de fuentes y de modelización hidrodinámica.

Como resultados se suministra la elevación máxima generada así como tiempos de llegada para los escenarios críticos, entendidos como aquellos que pueden llegar a producir las mayores elevaciones del nivel del mar en cada comunidad autónoma.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 7-1.

Comunidad autónoma	Falla	Elevación máxima (m)	Tiempo de llegada	Tiempo de llegada de elevación máxima
Andalucía	Marqués de Pombal	8.10	55 min	1h 8 min
	Horseshoe	11.6	56 min	1h 8 min
	Alborán Sur	5.90	19 min	30 min
Asturias	Islandia	0.48	5 h	> 6 h
Islas Canarias	Marqués de Pombal	7.70	1 h 20min	1h 55min
	Horseshoe	9.80	1 h 10min	2h 40 min
Cantabria	Islandia	0.45	5 h 10 min	> 6 h
Cataluña	Barcelona-Tarragona (Neo)	1.60	0 min	14 min
	Golfo de Rosas	1.40	0 min	8 min
Ceuta	Jebha	1.20	25 min	30 min
Melilla	Alborán Sur	5.40	23 min	26 min
Comunidad Valenciana	Crevillente	1.22	0 min	0 min
	Santa Pola	1.20	0 min	0 min
	La Marina	3.35	0 min	28 min
Galicia	Marqués de Pombal	1.98	1 h 15 min	1h 52min
Islas Baleares	Barcelona-Tarragona (Neo)	0.60	20 min	37 min
	Argelia	0.95	34 min	50 min
Murcia	La Marina	2.04	32 min	37 min
País Vasco	Islandia	0.24	5 h 15 min	> 6 h

Tabla 7-1. Elevaciones máximas y tiempos de llegada de los tsunamis críticos a la costa española.

Las conclusiones principales extraídas de este informe son:

- Las mayores elevaciones asociadas a la llegada de los tsunamis a la costa española se producirían en la costa occidental andaluza y en Canarias, con valores máximos que podrían llegar a superar los 8 m.

En ambos casos las mayores elevaciones estarían asociadas a los tsunamis generados en las fallas de Marqués de Pombal y de Horseshoe. Los tiempos de llegada rondarían los 55 minutos en Andalucía, mientras que la llegada a las Islas Canarias se produciría pasada una hora.

Cabe destacar que este tramo de la costa andaluza podría verse afectado por la llegada de tsunamis de menor magnitud, pero con un tiempo de llegada que ronda los 30 minutos, por lo que deben tenerse en cuenta a la hora de desarrollar un plan de protección civil.

- En la costa oriental andaluza el tsunami que podría generar mayores elevaciones es el generado en la falla de Alborán Sur. Este tsunami podría llegar a causar elevaciones superiores a 5 m en Málaga y en la ciudad autónoma de Melilla. El tiempo de llegada de estas elevaciones rondaría los 20 minutos.
- Las menores elevaciones máximas se localizan en la cornisa cantábrica, con valores en Asturias, Cantabria y País Vasco inferiores a 50 cm. En concreto, es el País Vasco la comunidad autónoma donde se registrarían elevaciones máximas por efecto de un tsunami del orden de 20 cm, con tiempos de llegada superiores a 6 horas.
- En Galicia, podrían llegar elevaciones máximas de hasta casi 2 m, que estarían asociadas a tsunamis provocados por terremotos de elevada magnitud generados en el Banco de Gorringe. El tiempo de llegada de estos tsunamis sería superior a una hora.
- En la costa mediterránea podrían llegar tsunamis de muy diversas fuentes, aunque en su mayor parte se espera que sean de magnitudes algo inferiores a $M_w = 7$, siendo las excepciones la falla de Crevillente y la de Golfo de Rosas; los efectos en general serían muy locales. Destaca la falla de La Marina, se podrían llegar a registrar elevaciones máximas superiores a 3 metros.
- En la franja mediterránea, algunos de los tsunamis que se podrían generar están asociados a fallas muy cercanas a costa, algunas de ellas incluso tienen parte de su traza en tierra, por lo que la llegada de estos tsunamis

sería instantánea. Es el caso de los tsunamis cuyas fuentes generadoras son las fallas de Golfo de Rosas, Neotectónica de Barcelona-Tarragona, Crevillente, Santa Pola y La Marina. Todos ellos podrían llegar a producir elevaciones máximas de nivel superiores a 1 m.

- El tramo norte de la costa murciana podría verse afectado por el efecto de un tsunami generado en la falla de La Marina, que podría llegar a generar en esta zona elevaciones en torno a 2 m en unos 30 minutos. En el resto de la costa perteneciente a esta comunidad autónoma las elevaciones máximas asociadas al paso de un tsunami se estiman inferiores a los 50 cm.
- En Baleares, las elevaciones máximas asociadas a los eventos de tsunami analizados no se esperan superiores a 1 m. En concreto, los valores máximos de elevación en la franja norte de Mallorca y Menorca estarían condicionadas por la falla neotectónica de Barcelona-Tarragona y no se espera que superen los 60 cm. El tiempo de llegada de este tsunami rondaría los 20 minutos. En el resto de la costa balear, las elevaciones máximas esperables estarían condicionadas por las fallas de Argelia, con valores de elevación máxima que podrían llegar a 95 cm y tiempos de llegada del orden de 30-35 minutos.
- En la ciudad autónoma de Ceuta, se podrían llegar a producir elevaciones máximas de 1.20 m como consecuencia de un tsunami generado en la falla de Jebha, siendo el tiempo de llegada asociado a este tsunami de unos 20 minutos.

Apéndice I. Referencias

Aki, K. y Richard, P.G. (1980) “Quantitative Seismology” Volúmenes 1 y 2. W.H.Freeman & Co Ltd.

Aki, K. y Richard, P.G. (2002) “Quantitative Seismology”, Segunda Edición, University Science Books.

Álvarez-Gómez, J.A., Olabarrieta, O., González, M., Otero, L., Carreño, E. and Martínez-Solares, J.M. (2009) “The Impact of Tsunamis on the Island of Majorca induced by North Algerian Seismic Sources”, Turkish Journal of Earth Sciences, Vol. 19, pp. 367-383

Baptista, M.A., Heitor, S., Miranda, J.M., Miranda, P. and Mendes-Victor, L. (1998) “The 1755 Lisbon Tsunami; Evaluation of the Tsunami Parameters”, J. Geodynamics, Vol. 25, No. 2, pp. 143-157.

Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B., Garcia Moreno D., Nemser E. S., Petricca P., Sboras S. P., Besana-Ostman G. M., Cabral J., Camelbeeck T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., García-Mayordomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sesetyan K., Tarabusi G., Tiberti M. M., Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013). The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.

J. García-Mayordomo, J.M. Insua-Arévalo, J.J. Martínez-Díaz, A. Jiménez-Díaz, R. Martín-Banda, S. Martín-Alfageme, J.A. Álvarez-Gómez, M. Rodríguez-Peces, R. Pérez-López, M.A. Rodríguez-Pascua, E. Masana, H. Perea, F. Martín-González, J. Giner-Robles, E.S. Nemser, J. Cabral and the QAFI Compilers Working Group (2012) The Quaternary Active Faults Database of Iberia (QAFI v.2.0), Journal of Iberian Geology, 38(1): 285-302.

Hanks, T.C. and Kanamori, H. (1979) “A Moment Magnitude Scale”, Journal of Geophysical Research, Vol. 84, No. B5.

IAEA – International Atomic Energy Agency (2015) “Ground Motion Simulation Based on Fault Rupture Modelling for Seismic Hazard Assessment”, IAEA Safety Reports Series No. 85.

IGME – Instituto Geológico y Minero de España (2016) “QAFI – Quaternary Active Faults Database of Iberia v.3”, <http://info.igme.es/qafi>, último acceso 14 octubre

ITGE y ENRESA (1998) Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España. 2 Vol. 2 mapas.

ITGE y ICM (1989) Hoja 35-42, Barcelona. Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. E 1:200.000. 1 Memoria, 2 mapas.

IGME y IJA (1986) Hoja 41-42, Tortosa-Tarragona. Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. E 1:200.000. 1 Memoria, 2 mapas.

Mezcua, J., Bufo, E., Udías, A. y Rueda, J. (1992) “Seismotectonics of the Canary Islands”, Tectonophysics, Vol. 208, Issue 4, pp. 447–452

Okada, Y. (1985) “Surface Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-Space”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No. 4, pp. 1135-1154

Stirling, M.W. and Goggin, T. (2012) “Magnitude Scaling Relationships” Report Produced for the GEM Faulted Earth & Regionalisation Global Components, GNS Science Miscellaneous Series 42

Apéndice II. Modelo de propagación de DELFT3D

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1. Modelo de propagación DELFT3D	2
1.1 Fuente de generación	2
1.2 Condiciones iniciales	4
1.3 Procesos físicos	4
1.4 Ecuaciones de gobierno	5

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1. Parámetros de falla	3

1. MODELO DE PROPAGACIÓN DELFT3D

Para realizar las simulaciones se hace uso del modelo Delft3D desarrollado por Deltares-Delft. Este modelo resuelve las ecuaciones hidrodinámicas transitorias de aguas someras (que es propio de un tsunami) mediante diferencias finitas.

Este modelo permite además el uso de mallas anidadas con diferentes grados de refinamiento, por lo que se pueden obtener resultados con mayor grado de detalle en las zonas de interés optimizando la resolución espacial y el tiempo de cálculo.

El módulo hidrodinámico Delft-FLOW es una herramienta hidrodinámica multidimensional (2D o 3D) de simulación que calcula el flujo no estacionario y fenómenos de transporte que resulta de las mareas, movimientos en ríos y forzamiento meteorológico en una malla rectangular o curvilínea resolviendo las ecuaciones no lineales en aguas poco profundas. Delft-FLOW resuelve las ecuaciones de Navier Stokes para un fluido incompresible en condiciones de aguas someras y bajo la hipótesis de Boussinesq. Las ecuaciones de aguas someras (SWE por sus siglas en inglés: Shallow Water Equations) se obtienen promediando la ecuación de Navier - Stokes para un fluido incompresible en la dirección vertical.

Para un terremoto dado, el desplazamiento del lecho submarino se determina mediante la teoría de dislocación elástica lineal (Okada, 1985). Para ello se hace uso de la interfaz Delft DashBoard, facilitada también por Deltares.

Este modelo ha sido utilizado en numerosos estudios para representar diversos acontecimientos históricos, como es el caso de la simulación de la inundación por tsunami en la ciudad de Banda Aceh, Indonesia (2004), o el de Talcahuano, en Chile, acontecido en febrero de 2010.

1.1 Fuente de generación

Para la generación del tsunami se hace uso del Delft Dashboard., que define el tsunami mediante la teoría de dislocación elástica lineal de Okada (1985). Según ésta, la falla se puede suponer como un plano rectangular situado en un medio espacial semi-infinito elástico.

Se asume en este caso que el fondo marino se deforma instantáneamente y que la línea de falla se rompe entera simultáneamente. Además supone que el agua es incompresible y que la superficie del mar se deforma al instante e imita el desplazamiento del fondo marino.

Los parámetros de falla de los que se alimenta el modelo para generar el tsunami son:

- Longitude/Latitude: coordenadas de ambos extremos de la falla
- Strike: acimut de la traza
- Width: ancho de la estructura tectónica
- Depth: profundidad del epicentro
- Dip: buzamiento
- Sliprake y Slip: ambos parámetros definen el ángulo y la longitud del desplazamiento, es el relativo con el que se separan las placas de la falla.

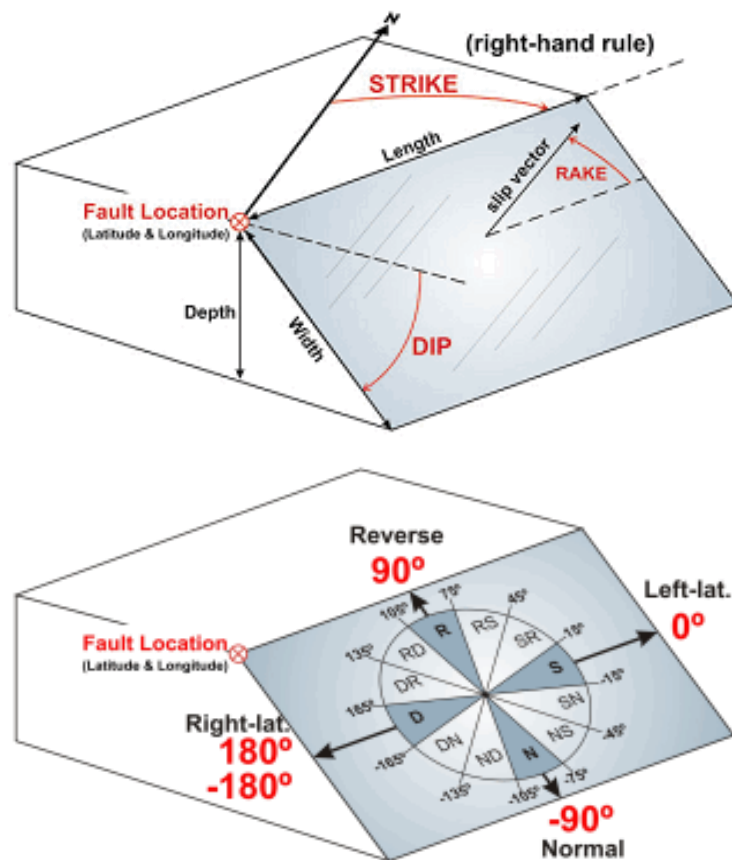


Figura 1-1. Parámetros de falla

El formato tipo de entrada de datos (archivo *.ini) es el siguiente:

```
<?xml version="1.0"?>
<!-- AT004 Marques de Pombal - associated with 1755 Lisbon Earthquake -->
<root>
  <longitude>-10.20 -10.05</longitude>
  <latitude>36.65 37.062</latitude>
  <strike>21 21</strike>
  <width>123 123</width>
  <depth>25 25</depth>
  <dip>24 24</dip>
  <sliprake>90 90</sliprake>
  <slip>32.5 32.5</slip>
</root>
```

1.2 Condiciones iniciales

Delft3D transforma el desplazamiento generado por la falla en condiciones iniciales de las elevaciones de agua en el instante $t=0$, almacenado en un archivo con extensión *.ini, que define las condiciones iniciales de la simulación. La elevación del nivel del mar es equivalente al desplazamiento vertical en superficie del fondo marino que produce la falla, el cual se estima mediante el modelo de Okada (1985).

1.3 Procesos físicos

El modelo hidrodinámico Delft-FLOW resuelve las ecuaciones no lineales de inestabilidad en aguas someras en 2 ó 3 dimensiones. Para el caso de la simulación de un tsunami, se resuelven las ecuaciones promediadas en vertical (2D).

El sistema de ecuaciones consiste en la ecuación horizontal del movimiento, la ecuación de continuidad y la ecuación de transporte para constituyentes conservativos. Las ecuaciones se formulan en sistemas de coordenadas ortogonales o esféricas. Delft-FLOW cuando trabaja con mallas rectangulares las considera como una forma simplificada de una malla curvilínea. En coordenadas ortogonales, el nivel de la superficie libre y la batimetría están referidos a un plano horizontal de referencia, mientras que en las coordenadas esféricas el plano de referencia sigue la curvatura de la Tierra.

1.4 Ecuaciones de gobierno

Para la propagación de un tsunami se utilizan las ecuaciones no lineales de aguas someras. Los términos no lineales de fuerza de inercia y de fricción con el fondo adquieren relevancia cuando el tsunami se propaga por la plataforma continental y en las inmediaciones de la costa, produciéndose una disminución de la altura de ola del tsunami incidente y el aumento de su amplitud, mientras que los términos de dispersión de la onda disminuyen.

Las ecuaciones no lineales de aguas someras en el sistema de coordenadas esféricas se escriben como:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \Phi} \left(\frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \Phi} (\cos \Phi Q) \right) &= -\frac{\partial h}{\partial t} \\ \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \Phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \Phi} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{gH}{R \cos \Phi} \frac{\partial \zeta}{\partial \psi} - fQ + \tau_x H &= 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \Phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \Phi} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + \frac{gH}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \Phi} - fP + \tau_y H &= 0\end{aligned}$$

Donde:

- ζ es la elevación de la superficie libre,
- (P, Q) es el flujo de volumen en la dirección x e y respectivamente ($P = hu$, $Q = hv$),
- (ψ, Φ) son la longitud y la latitud,
- R es el radio de la Tierra,
- g es la aceleración de la gravedad,
- h es la profundidad del agua,
- H es la profundidad total, esto es $H = \zeta + h$,
- u y v son las velocidades en las direcciones x e y respectivamente,
- τ_x y τ_y son los términos de fricción en sendas direcciones, que son modelados a partir de las expresiones de Manning:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2}{H^3} P (P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2}{H^3} Q (P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}}$$

- Siendo n el término de rugosidad de Manning.

Apéndice III. Mallas de cálculo

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
1. Mallas de cálculo	2
1.1 Islandia - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 5	2
1.2 Golfo de Cádiz -Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 1	3
1.3 Alborán - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2	7
1.4 Costa Mediterránea.....	7
1.4.1 Levante Norte - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2 y 3	7
1.4.2 Levante Centro - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2...8	8
1.4.3 Levante Sur - Andalucía Oriental - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2 y 3	9
1.5 Italia - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 4	11
1.6 Canarias - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 7 y que afecten al archipiélago Canario.....	12
1.7 Caribe - Mallas para la simulación de la falla de la Zona 8	14
1.8 Argelia - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 3 ubicadas en las proximidades de Argelia y Orán	15
1.9 Mallas de detalle.....	16
1.9.1 Huelva W.....	16
1.9.2 Huelva C.....	17
1.9.3 Huelva E.....	18
1.9.4 Cádiz W	19
1.9.5 Cádiz C	20
1.9.6 Cádiz E1	21
1.9.7 Cádiz E2	22
1.9.8 Málaga	23
1.9.9 Melilla	24
1.9.10 Murcia	25
1.9.11 Alicante1	26
1.9.12 Alicante2	27
1.9.13 Lanzarote.....	28
1.9.14 El Hierro	29

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1. Malla general Islandia.....	3
Figura 1-2. Malla Noroeste.....	3
Figura 1-3. Malla Noreste.....	3
Figura 1-4. Malla general que abarca la zona del Golfo de Cádiz	4
Figura 1-5. Malla general para simular la afección de las fallas de la Zona 1 en el norte de España.....	5
Figura 1-6. Malla de Galicia-Asturias	6
Figura 1-7. Malla de simulación para las fallas ubicadas en la zona de Alborán (Zona 2)	7
Figura 1-8. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la zona norte de la costa mediterránea (Zonas 2 y 3)	8
Figura 1-9. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la zona central de la costa mediterránea (Zona 2)	9
Figura 1-10. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la zona sur de la costa mediterránea (Zonas 2 y 3).....	10
Figura 1-11. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la entre Túnez y Sicilia (Zona 4)	11
Figura 1-12. Malla general para la simulación de fallas ubicadas en Canarias (Zona 7) y que afectan al archipiélago canario (Zona 1)	12
Figura 1-13. Malla 500 para la simulación de fallas ubicadas en Canarias (Zona 7) y que afectan al archipiélago canario (Zona 1)	13
Figura 1-14. Malla general para la simulación de la falla ubicada en El Caribe (Zona 8)	14
Figura 1-15. Malla general para la simulación de fallas ubicadas en las proximidades de Argelia y Orán (Zona 3).....	15
Figura 1-16. Malla de detalle en Huelva W	16
Figura 1-17. Malla de detalle en Huelva C.....	17
Figura 1-18. Malla de detalle en Huelva E.....	18
Figura 1-19. Malla de detalle en Cádiz W.....	19
Figura 1-20. Malla de detalle en Cádiz C.....	20
Figura 1-21. Malla de detalle en Cádiz E1	21
Figura 1-22. Malla de detalle en Cádiz E2	22
Figura 1-23. Malla de detalle en Málaga.....	23
Figura 1-24. Malla de detalle en Melilla	24

Figura 1-25. Malla de detalle en Murcia	25
Figura 1-26. Malla de detalle en Alicante1	26
Figura 1-27. Malla de detalle en Alicante2	27
Figura 1-28. Malla de detalle en Lanzarote.....	28
Figura 1-29. Malla de detalle en El Hierro.....	29

LISTA DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 1-1. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 5	2
Tabla 1-2. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 1	3
Tabla 1-3. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 1 que afectan al norte ..	5
Tabla 1-4. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2	7
Tabla 1-5. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2 y 3 ubicadas en el norte de la costa mediterránea	7
Tabla 1-6. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2	8
Tabla 1-7. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2 y 3	9
Tabla 1-8. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 4	11
Tabla 1-9. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 7 y que afectan a las Islas Canarias	12
Tabla 1-10. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 8	14
Tabla 1-11. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 3 ubicadas en las inmediaciones de Argelia y Orán	15
Tabla 1-12. Parámetros de la malla de detalle de Huelva W	16
Tabla 1-13. Parámetros de la malla de detalle de Huelva C.....	17
Tabla 1-14. Parámetros de la malla de detalle de Huelva E.....	18
Tabla 1-15. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz W.....	19
Tabla 1-16. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz C.....	20
Tabla 1-17. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz E1	21
Tabla 1-18. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz E2	22
Tabla 1-19. Parámetros de la malla de detalle de Málaga.....	23
Tabla 1-20. Parámetros de la malla de detalle de Melilla	24
Tabla 1-21. Parámetros de la malla de detalle de Murcia	25
Tabla 1-22. Parámetros de la malla de detalle de Alicante1	26
Tabla 1-23. Parámetros de la malla de detalle de Alicante2	27
Tabla 1-24. Parámetros de la malla de detalle de Lanzarote.....	28
Tabla 1-25. Parámetros de la malla de detalle de El Hierro	29

1. MALLAS DE CÁLCULO

1.1 Islandia - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 5

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	707	820	0.03	0.03	-2.168	40.615
Detalle Noroeste	940	540	0.005	0.005	-9.928	41.823
Detalle Noreste	900	390	0.005	0.005	-5.476	42.951

Tabla 1-1. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 5

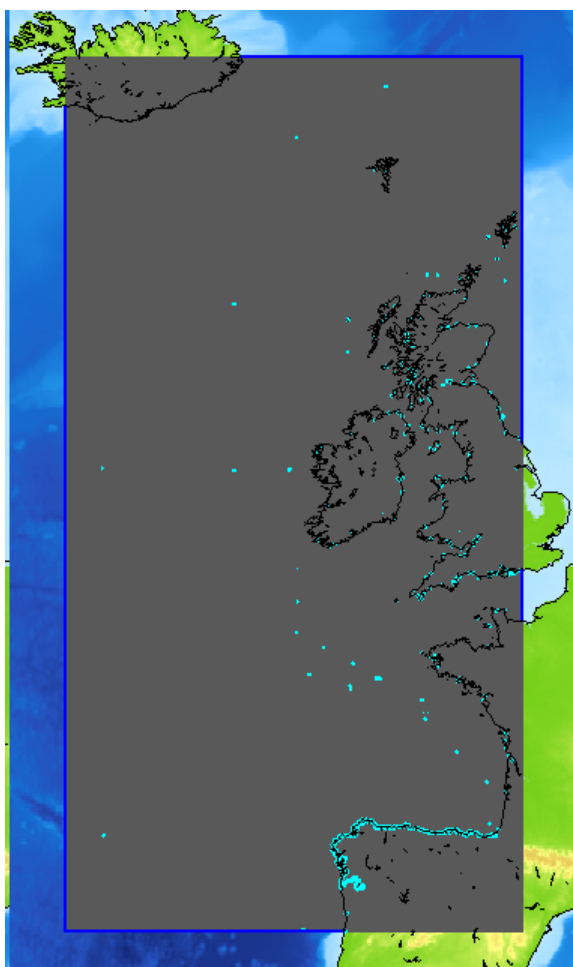


Figura 1-1. Malla general Islandia

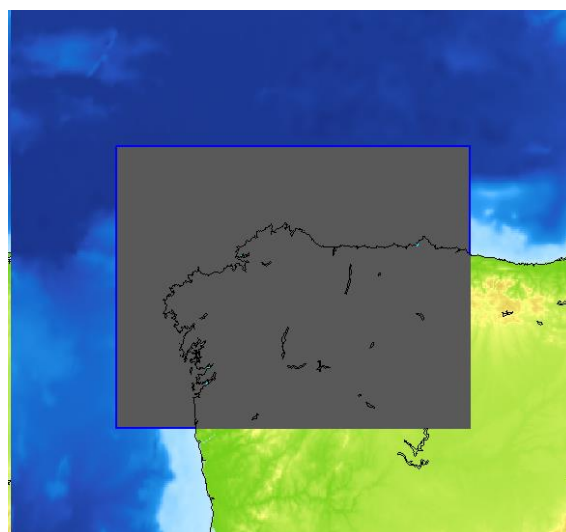


Figura 1-2. Malla Noroeste

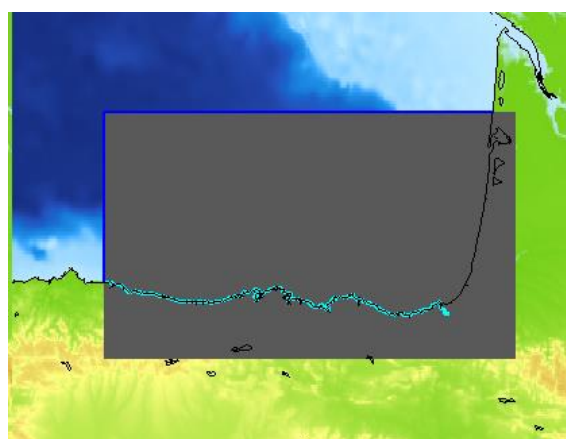


Figura 1-3. Malla Noreste

1.2 Golfo de Cádiz -Mallas parala simulación de las fallas de la Zona 1

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	1620	540	0.005	0.005	-1.100	35.000

Tabla 1-2. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 1

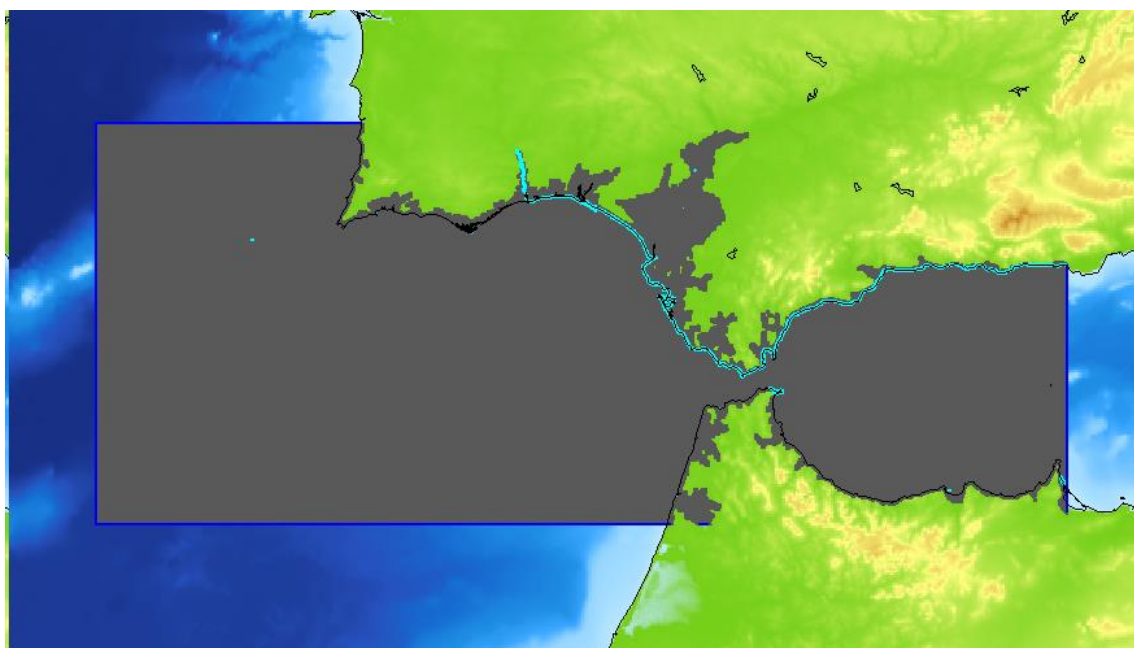


Figura 1-4. Malla general que abarca la zona del Golfo de Cádiz

Malla para analizar la afección de las fallas de la Zona 1 en el norte:

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	730	1010	0.01	0.01	-12.763	34.964
Detalle 500 Galicia-Asturias	700	460	0.005	0.005	-9.874	41.846

Tabla 1-3. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona1 que afectan al norte

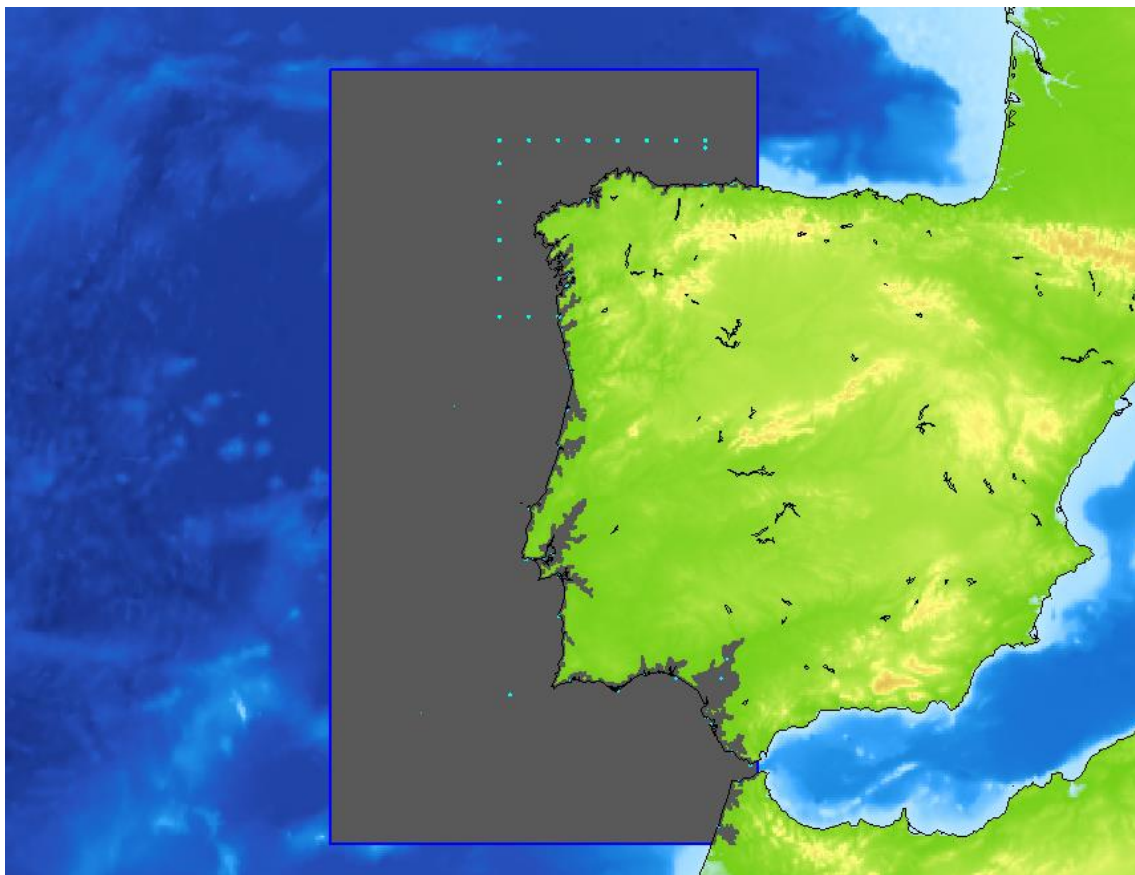


Figura 1-5. Malla general para simular la afección de las fallas de la Zona 1 en el norte de España

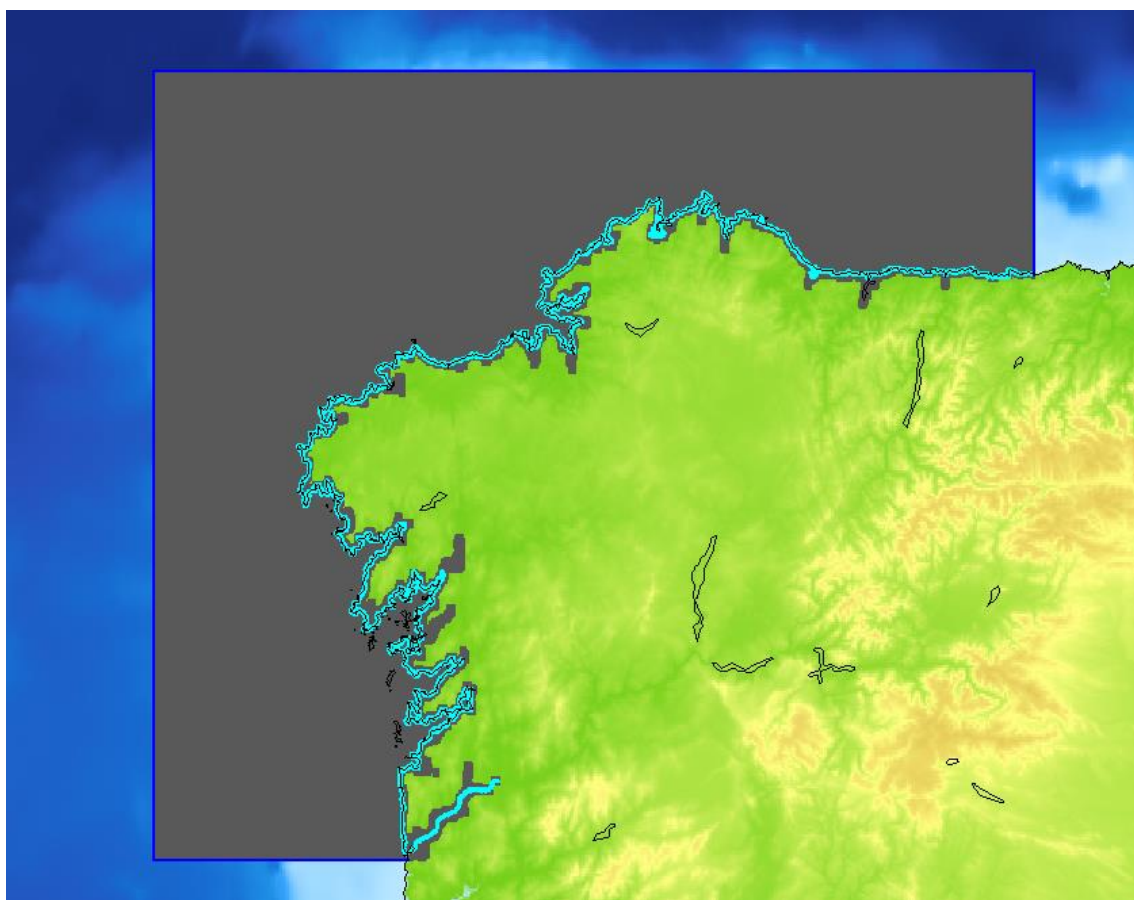


Figura 1-6. Malla de Galicia-Asturias

1.3 Alborán - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	1327	664	0.005	0.005	-6.914	34.749

Tabla 1-4. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2

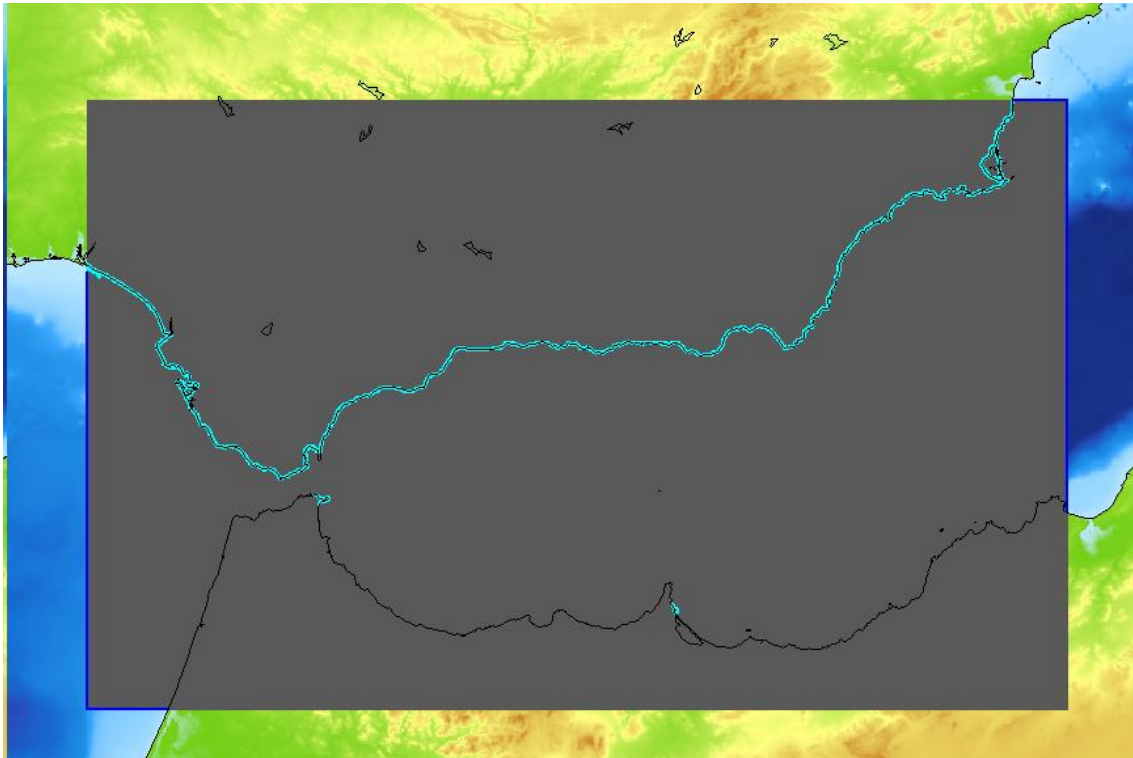


Figura 1-7. Malla de simulación para las fallas ubicadas en la zona de Alborán (Zona 2)

1.4 Costa Mediterránea

1.4.1 Levante Norte - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2 y 3

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	1180	900	0.005	0.005	-8.988	38.167

Tabla 1-5. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2 y 3 ubicadas en el

norte de la costa mediterránea

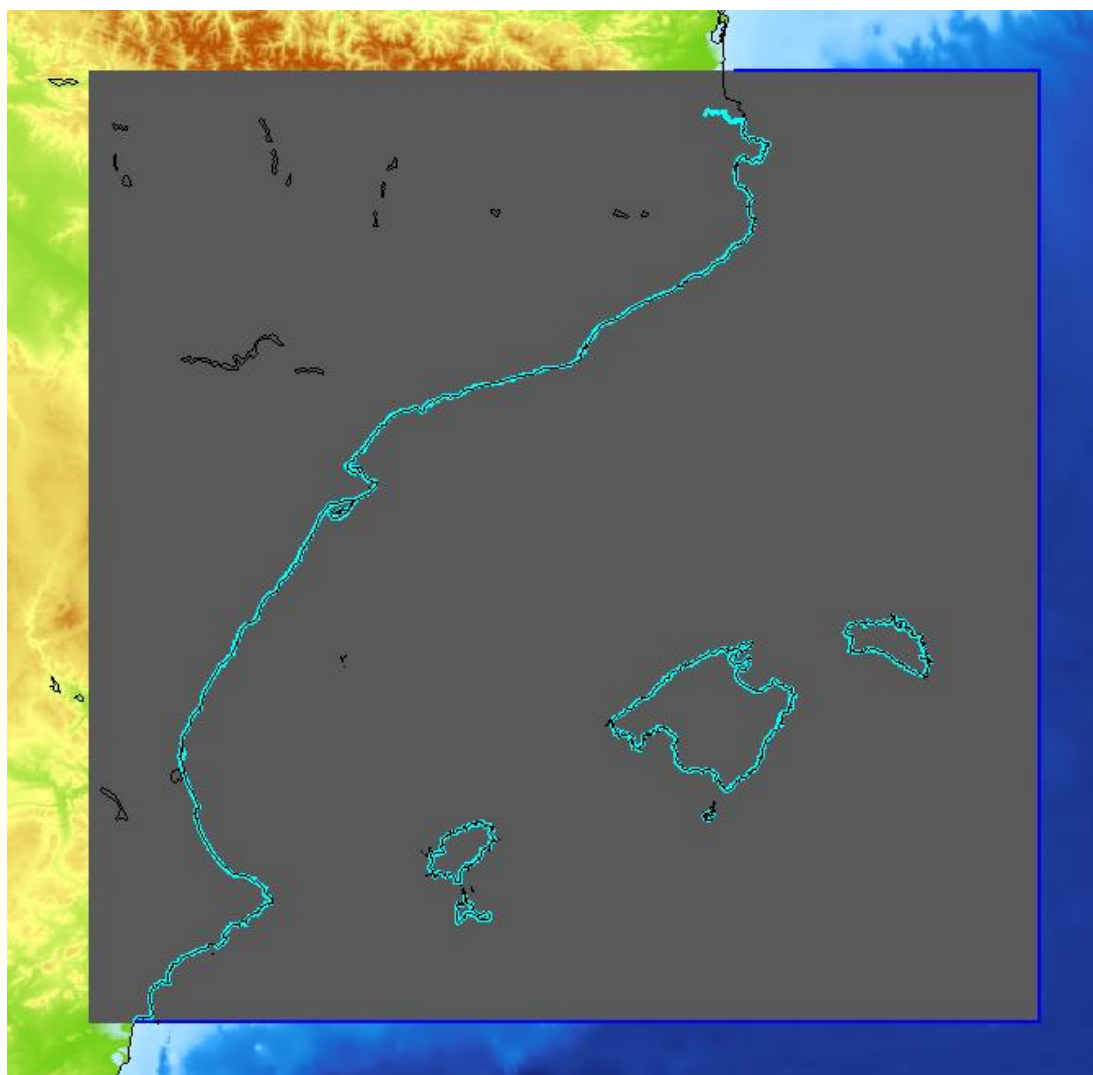


Figura 1-8. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la zona norte de la costa mediterránea (Zonas 2 y 3)

1.4.2 Levante Centro - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	1345	871	0.005	0.005	-2.085	37.105

Tabla 1-6. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2

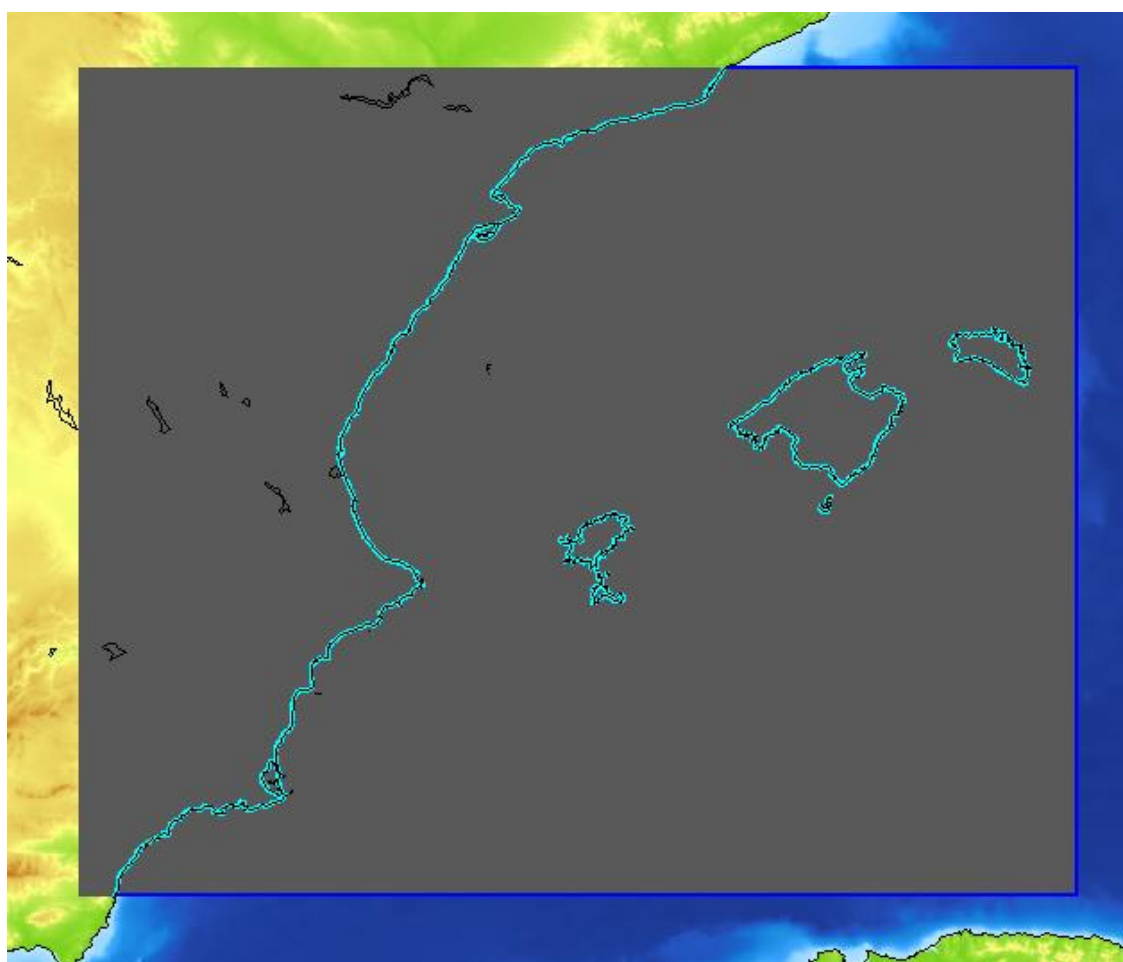


Figura 1-9. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la zona central de la costa mediterránea (Zona 2)

1.4.3 Levante Sur - Andalucía Oriental - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 2 y 3

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	1345	871	0.005	0.005	-2.085	37.105

Tabla 1-7. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 2 y 3



Figura 1-10. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la zona sur de la costa mediterránea (Zonas 2 y 3)

1.5 Italia - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 4

	N° celdas X	N° celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	637	283	0.03	0.03	-5.713	34.149

Tabla 1-8. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 4



Figura 1-11. Malla para la simulación de fallas ubicadas en la entre Túnez y Sicilia (Zona 4)

1.6 Canarias - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 7 y que afecten al archipiélago Canario

Para el análisis del efecto de las fallas de la Zona 1 sobre las Islas Canarias

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	440	390	0.03	0.03	-20.313	26.329
Malla 500	1180	640	0.005	0.005	-18.682	26.874

Tabla 1-9. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 7 y que afectan a las Islas Canarias

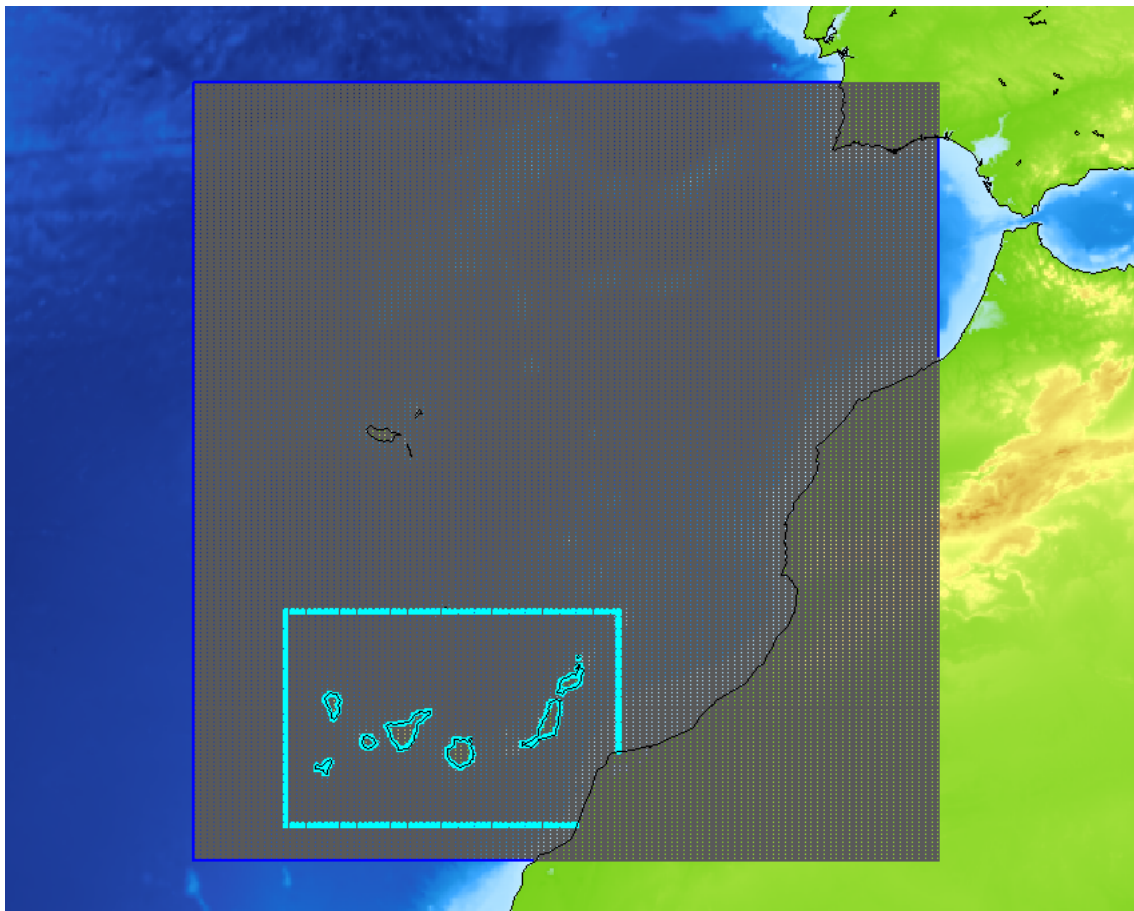


Figura 1-12. Malla general para la simulación de fallas ubicadas en Canarias (Zona 7) y que afectan al archipiélago canario (Zona 1)

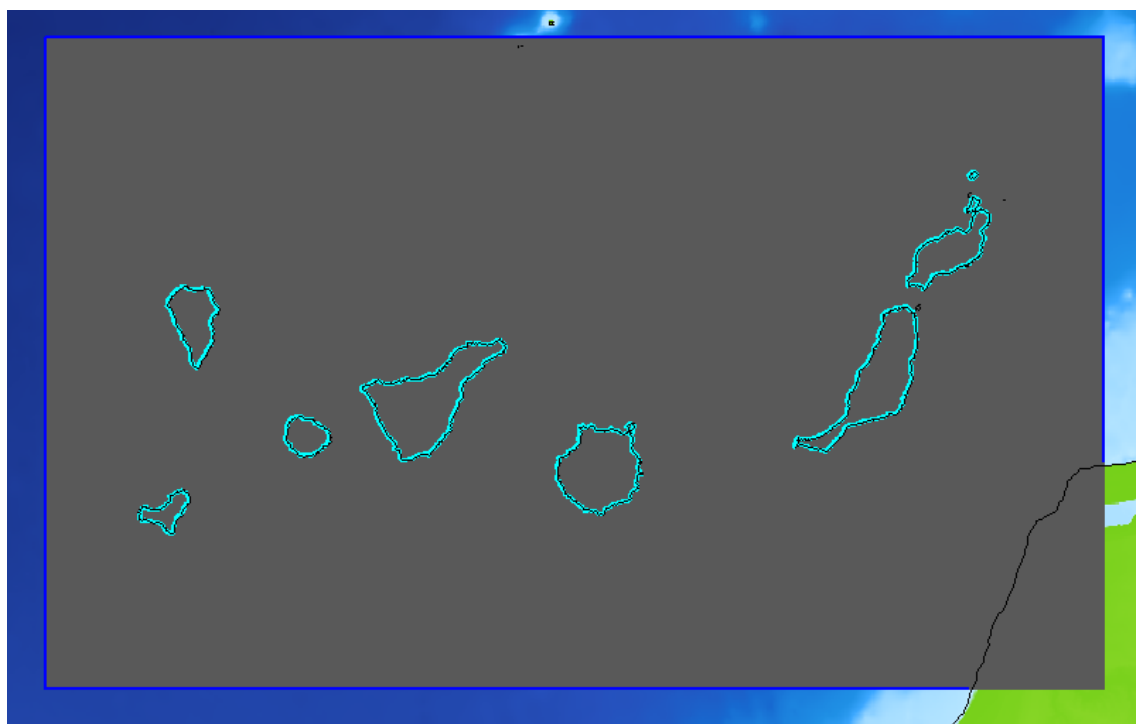


Figura 1-13. Malla 500 para la simulación de fallas ubicadas en Canarias (Zona 7) y que afectan al archipiélago canario (Zona 1)

1.7 Caribe - Mallas para la simulación de la falla de la Zona 8

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	1238	480	0.05	0.05	-67.194	17.307

Tabla 1-10. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 8



Figura 1-14. Malla general para la simulación de la falla ubicada en El Caribe (Zona 8)

1.8 Argelia - Mallas para la simulación de las fallas de la Zona 3 ubicadas en las proximidades de Argelia y Orán

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
General	520	273	0.03	0.03	-7.7660	34.592

Tabla 1-11. Parámetros de las mallas para fallas de la Zona 3 ubicadas en las inmediaciones de Argelia y Orán



Figura 1-15. Malla general para la simulación de fallas ubicadas en las proximidades de Argelia y Orán (Zona 3)

1.9 Mallas de detalle

A continuación se presentan las mallas de mayor detalle (paso de malla de 25 y 30 metros) que han sido utilizadas en las zonas de valores más críticos y para análisis más detallados.

1.9.1 Huelva W

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 25	2400	1200	0.00025	0.00025	-7.555	37.054

Tabla 1-12. Parámetros de la malla de detalle de Huelva W



Figura 1-16. Malla de detalle en Huelva W

1.9.2 Huelva C

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 25	2286	1585	0.00025	0.00025	-7.029	37.063

Tabla 1-13. Parámetros de la malla de detalle de Huelva C

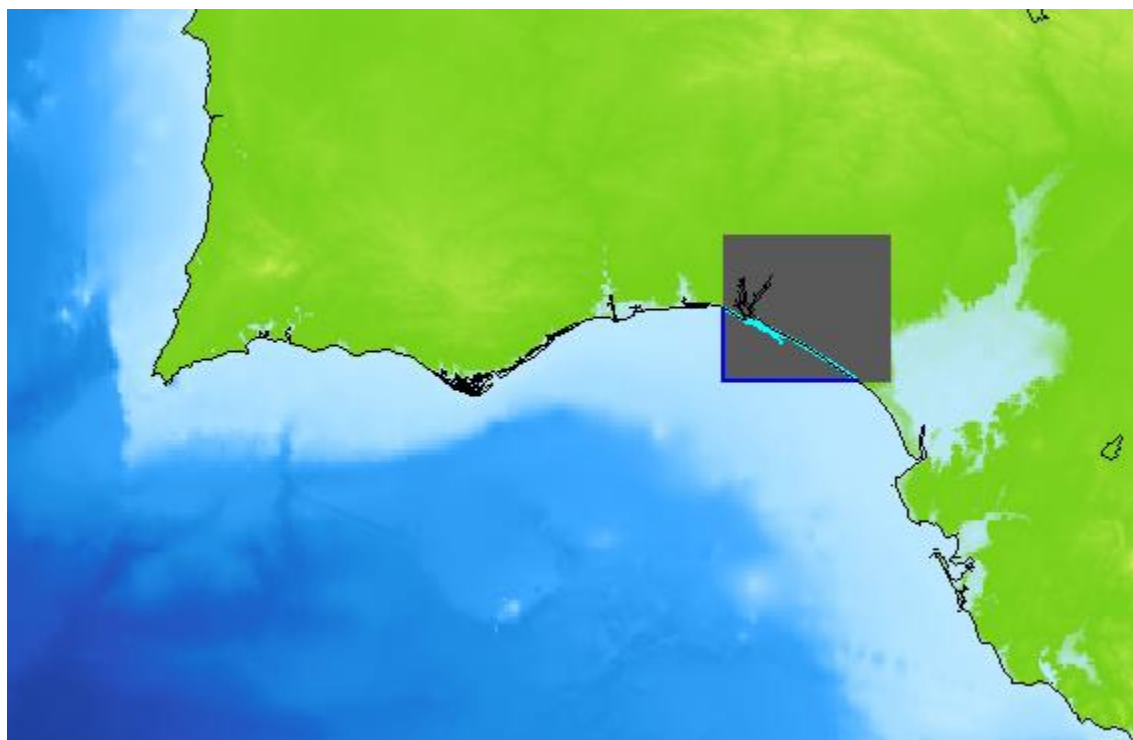


Figura 1-17. Malla de detalle en Huelva C

1.9.3 Huelva E

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 25	2933	1892	0.00025	0.00025	-6.685	36.728

Tabla 1-14. Parámetros de la malla de detalle de Huelva E

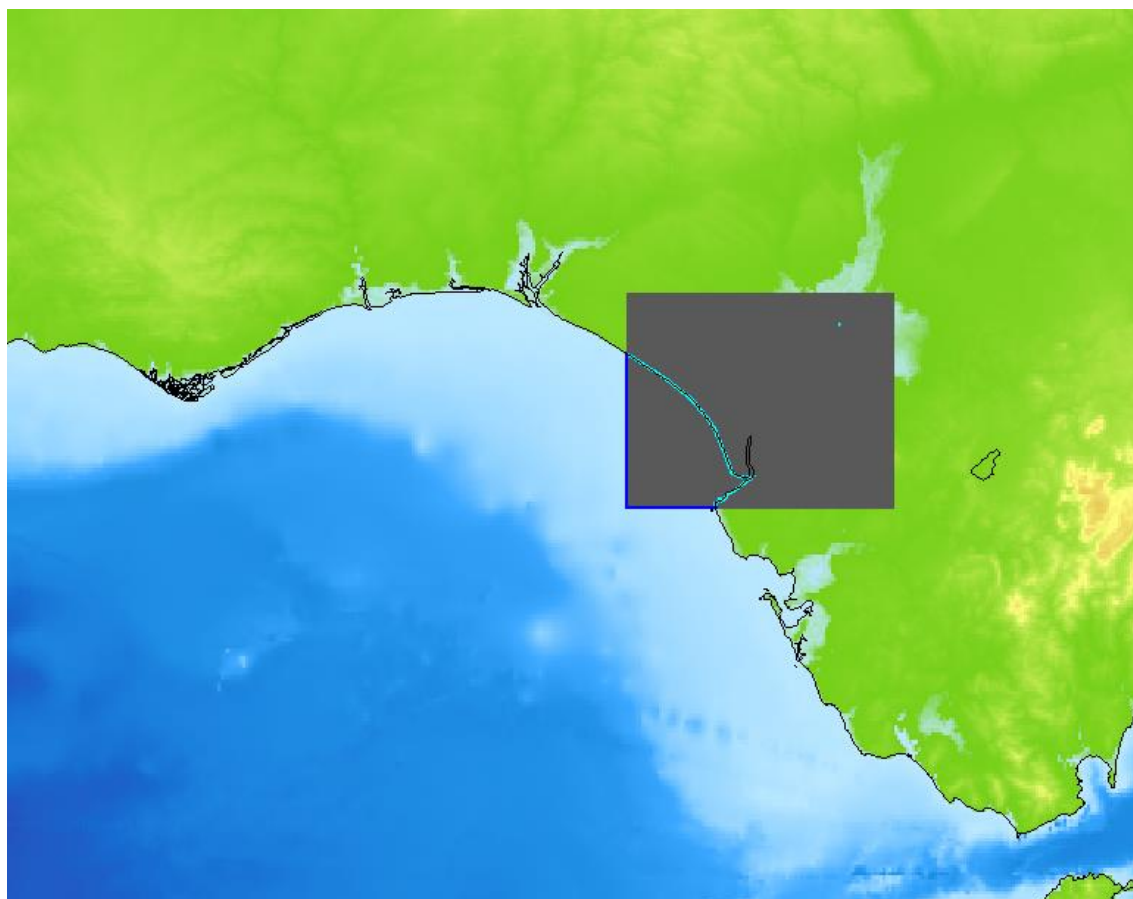


Figura 1-18. Malla de detalle en Huelva E

1.9.4 Cádiz W

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1200	800	0.0005	0.0005	-6.610	36.354

Tabla 1-15. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz W

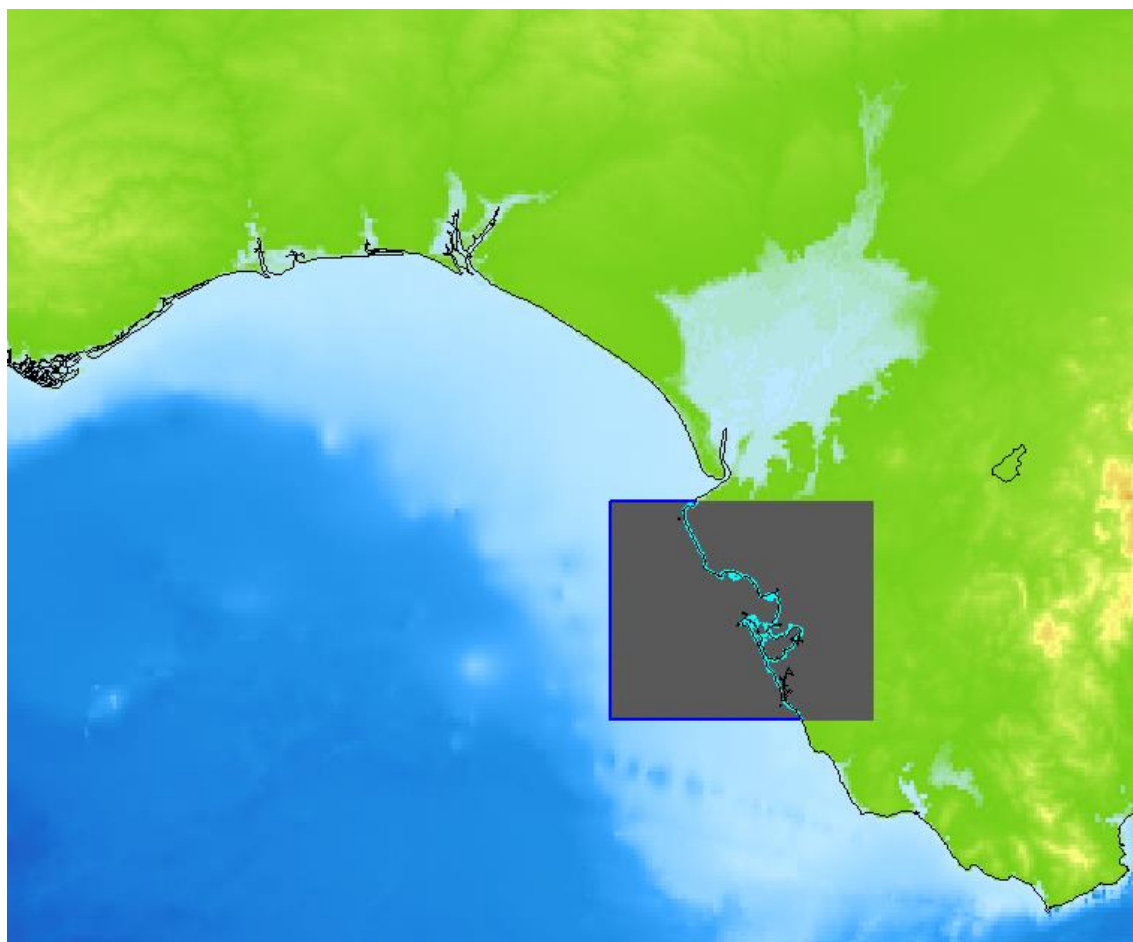


Figura 1-19. Malla de detalle en Cádiz W

1.9.5 Cádiz C

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1600	2000	0.0005	0.0005	-5.537	35.975

Tabla 1-16. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz C

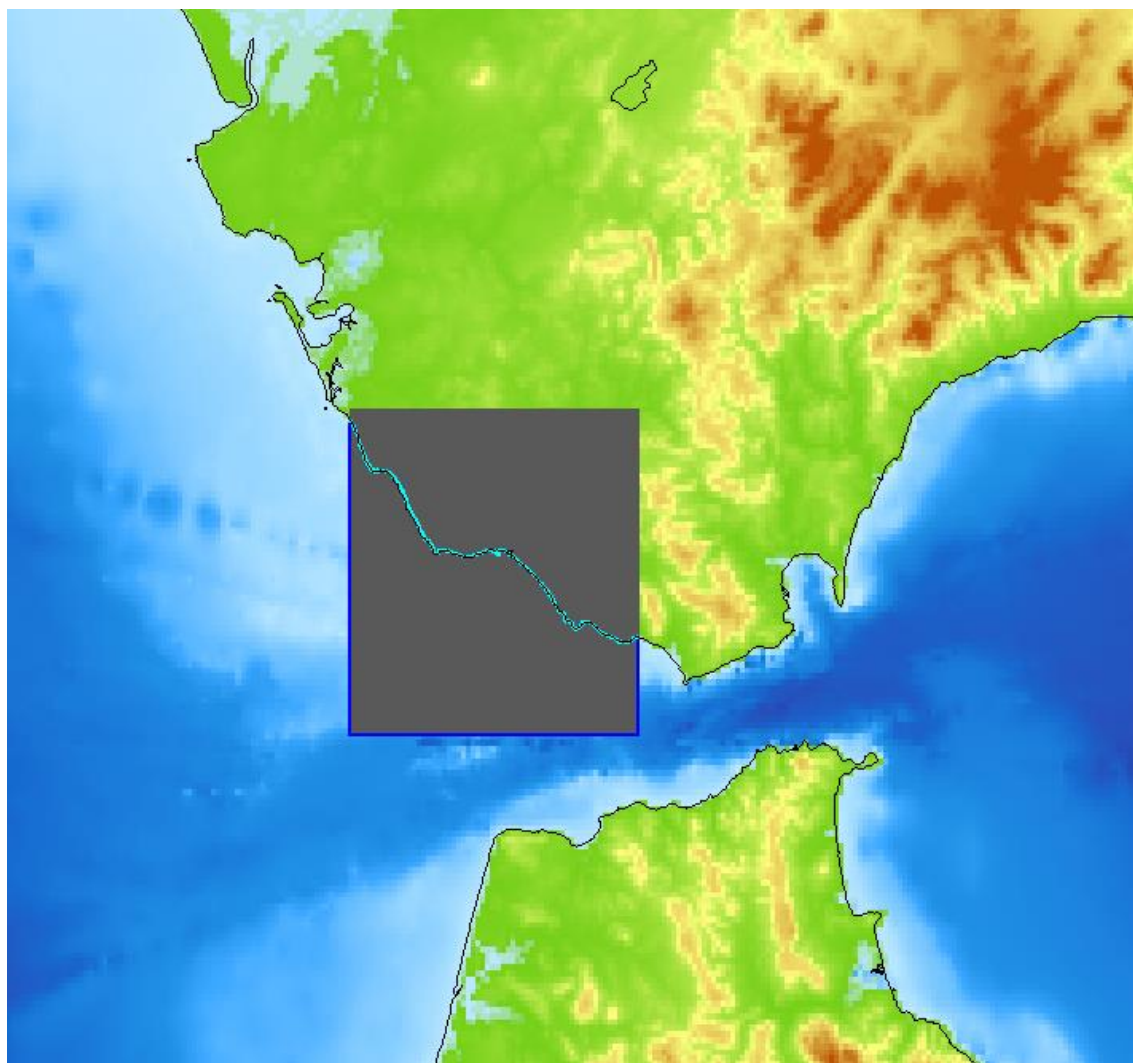


Figura 1-20. Malla de detalle en Cádiz C

1.9.6 Cádiz E1

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1200	1000	0.0005	0.0005	-5.777	35.748

Tabla 1-17. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz E1

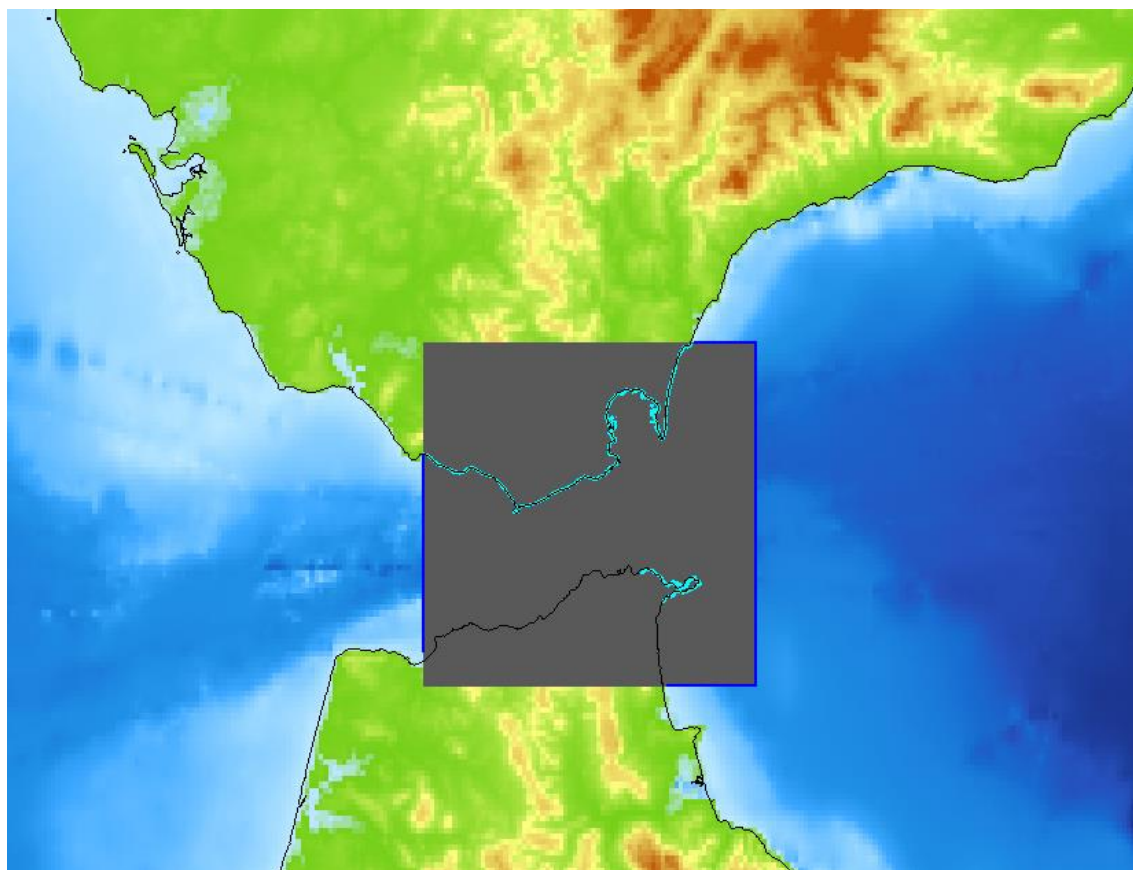


Figura 1-21. Malla de detalle en Cádiz E1

1.9.7 Cádiz E2

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1200	800	0.0005	0.0005	-6.610	36.354

Tabla 1-18. Parámetros de la malla de detalle de Cádiz E2

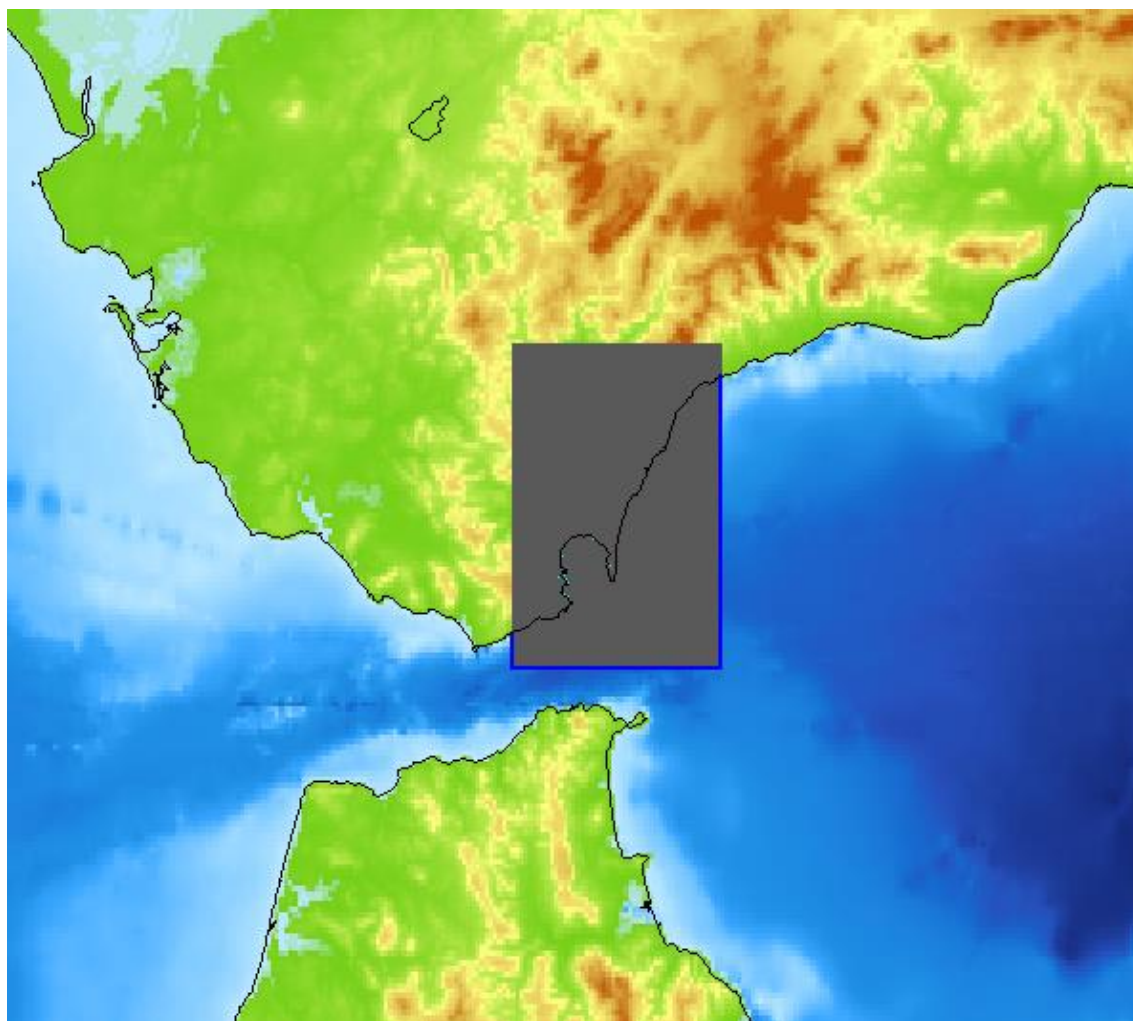


Figura 1-22. Malla de detalle en Cádiz E2

1.9.8 Málaga

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	800	600	0.0005	0.0005	-4.223	36.542

Tabla 1-19. Parámetros de la malla de detalle de Málaga

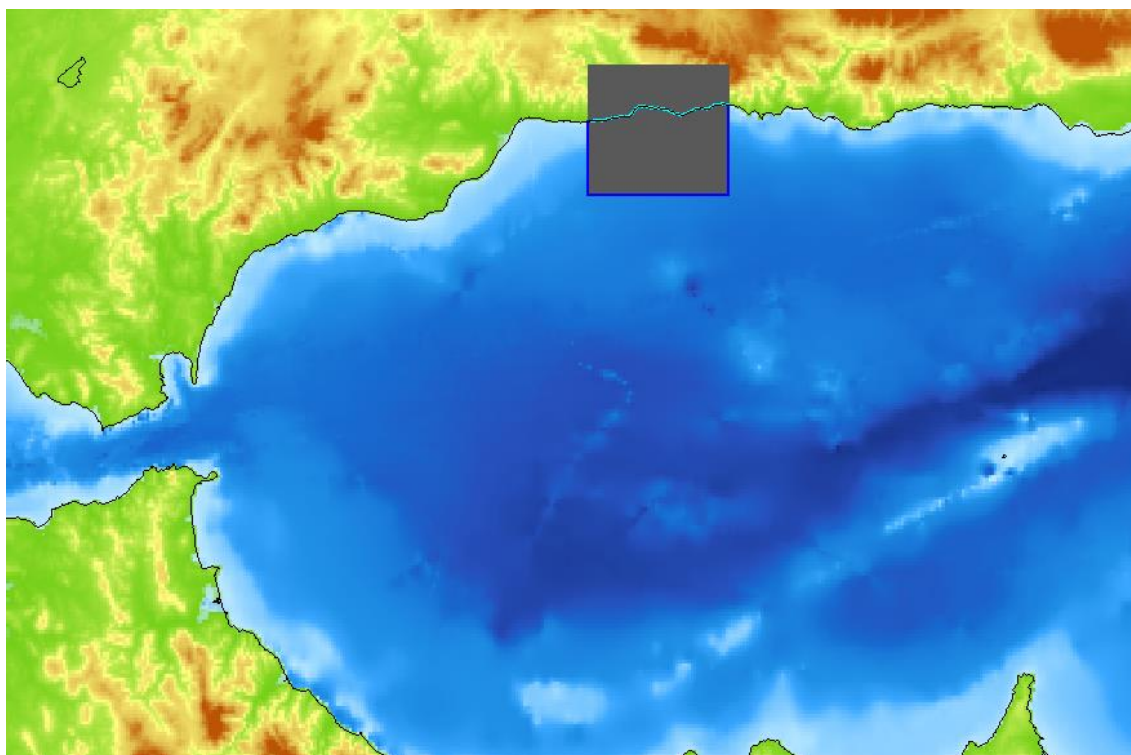


Figura 1-23. Malla de detalle en Málaga

1.9.9 Melilla

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	800	800	0.0005	0.0005	-3.118	35.176

Tabla 1-20. Parámetros de la malla de detalle de Melilla

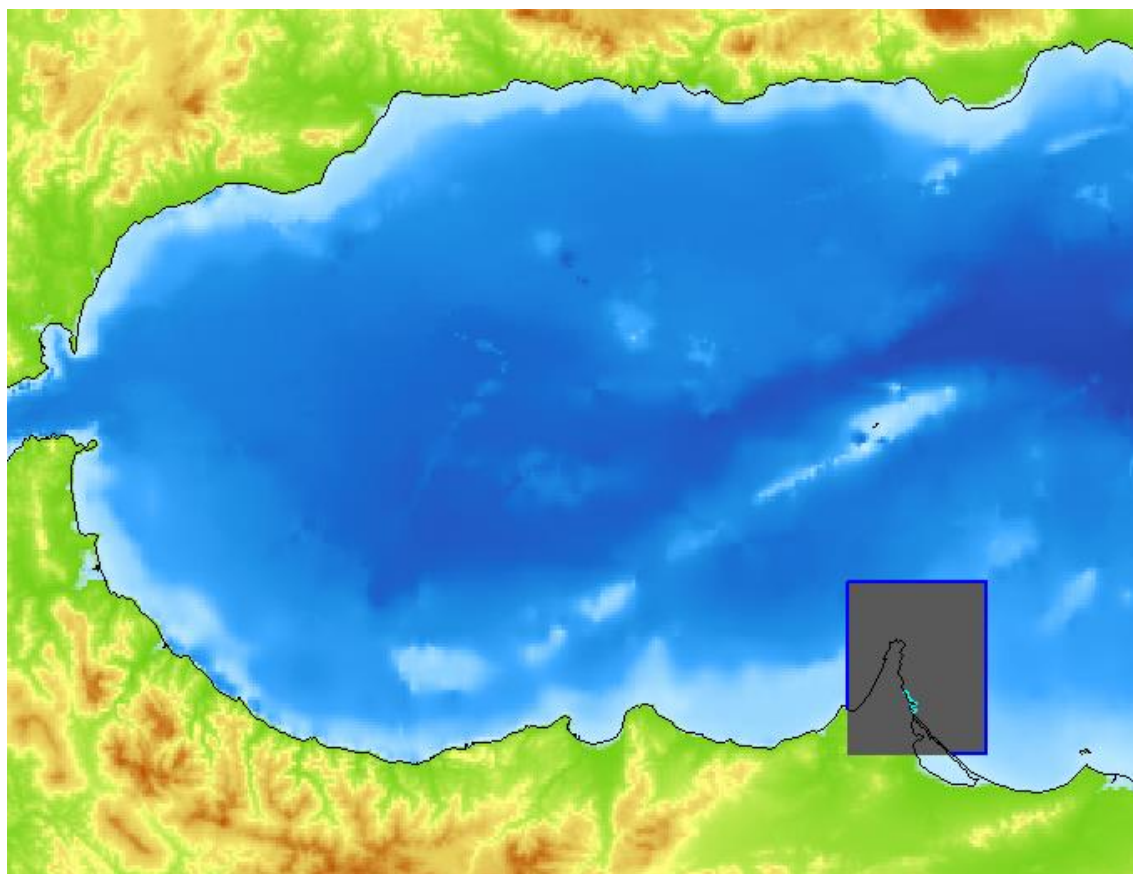


Figura 1-24. Malla de detalle en Melilla

1.9.10 Murcia

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1800	1200	0.0005	0.0005	-0.856	38.0517

Tabla 1-21. Parámetros de la malla de detalle de Murcia

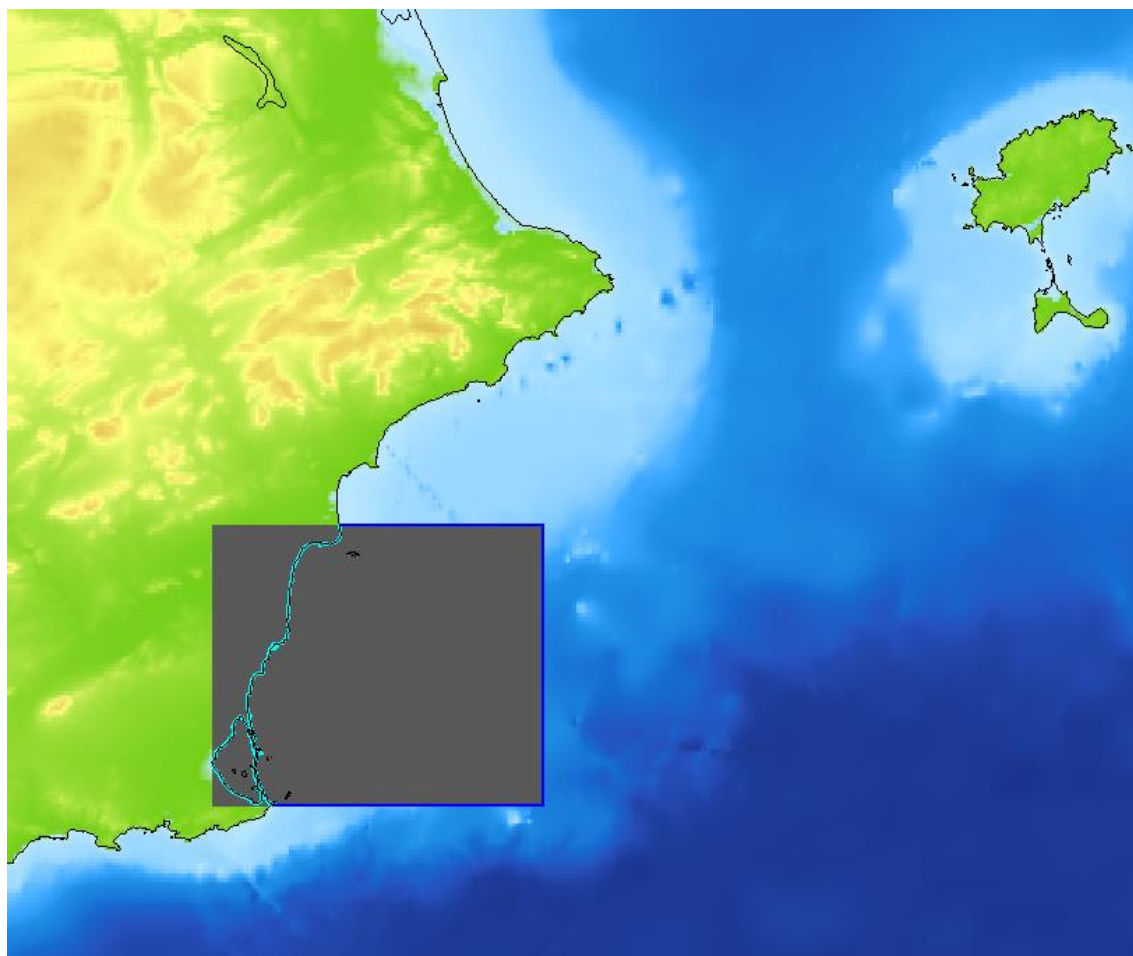


Figura 1-25. Malla de detalle en Murcia

1.9.11 Alicante1

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1000	600	0.0005	0.0005	-0.639	38.312

Tabla 1-22. Parámetros de la malla de detalle de Alicante1

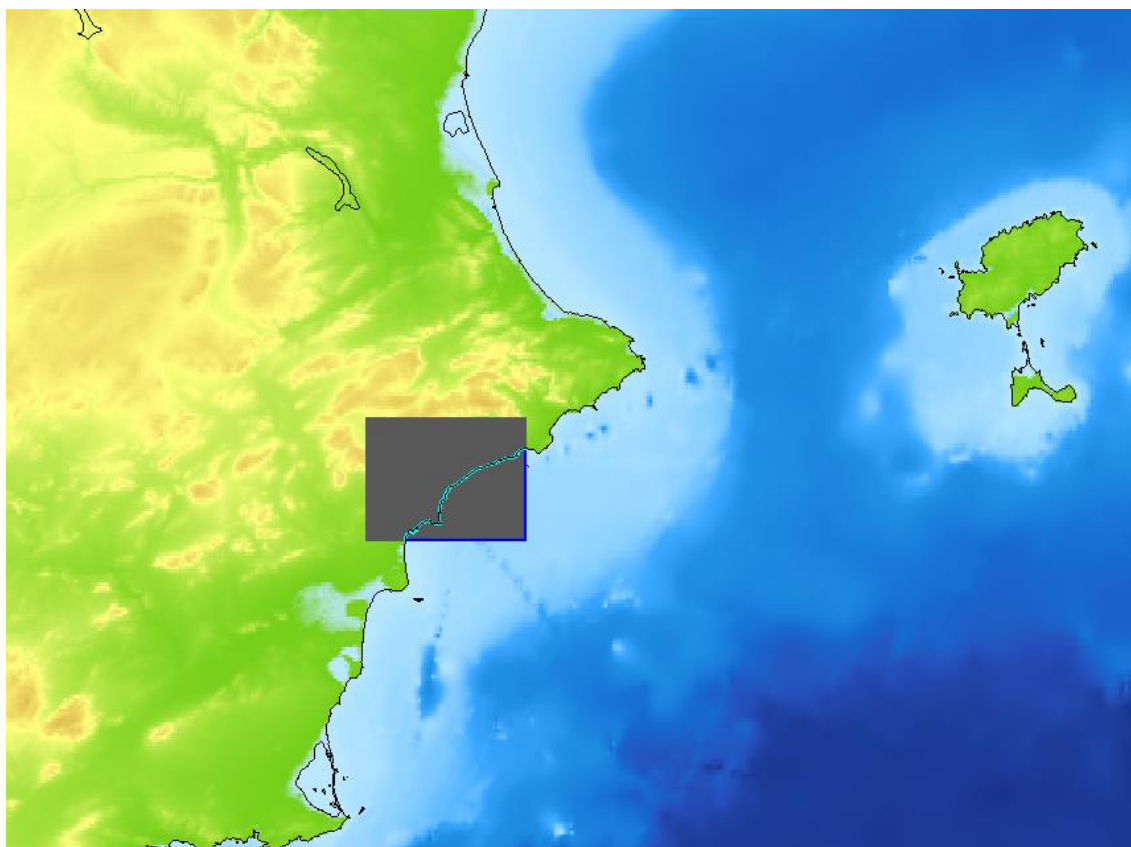


Figura 1-26. Malla de detalle en Alicante1

1.9.12 Alicante2

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	2000	1200	0.0005	0.0005	-0.881	38.0517

Tabla 1-23. Parámetros de la malla de detalle de Alicante2

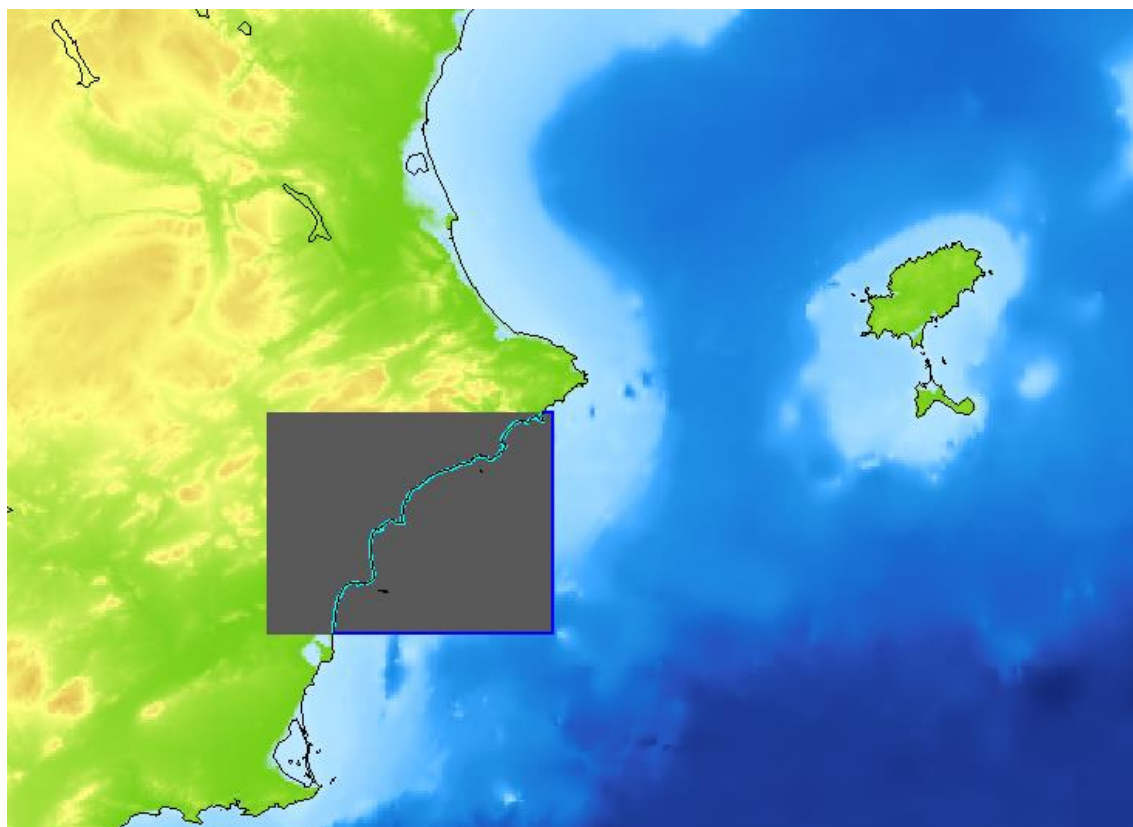


Figura 1-27. Malla de detalle en Alicante2

1.9.13 Lanzarote

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1090	888	0.0005	0.0005	-13.800	29.045

Tabla 1-24. Parámetros de la malla de detalle de Lanzarote

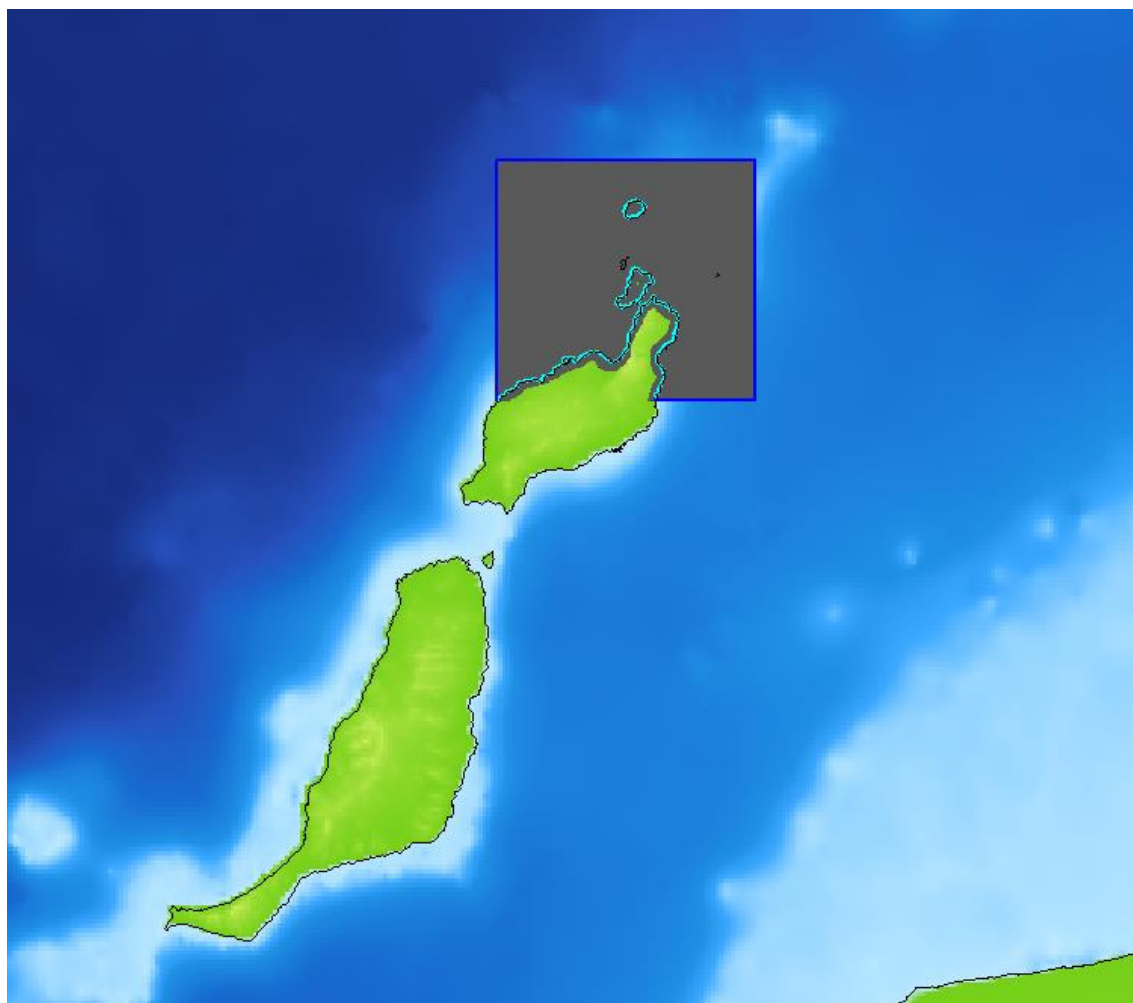


Figura 1-28. Malla de detalle en Lanzarote

1.9.14 El Hierro

	Nº celdas X	Nº celdas Y	ΔX (°)	ΔY (°)	X_0 (m)	Y_0 (m)
Detalle 50	1200	1000	0.0005	0.0005	-18.328	27.492

Tabla 1-25. Parámetros de la malla de detalle de El Hierro

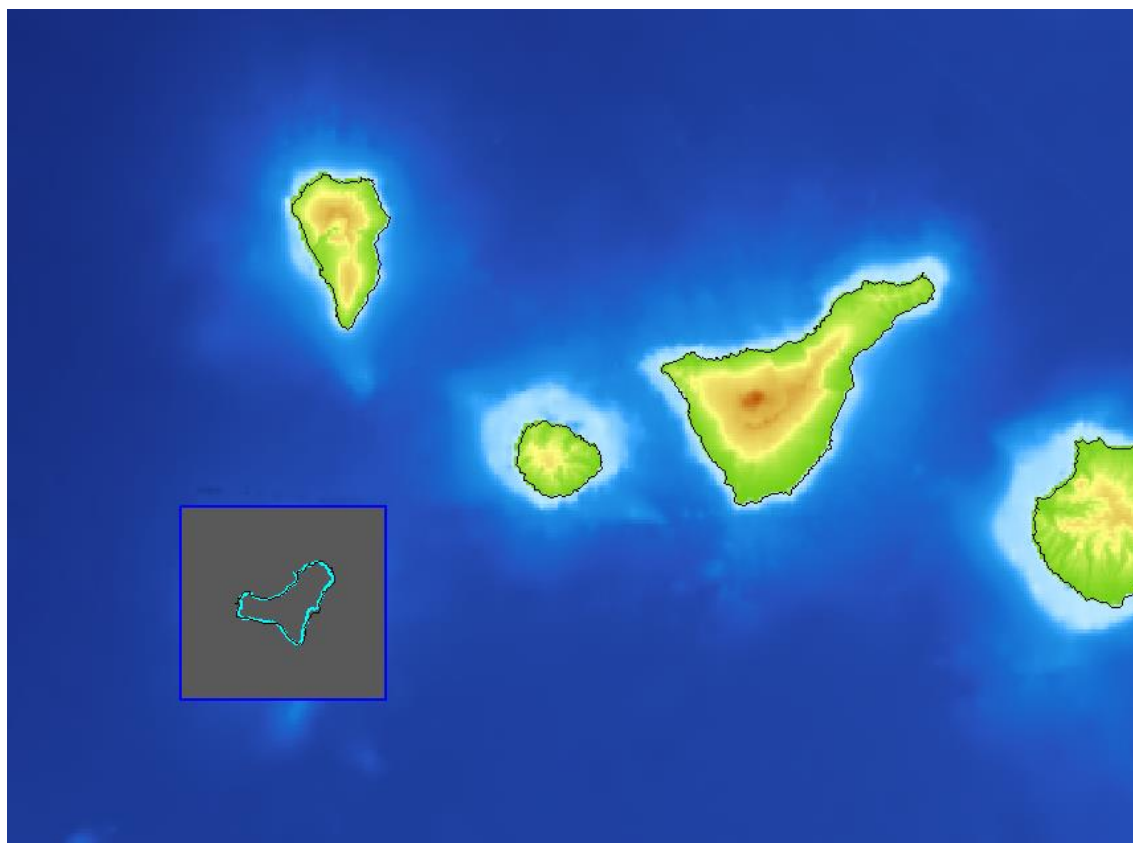


Figura 1-29. Malla de detalle en El Hierro

Apéndice IV. Planos a escala 1:25.000

Apéndice V. Evolución del nivel del mar en puntos de interés

EVOLUCIÓN DEL NIVEL EN PUNTOS DE INTERÉS

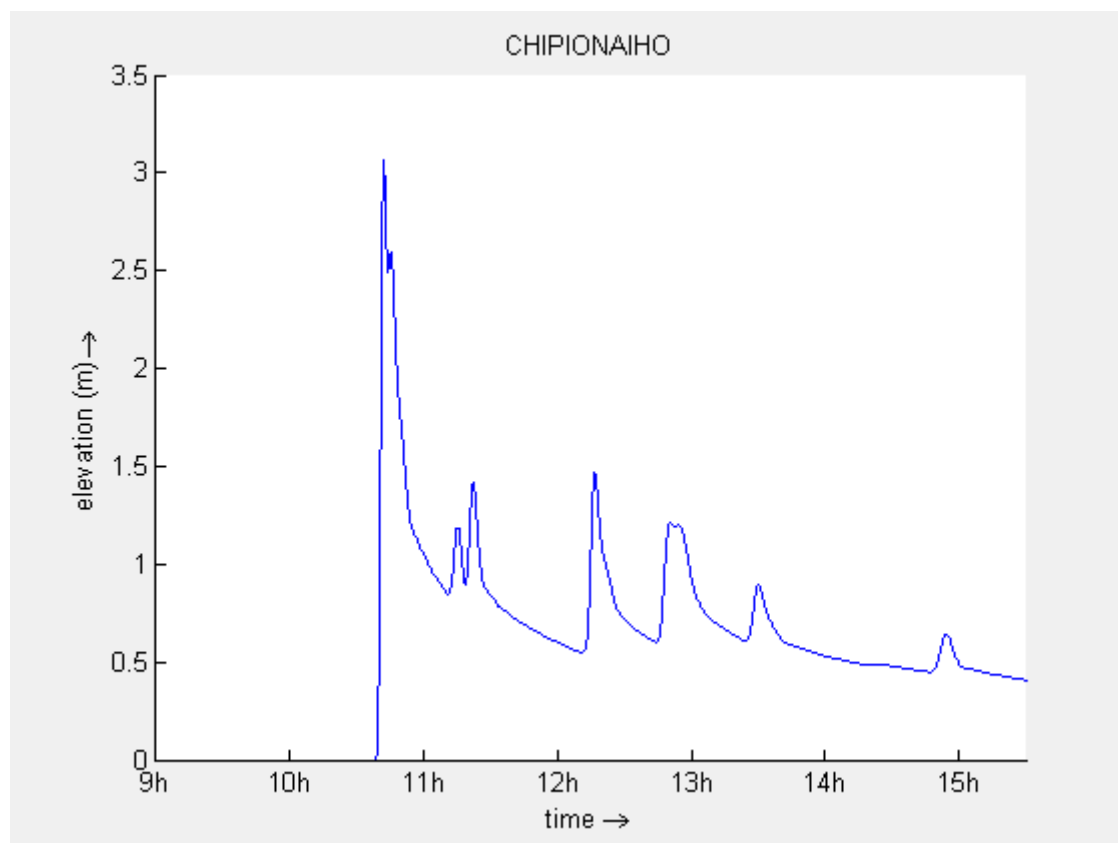
Se presentan en este apéndice las series temporales de nivel correspondientes a puntos de las mallas de simulación coincidentes con la localización de mareógrafos cercanos a zonas críticas de la costa española, entendidas como aquellas donde pueden alcanzarse las mayores elevaciones del nivel asociadas al efecto de un tsunami.

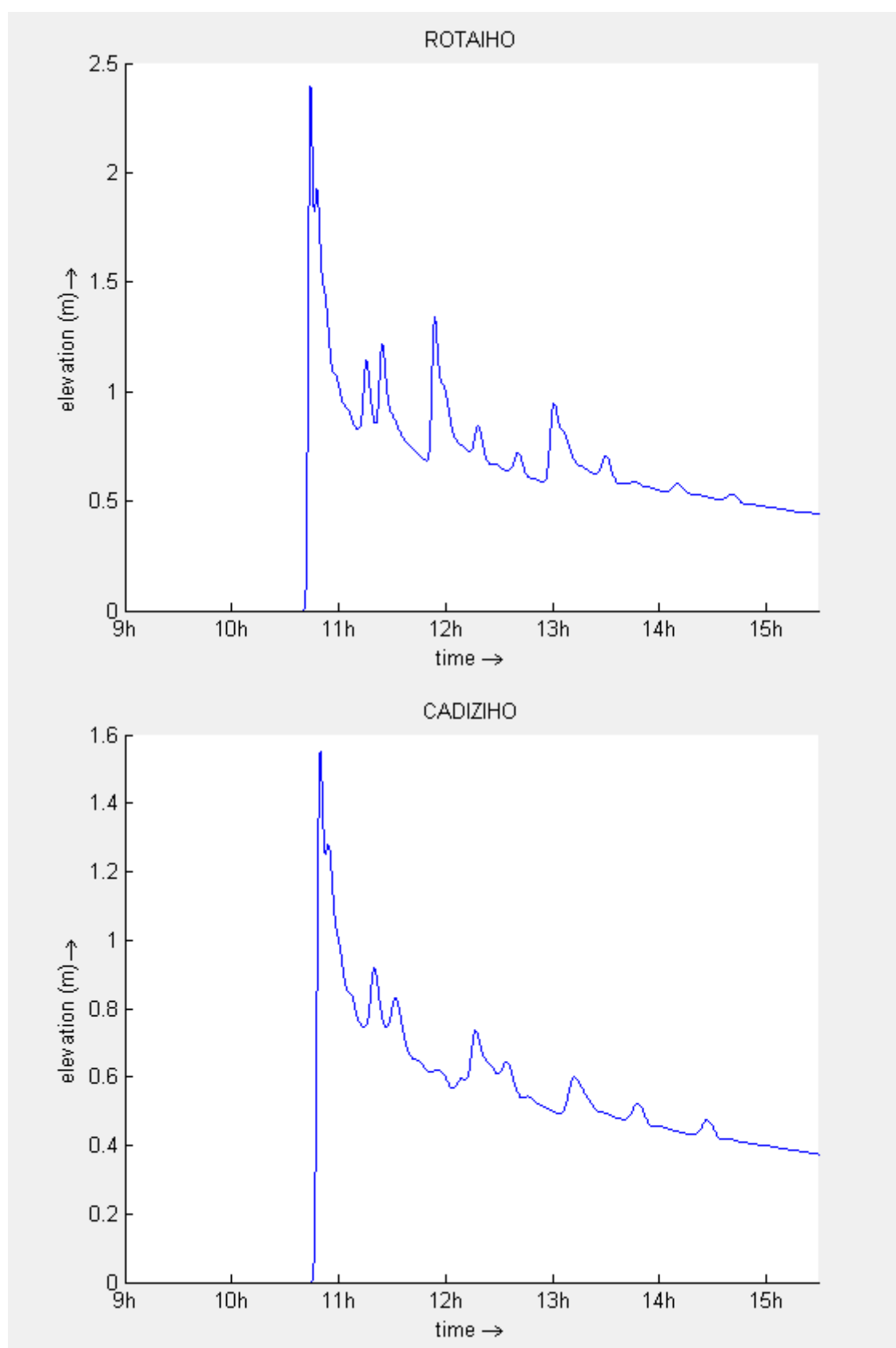
Los niveles aquí mostrados se corresponden con los obtenidos en las simulaciones numéricas realizadas de los tsunamis que generan las mayores elevaciones del nivel del mar:

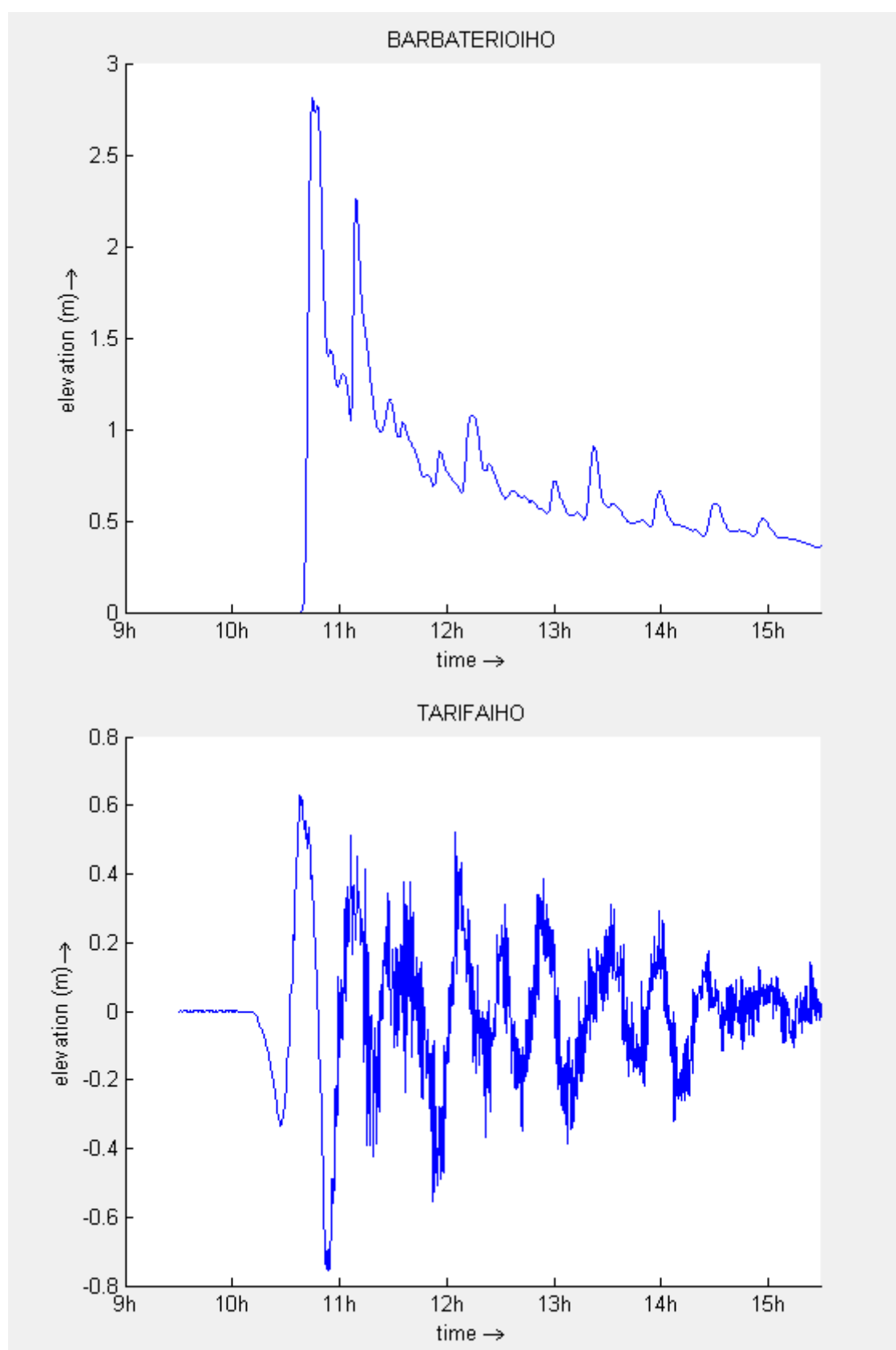
- Tsunami generado en la falla de Marqués de Pombal
- Tsunami generado en la falla de Horseshoe
- Tsunami generado en la falla de Alborán Sur
- Tsunami generado en la falla de Jebha
- Tsunami generado en la falla de Crevillente
- Tsunami generado en la falla de Santa Pola
- Tsunami generado en la falla de La Marina

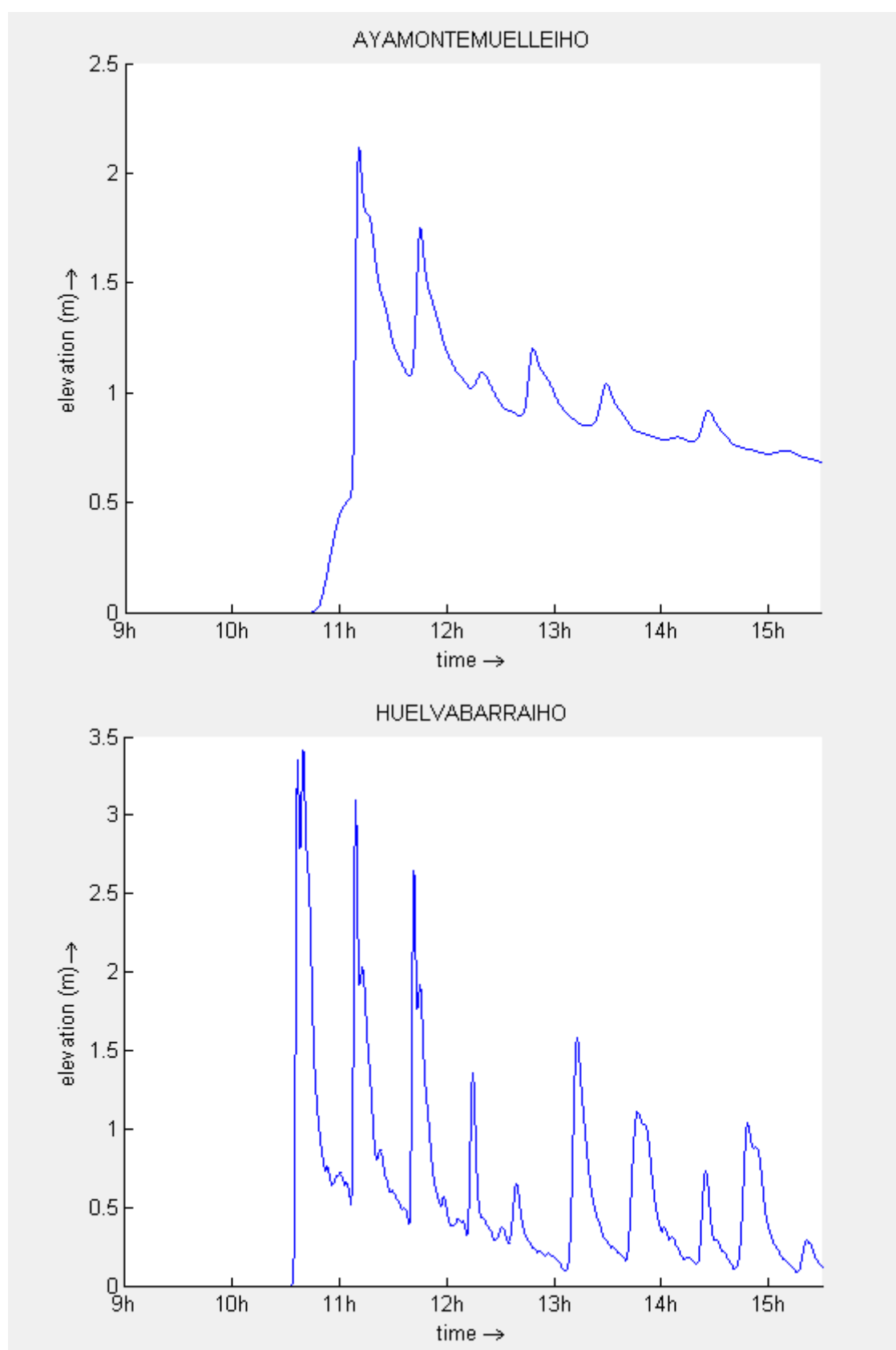
Tsunami generado en la falla de Marqués de Pombal

Andalucía

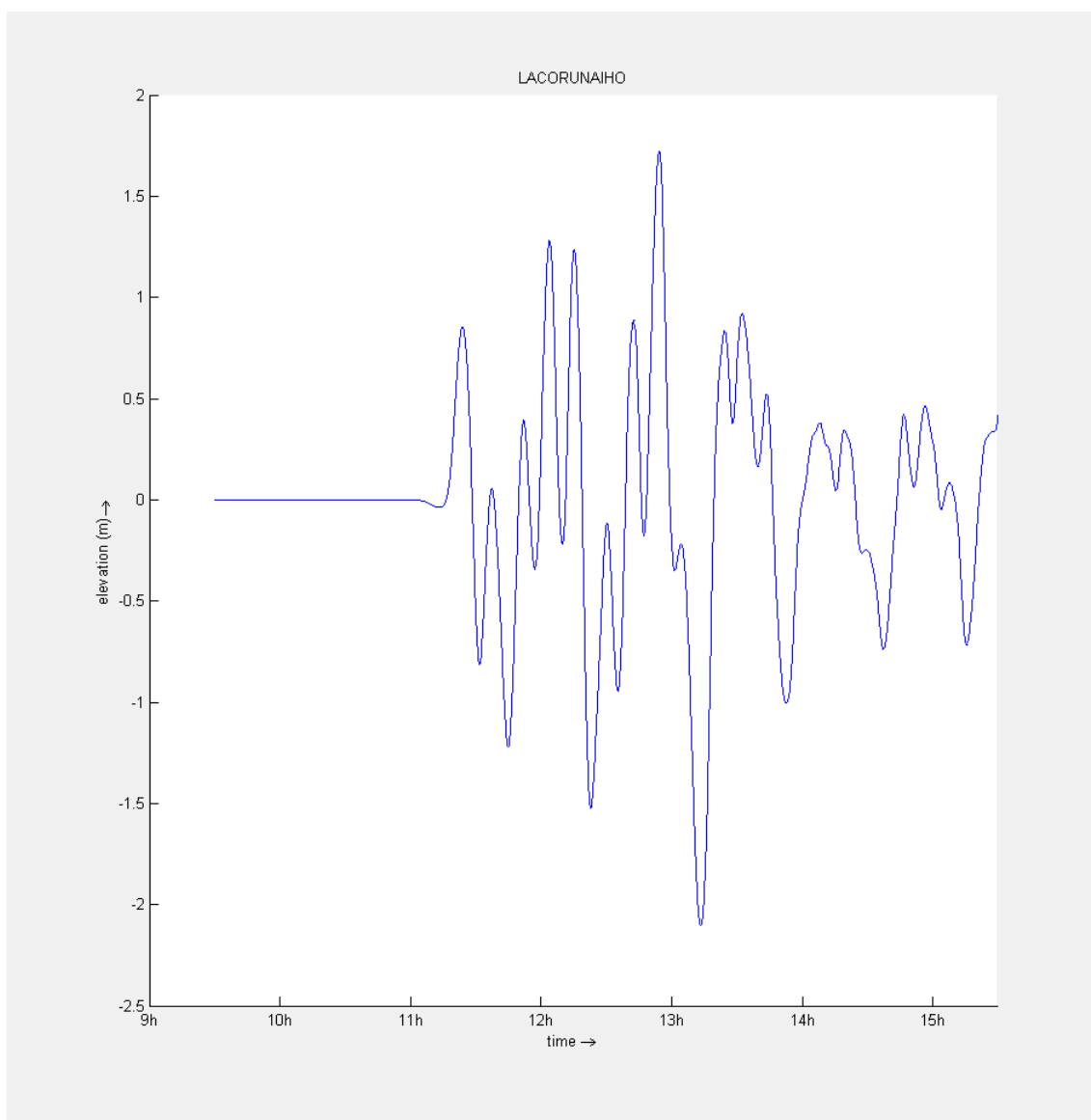


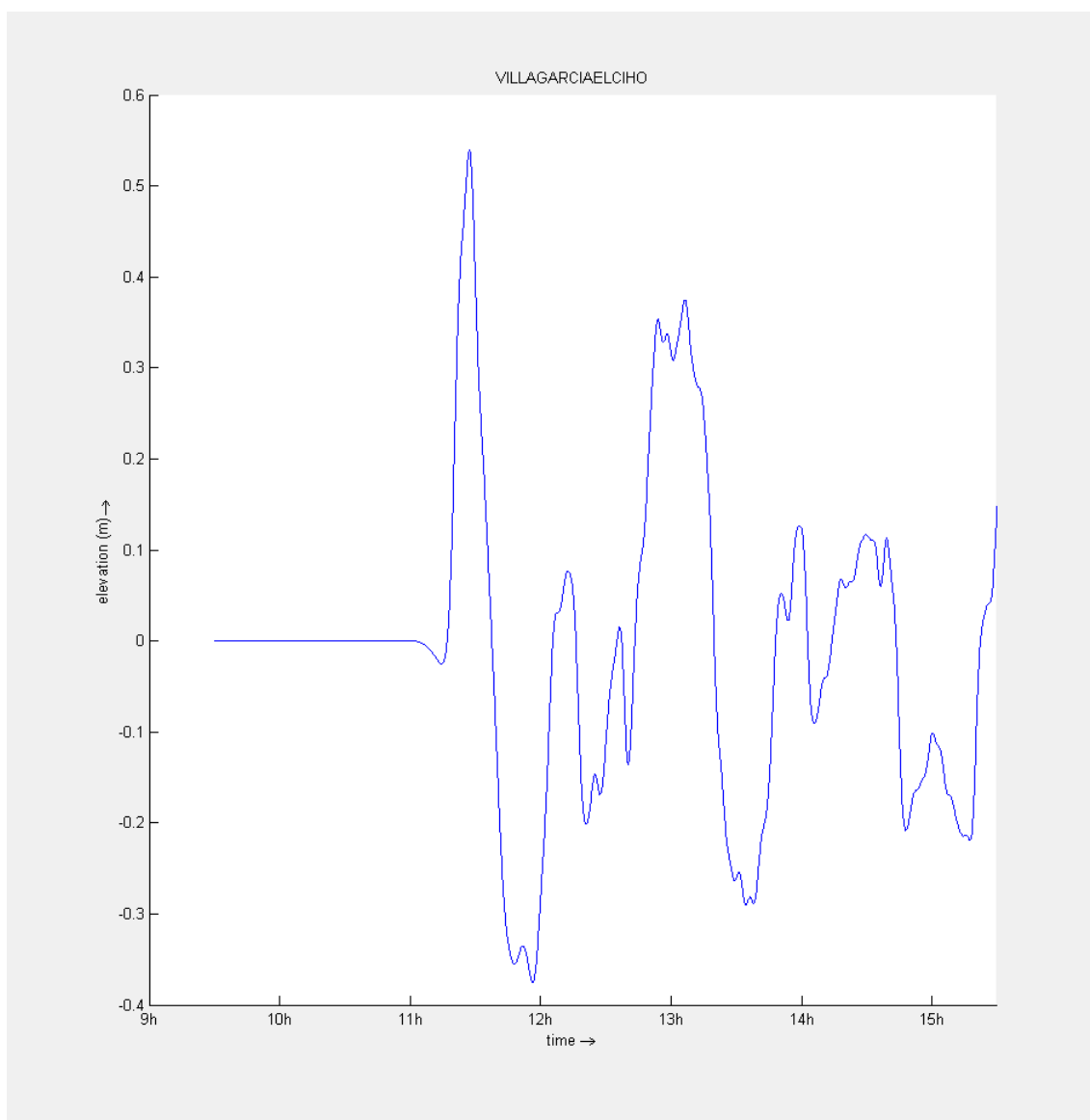


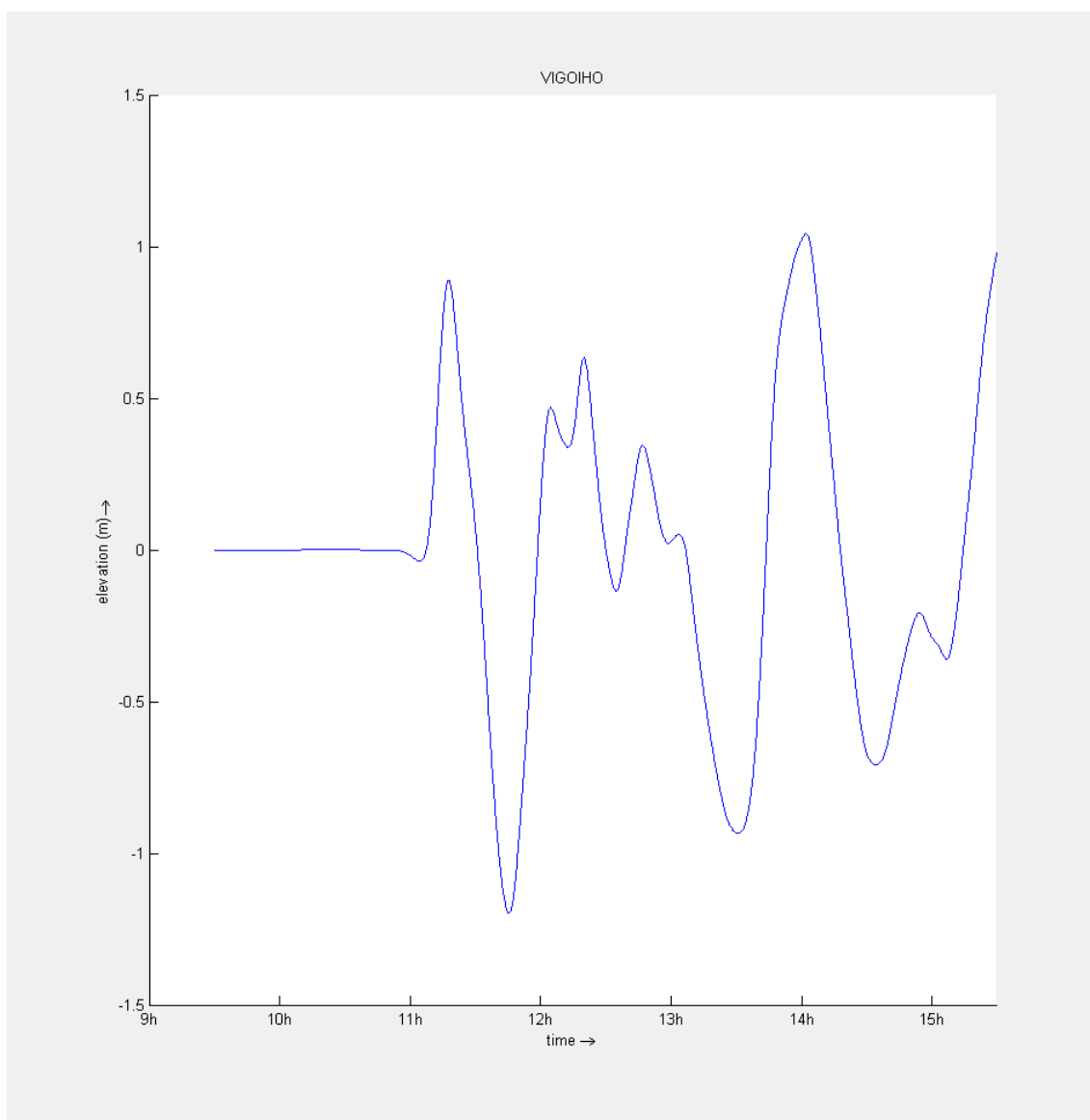


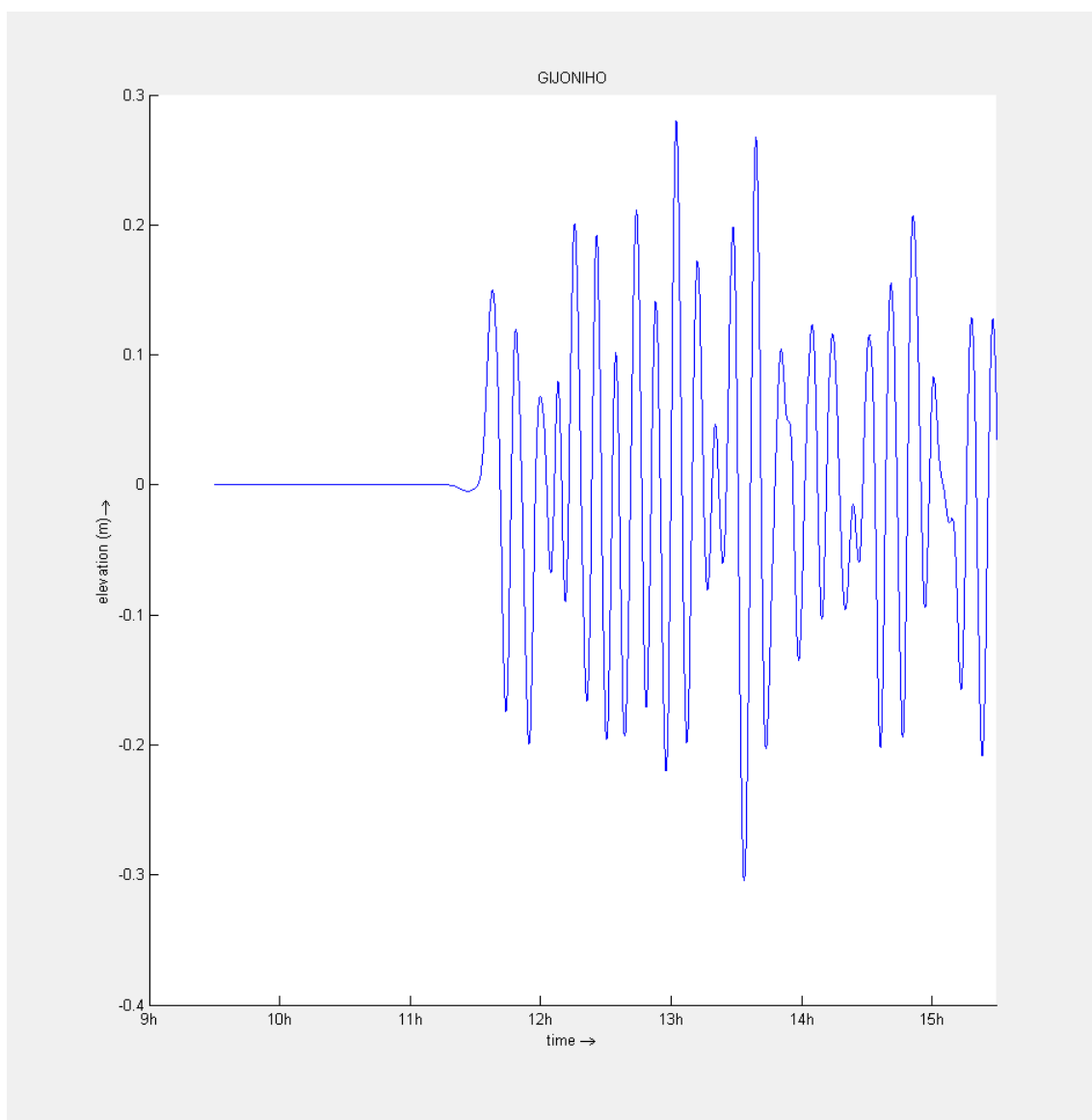


Galicia



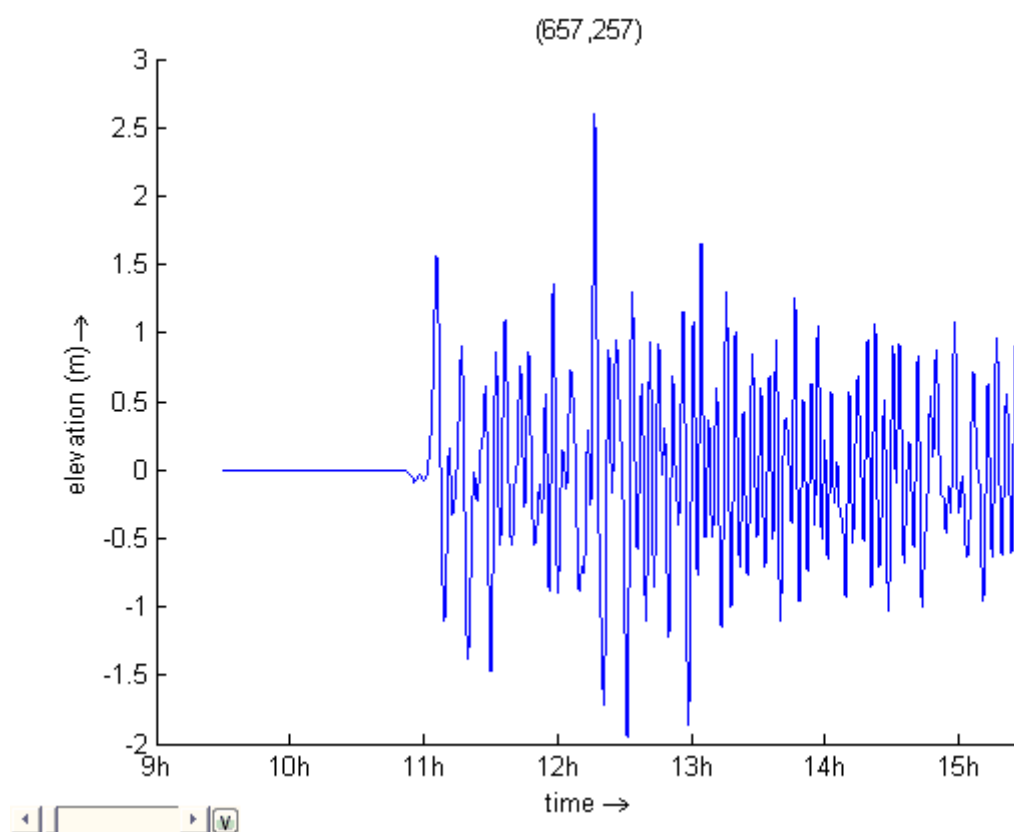




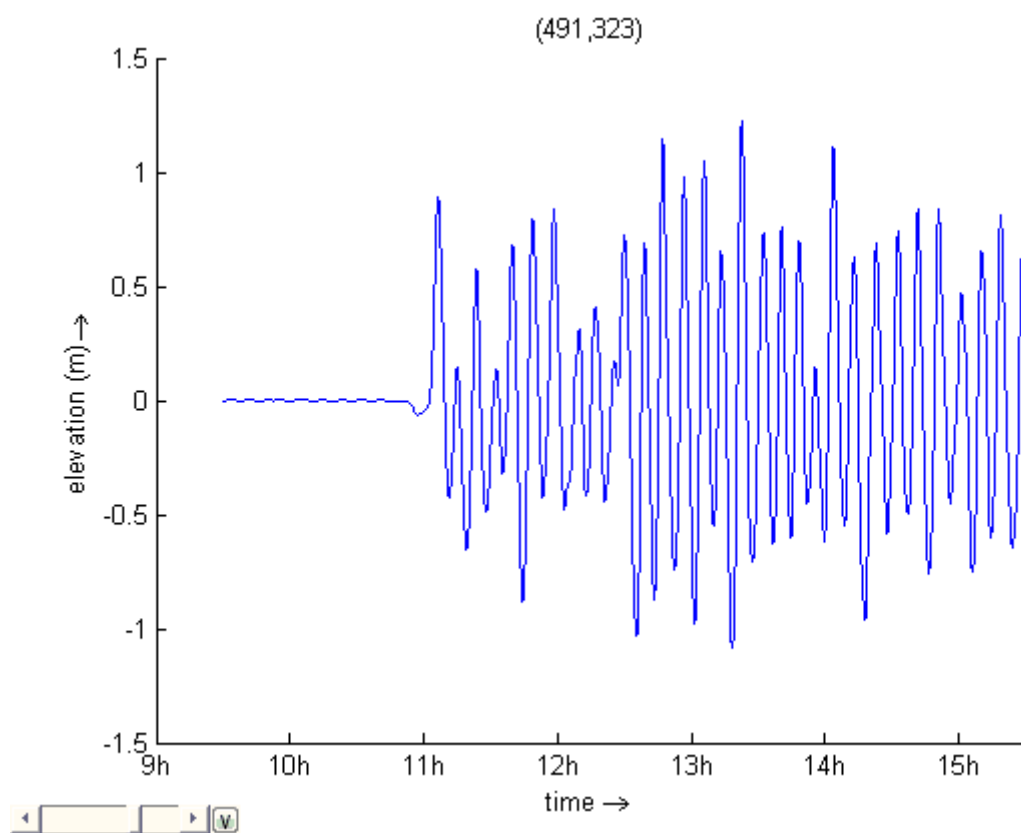


Islas Canarias

Puerto de La Luz (Las Palmas)

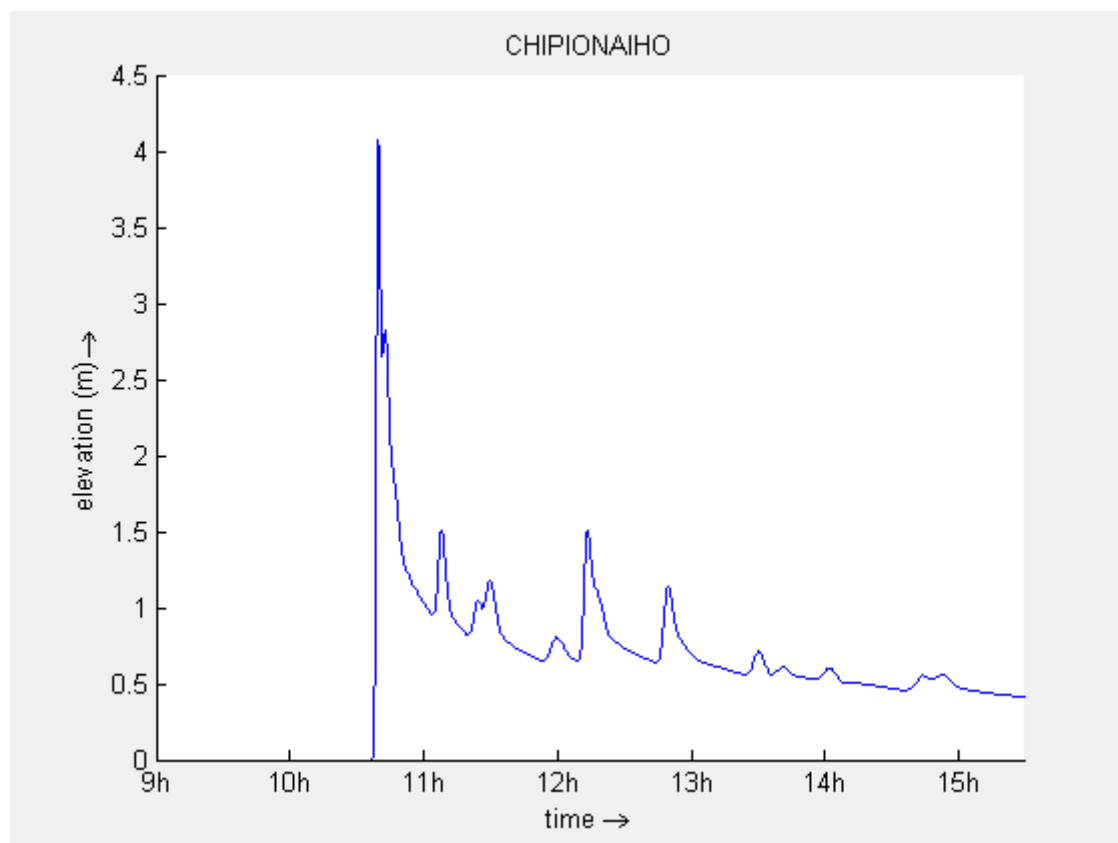


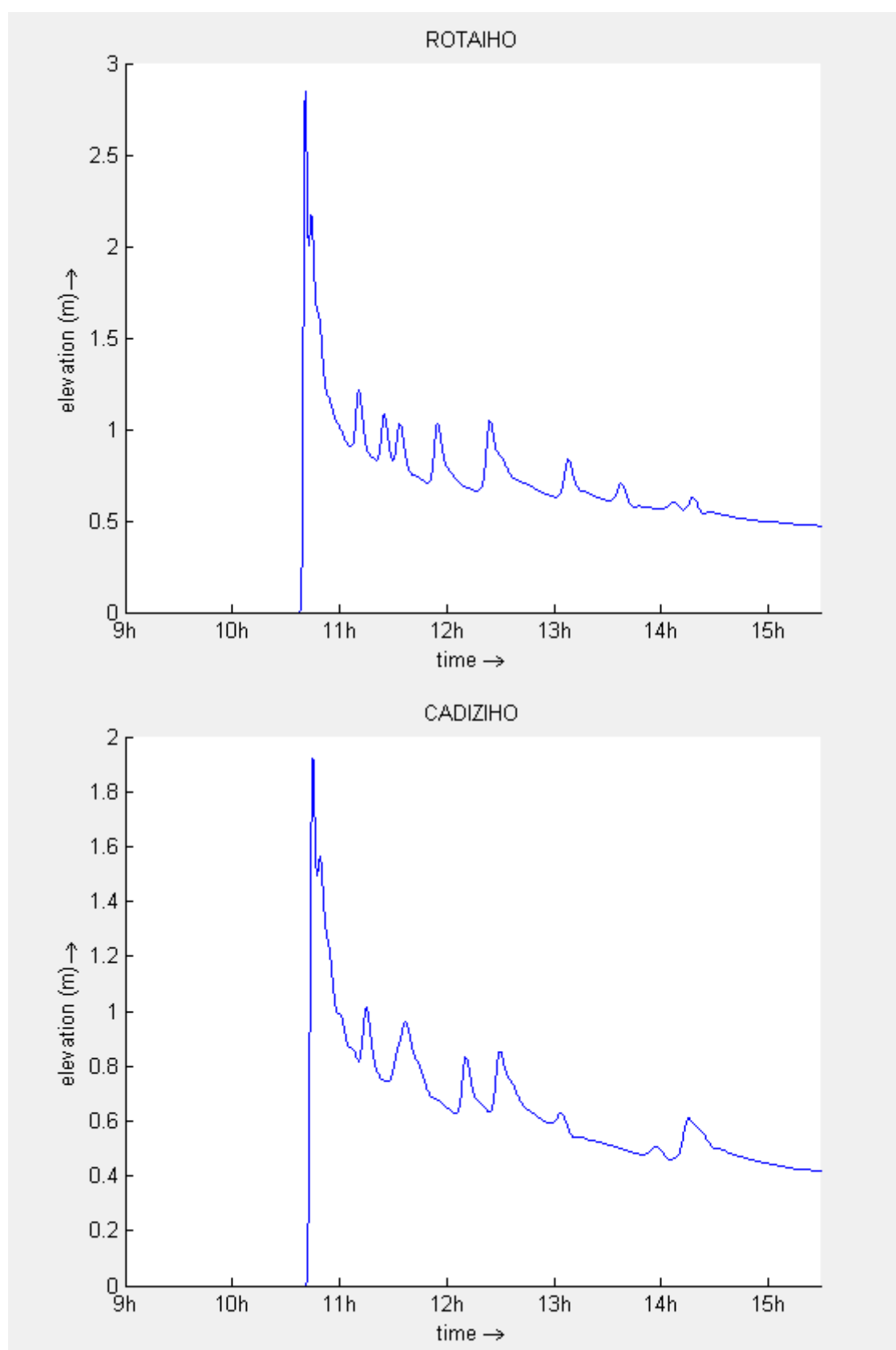
Santa Cruz de Tenerife

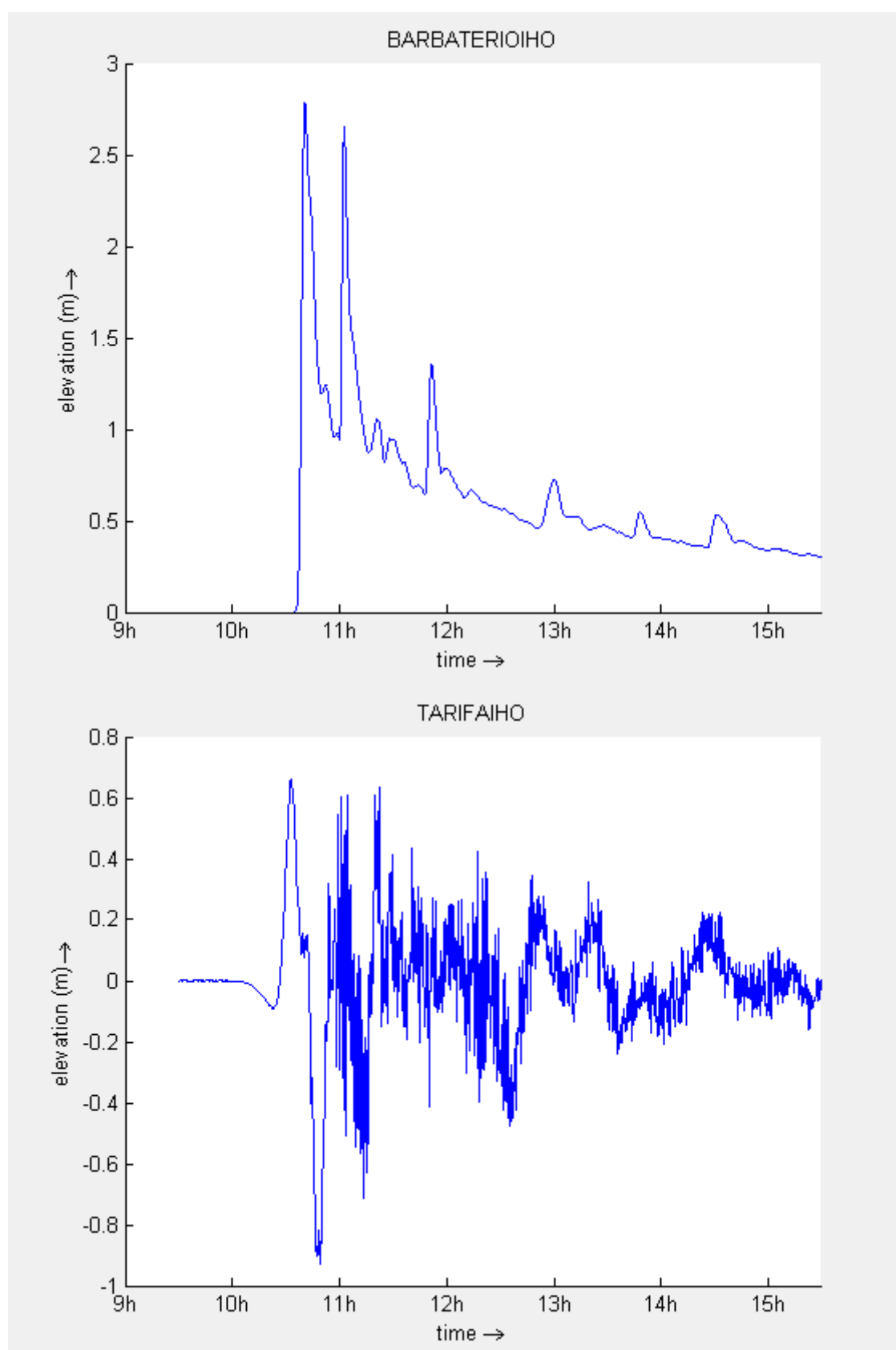


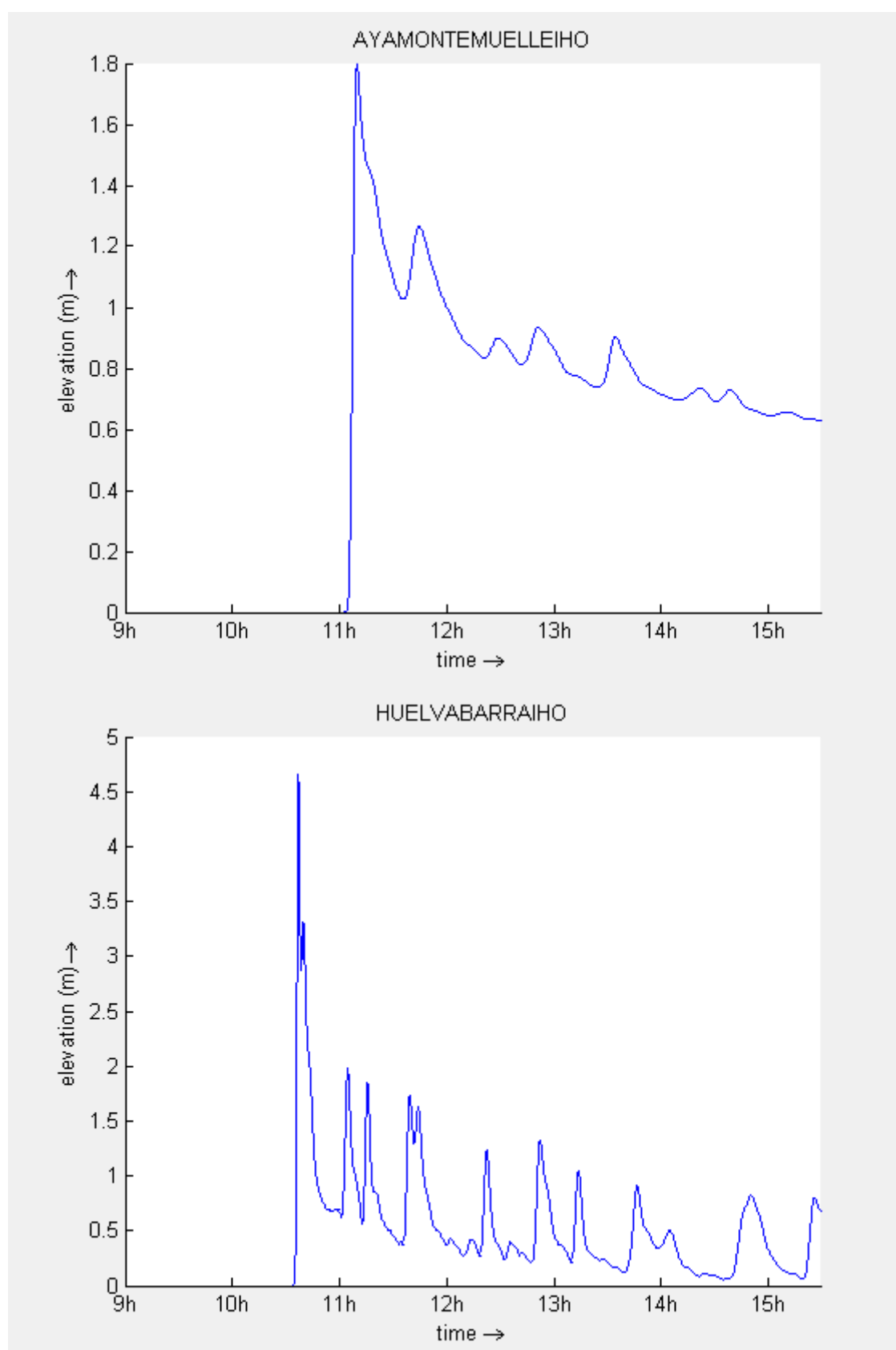
Tsunami generado en la falla de Horseshoe

Andalucía



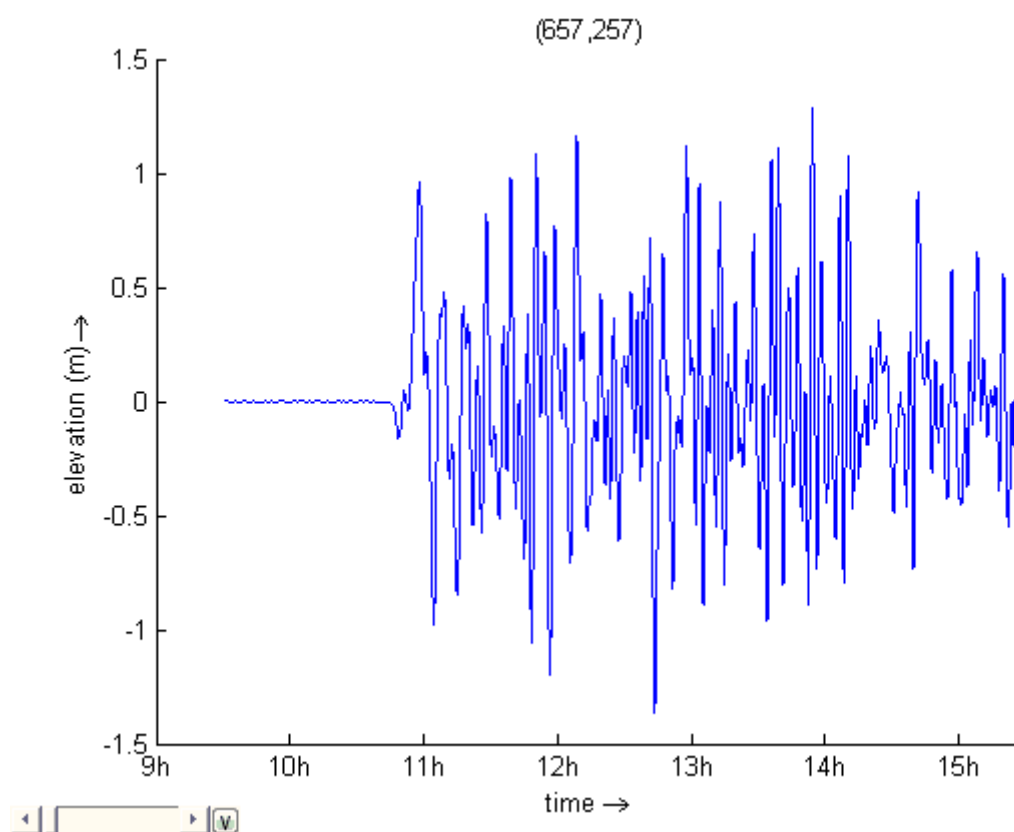




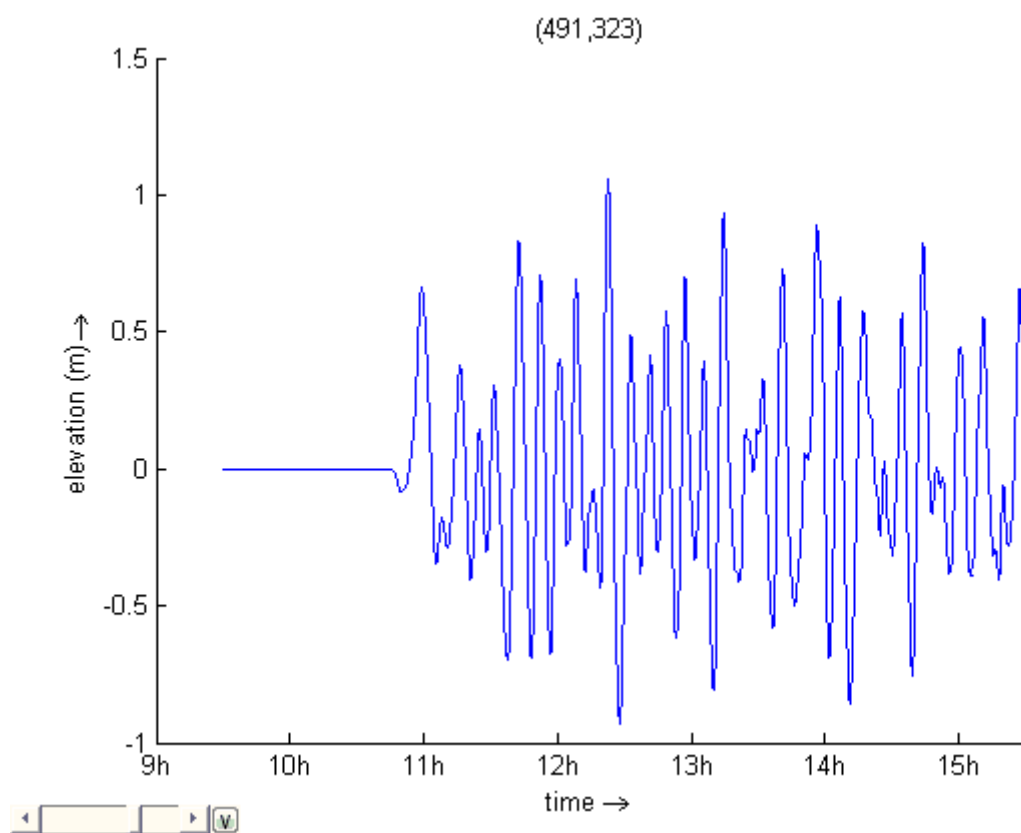


Islas Canarias

Puerto de La Luz (Las Palmas)

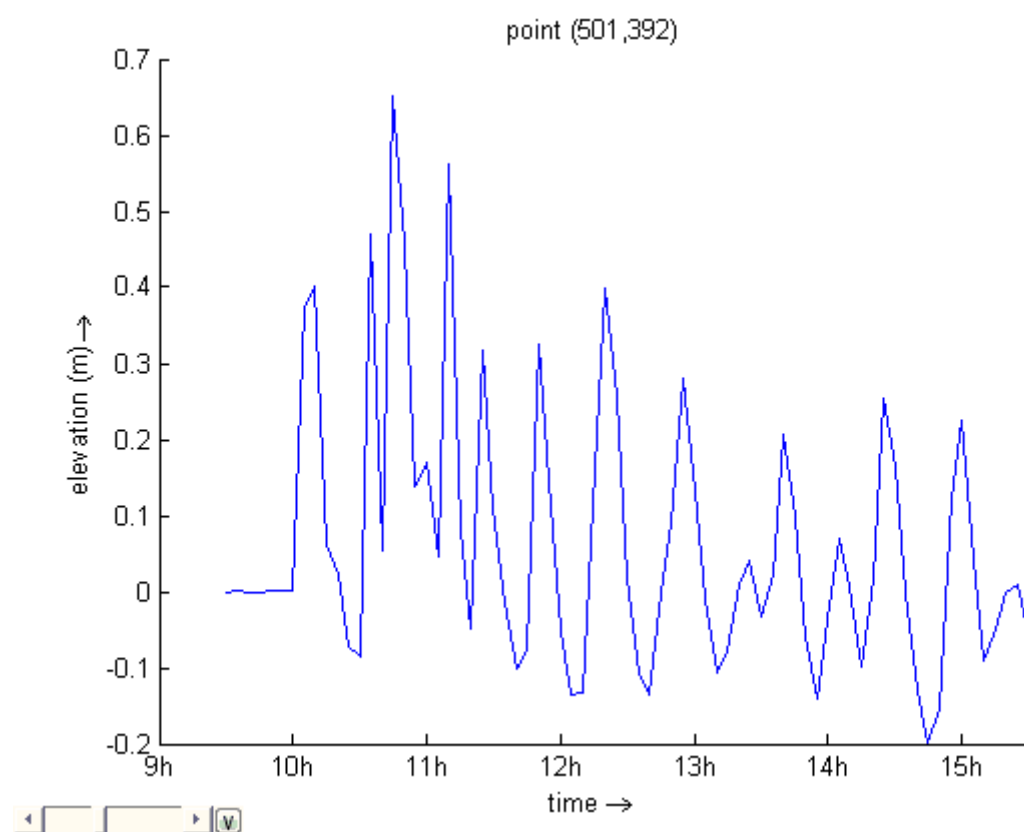


Santa Cruz de Tenerife

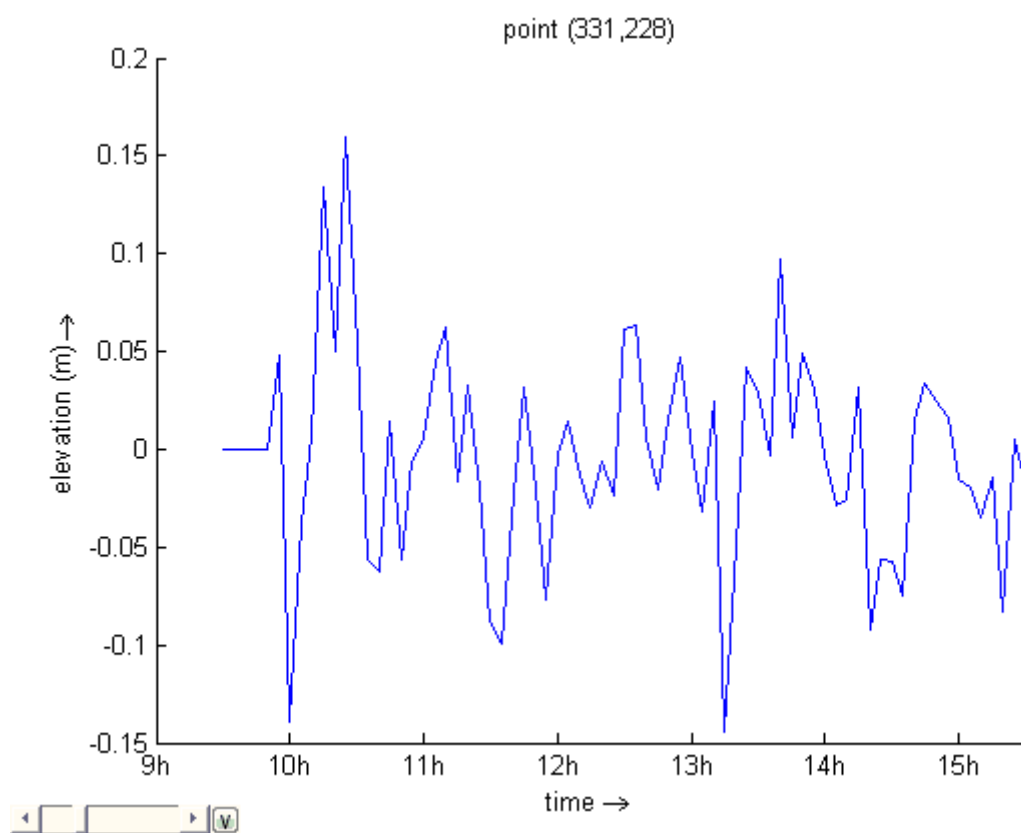


Tsunami generado en la falla de Alborán Sur

Andalucía

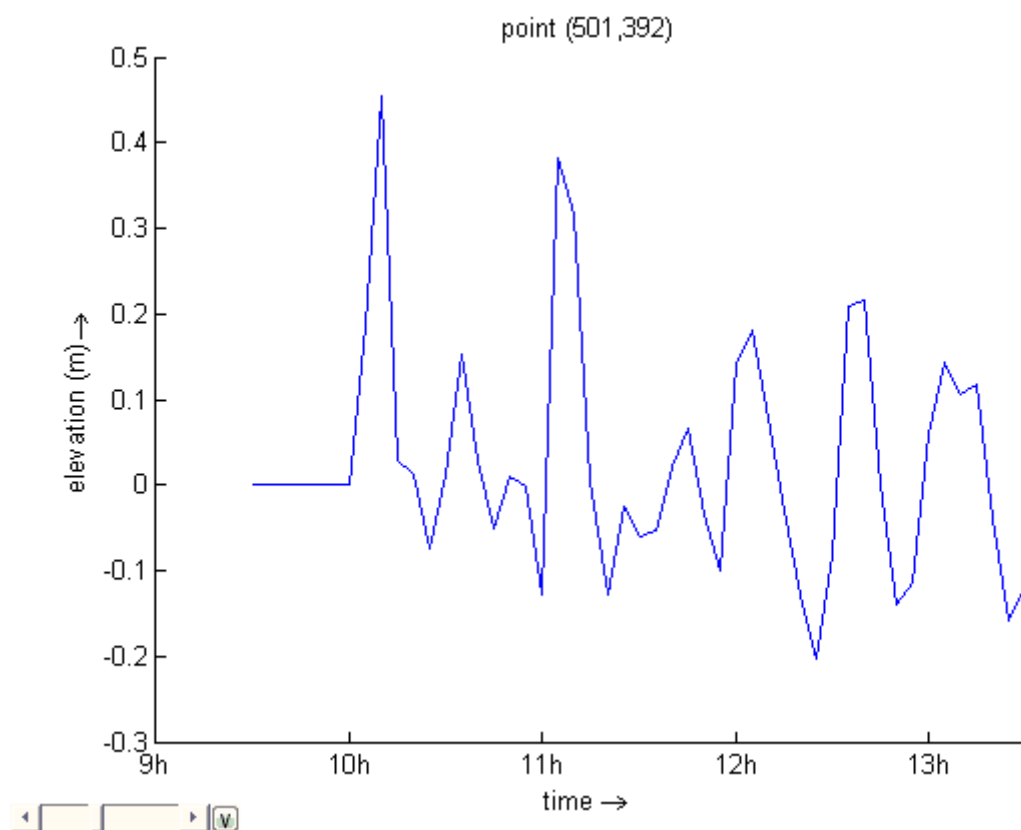


Ceuta

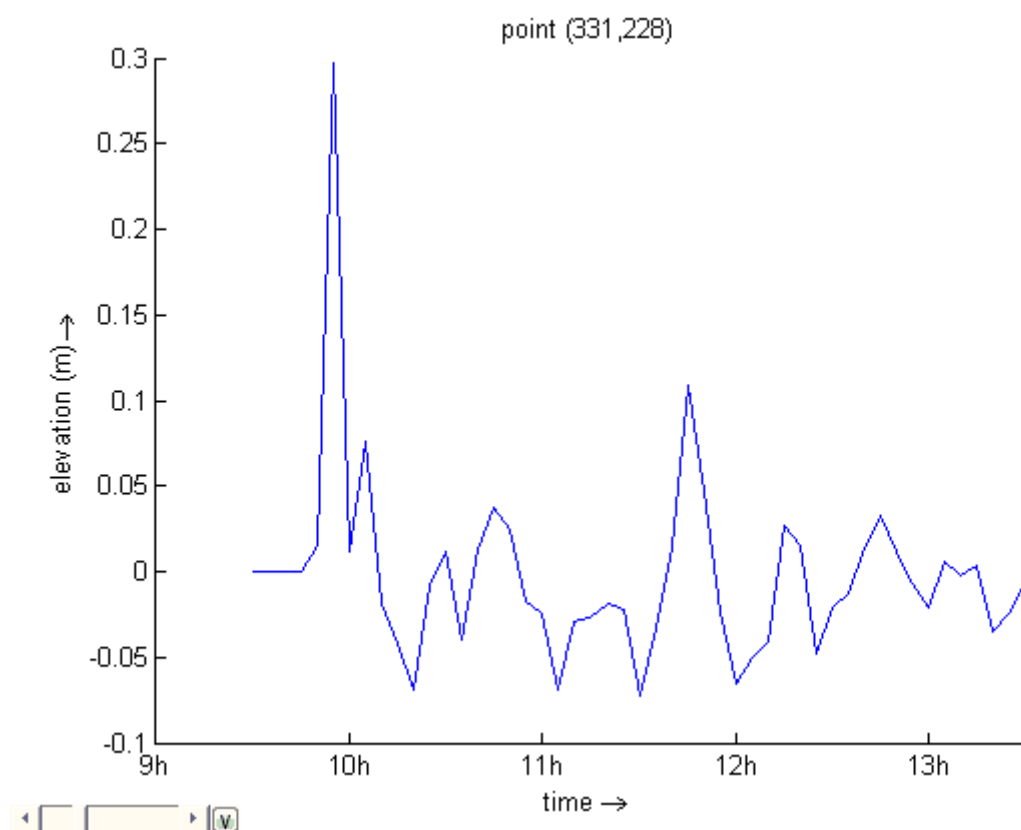


Tsunami generado en la falla de Jebha

Málaga

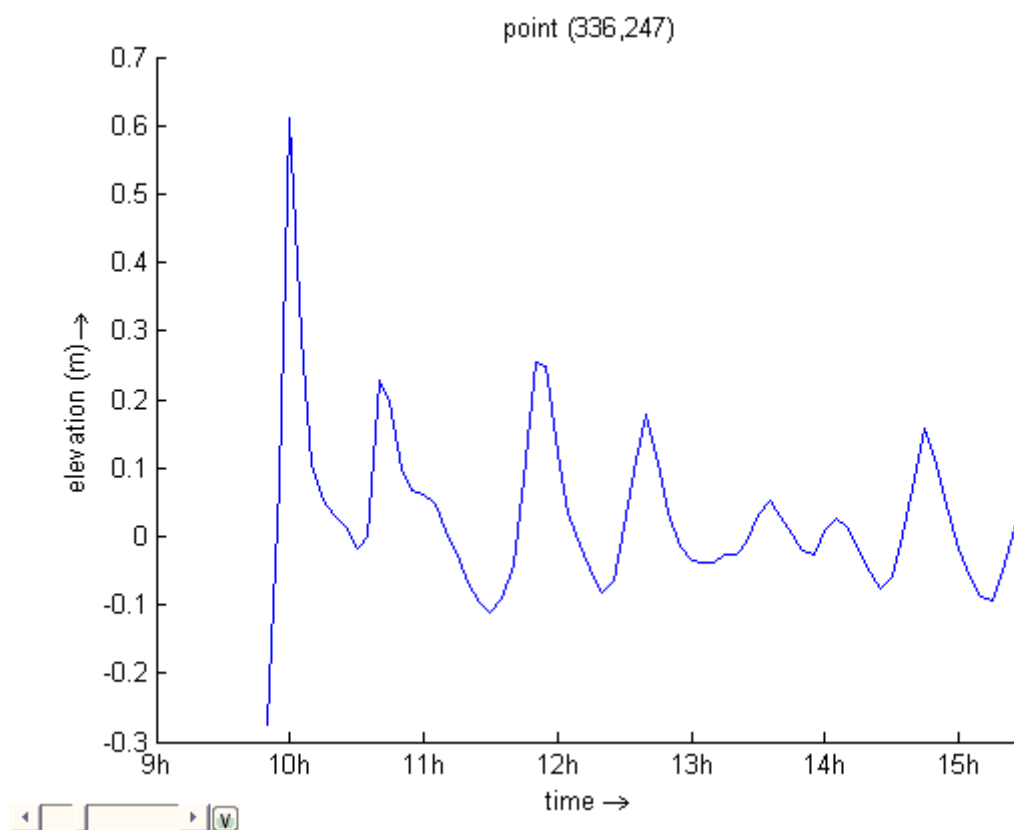


Ceuta



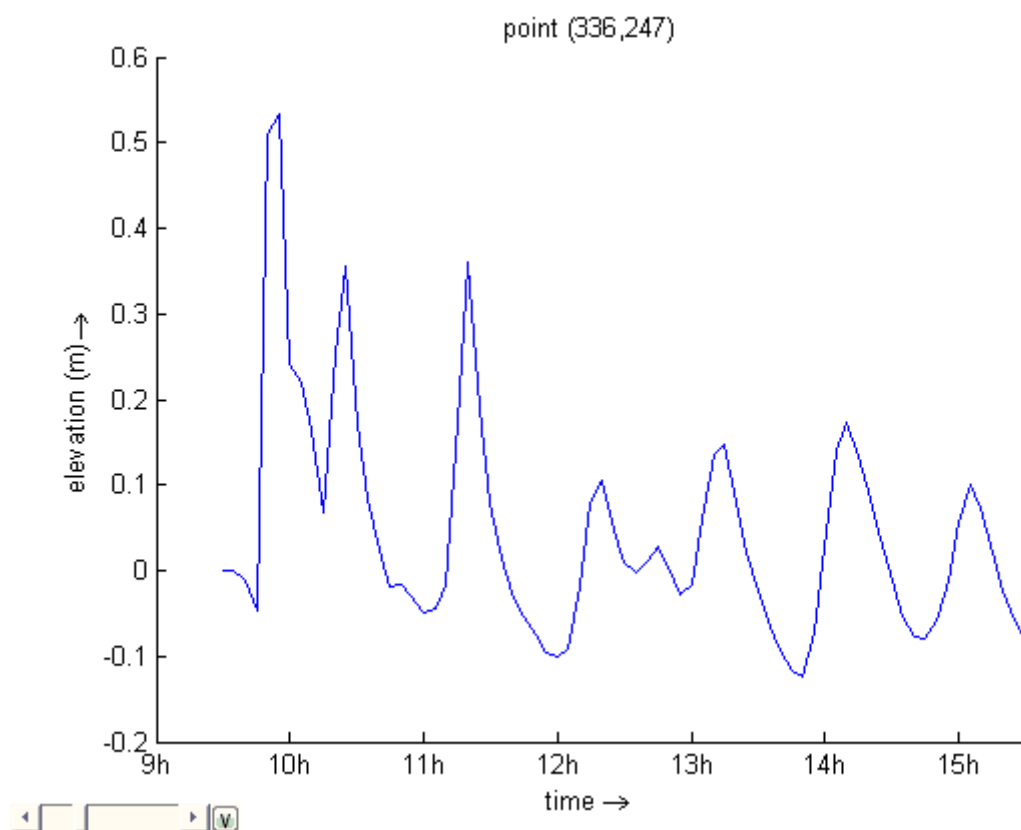
Tsunami generado en la falla de Crevillente

Alicante



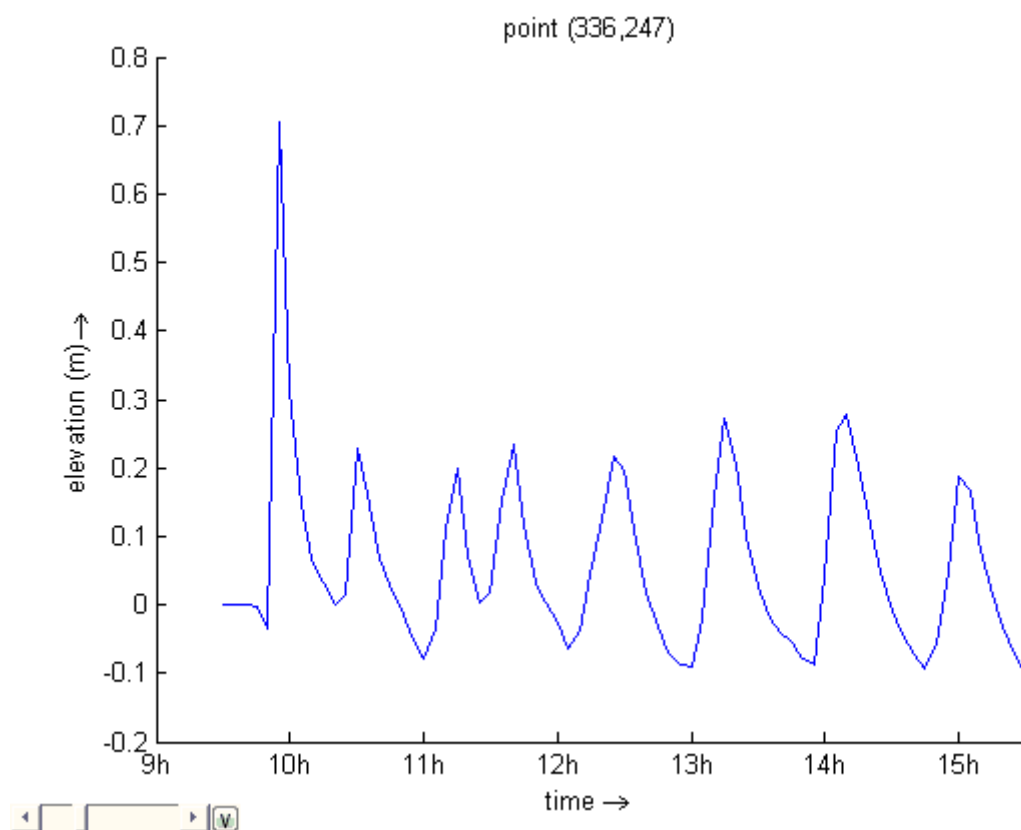
Tsunami generado en la falla de Santa Pola

Alicante



Tsunami generado en la falla de La Marina

Alicante



16090_Peligrosidad Rev. 2

P-637-INF-1125 Rev. 2

Apéndice VI. Tiempos de llegada de la sobreelevación asociada al tsunami

INDICE

1. Introducción.....	6
2. Zona 1	7
2.1 Banco de Gorringe.....	7
2.1.1 Instante inicial	7
2.1.2 Tiempos de llegada.....	8
2.2 Portimao-Guadalquivir	9
2.2.1 Instante inicial	9
2.2.2 Tiempos de llegada.....	9
2.3 Marqués de Pombal	10
2.3.1 Instante inicial	10
2.3.2 Tiempos de llegada.....	11
2.4 Horseshoe	14
2.4.1 Instante inicial	14
2.4.2 Tiempos de llegada.....	15
2.5 Coral Patch Ridge 1/2.....	17
2.5.1 Instante inicial	17
2.5.2 Tiempos de llegada.....	18
2.6 Coral Patch Ridge 2/2.....	19
2.6.1 Instante inicial	19
2.6.2 Tiempos de llegada.....	19
3. Zona 2	21
3.1 Golfo de Rosas	21
3.1.1 Instante inicial	21
3.1.2 Tiempos de llegada.....	22
3.2 Amposta Western Fault	23
3.2.1 Instante inicial	23
3.2.2 Tiempos de llegada.....	23
3.3 Amposta Central Fault.....	26
3.3.1 Instante inicial	26
3.3.2 Tiempos de llegada.....	27
3.4 Amposta E Quaternary Fault	29
3.4.1 Instante inicial	29

3.4.2 Tiempos de llegada.....	30
3.5 Cabo de Cullera W Fault	32
3.5.1 Instante inicial	32
3.5.2 Tiempos de llegada.....	33
3.6 Cabo de Cullera C-W Fault	34
3.6.1 Instante inicial	34
3.6.2 Tiempos de llegada.....	35
3.7 Cabo de Cullera C-E Fault	37
3.7.1 Instante inicial	37
3.7.2 Tiempos de llegada.....	38
3.8 Cabo de Cullera E Fault	40
3.8.1 Instante inicial	40
3.8.2 Tiempos de llegada.....	41
3.9 SW Columbretas Basin.....	43
3.9.1 Instante inicial	43
3.9.2 Tiempos de llegada.....	44
3.10 Alborán Ridge N.....	46
3.10.1 Instante inicial	46
3.10.2 Tiempos de llegada.....	46
3.11 Alborán Ridge S	47
3.11.1 Instante inicial	47
3.11.2 Tiempos de llegada.....	48
3.12 Jebha Offshore.....	50
3.12.1 Instante inicial	50
3.12.2 Tiempos de llegada.....	51
3.13 Tofiño Bank.....	52
3.13.1 Instante inicial	52
3.13.2 Tiempos de llegada.....	53
3.14 Adra	54
3.14.1 Instante inicial	54
3.14.2 Tiempos de llegada.....	55
3.15 Bajo Segura Offshore	56
3.15.1 Instante inicial	56
3.15.2 Tiempos de llegada.....	57
3.16 Santa Pola	58
3.16.1 Instante inicial	58
3.16.2 Tiempos de llegada.....	59

3.17 La Marina	60
3.17.1 Instante inicial	60
3.17.2 Tiempos de llegada.....	61
3.18 Barcelona.....	63
3.18.1 Instante inicial	63
3.18.2 Tiempos de llegada.....	64
3.19 Delta del Ebro.....	65
3.19.1 Instante inicial	65
3.19.2 Tiempos de llegada.....	66
3.20 Averroes	67
3.20.1 Instante inicial	67
3.20.2 Tiempos de llegada.....	68
3.21 Crevillente	69
3.21.1 Instante inicial	69
3.21.2 Tiempos de llegada.....	69
 4. Zona 3	 71
4.1 Neotectónica Tarragona Barcelona 1	71
4.1.1 Instante inicial	71
4.1.2 Tiempos de llegada.....	72
4.2 Neotectónica Tarragona Barcelona 2	73
4.2.1 Instante inicial	73
4.2.2 Tiempos de llegada.....	74
4.3 Neotectónica Tarragona Barcelona 3	75
4.3.1 Instante inicial	75
4.3.2 Tiempos de llegada.....	76
4.4 Castellón Norte.....	78
4.4.1 Instante inicial	78
4.4.2 Tiempos de llegada.....	79
4.5 Castellón Sur	81
4.5.1 Instante inicial	81
4.5.2 Tiempos de llegada.....	82
4.6 Torrox Motril.....	83
4.6.1 Instante inicial	83
4.6.2 Tiempos de llegada.....	84
4.7 Rincón de la Victoria-Torrox	85
4.7.1 Instante inicial	85

4.7.2 Tiempos de llegada.....	86
4.8 Fuengirola.....	87
4.8.1 Instante inicial	87
4.8.2 Tiempos de llegada.....	88
4.9 Marbella.....	89
4.9.1 Instante inicial	89
4.9.2 Tiempos de llegada.....	90
4.10 Estepona	91
4.10.1 Instante inicial	91
4.10.2 Tiempos de llegada.....	92
4.11 Argelia 1	93
4.11.1 Instante inicial	93
4.11.2 Tiempos de llegada.....	94
4.12 Argelia 2	95
4.12.1 Instante inicial	95
4.12.2 Tiempos de llegada.....	96
4.13 Argelia 3	97
4.13.1 Instante inicial	97
4.13.2 Tiempos de llegada.....	98
4.14 Argelia 4	99
4.14.1 Instante inicial	99
4.14.2 Tiempos de llegada.....	100
4.15 Argelia 5	101
4.15.1 Instante inicial	101
4.15.2 Tiempos de llegada.....	102
4.16 Argelia 6	103
4.16.1 Instante inicial	103
4.16.2 Tiempos de llegada.....	104
4.17 Argelia 7	104
4.17.1 Instante inicial	104
4.17.2 Tiempos de llegada.....	105
4.18 Argelia 8	105
4.18.1 Instante inicial	105
4.19 Argelia 9	106
4.19.1 Instante inicial	106
4.19.2 Tiempos de llegada.....	107
4.20 El Marsa Offshore - Orán	108

4.20.1 Instante inicial	108
4.20.2 Tiempos de llegada.....	109
5. Zona 4	111
5.1 Sicily-Tunisia	111
5.1.1 Instante inicial	111
5.1.2 Tiempos de llegada.....	111
5.2 Southern Tyrrhenian.....	112
5.2.1 Instante inicial	112
5.2.2 Tiempos de llegada.....	112
6. Zona 5	113
6.1 Islandia.....	113
6.1.1 Instante inicial	113
6.1.2 Tiempos de llegada.....	114
7. Zona 6	117
8. Zona 7	118
8.1 Canarias	118
8.1.1 Instante inicial	118
8.1.2 Tiempos de llegada.....	119
9. Zona 8	120
9.1 Puerto Rico-Caribe	120
9.1.1 Instante inicial	120
9.1.2 Tiempos de llegada.....	120
10. Conclusiones.....	121

1. INTRODUCCIÓN

En la Memoria se muestran los tiempos mínimos de llegada a la costa para la envolvente de las elevaciones obtenidas, es decir, para los máximos valores obtenidos en cada punto; para complementar dicho dato se presentan a continuación los tiempos de llegada de la sobreelevación asociada al tsunami.

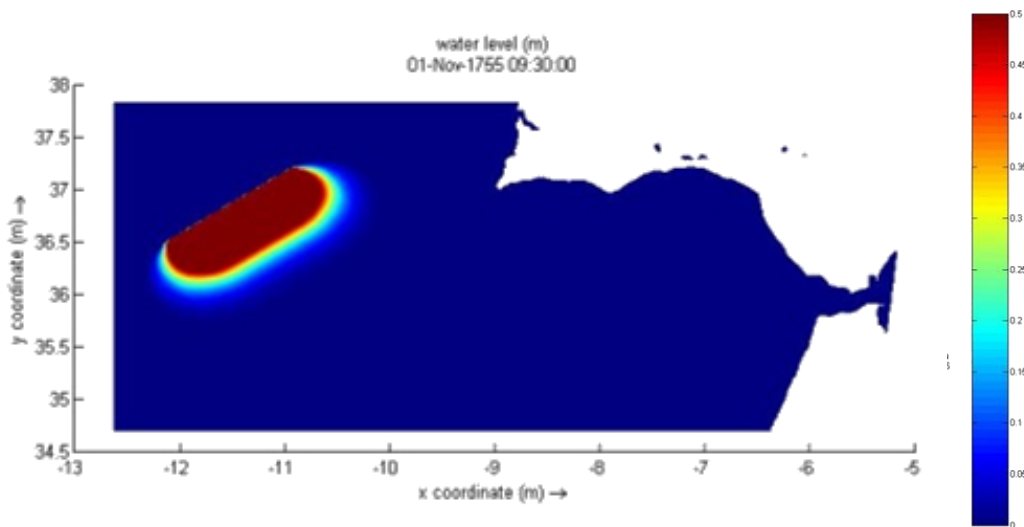
Como ya se ha indicado en el documento principal las fallas en dirección no generan elevaciones de la lámina de agua considerables, por ello no han sido presentadas en este documento.

Se indica, de manera general y para una mejor comprensión de las figuras, que el instante inicial en el que se han generado los tsunamis en la modelización corresponde a la fecha 01-11-1755 09:30:00 (dd-mm-aaa hh:mm:ss). Asimismo, el contorno de sobreelevación representado, representa con el color rojo más intenso todas las sobreelevaciones superiores a 0,5 m, ya que el único objeto de las figuras es ilustrar los tiempos de llegada.

2. .ZONA 1

2.1 Banco de Gorringe

2.1.1 Instante inicial



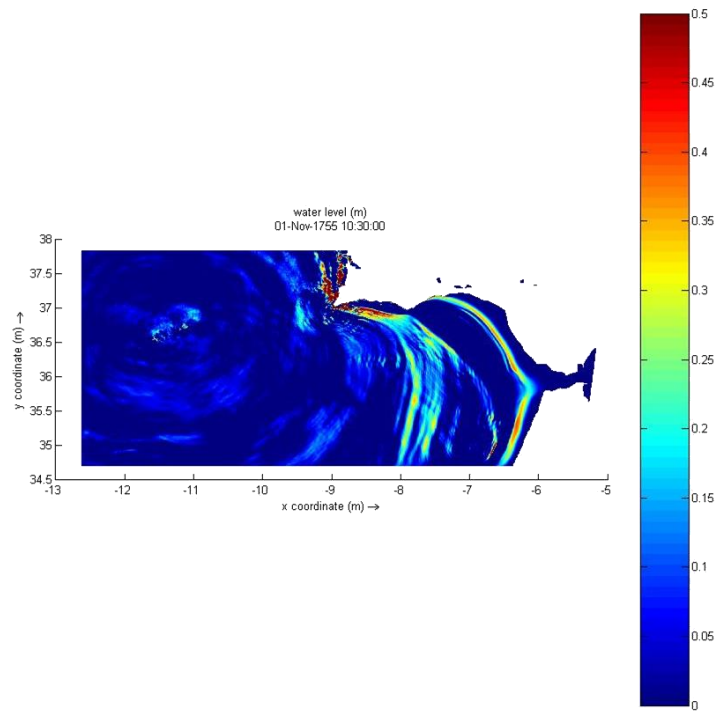
2.1.2 Tiempos de llegada

2.1.2.1 Andalucía

Huelva

Tiempo de llegada:

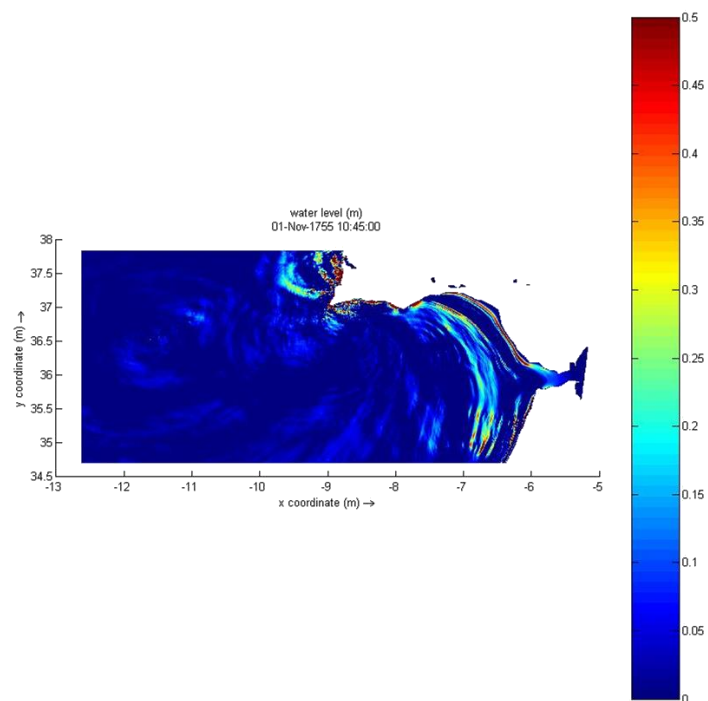
1 h



Cádiz

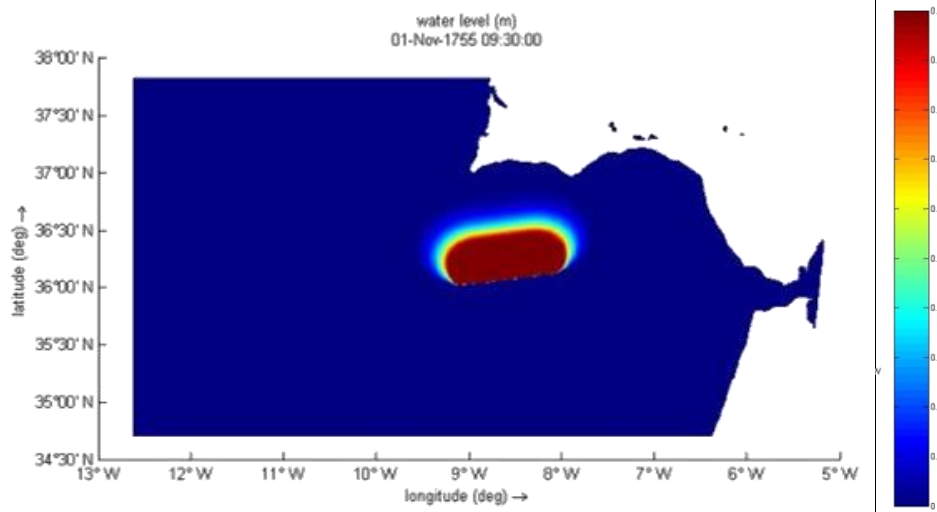
Tiempo de llegada:

1 h 15 min



2.2 Portimao-Guadalquivir

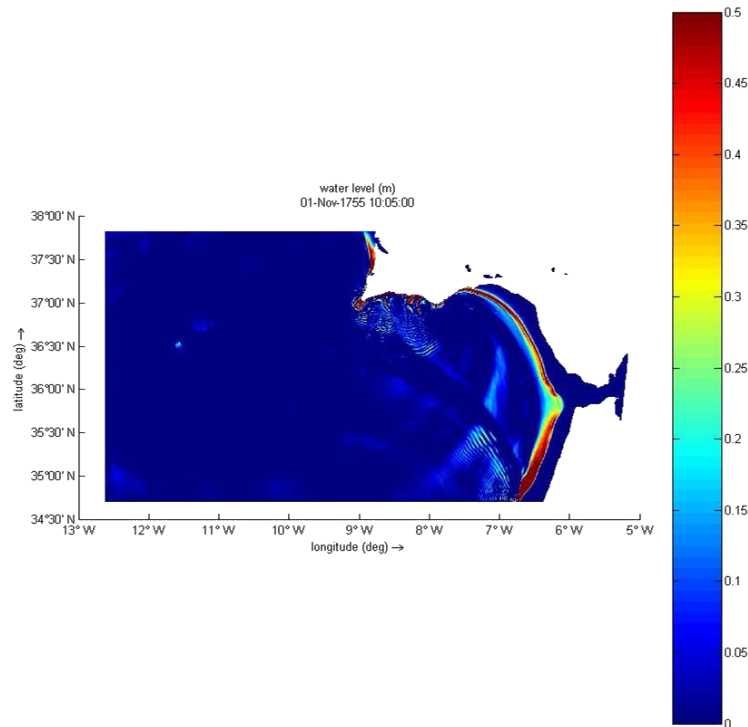
2.2.1 Instante inicial



2.2.2 Tiempos de llegada

2.2.2.1 *Andalucía*

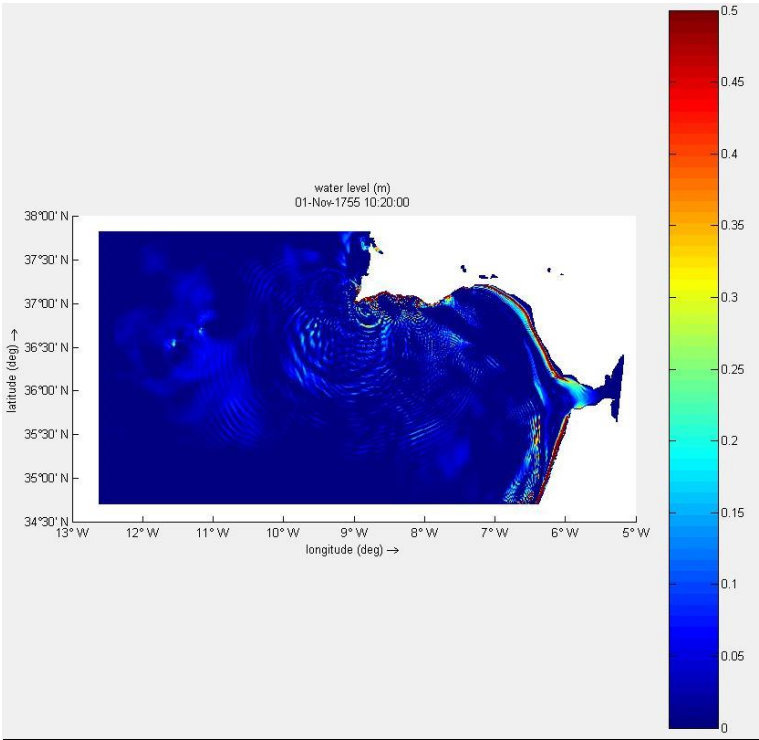
Huelva
Tiempo de llegada:
35 min



Cádiz

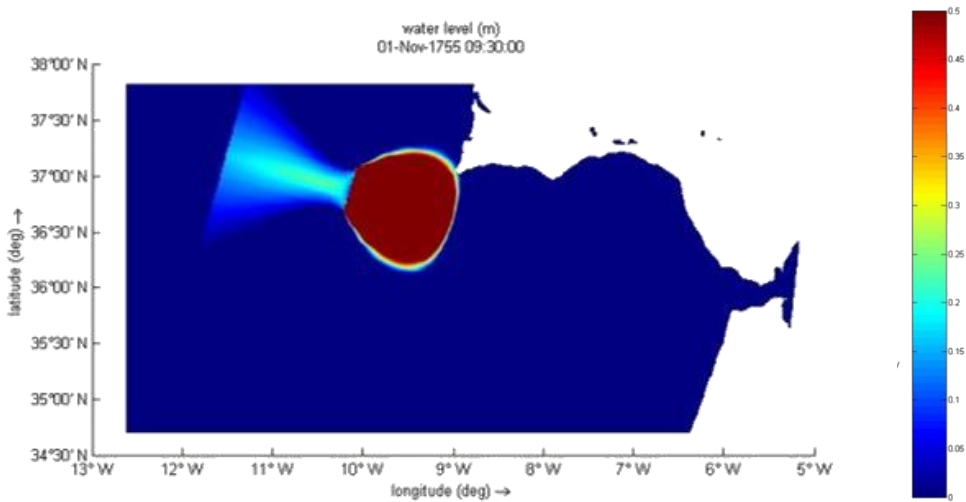
Tiempo de llegada:

50 min



2.3 Marqués de Pombal

2.3.1 Instante inicial



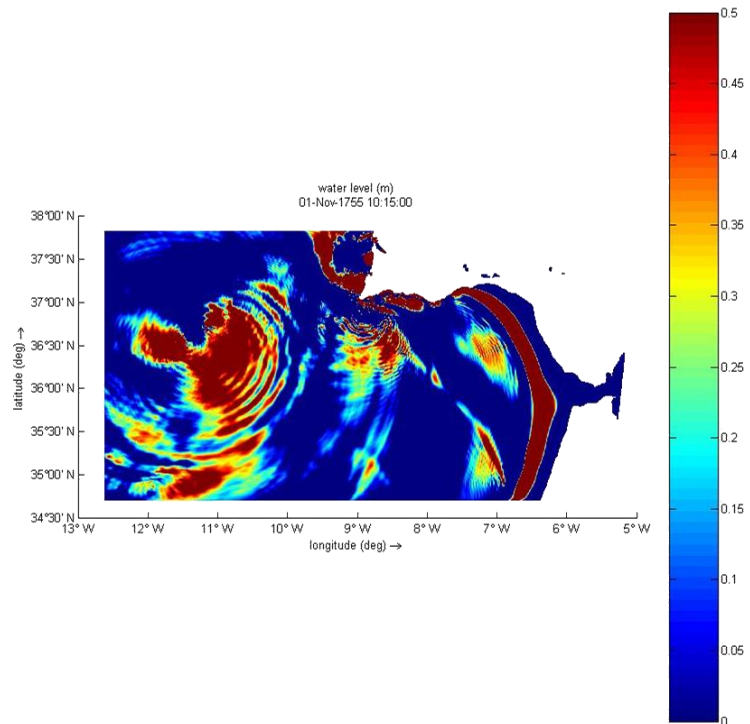
2.3.2 Tiempos de llegada

2.3.2.1 *Andalucía*

Huelva

Tiempo de llegada:

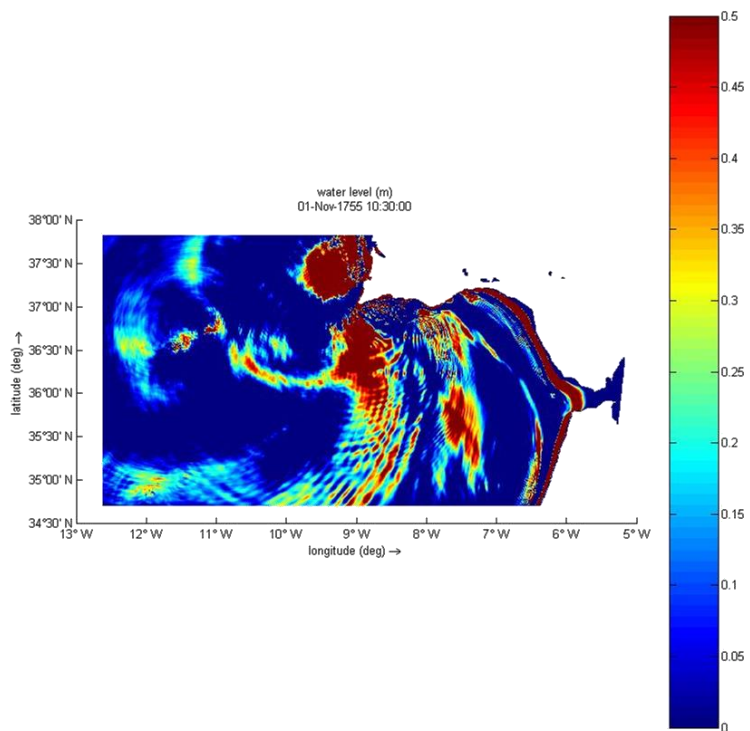
45 min



Cádiz

Tiempo de llegada:

1 h

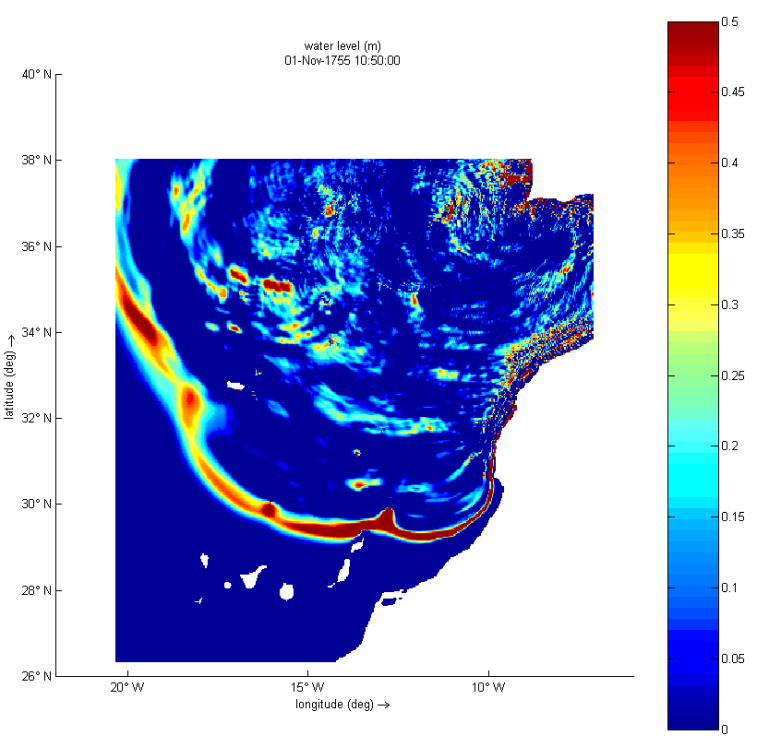


2.3.2.2 *Islas Canarias*

Lanzarote

Tiempo de llegada

1 h 20 min

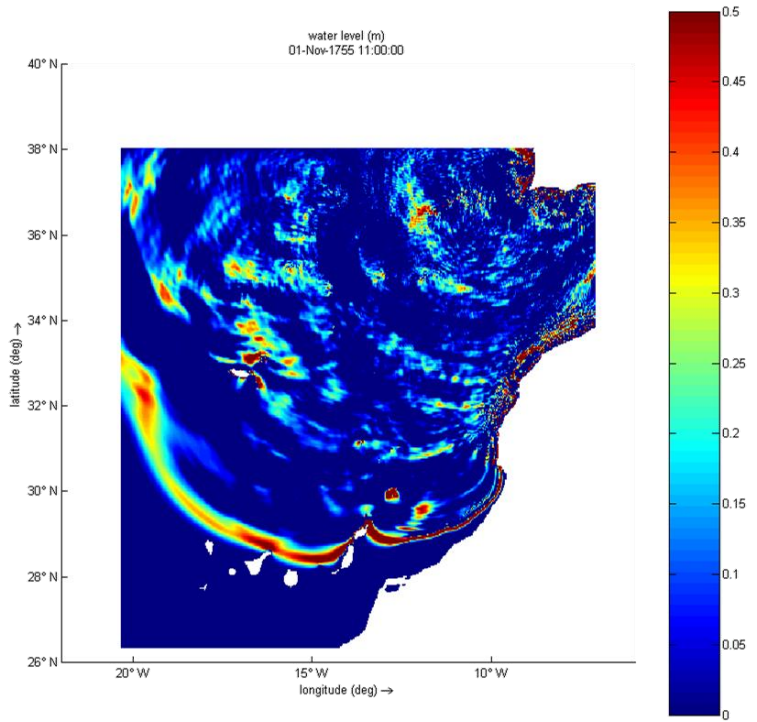


Tenerife

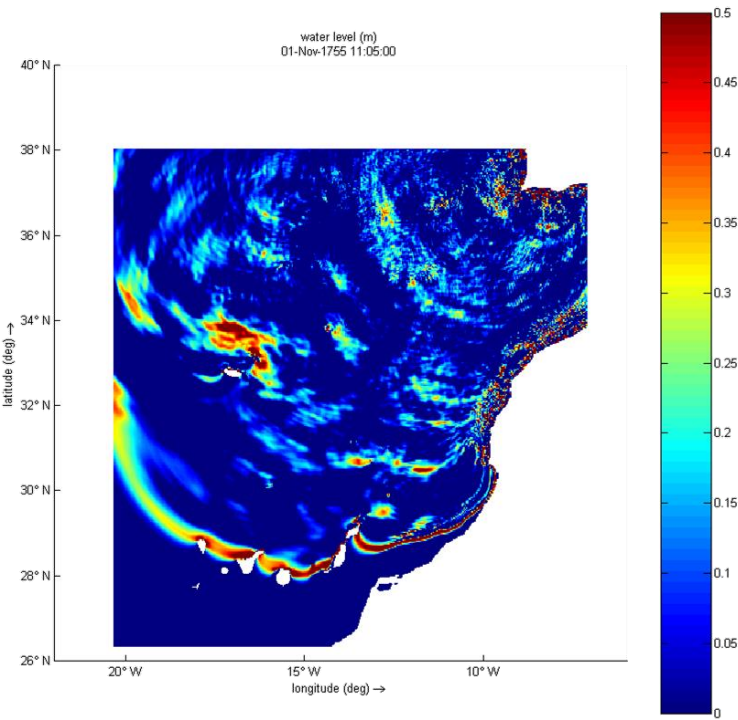
Fuerteventura

Tiempo de llegada

1 h 30 min

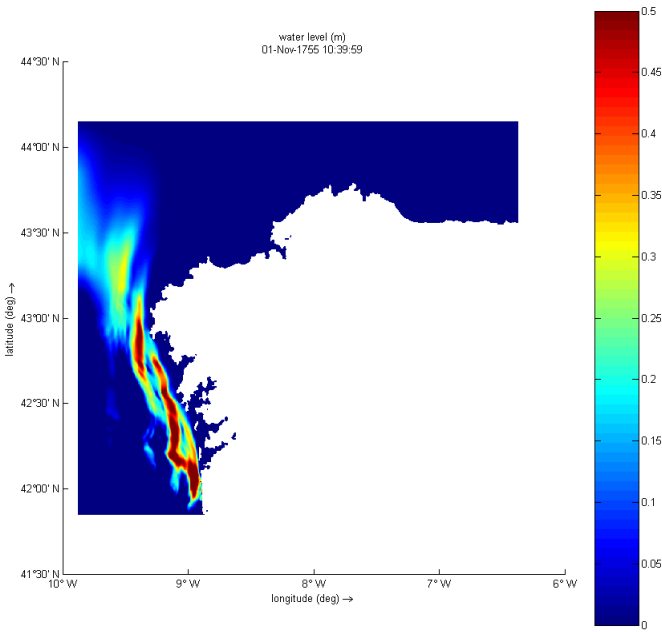


La Palma
Gran Canaria
Tiempo de llegada
1 h 35 min

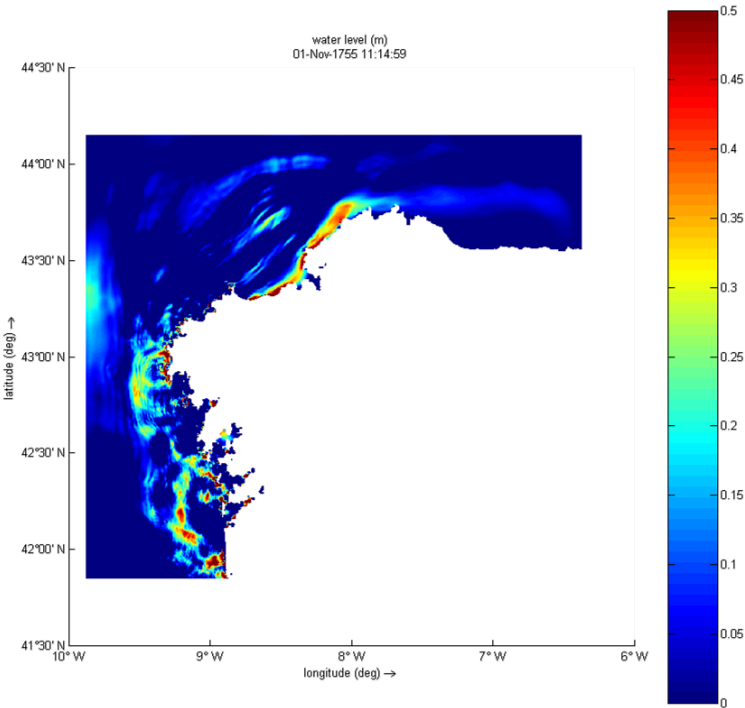


2.3.2.3 Galicia

Pontevedra
La Coruña
Tiempo de llegada
1 h 10 min

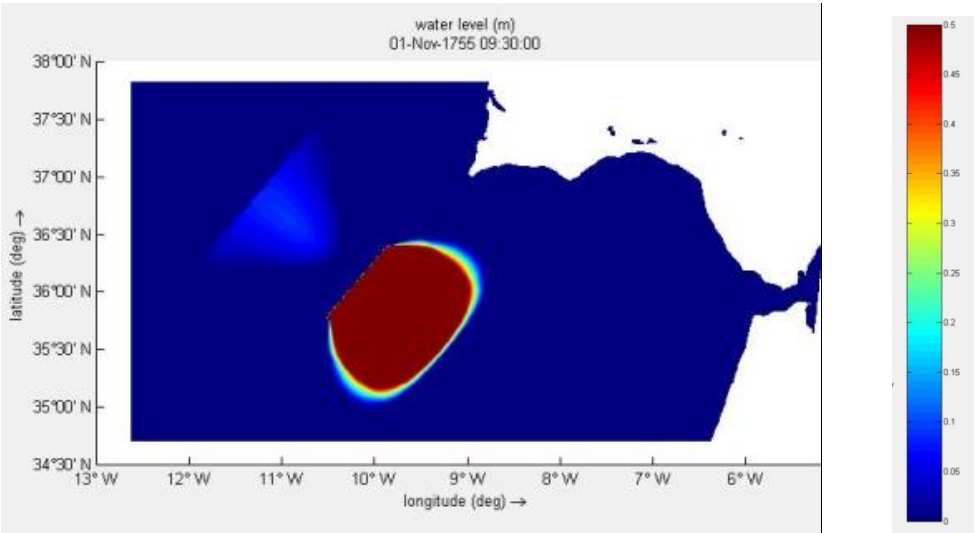


Lugo
1 h 45 min



2.4 Horseshoe

2.4.1 Instante inicial



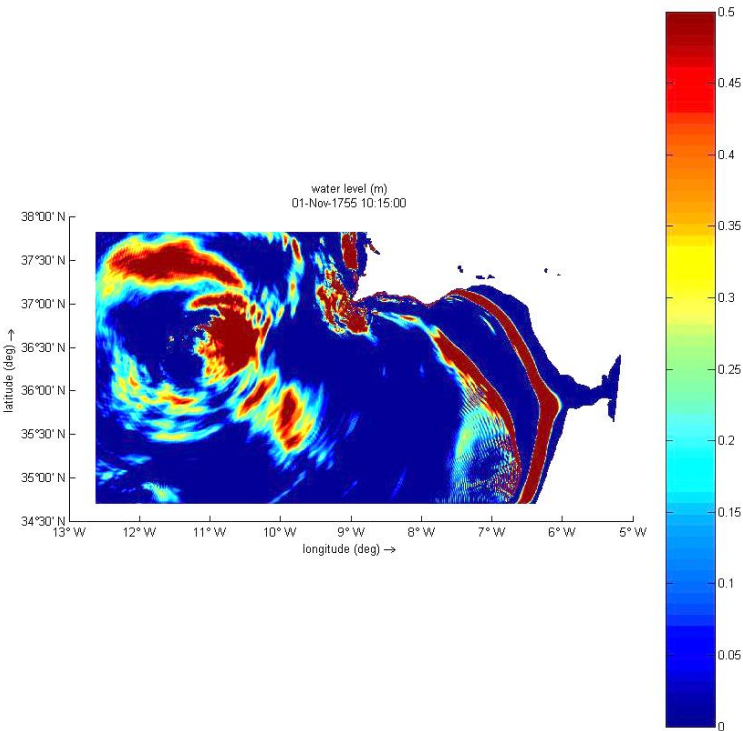
2.4.2 Tiempos de llegada

2.4.2.1 *Andalucía*

Huelva

Tiempo de llegada:

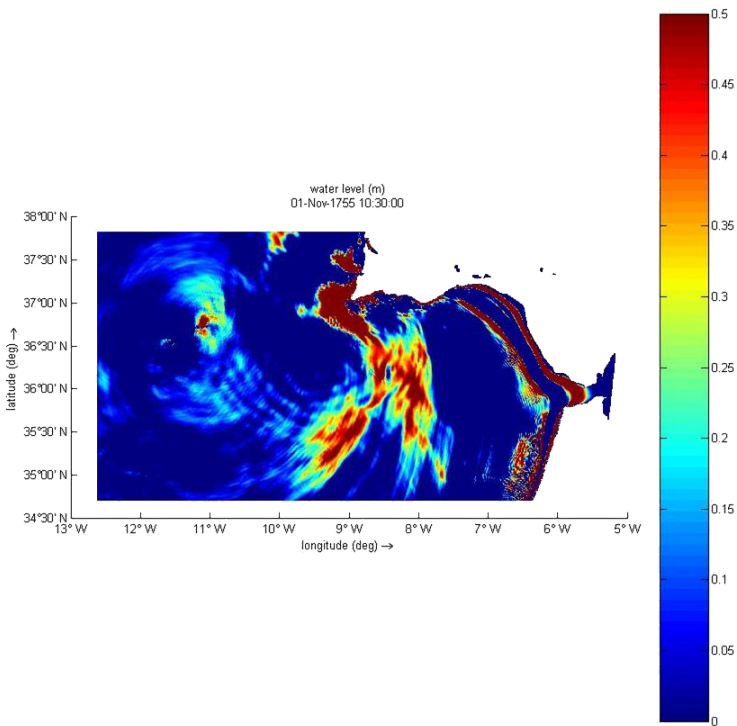
45 min



Cádiz

Tiempo de llegada:

1 h

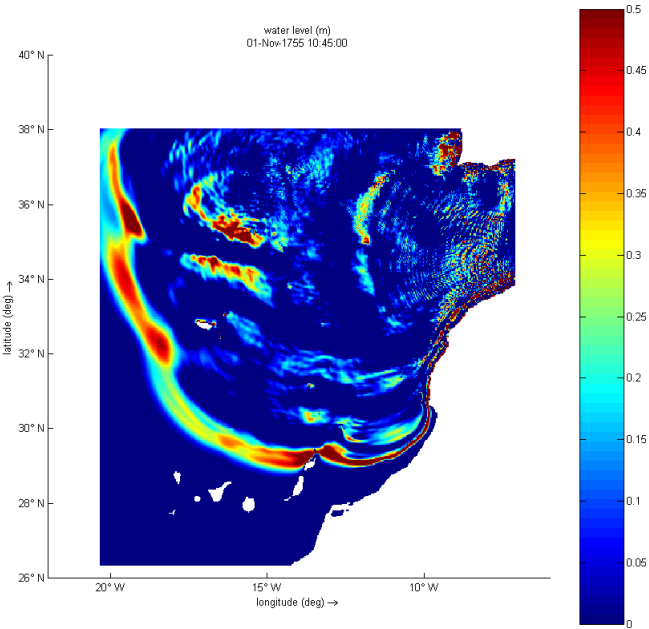


2.4.2.2 *Islas Canarias*

Lanzarote

Tiempo de llegada

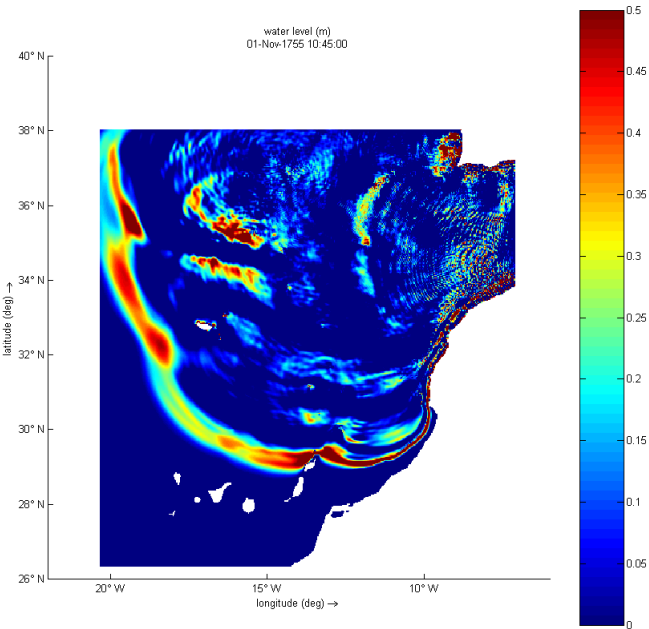
1 h 10 min



Fuerteventura

Tiempo de llegada

1 h 15 min



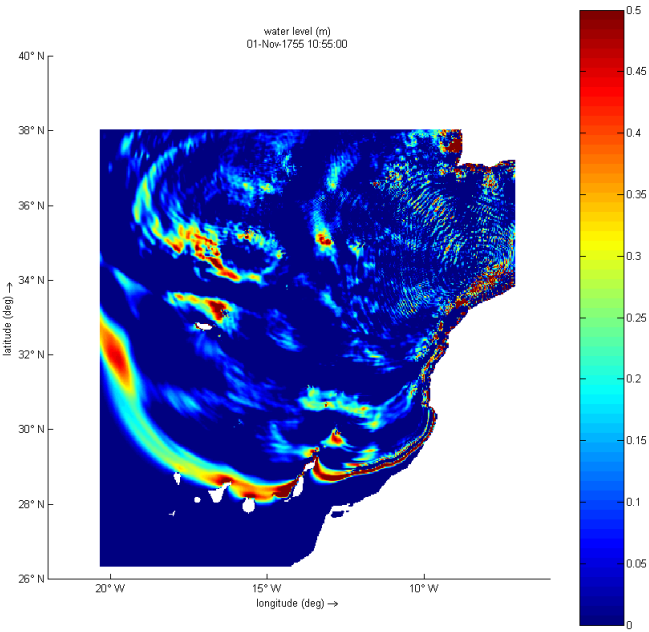
Gran Canaria

Tenerife

La Palma

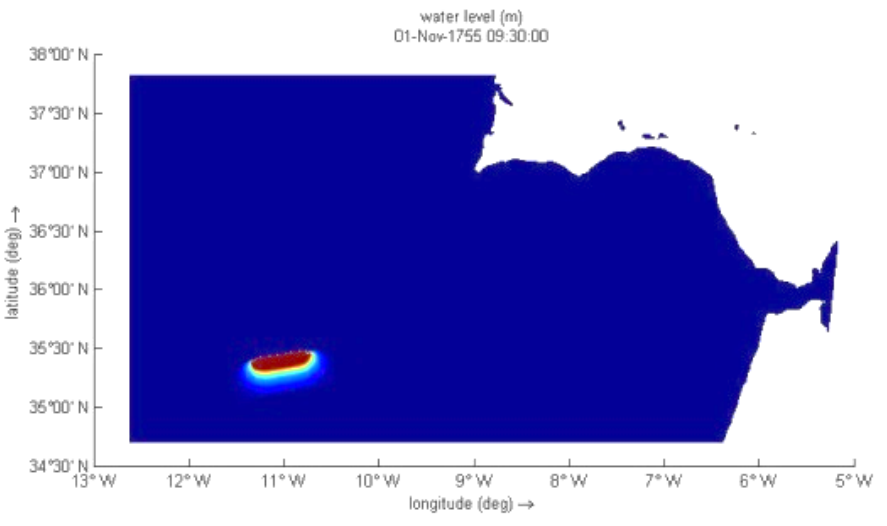
Tiempo de llegada

1 h 10 min



2.5 Coral Patch Ridge 1/2

2.5.1 Instante inicial



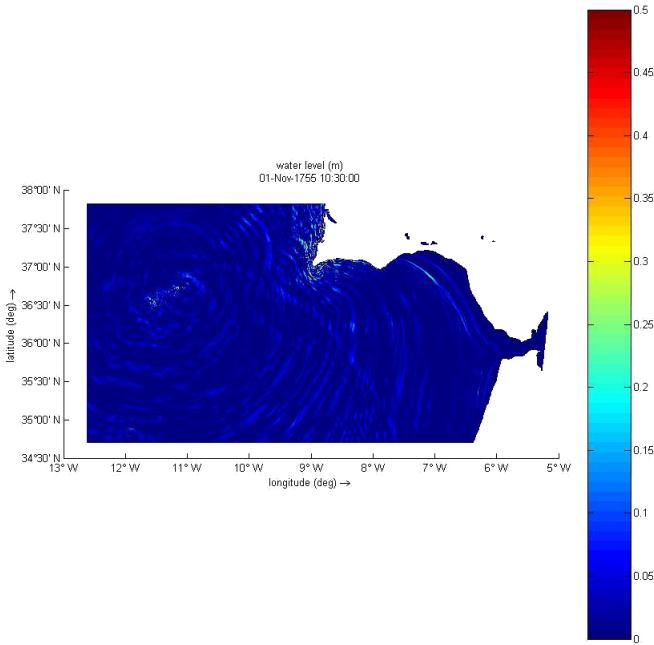
2.5.2 Tiempos de llegada

2.5.2.1 *Andalucía*

Huelva

Tiempo de llegada:

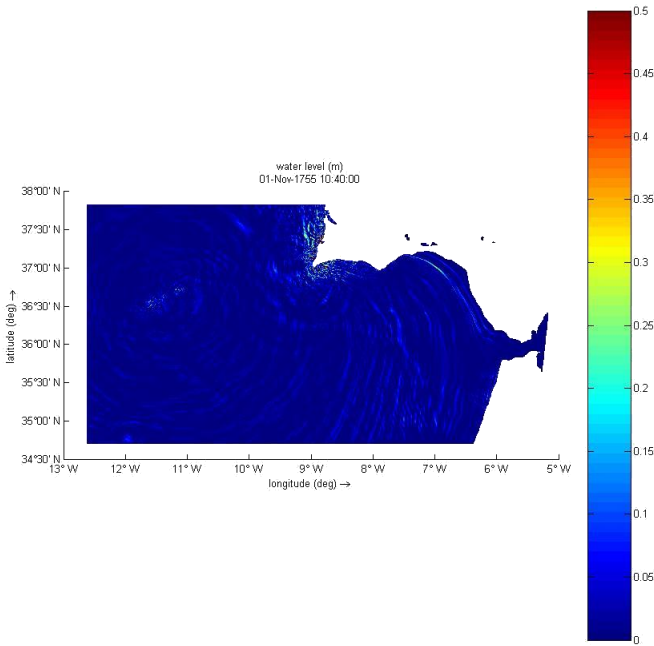
1 h



Cádiz

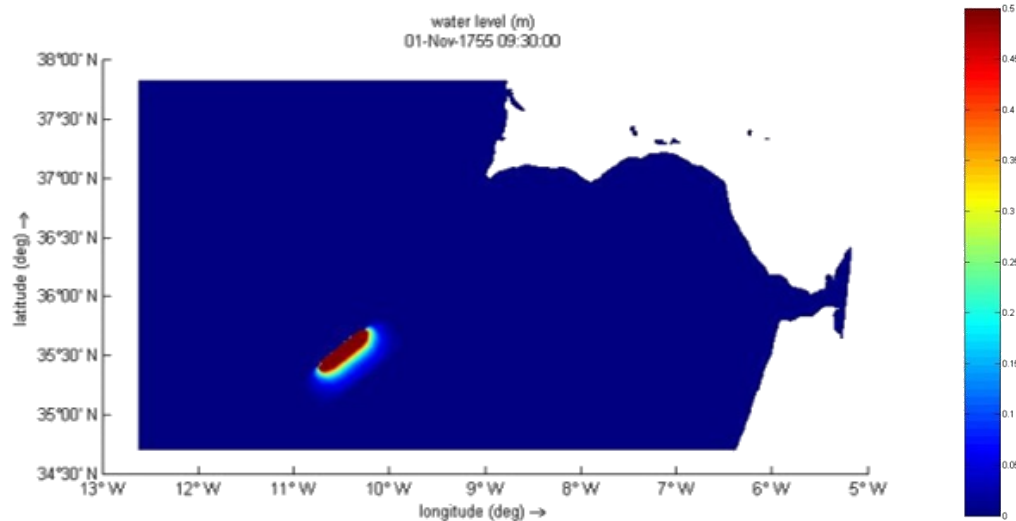
Tiempo de llegada:

1 h 10 m



2.6 Coral Patch Ridge 2/2

2.6.1 Instante inicial



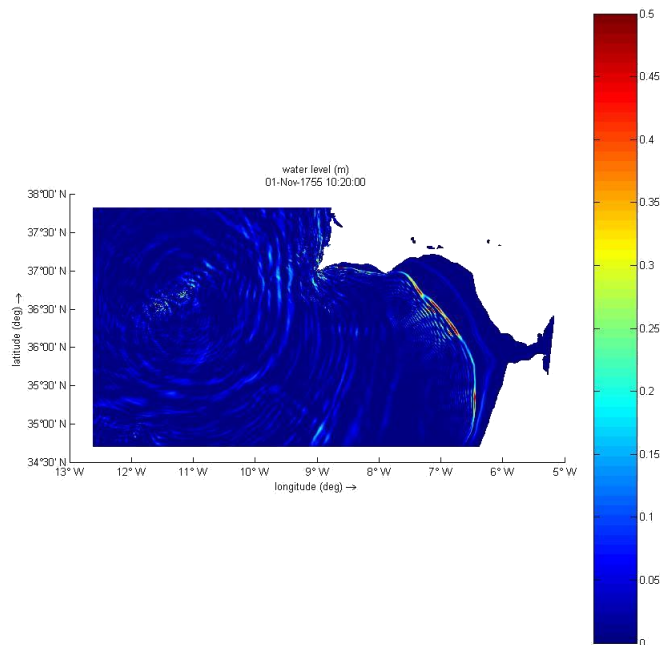
2.6.2 Tiempos de llegada

2.6.2.1 *Andalucía*

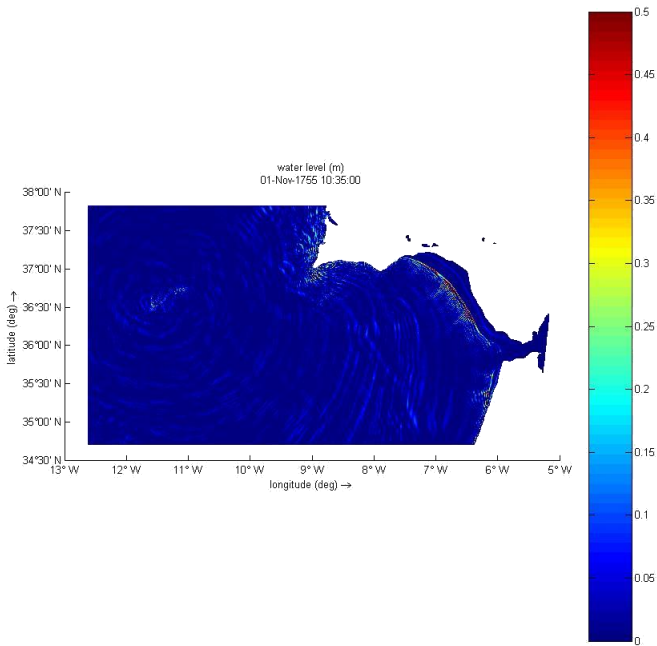
Huelva

Tiempo de llegada:

50 min



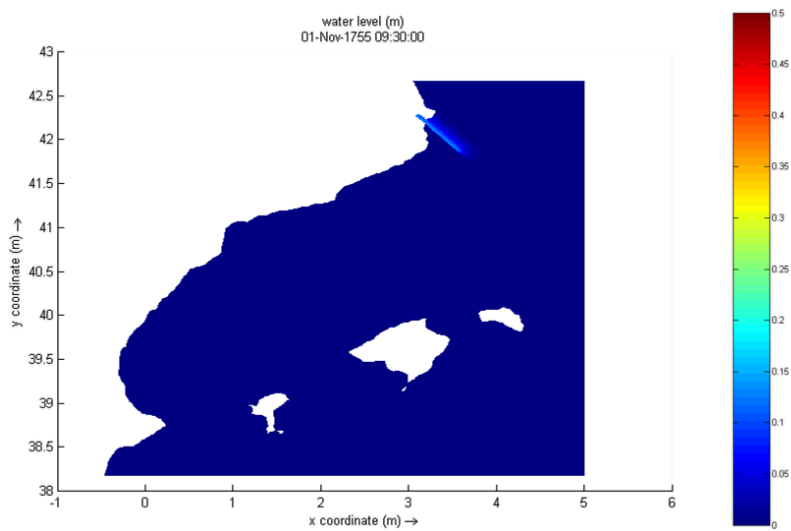
Cádiz
Tiempo de llegada:
1 h 5 min



3. ZONA 2

3.1 Golfo de Rosas

3.1.1 Instante inicial



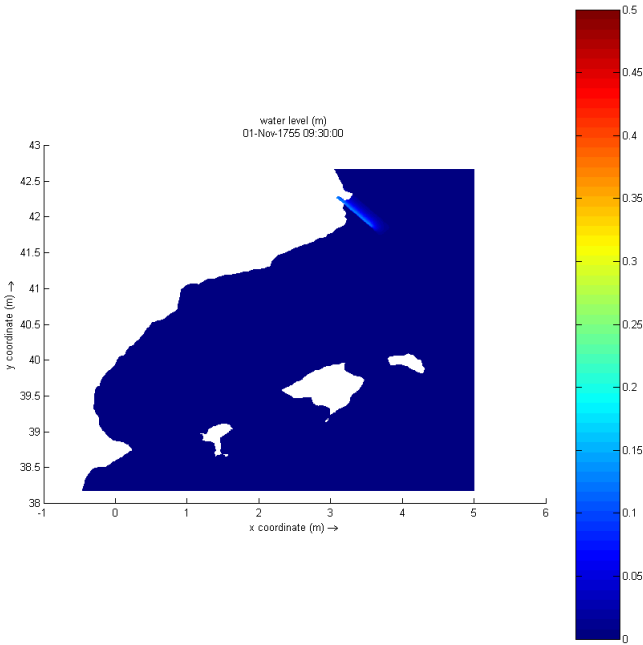
3.1.2 Tiempos de llegada

3.1.2.1 *Cataluña*

Gerona

Tiempo de llegada

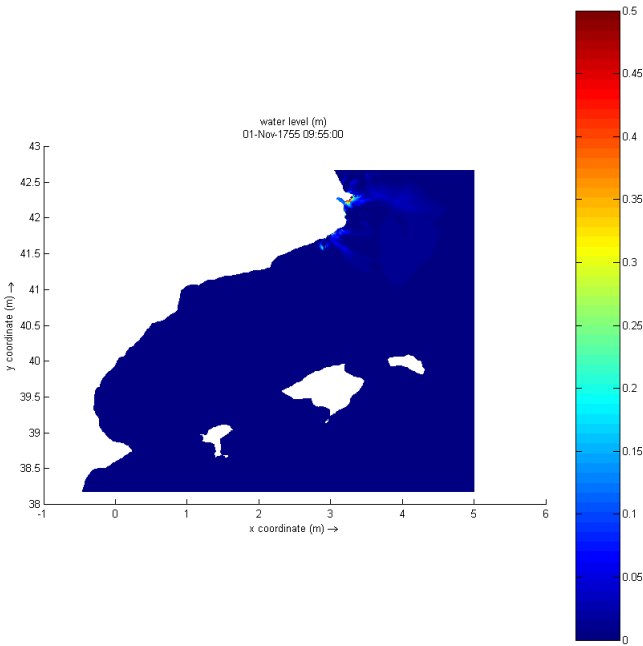
0 minutos



Barcelona

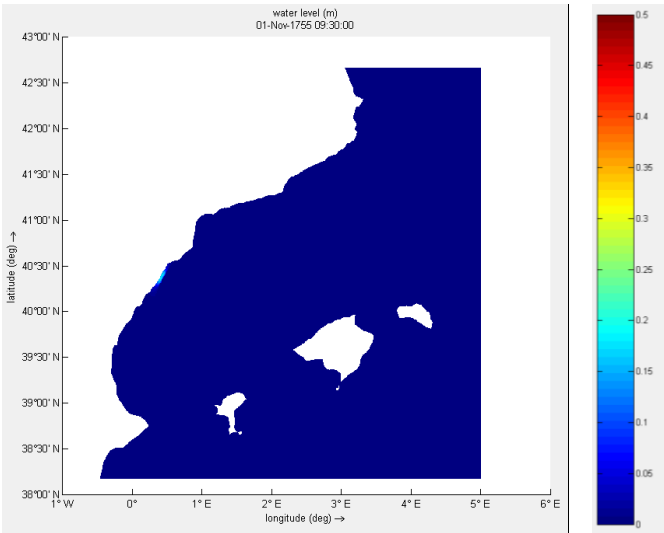
Tiempo de llegada

25 minutos



3.2 Amposta Western Fault

3.2.1 Instante inicial



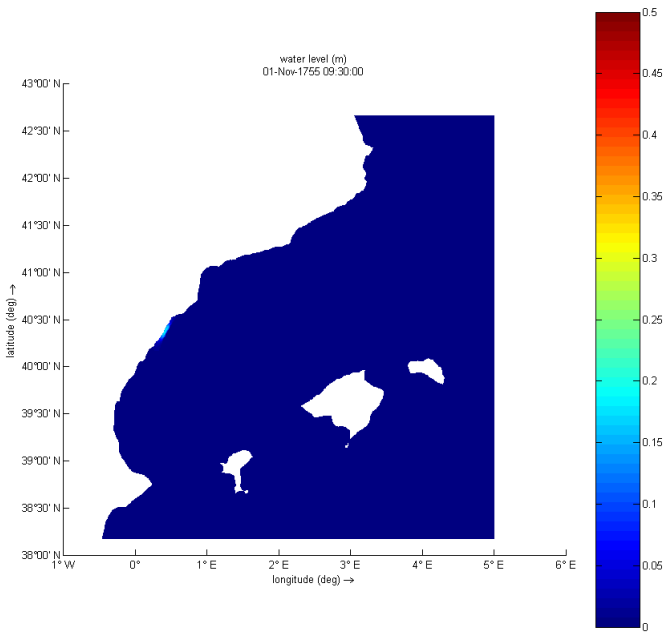
3.2.2 Tiempos de llegada

3.2.2.1 *Comunidad Valenciana*

Castellón

Tiempo de llegada

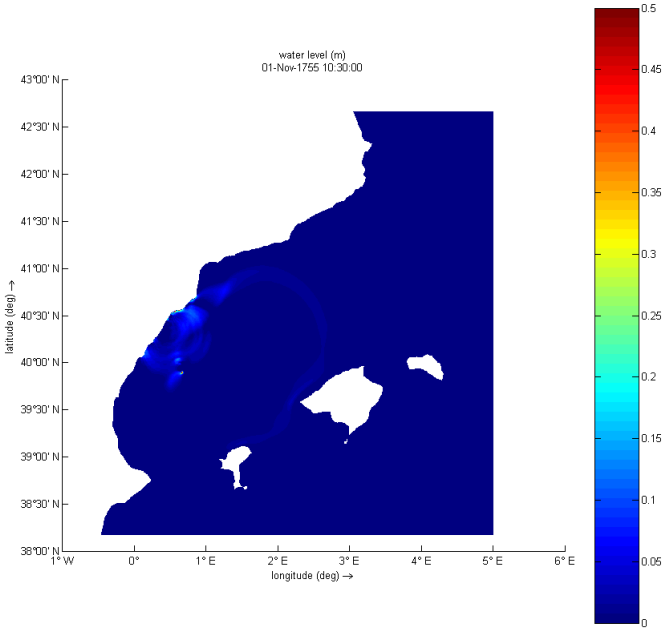
0 minutos



Alicante

Tiempo de llegada

1 h



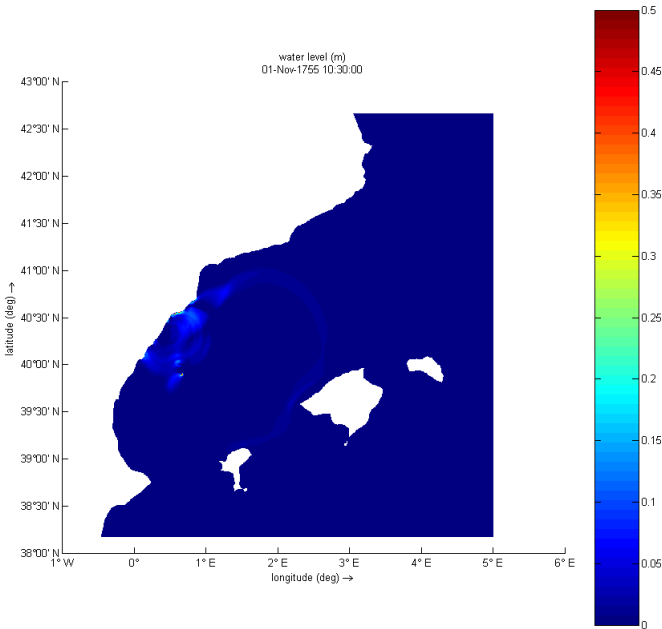
3.2.2.2 *Islas Baleares*

Ibiza

Mallorca

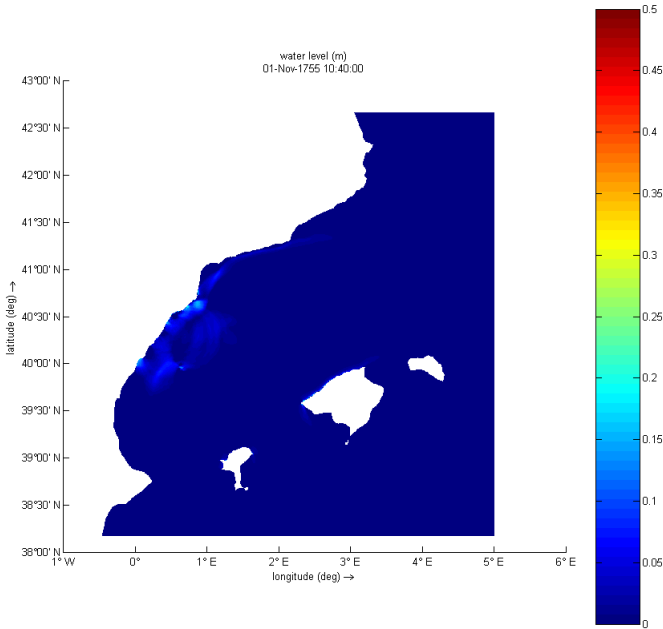
Tiempo de llegada

1 h



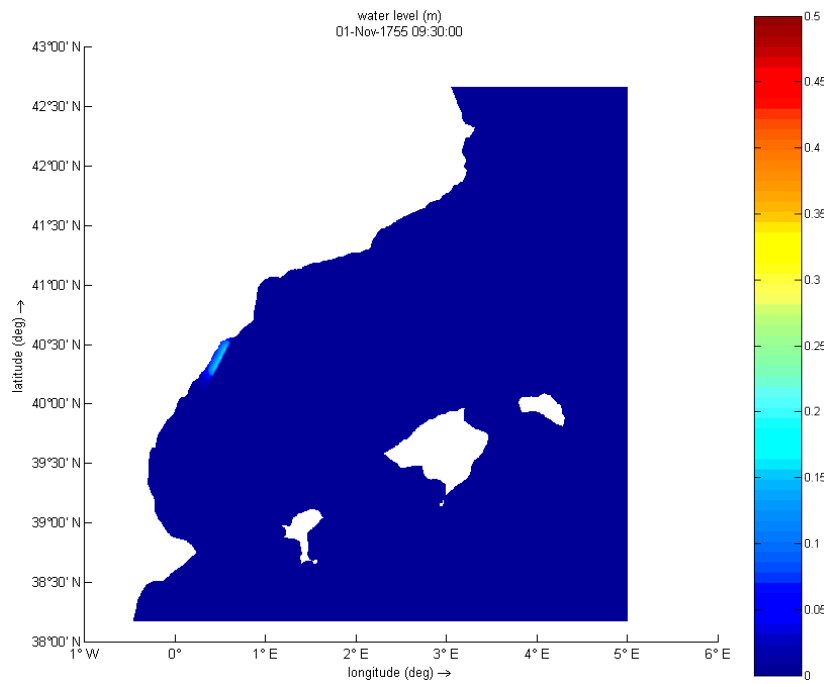
3.2.2.3 *Cataluña*

Tarragona
Tiempo de llegada
1 h 10 min



3.3 Amposta Central Fault

3.3.1 Instante inicial



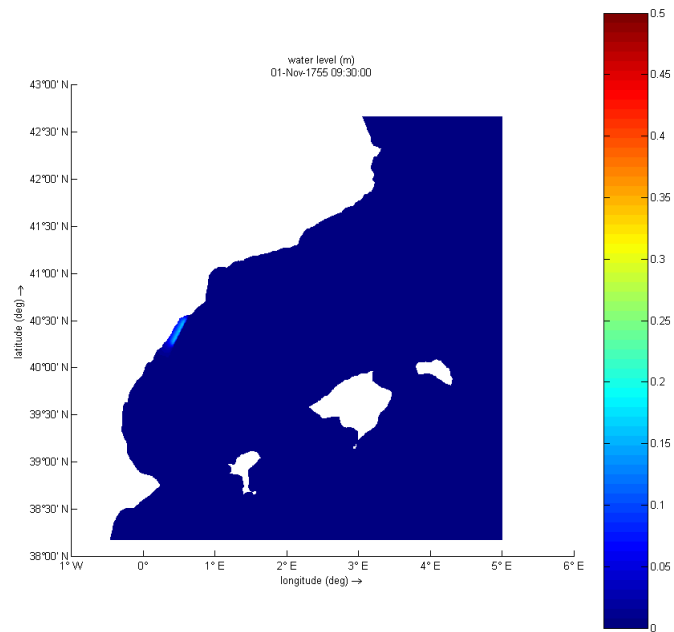
3.3.2 Tiempos de llegada

3.3.2.1 *Comunidad Valenciana*

Castellón

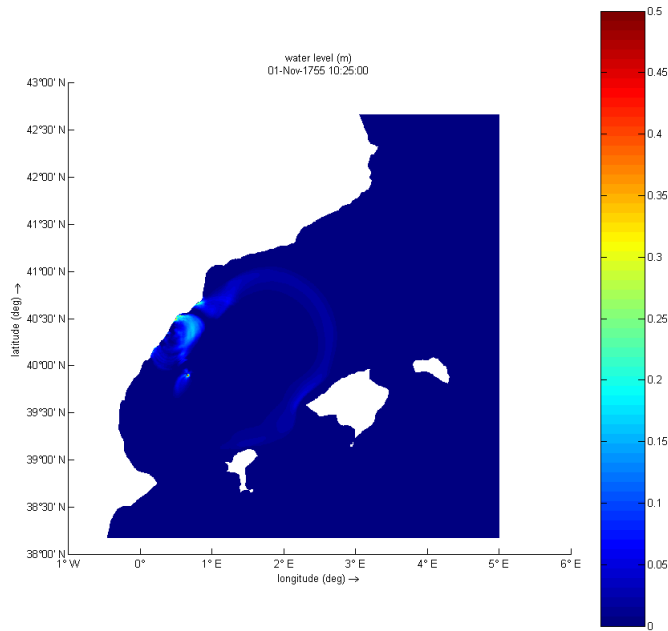
Tiempo de llegada

0 minutos



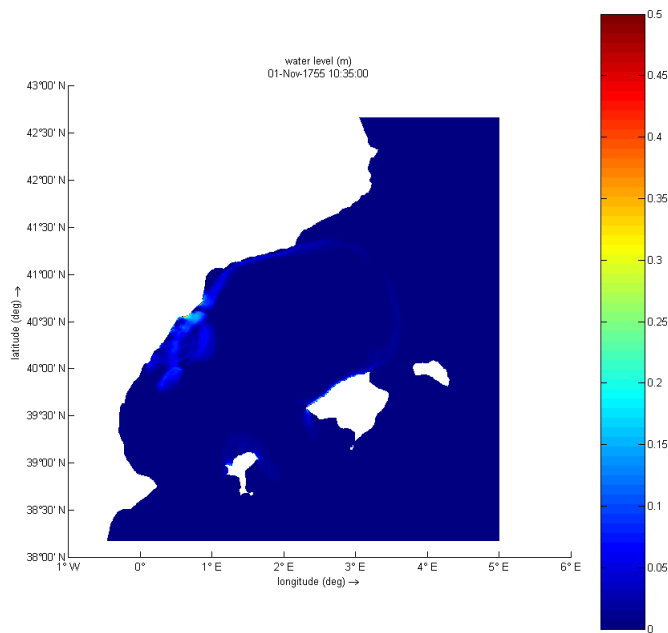
3.3.2.2 *Islas Baleares*

Ibiza
Mallorca
Tiempo de llegada
55 minutos



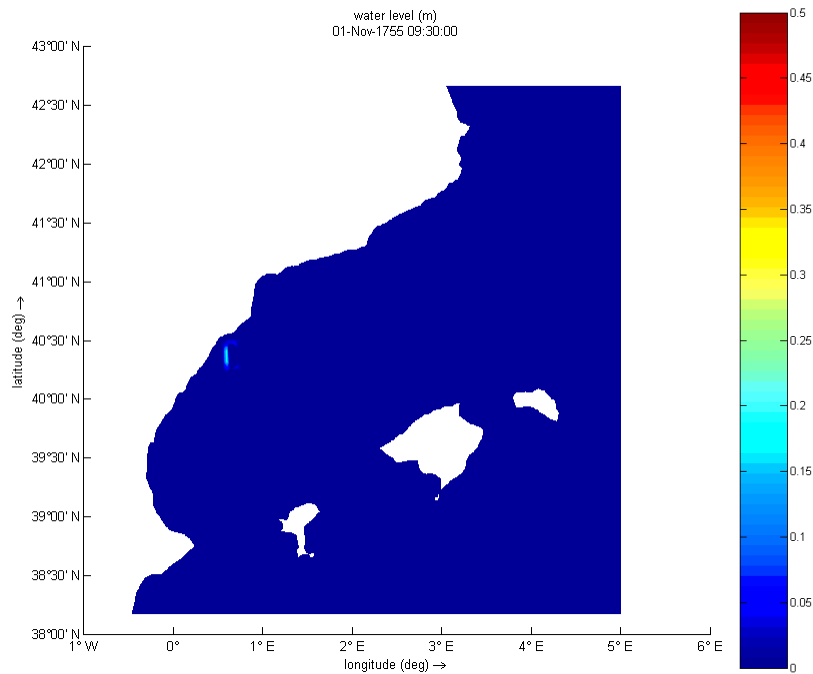
3.3.2.3 *Cataluña*

Tarragona
Tiempo de llegada
1 hora 5 minutos



3.4 Amposta E Quaternary Fault

3.4.1 Instante inicial



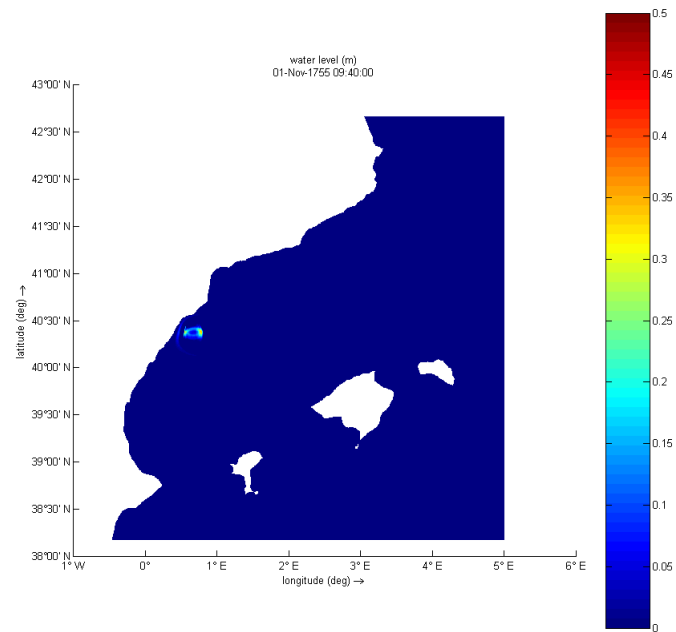
3.4.2 Tiempos de llegada

3.4.2.1 *Comunidad Valenciana*

Castellón

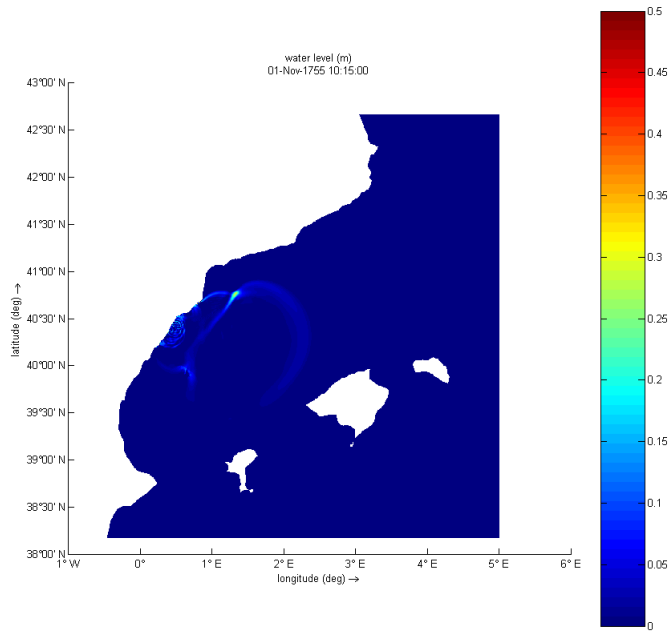
Tiempo de llegada

10 min

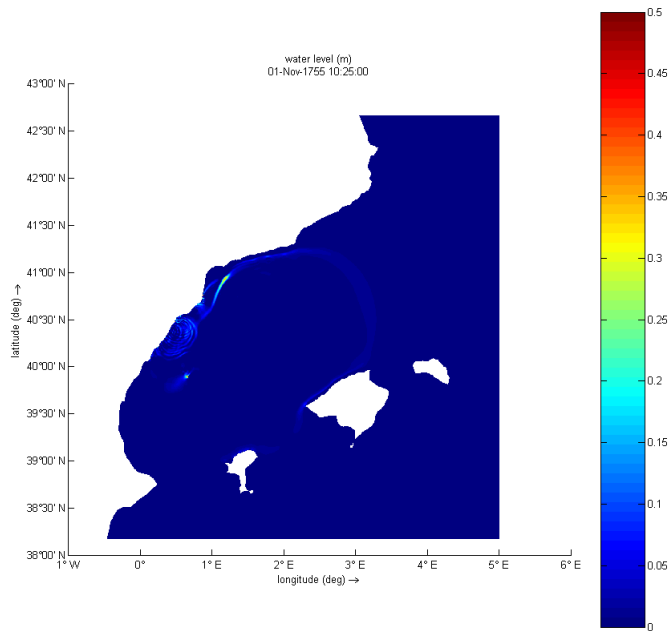


3.4.2.2 *Cataluña*

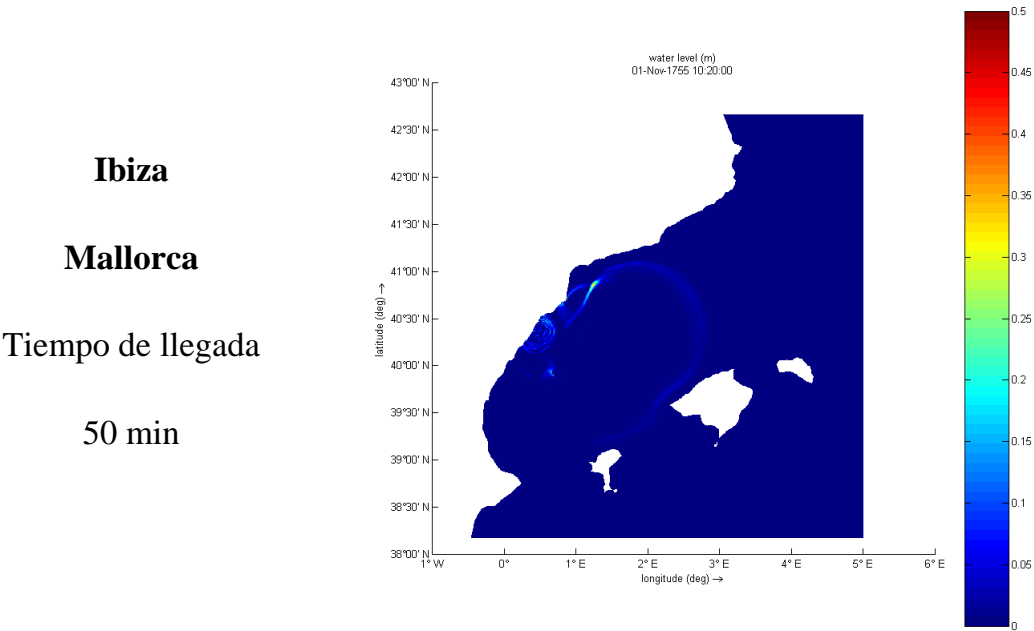
Tarragona
Tiempo de llegada
45 min



Barcelona
Tiempo de llegada
55 min

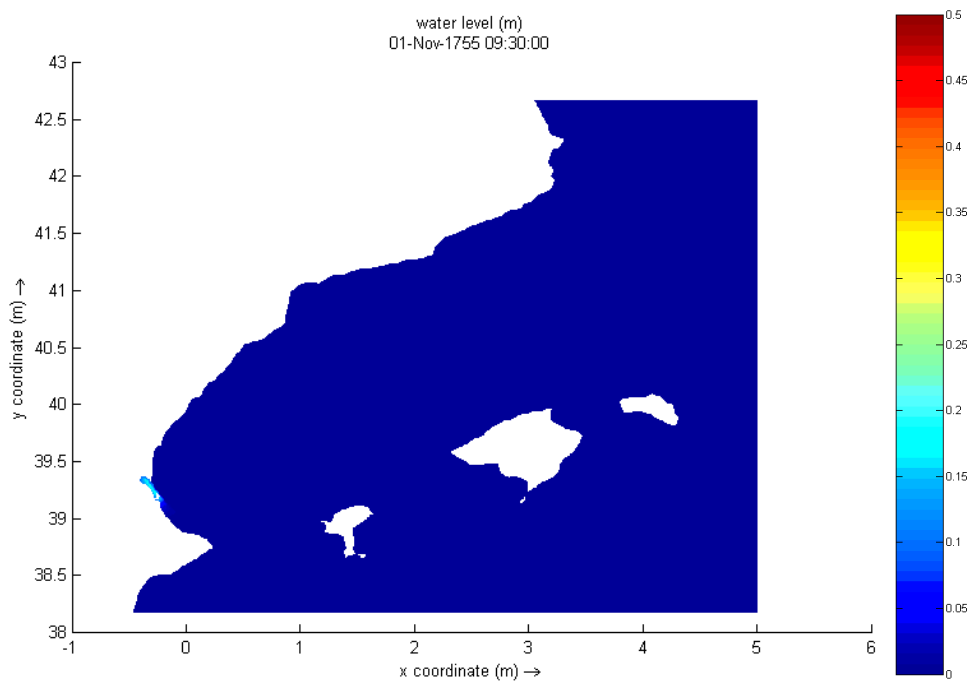


3.4.2.3 Islas Baleares



3.5 Cabo de Cullera W Fault

3.5.1 Instante inicial



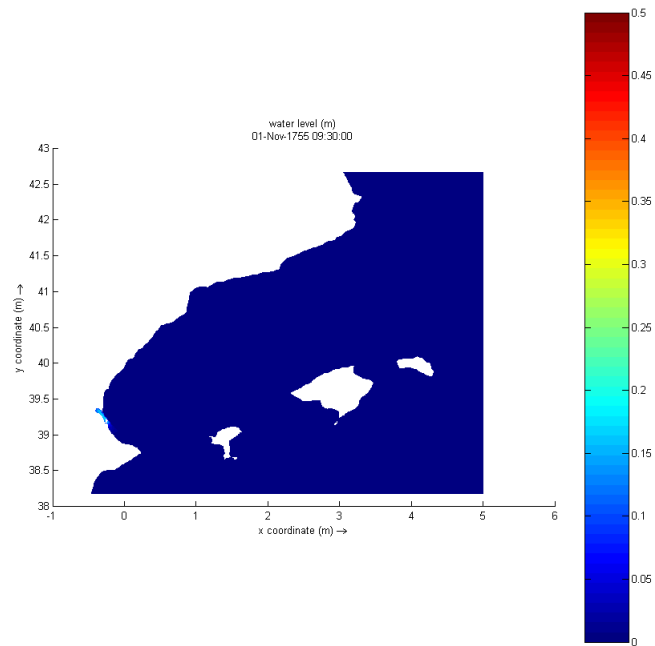
3.5.2 Tiempos de llegada

3.5.2.1 *Comunidad Valenciana*

Valencia

Tiempo de llegada

0 minutos

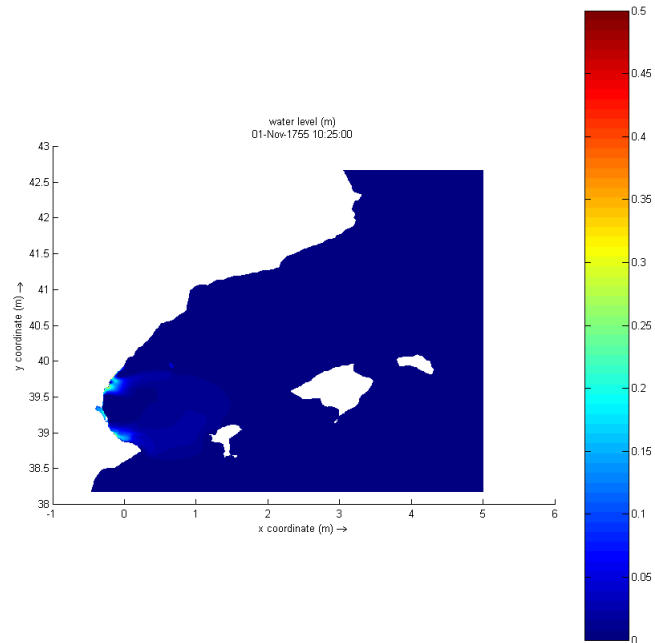


3.5.2.2 Islas Baleares

Ibiza

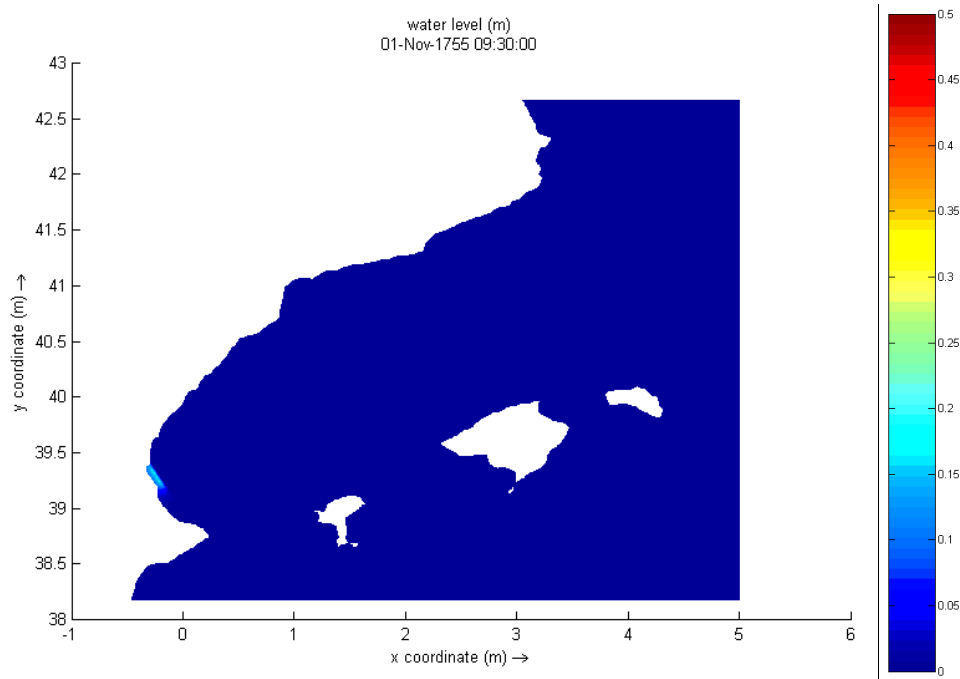
Tiempo de llegada

55 minutos



3.6 Cabo de Cullera C-W Fault

3.6.1 Instante inicial



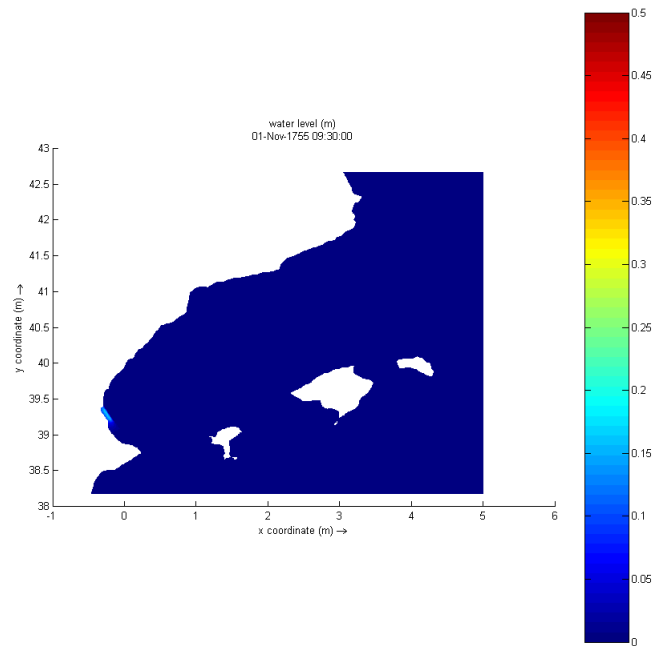
3.6.2 Tiempos de llegada

3.6.2.1 *Comunidad Valenciana*

Valencia

Tiempo de llegada

0 min

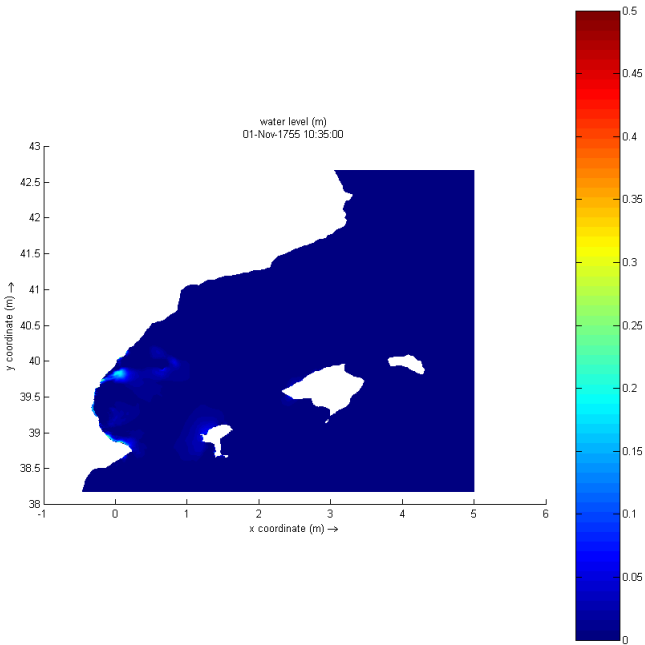


3.6.2.2 *Islas Baleares*

Ibiza

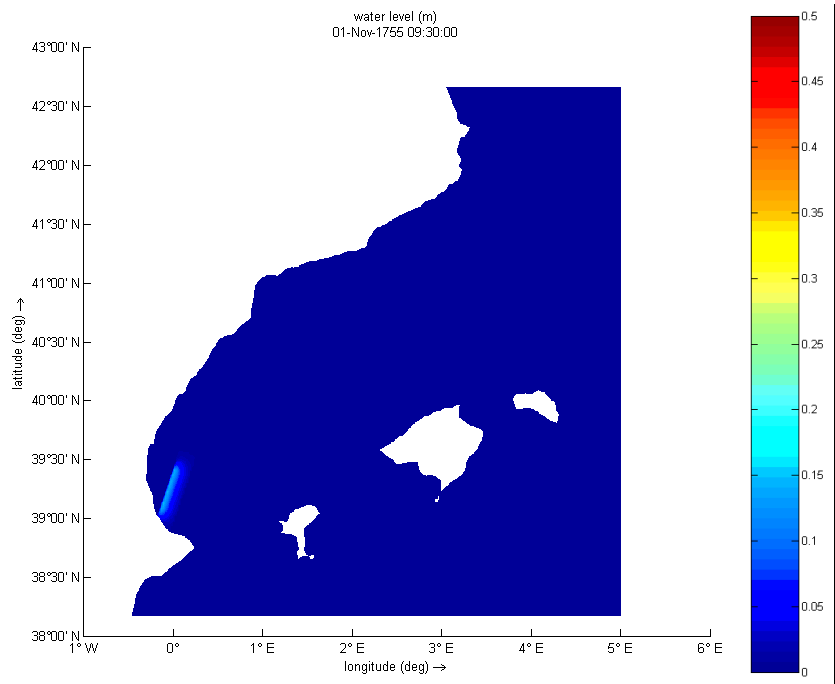
Tiempo de llegada

1 h 5 min



3.7 Cabo de Cullera C-E Fault

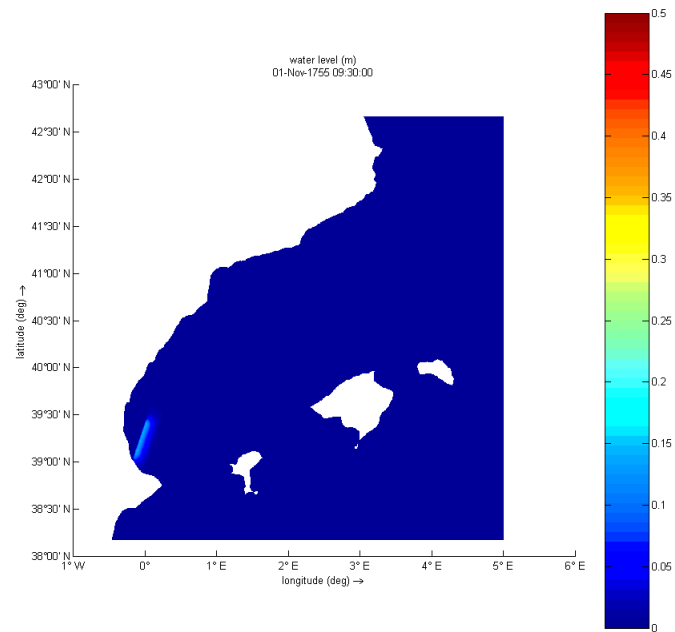
3.7.1 Instante inicial



3.7.2 Tiempos de llegada

3.7.2.1 *Comunidad Valenciana*

Valencia
Tiempo de llegada
0 min

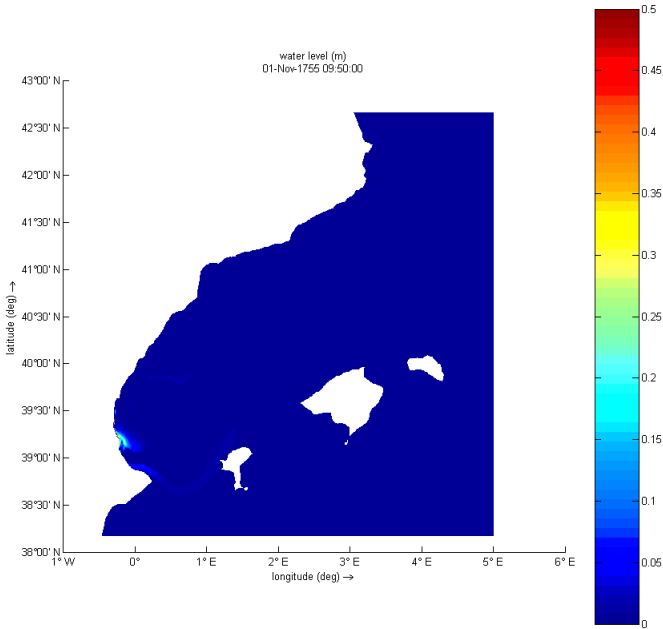


3.7.2.2 *Islas Baleares*

Ibiza

Tiempo de llegada

20 min

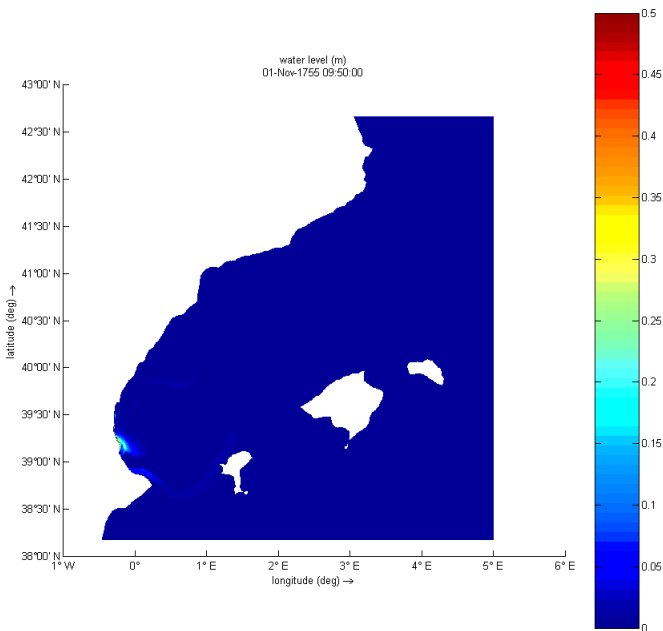


3.7.2.3 *Comunidad de Murcia*

Murcia

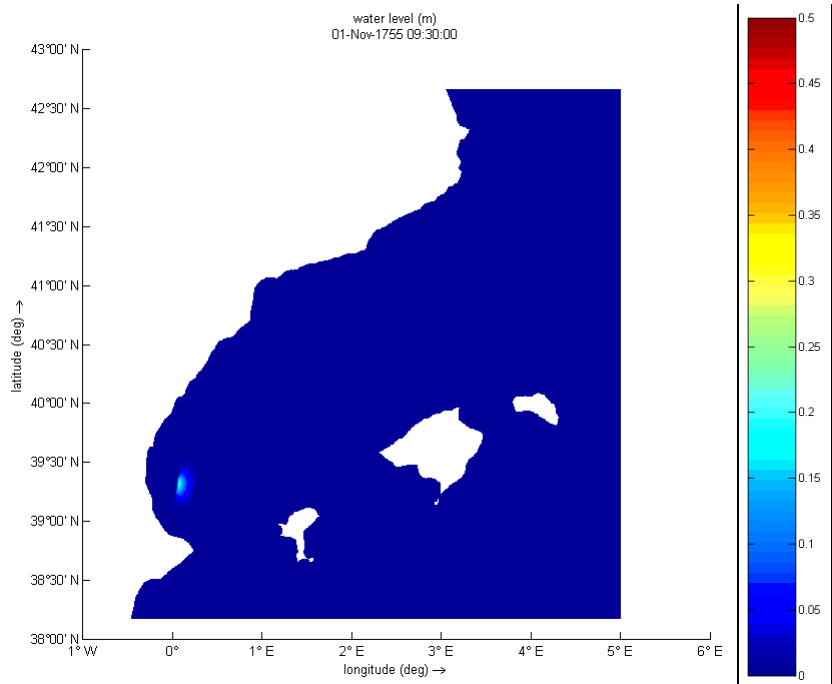
Tiempo de llegada

20 min



3.8 Cabo de Cullera E Fault

3.8.1 Instante inicial



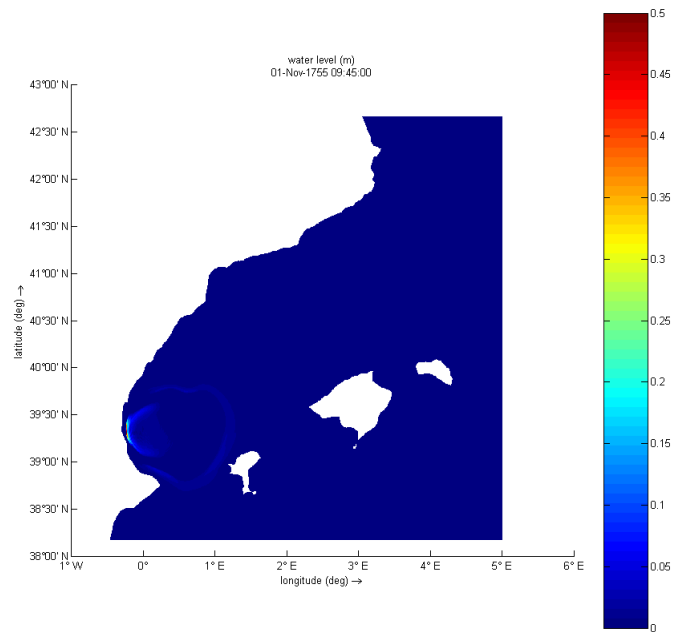
3.8.2 Tiempos de llegada

3.8.2.1 *Comunidad Valenciana*

Valencia

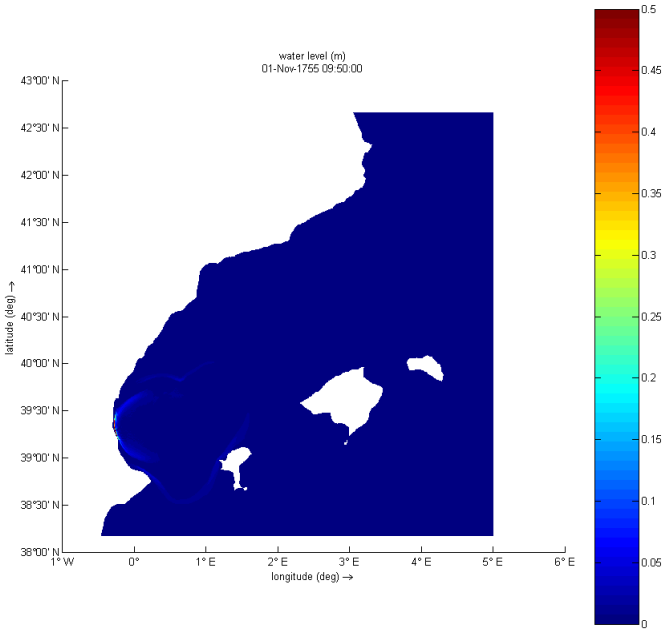
Tiempo de llegada

15 min



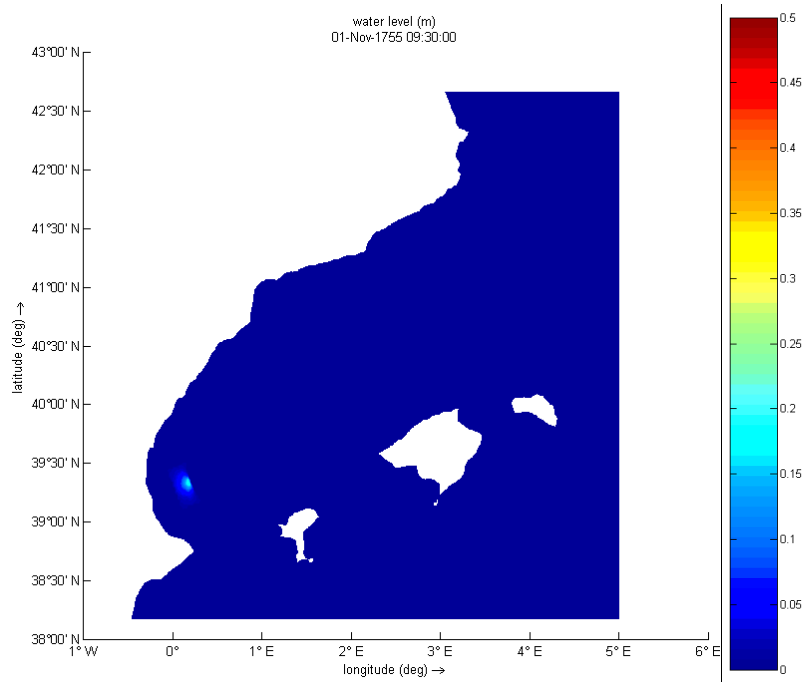
3.8.2.2 *Islas Baleares*

Ibiza
Tiempo de llegada
20 min



3.9 SW Columbretas Basin

3.9.1 Instante inicial



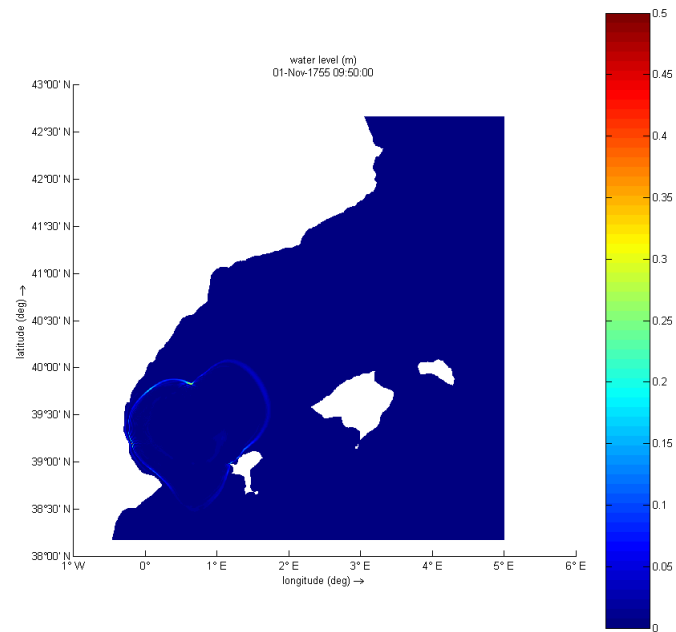
3.9.2 Tiempos de llegada

3.9.2.1 *Comunidad Valenciana*

Alicante

Tiempo de llegada

20 min

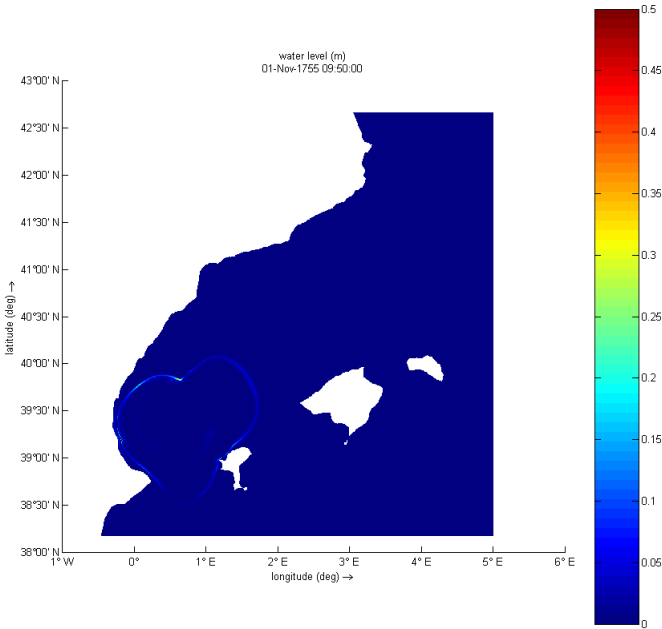


3.9.2.2 Comunidad de Murcia

Murcia

Tiempo de llegada

20 min

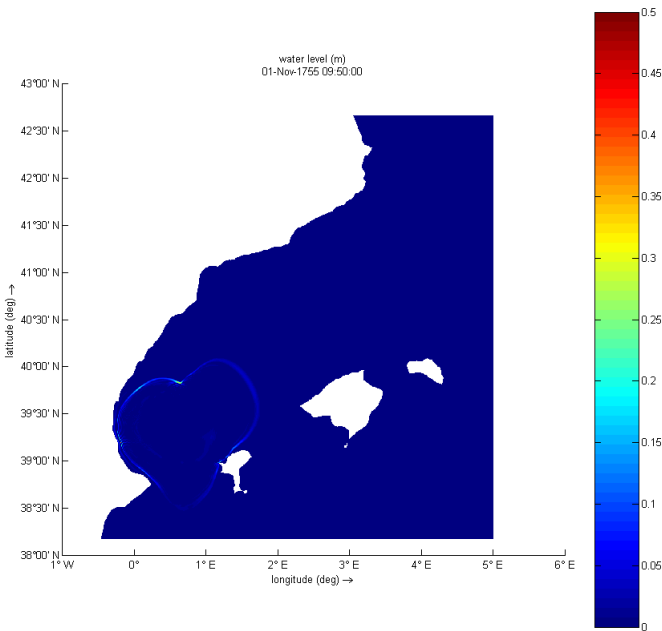


3.9.2.3 Islas Baleares

Ibiza

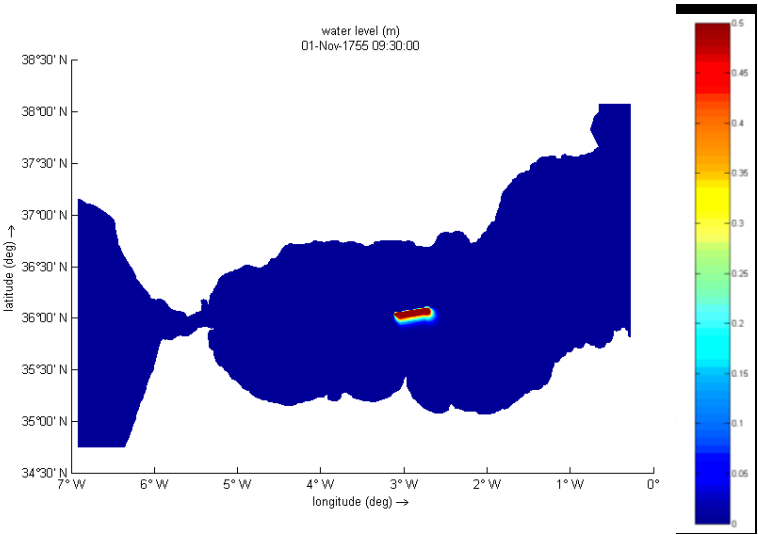
Tiempo de llegada

20 min



3.10 Alborán Ridge N

3.10.1 Instante inicial



3.10.2 Tiempos de llegada

3.10.2.1 Andalucía

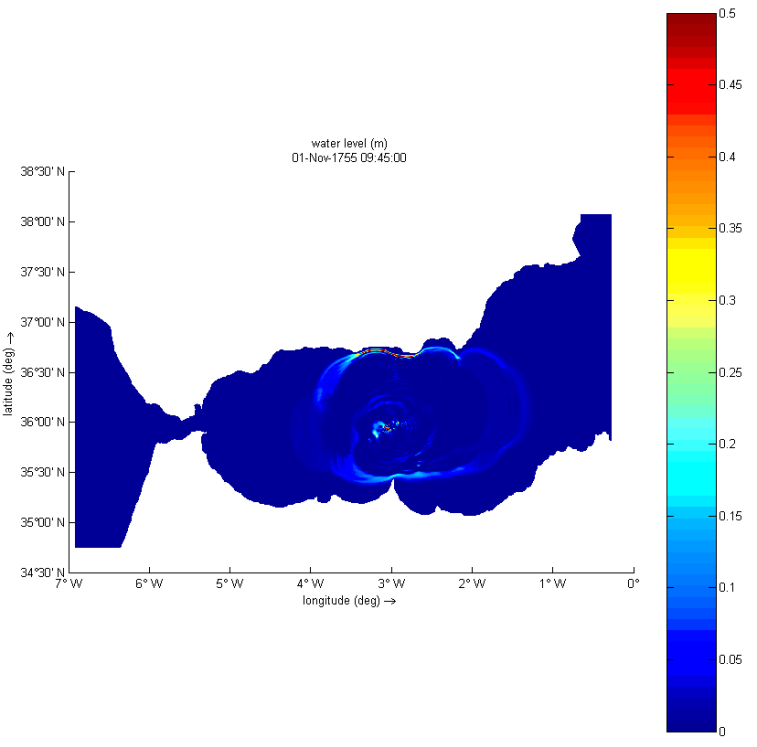
Almería

Granada

Málaga

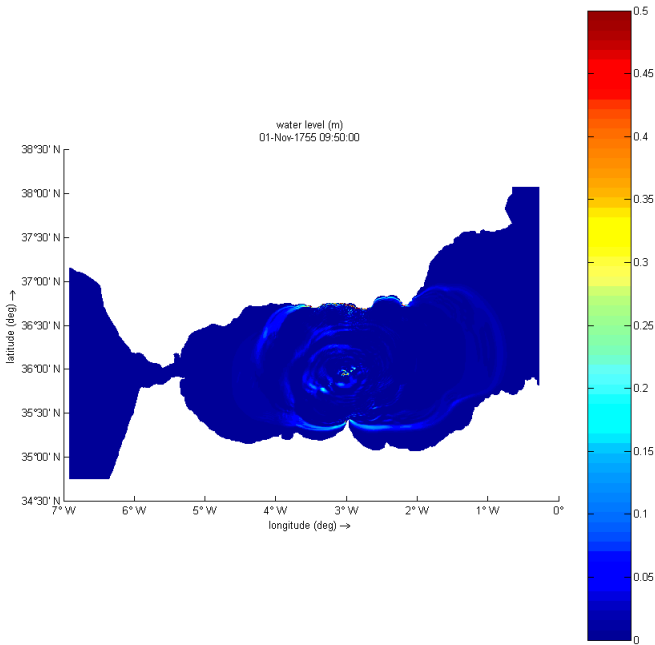
Tiempo de llegada

15 minutos



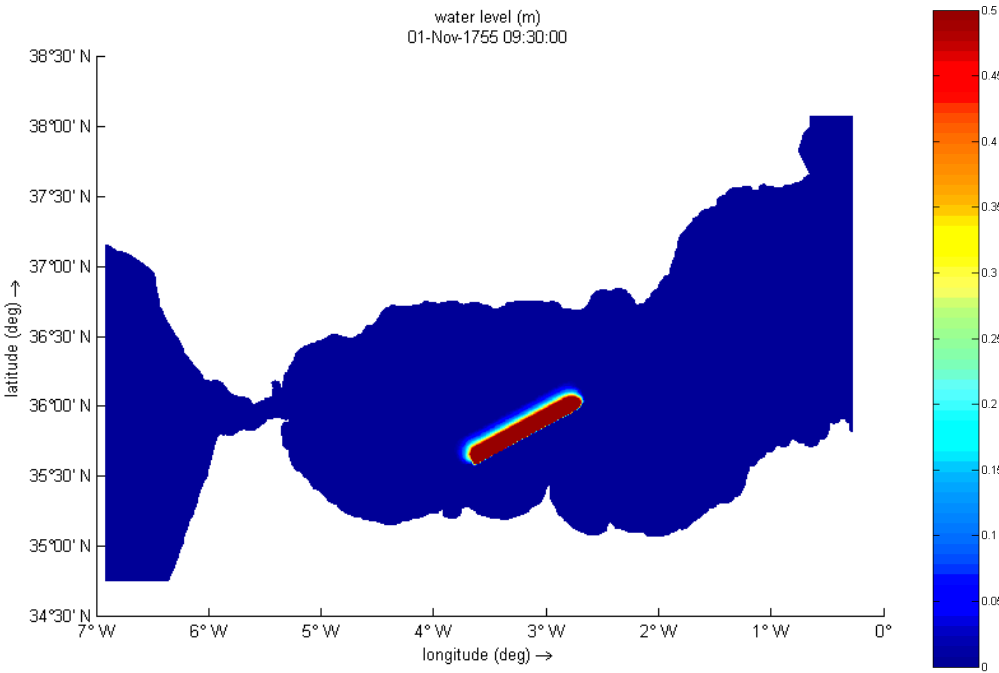
3.10.2.2 Ceuta y Melilla

Melilla
Tiempo de llegada:
20 minutos



3.11 Alborán Ridge S

3.11.1 Instante inicial



3.11.2 Tiempos de llegada

3.11.2.1 Andalucía

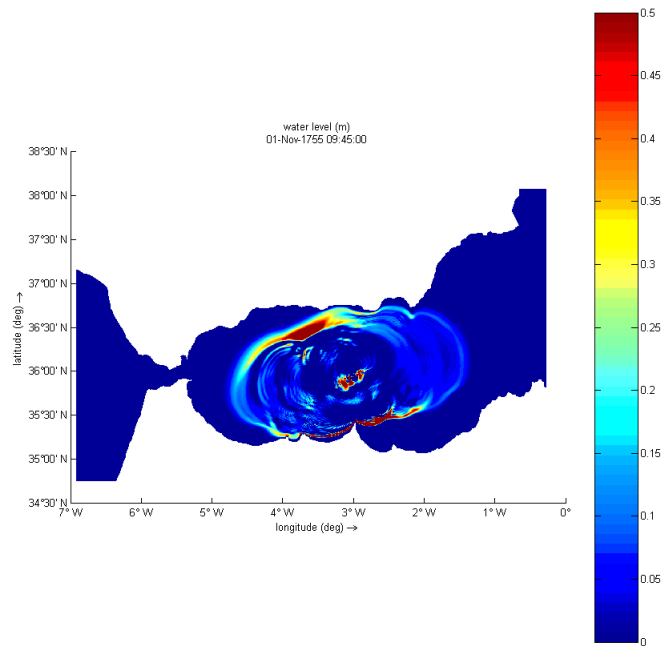
Almería

Granada

Málaga

Tiempo de llegada:

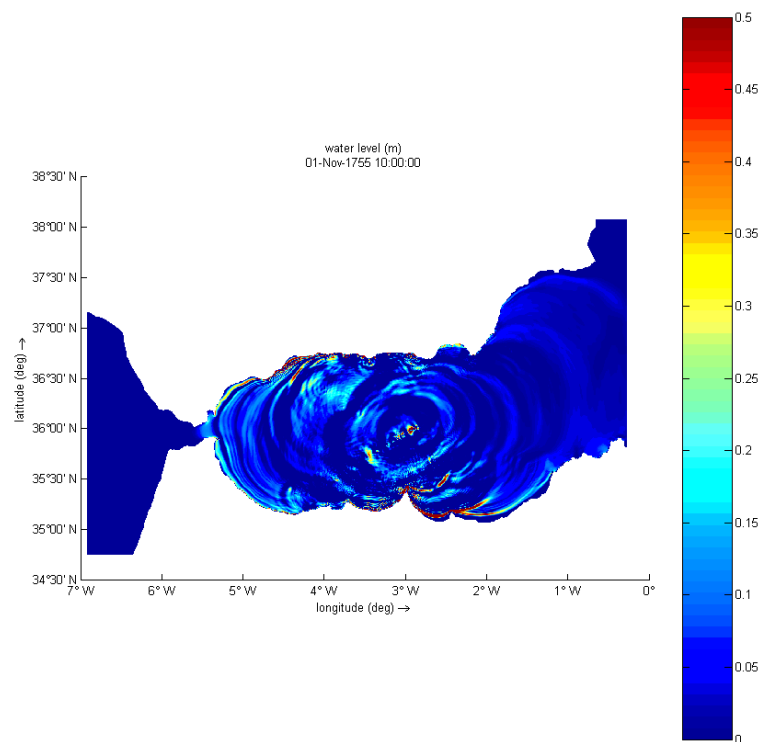
15 minutos



Cádiz

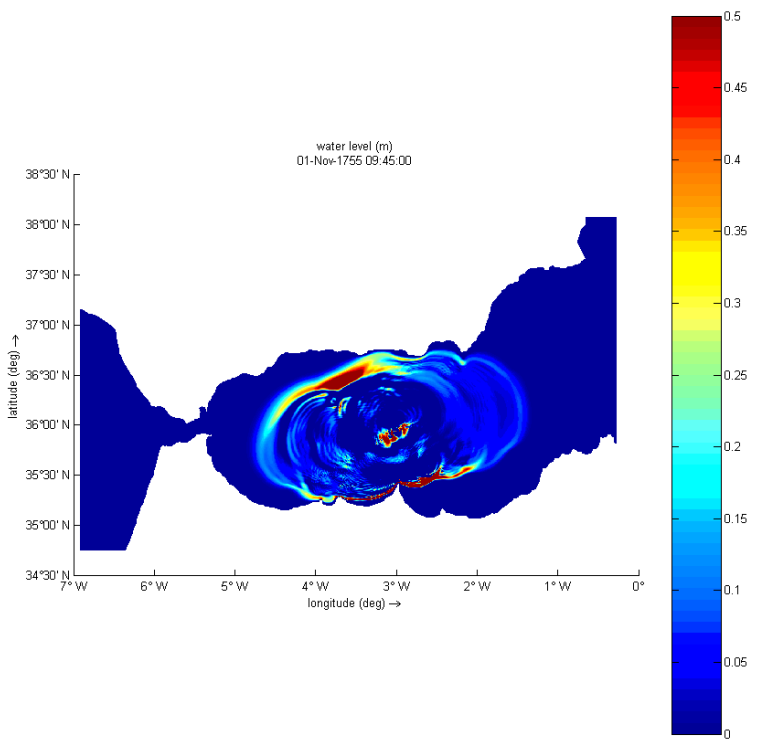
Tiempo de llegada:

30 minutos

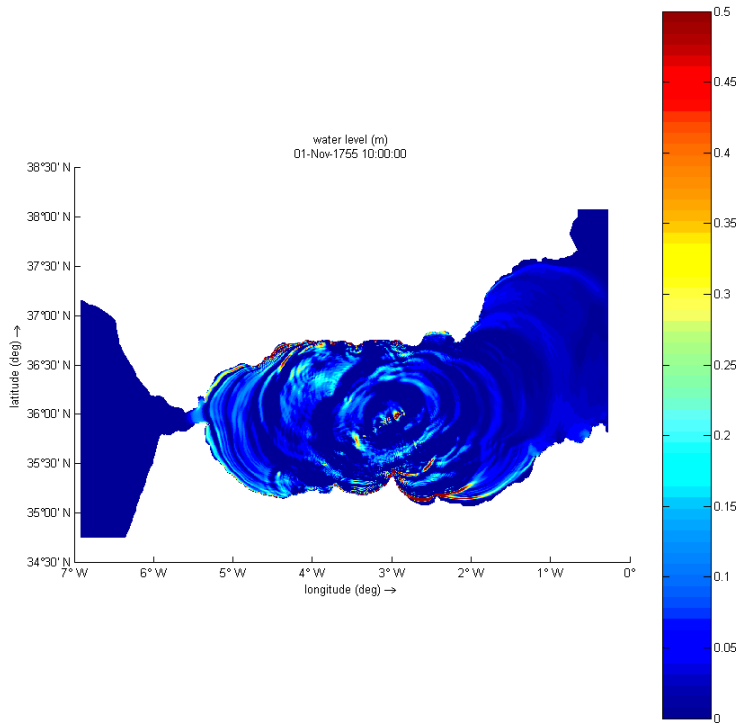


3.11.2.2 Ceuta y Melilla

Melilla
Tiempo de llegada
15 minutos

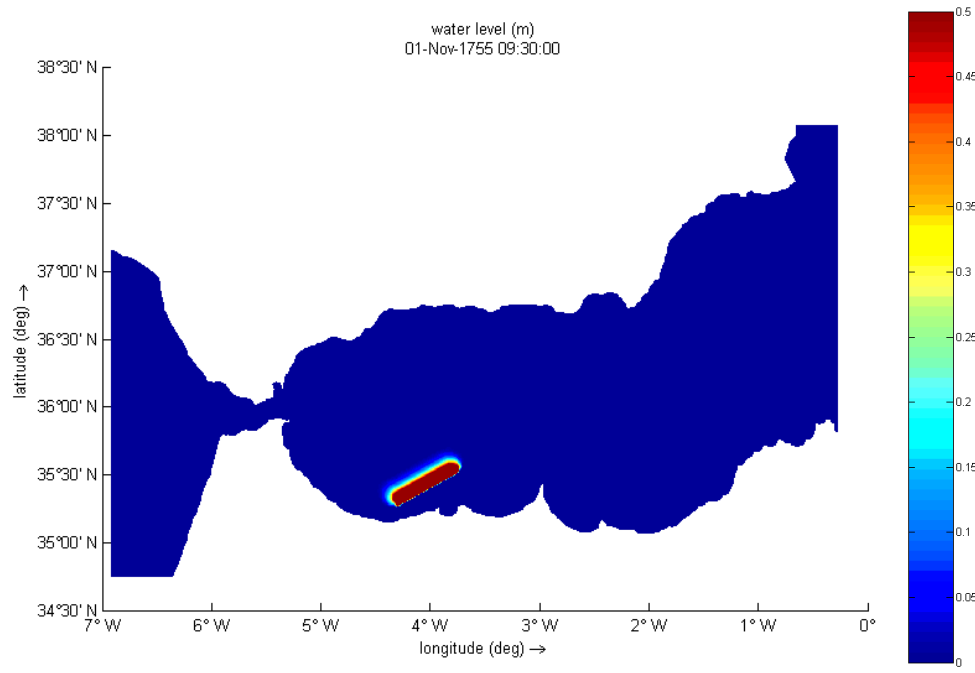


Ceuta
Tiempo de llegada:
30 minutos



3.12 Jebha Offshore

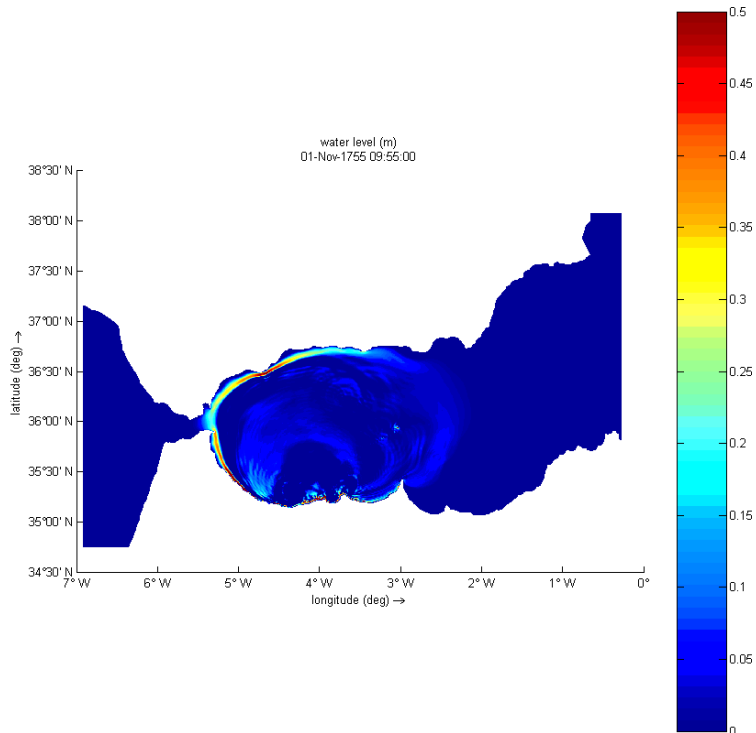
3.12.1 Instante inicial



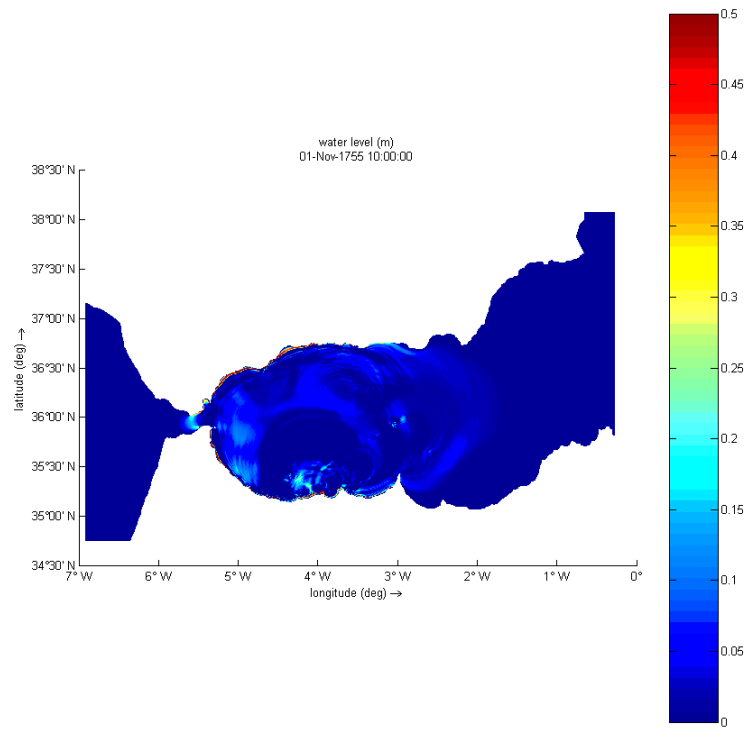
3.12.2 Tiempos de llegada

3.12.2.1 *Andalucía*

Málaga
Tiempo de llegada
25 minutos

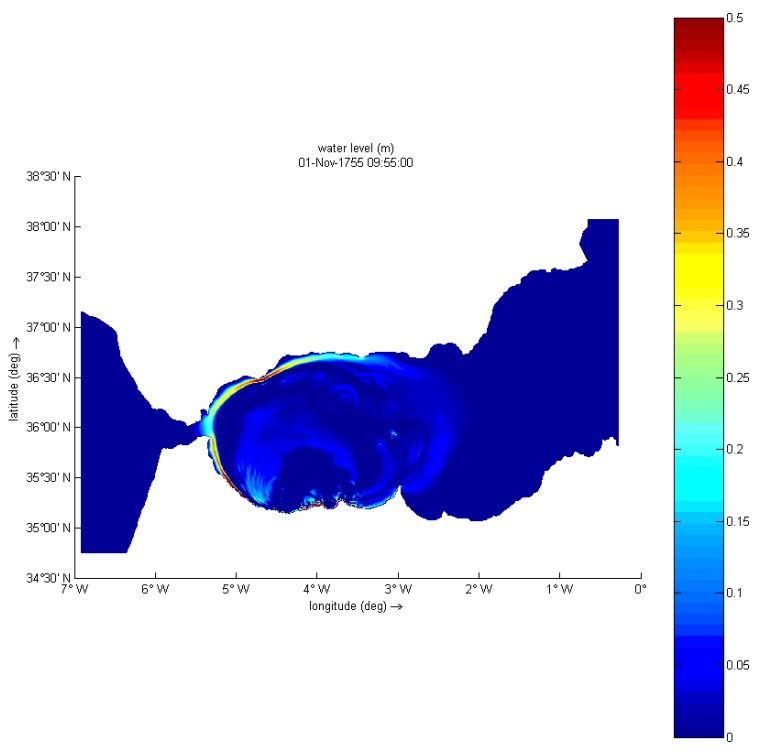


Cádiz
Granada
Tiempo de llegada:
30 minutos



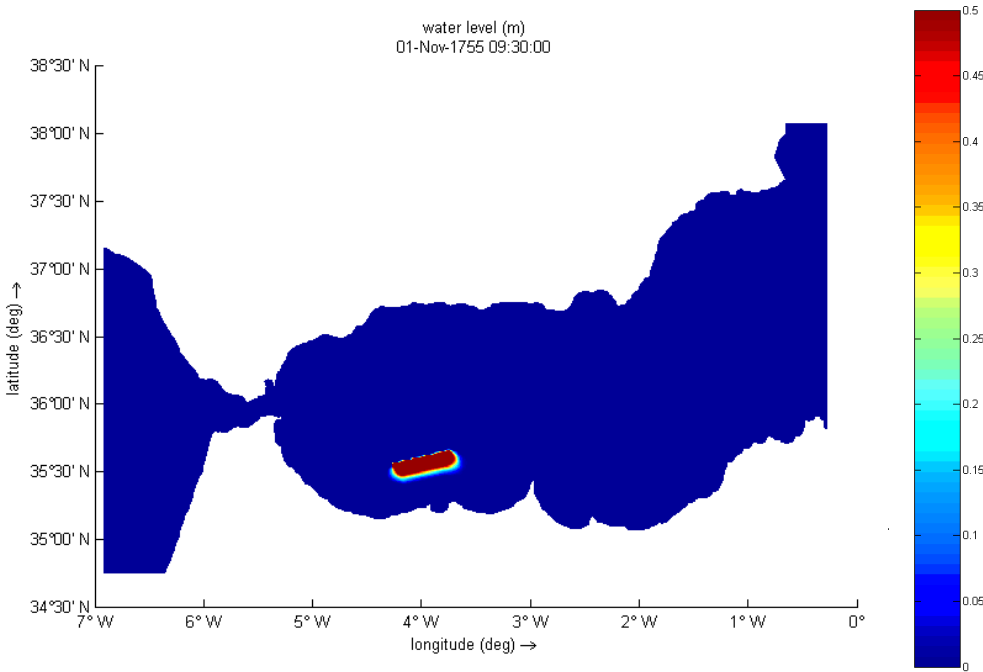
3.12.2.2 Ceuta y Melilla

Ceuta
Tiempo de llegada
25 minutos



3.13 Tofiño Bank

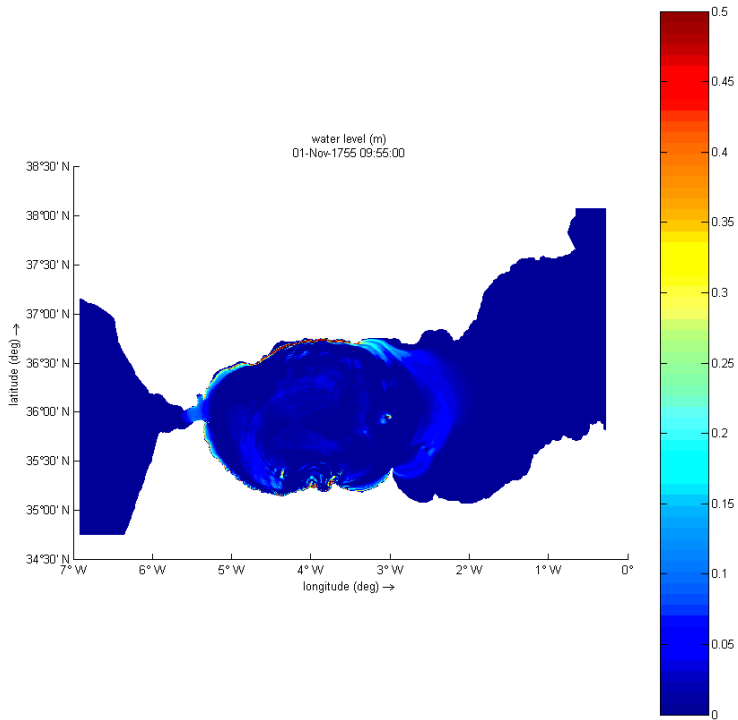
3.13.1 Instante inicial



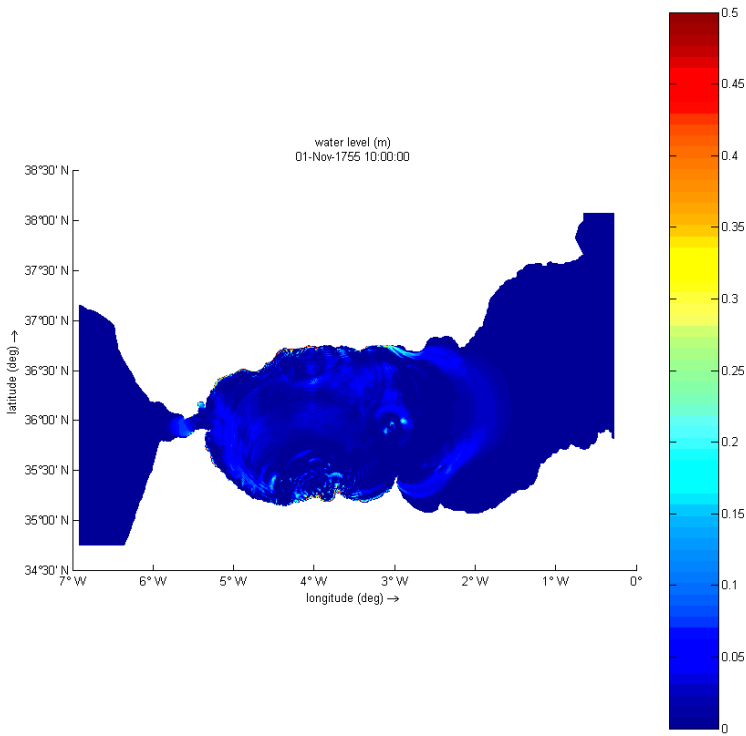
3.13.2 Tiempos de llegada

3.13.2.1 *Andalucía*

Granada
Málaga
Cádiz
Tiempo de llegada
25 minutos

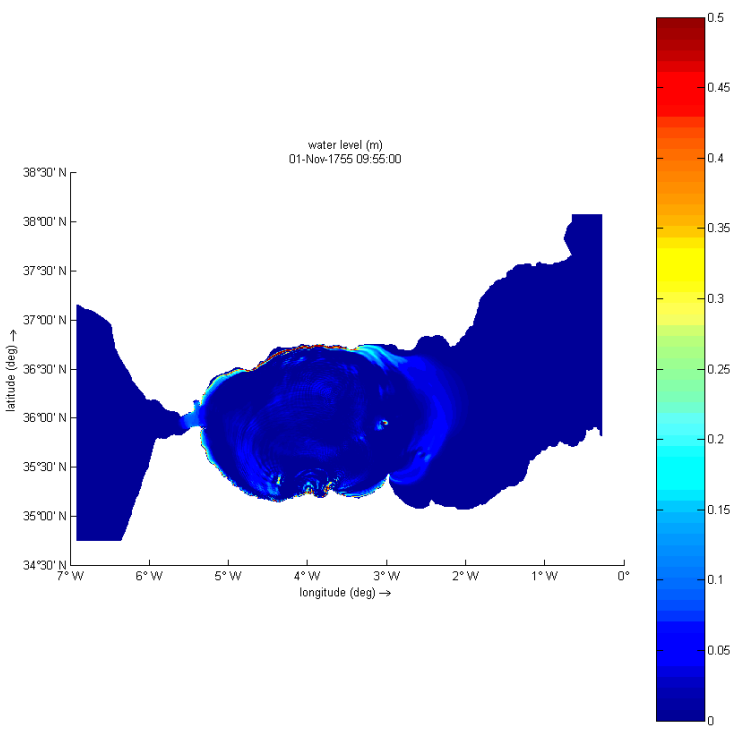


Almería
Tiempo de llegada:
30 minutos



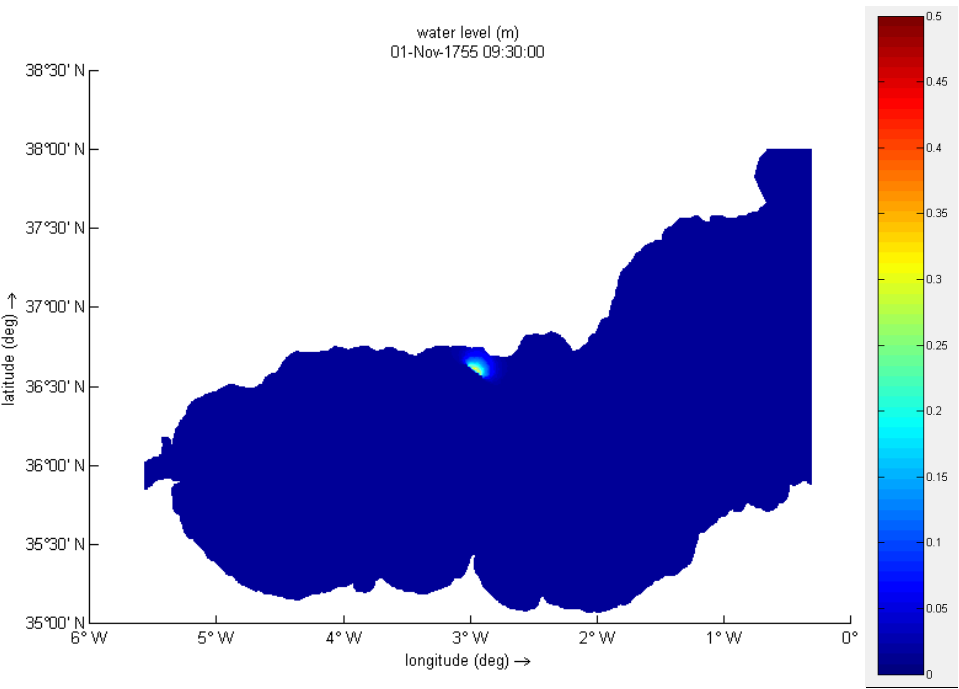
3.13.2.2 Ceuta y Melilla

Ceuta
Tiempo de llegada
25 minutos



3.14 Adra

3.14.1 Instante inicial



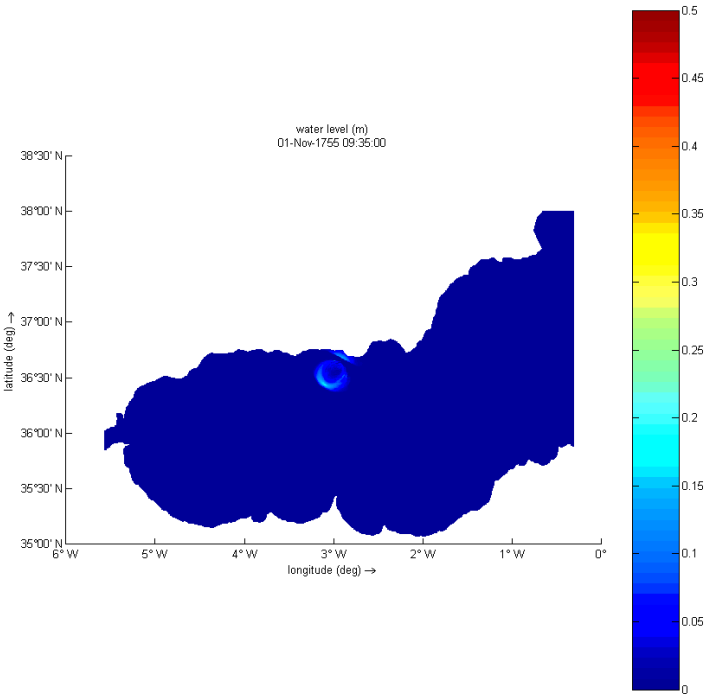
3.14.2 Tiempos de llegada

3.14.2.1 *Andalucía*

Almería

Tiempo de llegada

5 minutos

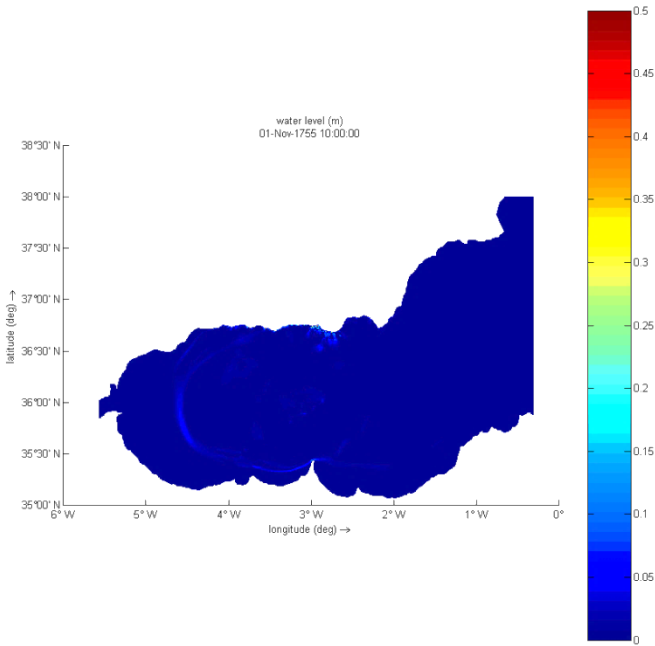


3.14.2.2 *Ceuta y Melilla*

Melilla

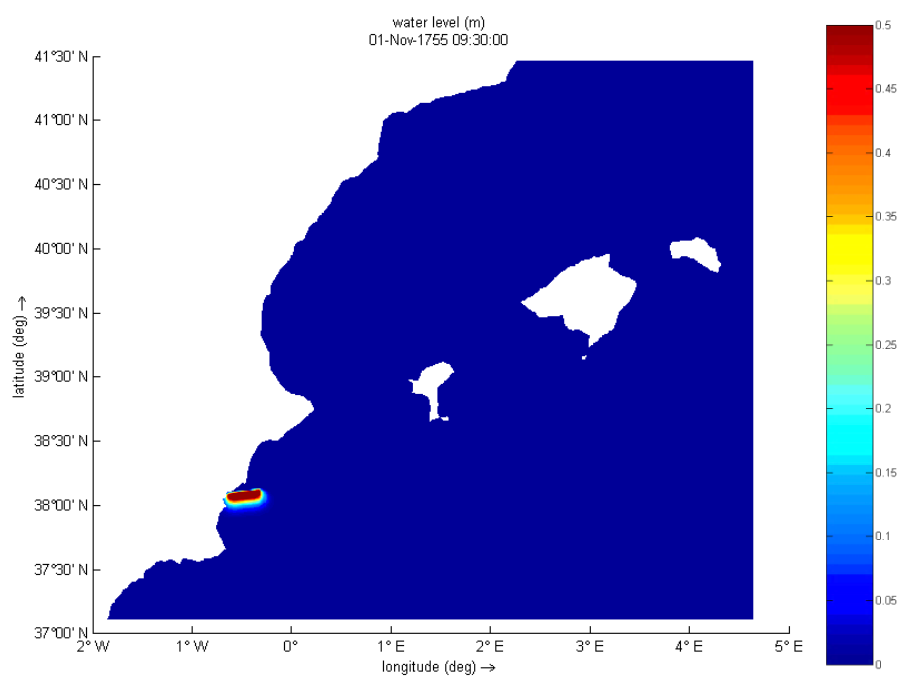
Tiempo de llegada

30 minutos



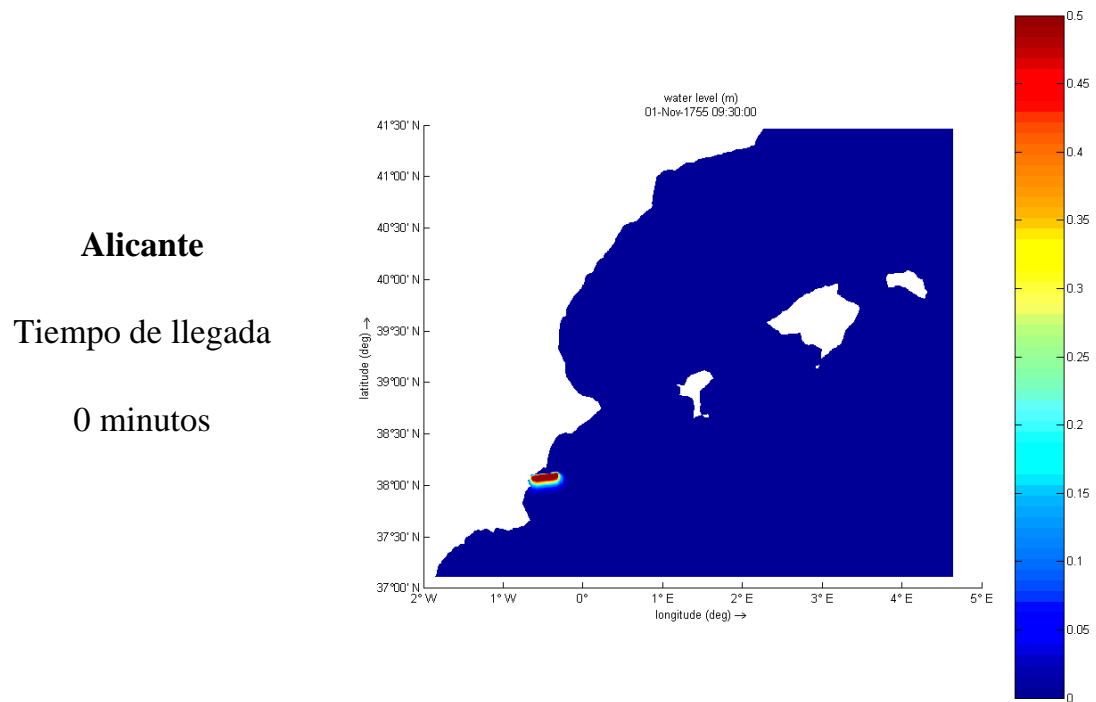
3.15 Bajo Segura Offshore

3.15.1 Instante inicial

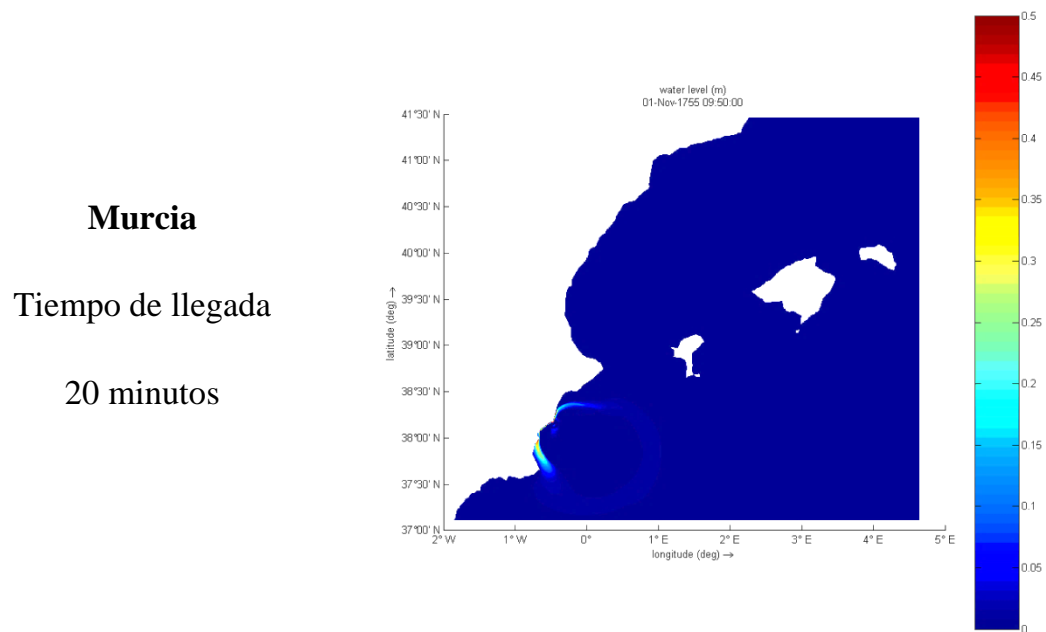


3.15.2 Tiempos de llegada

3.15.2.1 *Comunidad Valenciana*

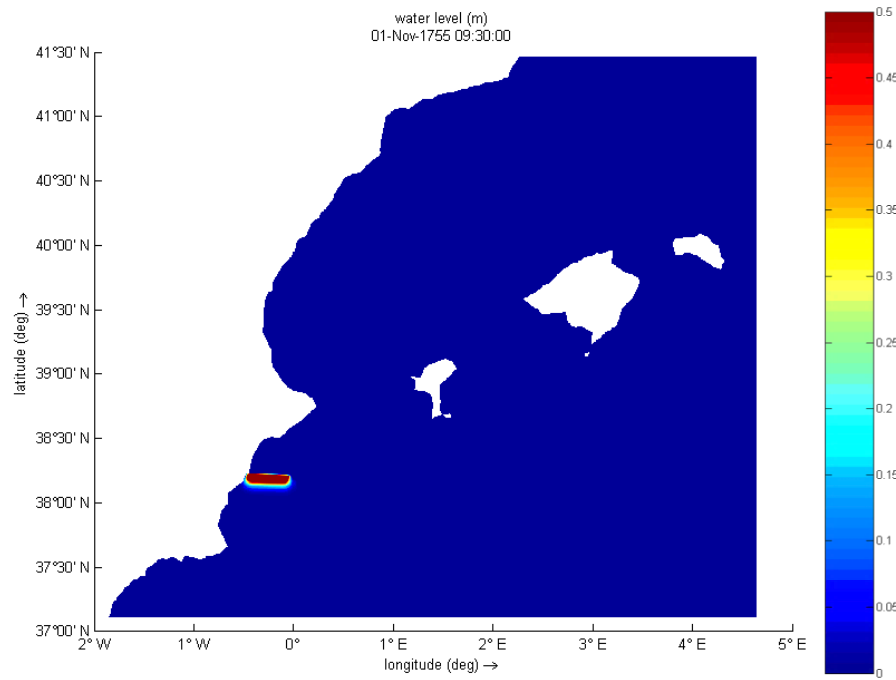


3.15.2.2 *Comunidad de Murcia*



3.16 Santa Pola

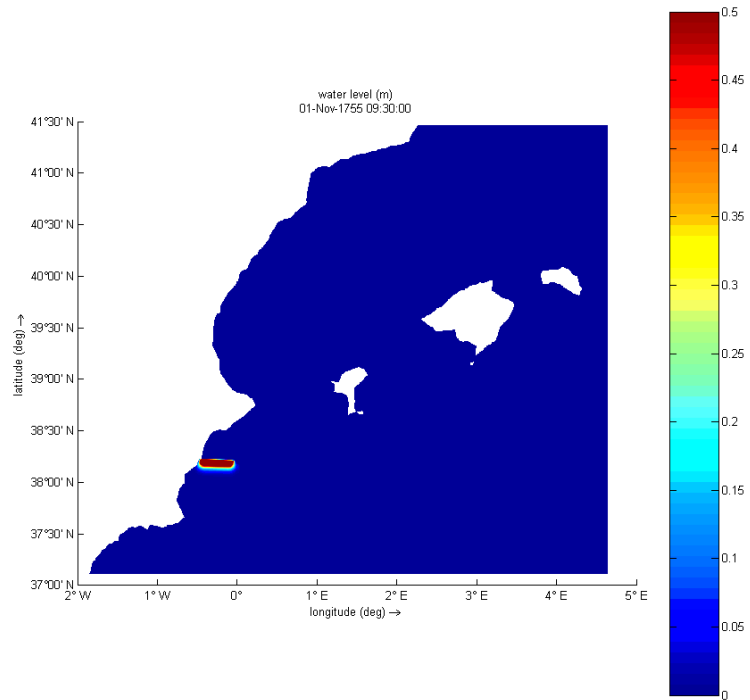
3.16.1 Instante inicial



3.16.2 Tiempos de llegada

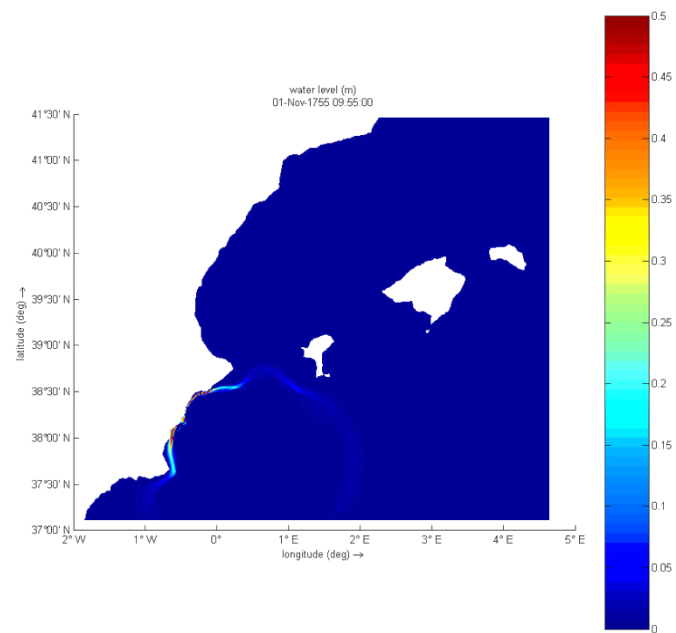
3.16.2.1 *Comunidad Valenciana*

Alicante
Tiempo de llegada
0 minutos



3.16.2.2 *Comunidad de Murcia*

Murcia
Tiempo de llegada
25 minutos

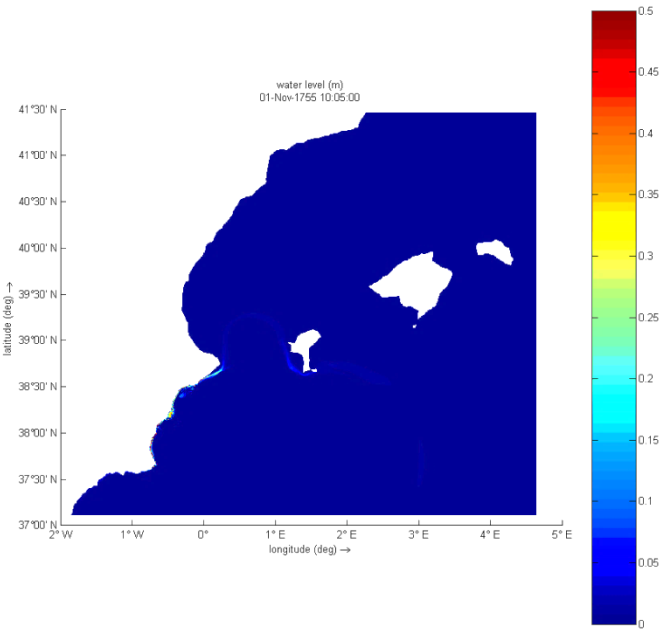


3.16.2.3 *Islas Baleares*

Ibiza

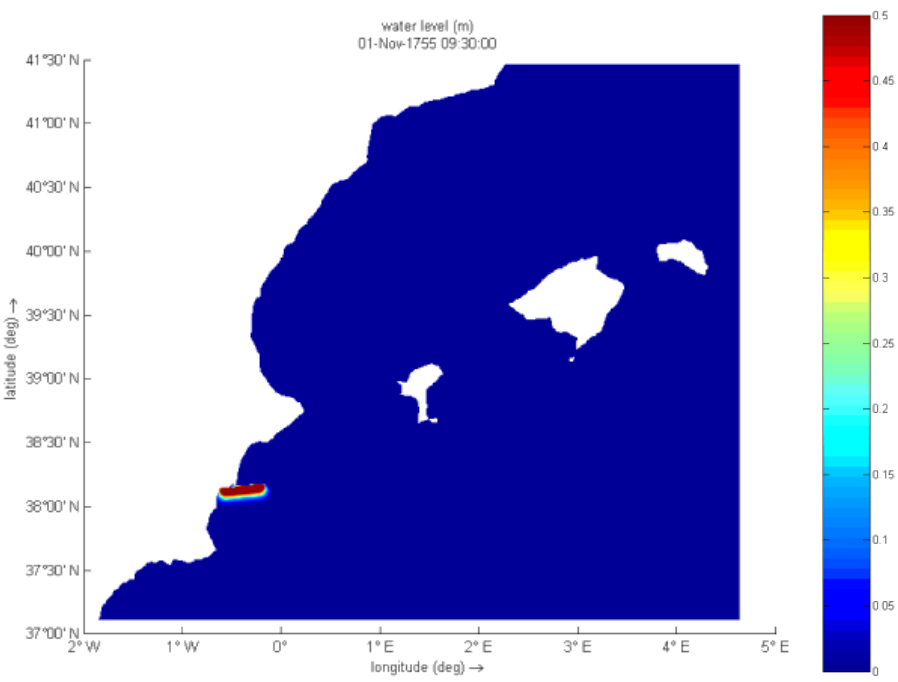
Tiempo de llegada

35 minutos



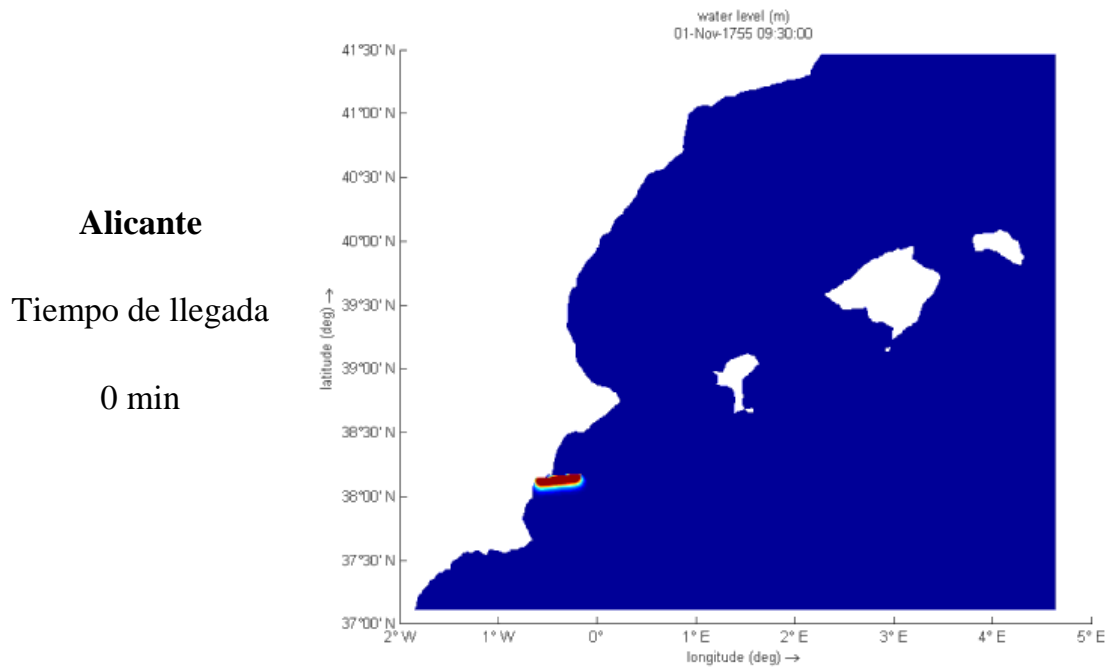
3.17 La Marina

3.17.1 Instante inicial



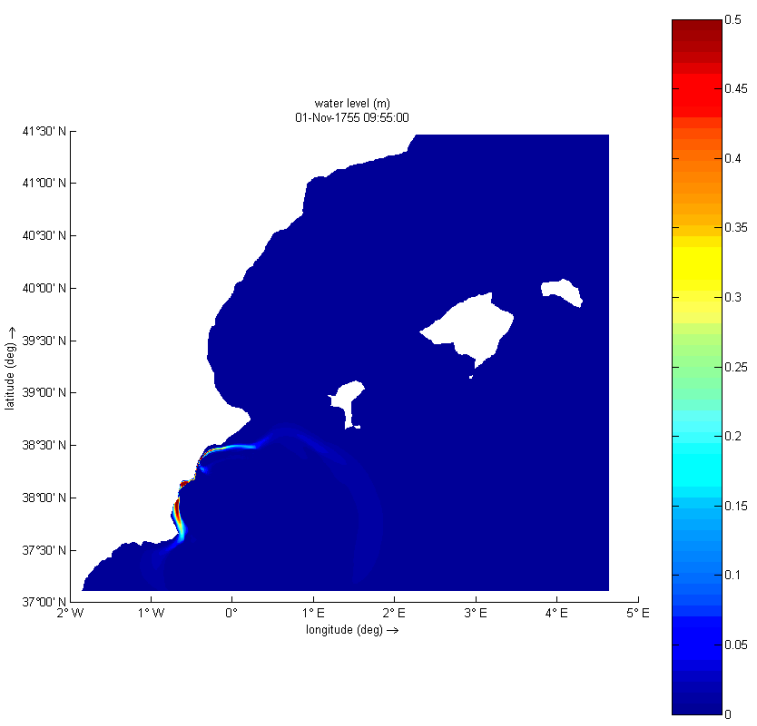
3.17.2 Tiempos de llegada

3.17.2.1 *Comunidad Valenciana*



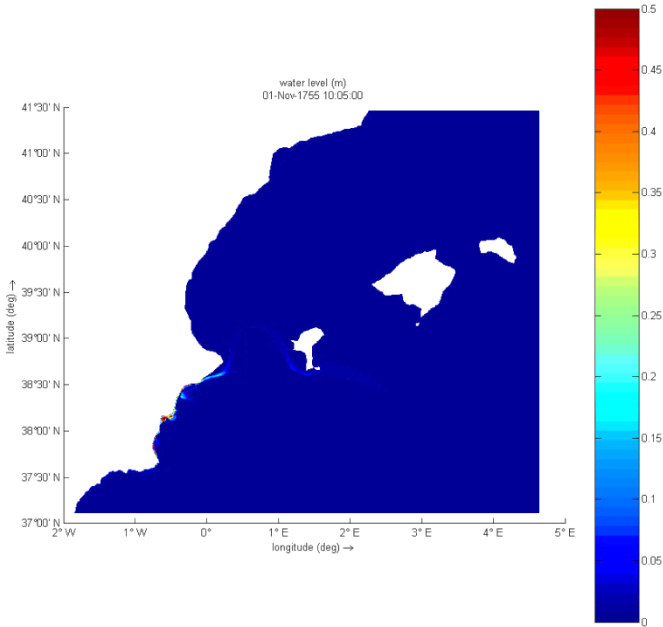
3.17.2.2 Comunidad de Murcia

Murcia
Tiempo de llegada
25 min



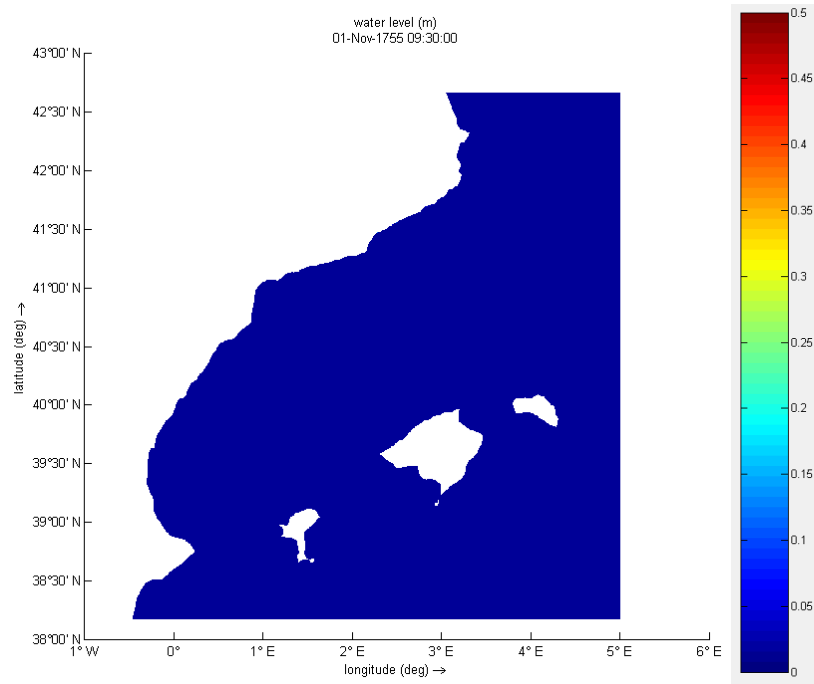
3.17.2.3 Islas Baleares

Ibiza
Tiempo de llegada
35 min



3.18 Barcelona

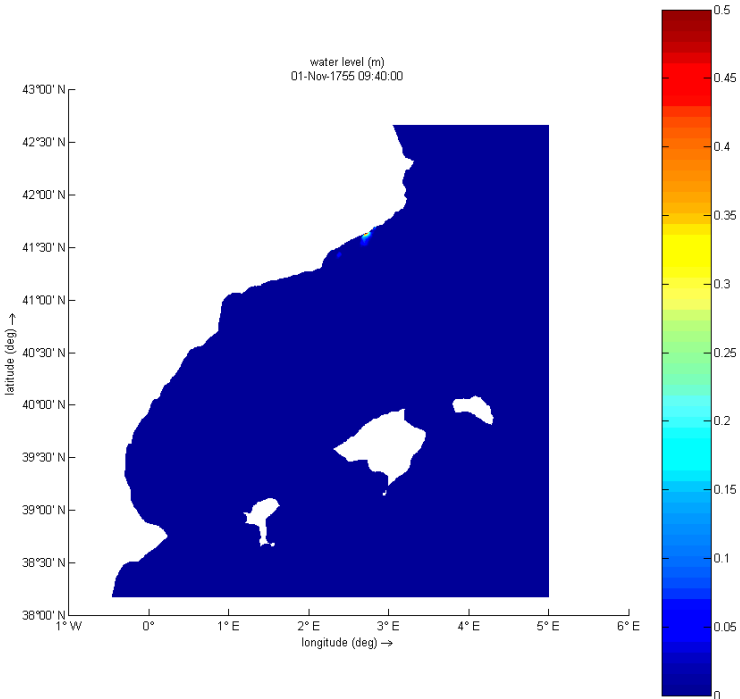
3.18.1 Instante inicial



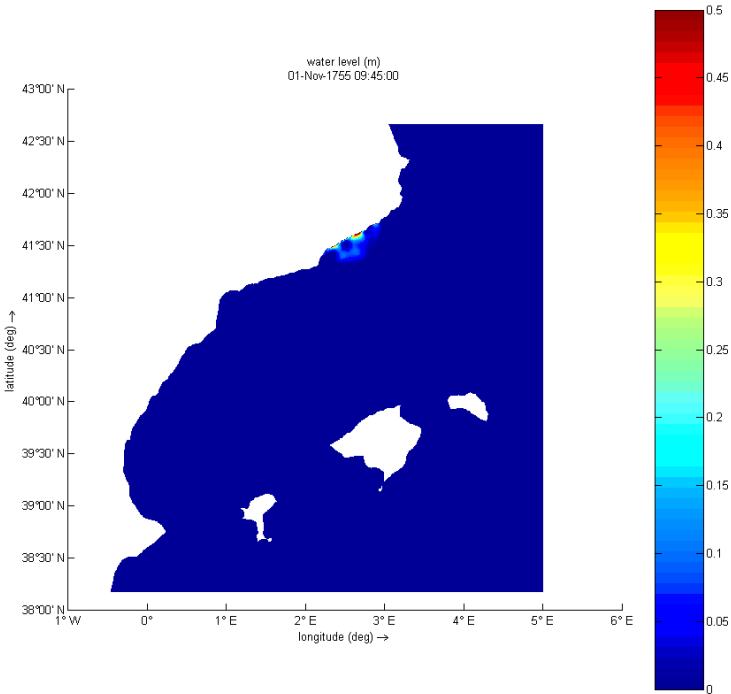
3.18.2 Tiempos de llegada

3.18.2.1 *Cataluña*

Gerona
Tiempo de llegada
10 minutos

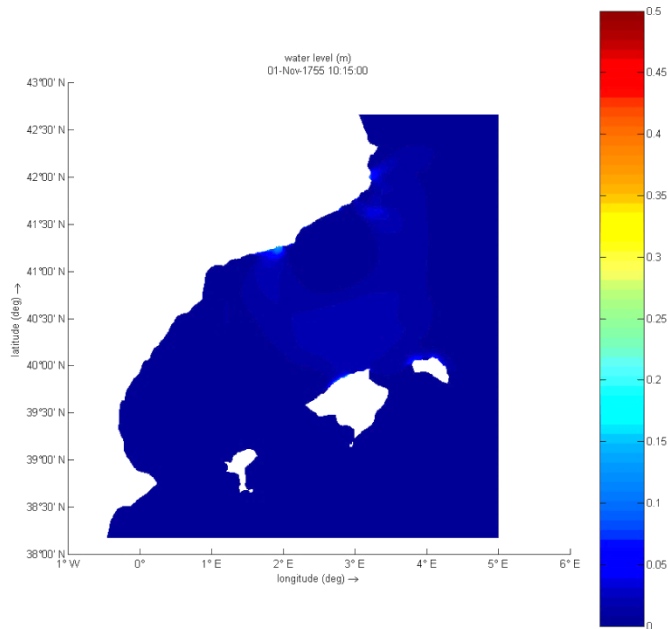


Barcelona
Tiempo de llegada
15 minutos



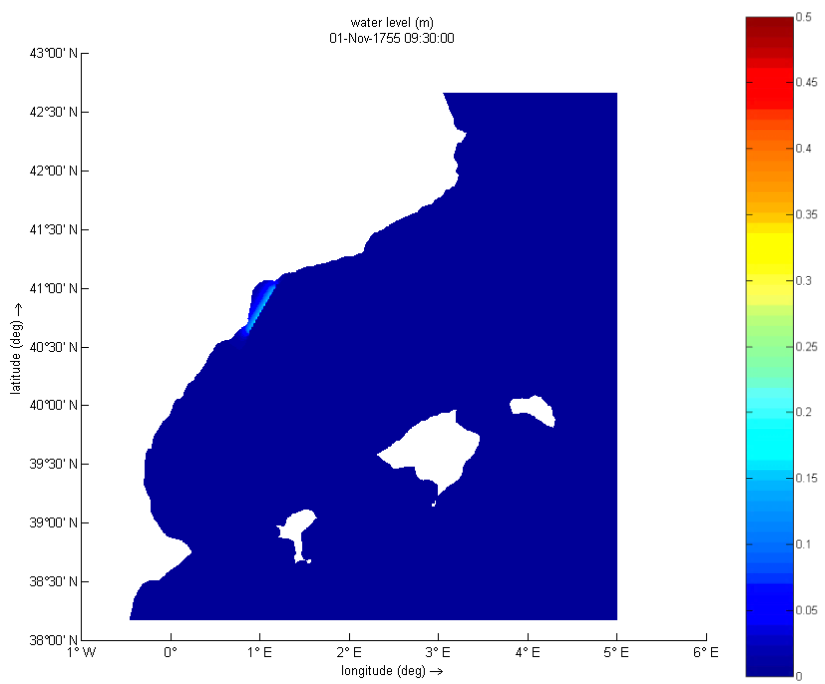
3.18.2.2 *Islas Baleares*

Mallorca
Menorca
Tiempo de llegada
45 min



3.19 Delta del Ebro

3.19.1 Instante inicial



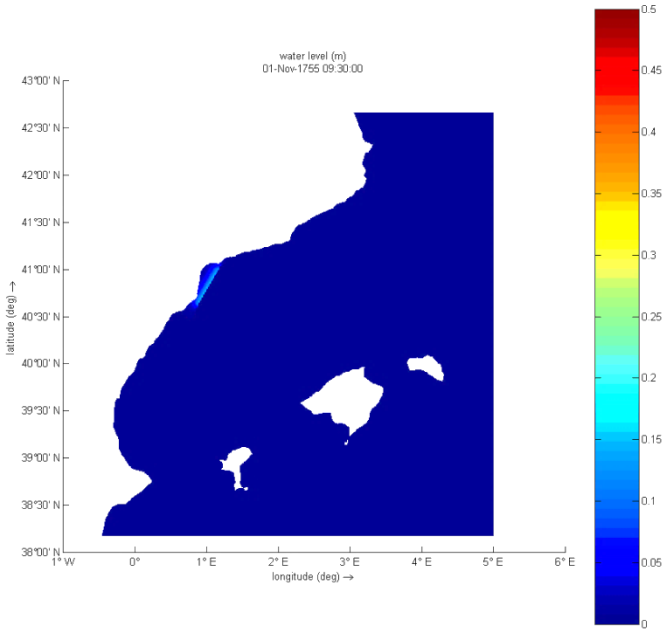
3.19.2 Tiempos de llegada

3.19.2.1 *Cataluña*

Tarragona

Tiempo de llegada

0 minutos

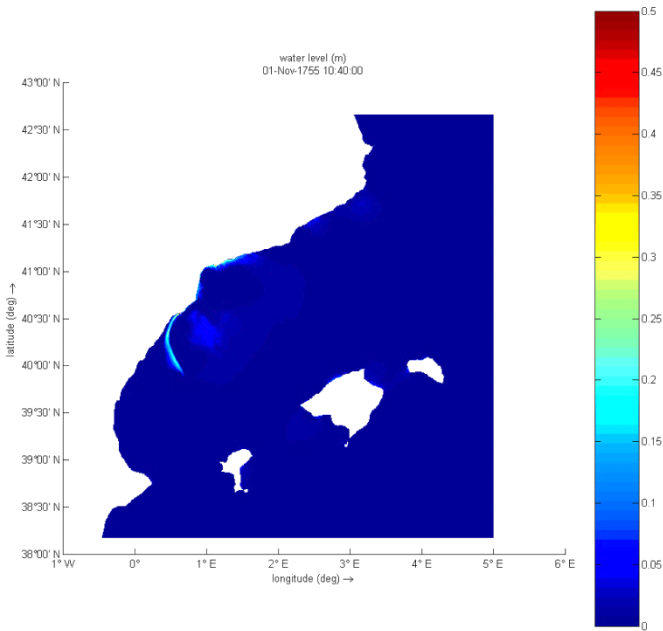


3.19.2.2 Comunidad Valenciana

Castellón

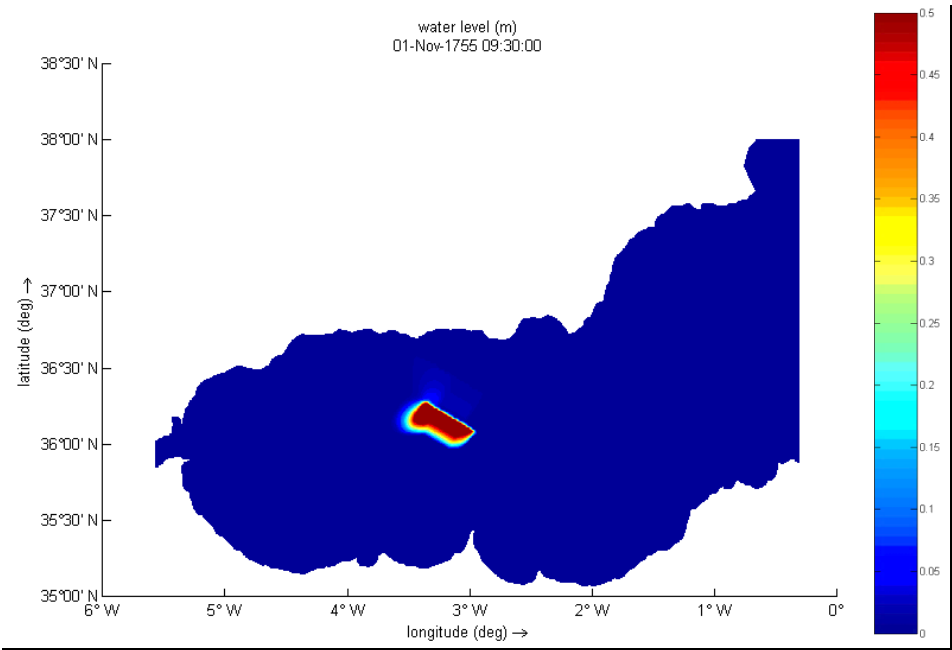
Tiempo de llegada

1 hora 10 min



3.20 Averroes

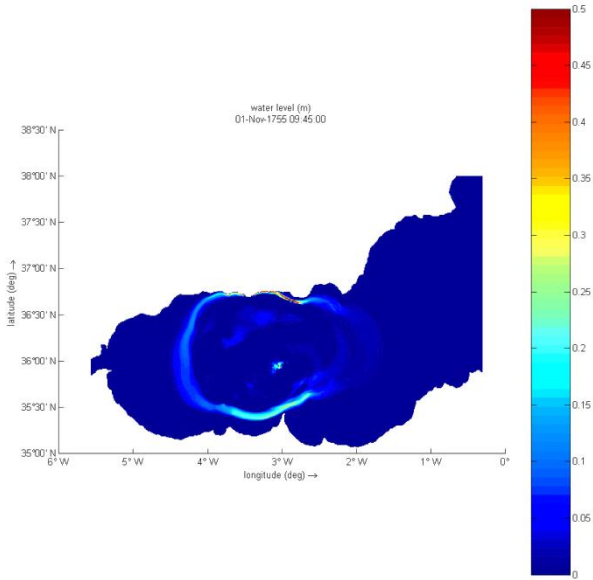
3.20.1 Instante inicial



3.20.2 Tiempos de llegada

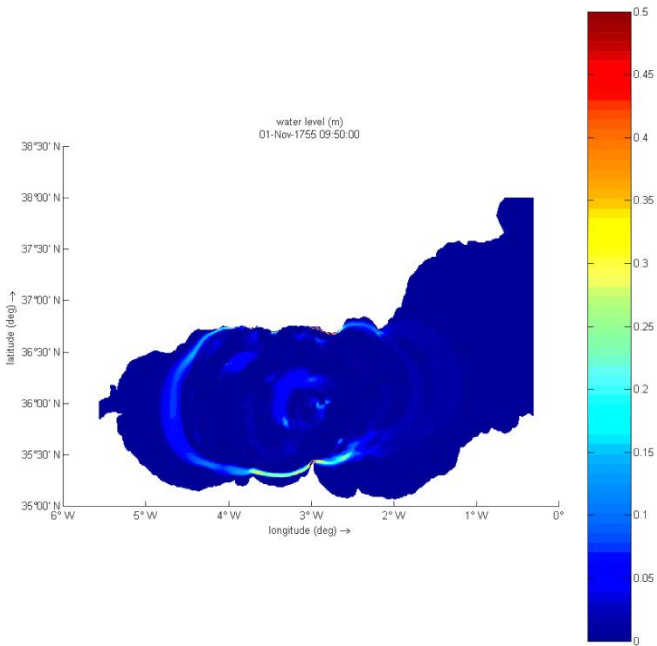
3.20.2.1 *Andalucía*

Málaga
Granada
Almería
Tiempo de llegada
15 minutos



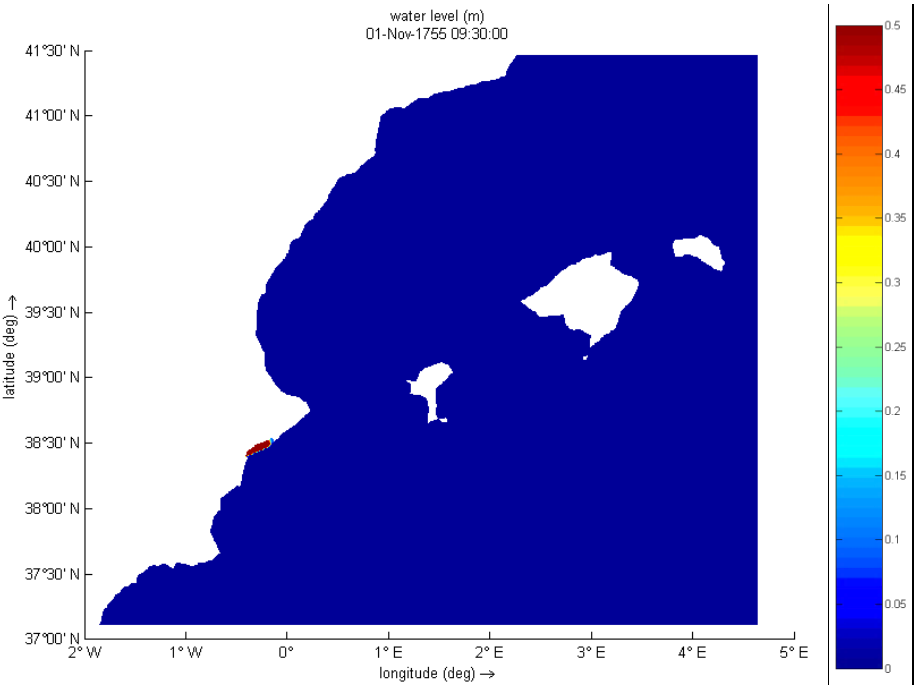
3.20.2.2 *Ceuta y Melilla*

Melilla
Tiempo de llegada
20 min



3.21 Crevillente

3.21.1 Instante inicial



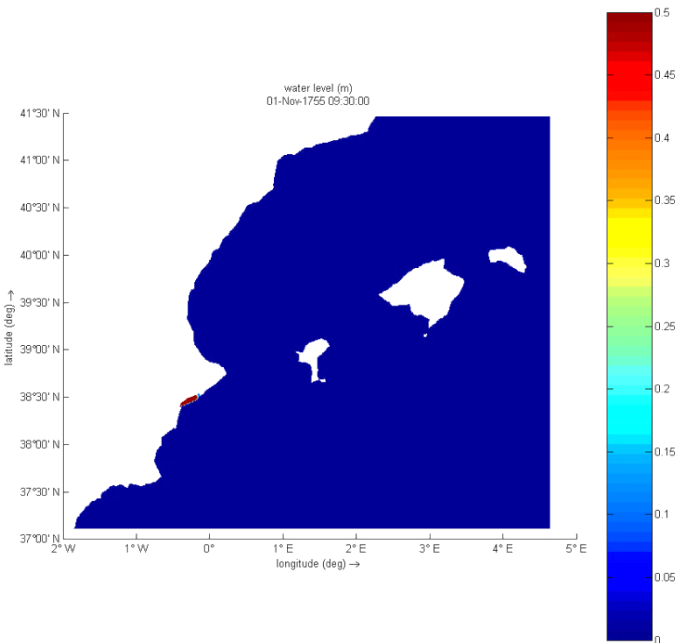
3.21.2 Tiempos de llegada

3.21.2.1 *Comunidad Valenciana*

Alicante

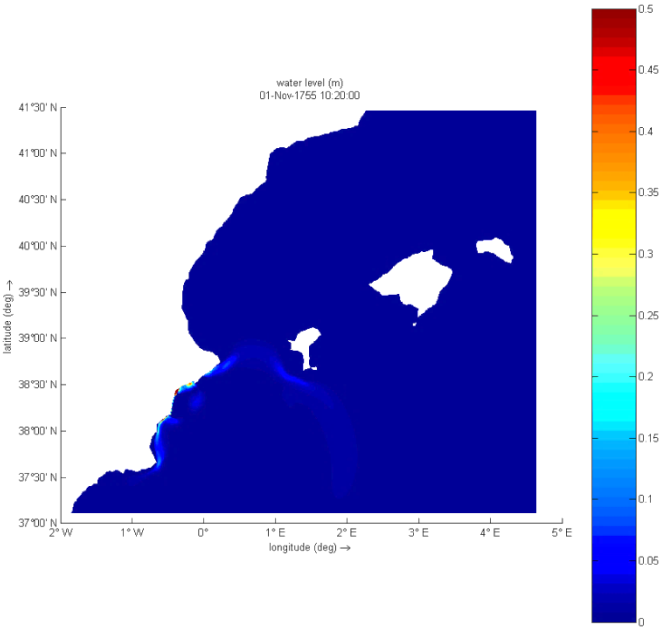
Tiempo de llegada

0 minutos



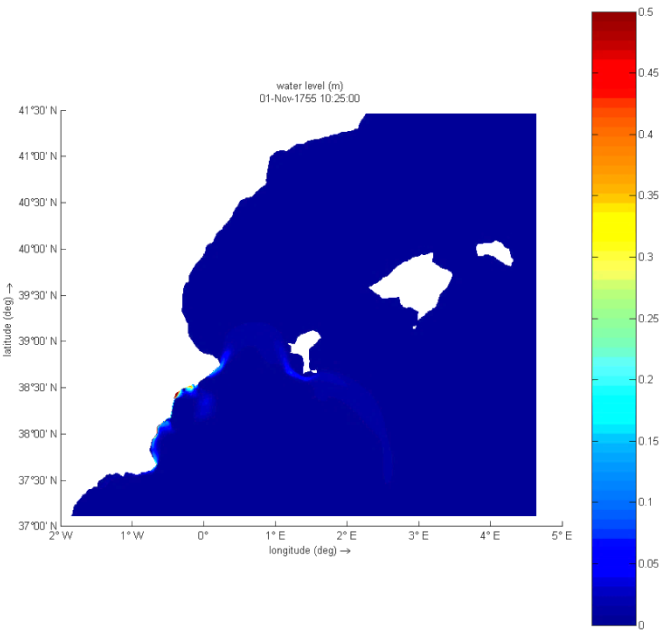
3.21.2.2 Comunidad de Murcia

Murcia
Tiempo de llegada
50 minutos



3.21.2.3 Islas Baleares

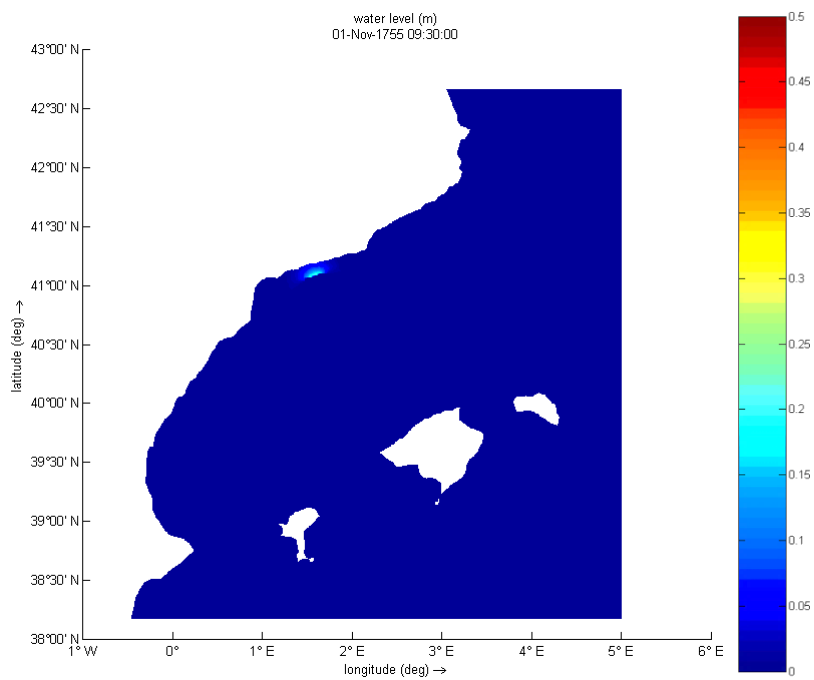
Ibiza
Tiempo de llegada
55 minutos



4. ZONA 3

4.1 Neotectónica Tarragona Barcelona 1

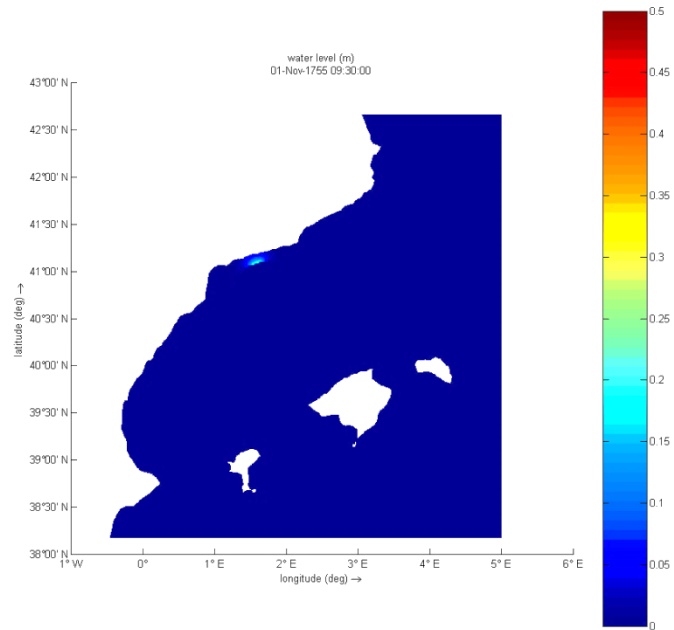
4.1.1 Instante inicial



4.1.2 Tiempos de llegada

4.1.2.1 *Cataluña*

Barcelona
Tarragona
Tiempo de llegada
10 minutos

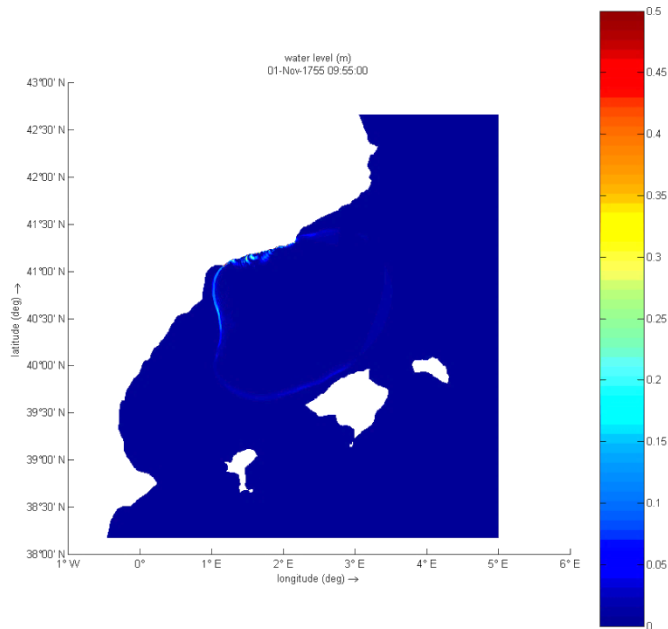


4.1.2.2 Islas Baleares

Mallorca

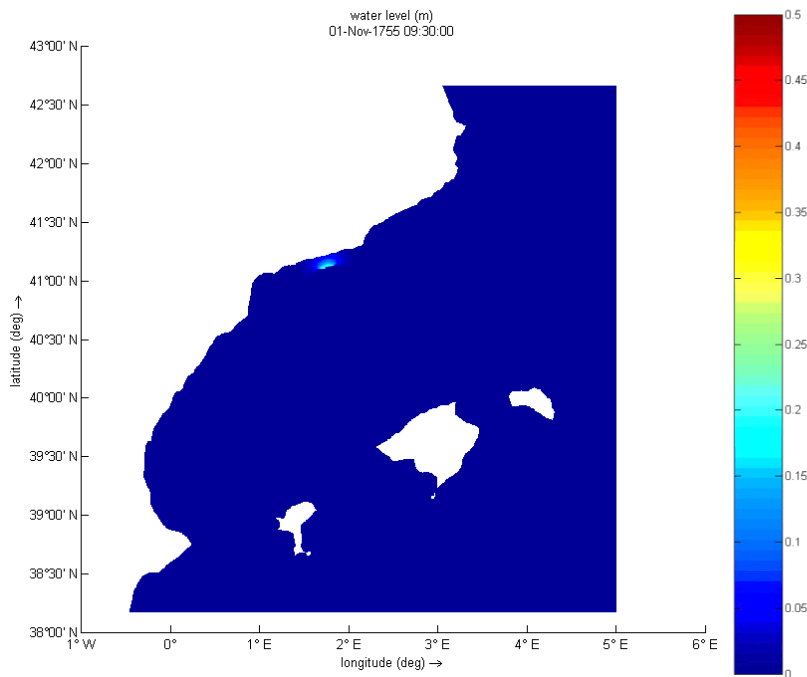
Tiempo de llegada

25 minutos



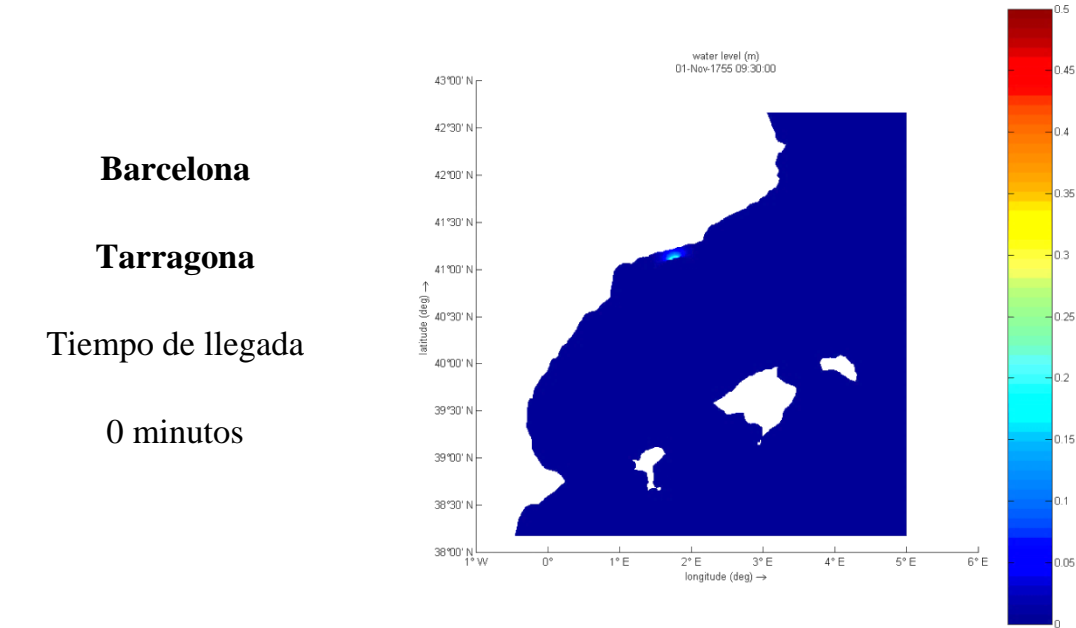
4.2 Neotectónica Tarragona Barcelona 2

4.2.1 Instante inicial



4.2.2 Tiempos de llegada

4.2.2.1 *Cataluña*

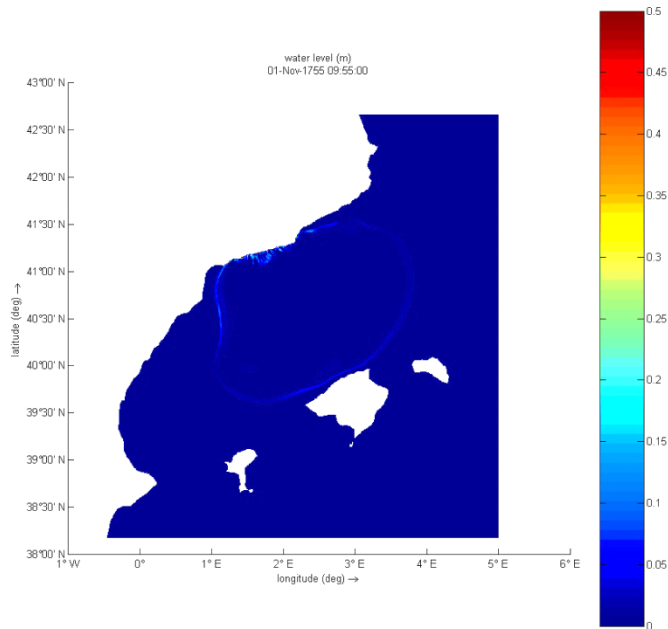


4.2.2.2 *Islas Baleares*

Mallorca

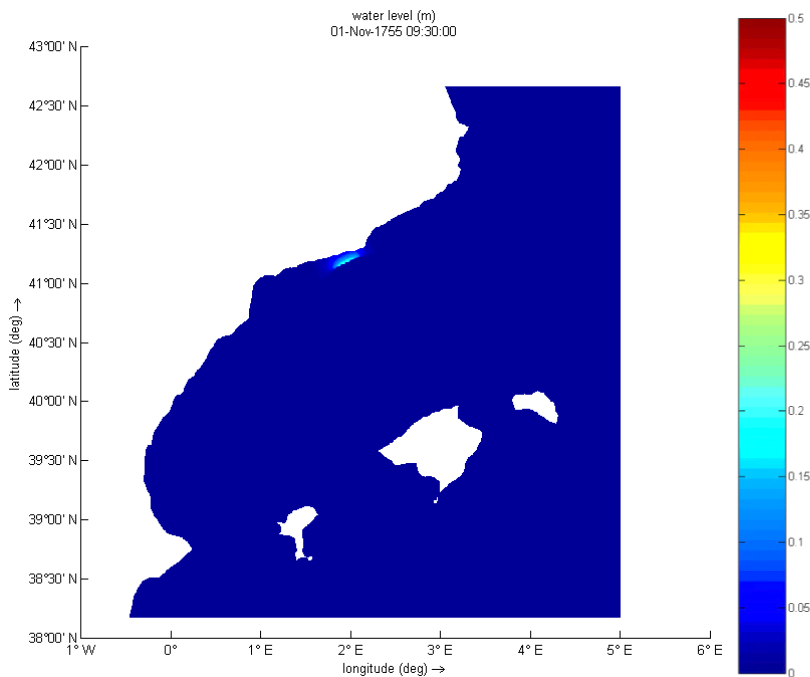
Tiempo de llegada

25 minutos



4.3 Neotectónica Tarragona Barcelona 3

4.3.1 Instante inicial



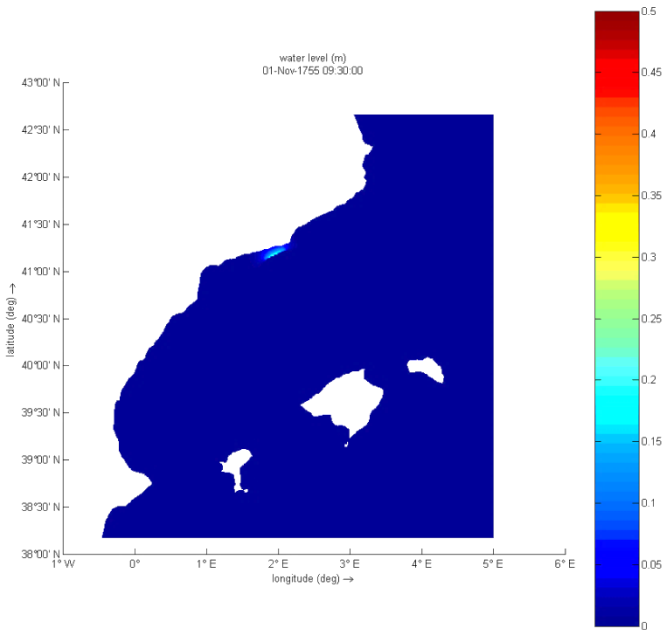
4.3.2 Tiempos de llegada

4.3.2.1 *Cataluña*

Barcelona

Tiempo de llegada

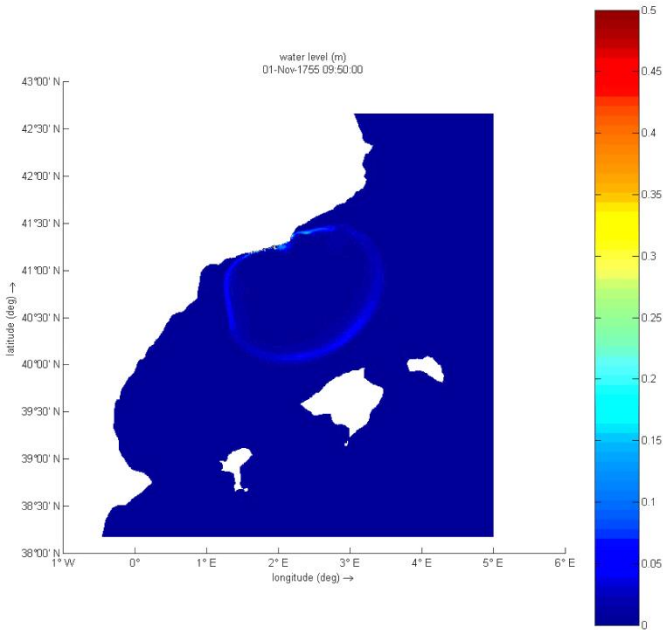
0 minutos



Tarragona

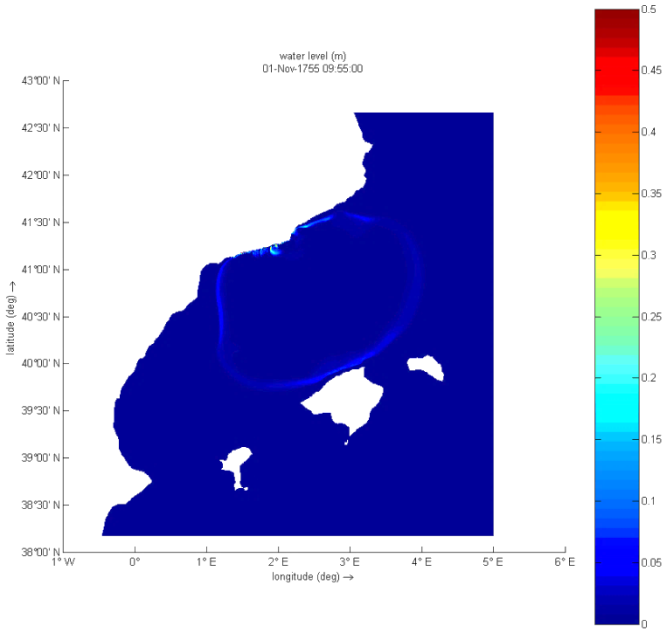
Tiempo de llegada

20 minutos

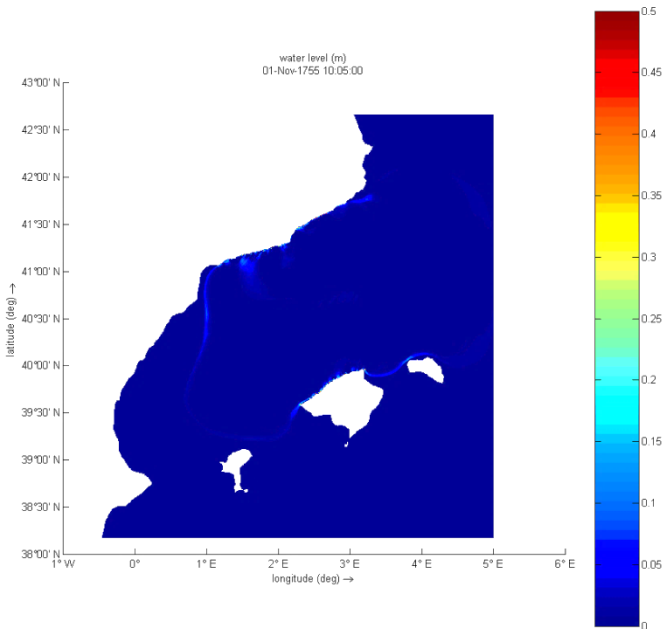


4.3.2.2 Islas Baleares

Mallorca
Tiempo de llegada
25 minutos

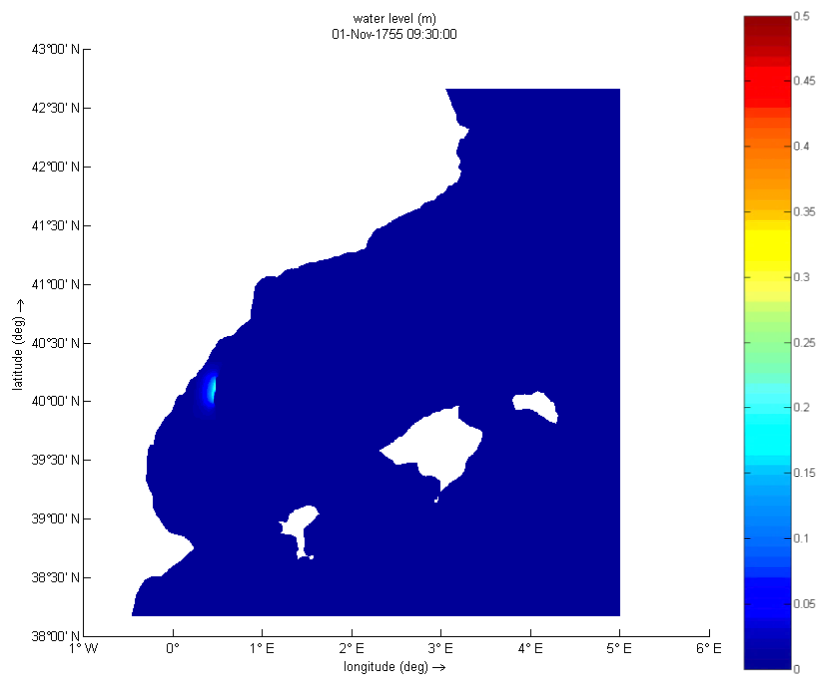


Menorca
Tiempo de llegada
35 minutos



4.4 Castellón Norte

4.4.1 Instante inicial



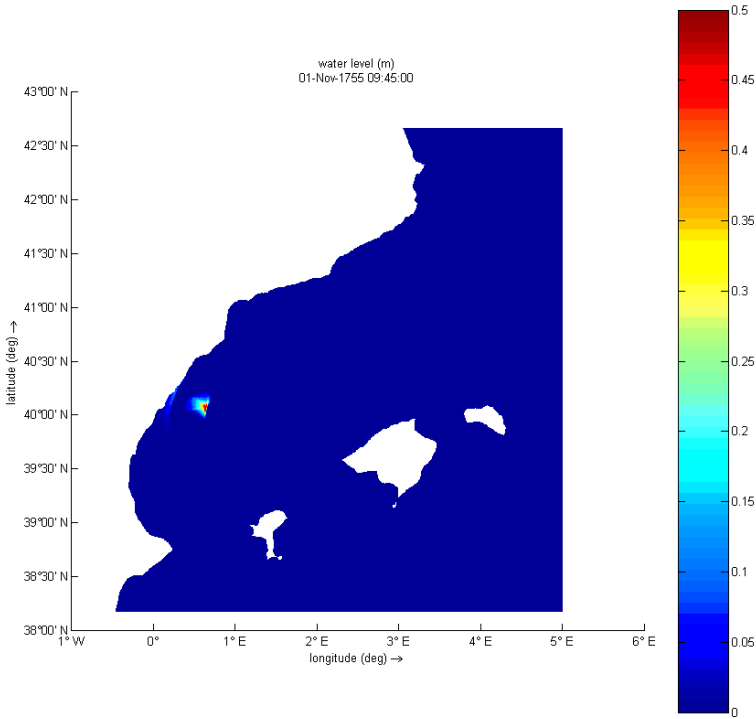
4.4.2 Tiempos de llegada

4.4.2.1 *Comunidad Valenciana*

Islas Columbretes

Tiempo de llegada

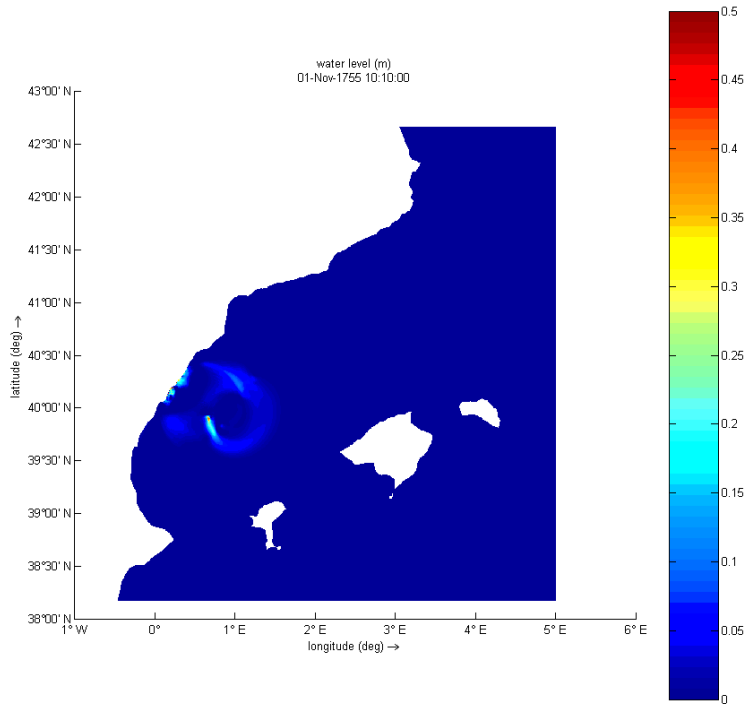
15 min



Castellón

Tiempo de llegada

40 min

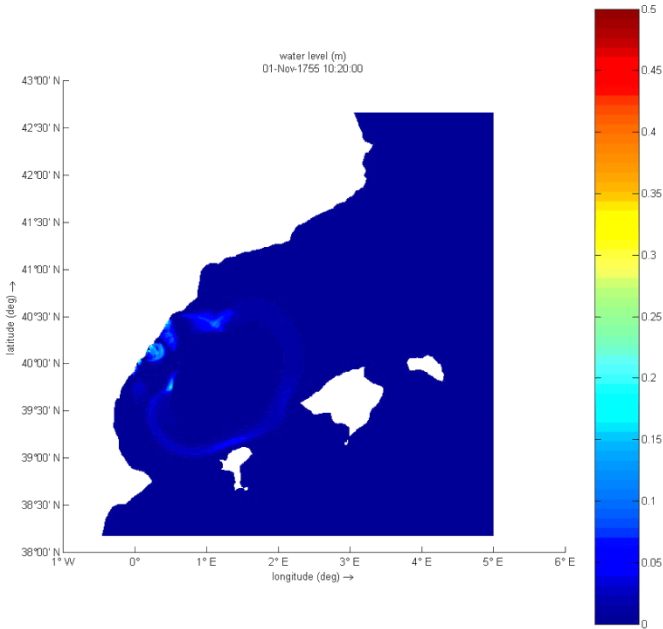


4.4.2.2 Islas Baleares

Ibiza

Tiempo de llegada

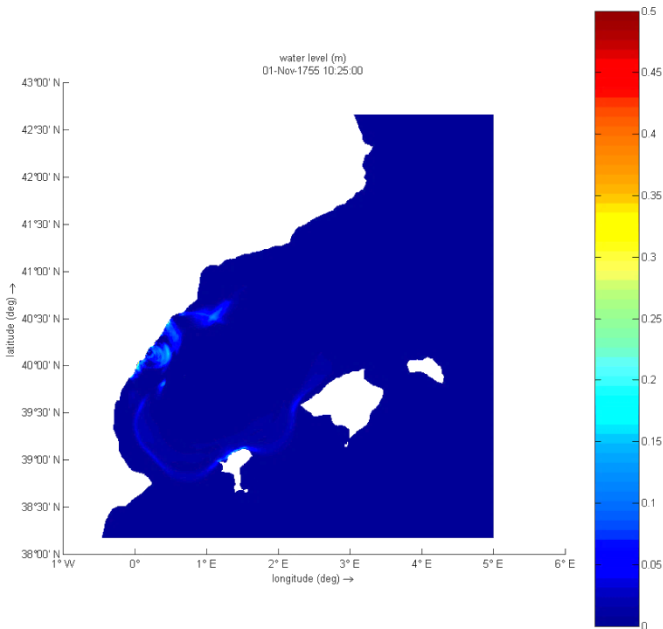
50 min



Mallorca

Tiempo de llegada

55 min

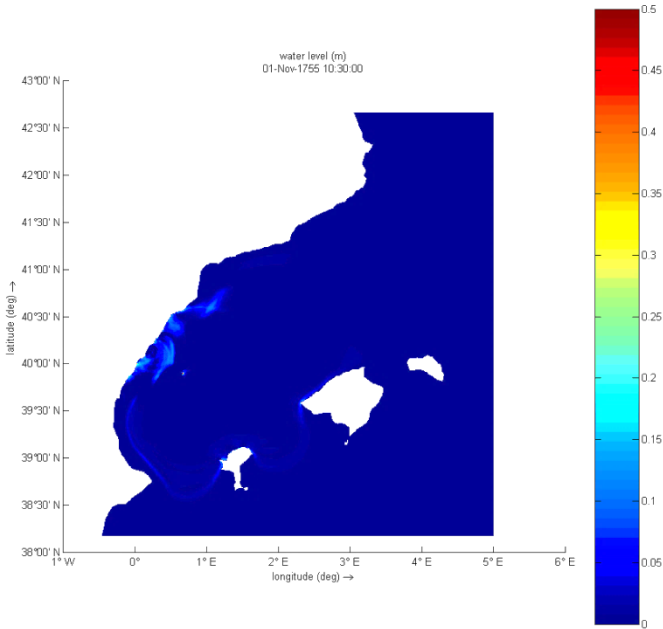


4.4.2.3 Comunidad de Murcia

Murcia

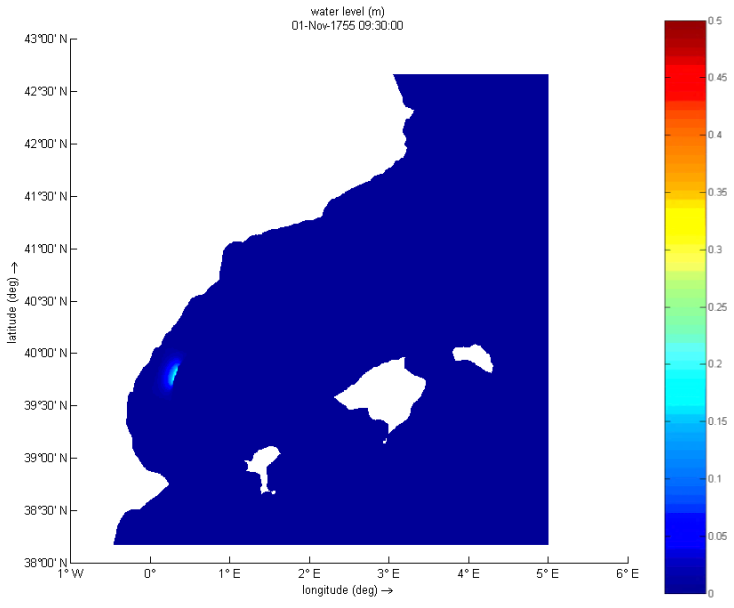
Tiempo de llegada

1 hora



4.5 Castellón Sur

4.5.1 Instante inicial



4.5.2 Tiempos de llegada

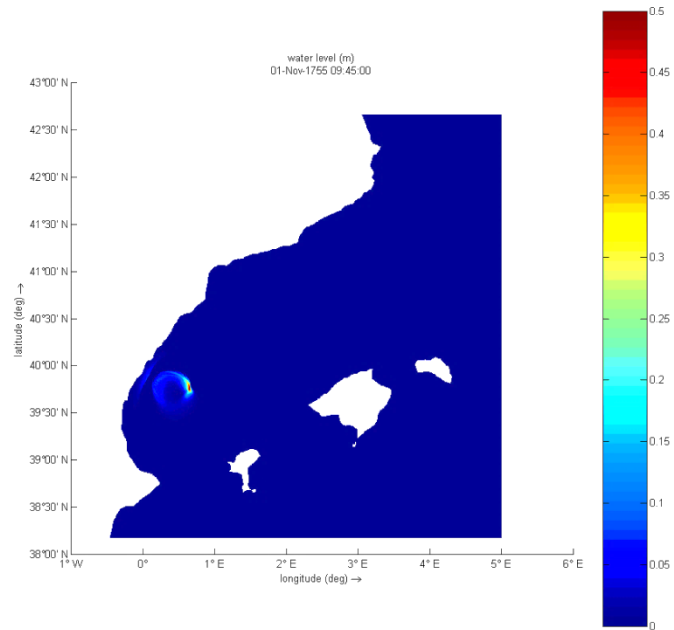
4.5.2.1 *Comunidad Valenciana*

Islas Columbretes

Alicante

Tiempo de llegada

15 min

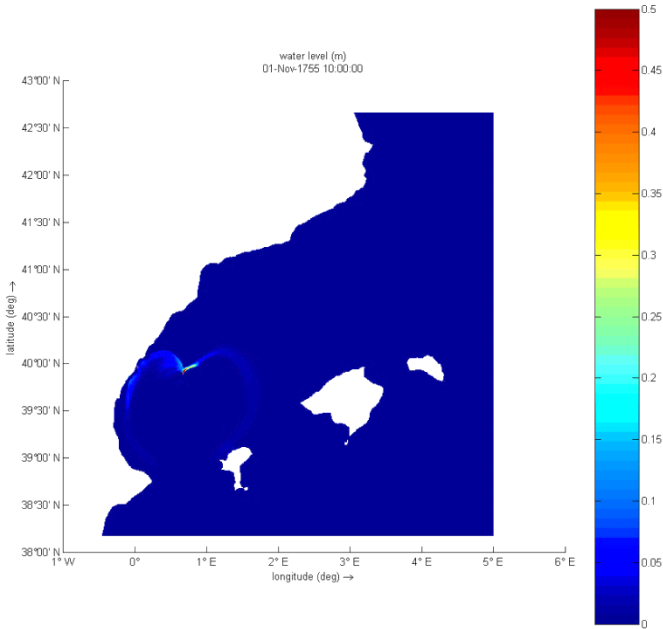


4.5.2.2 *Islas Baleares*

Ibiza

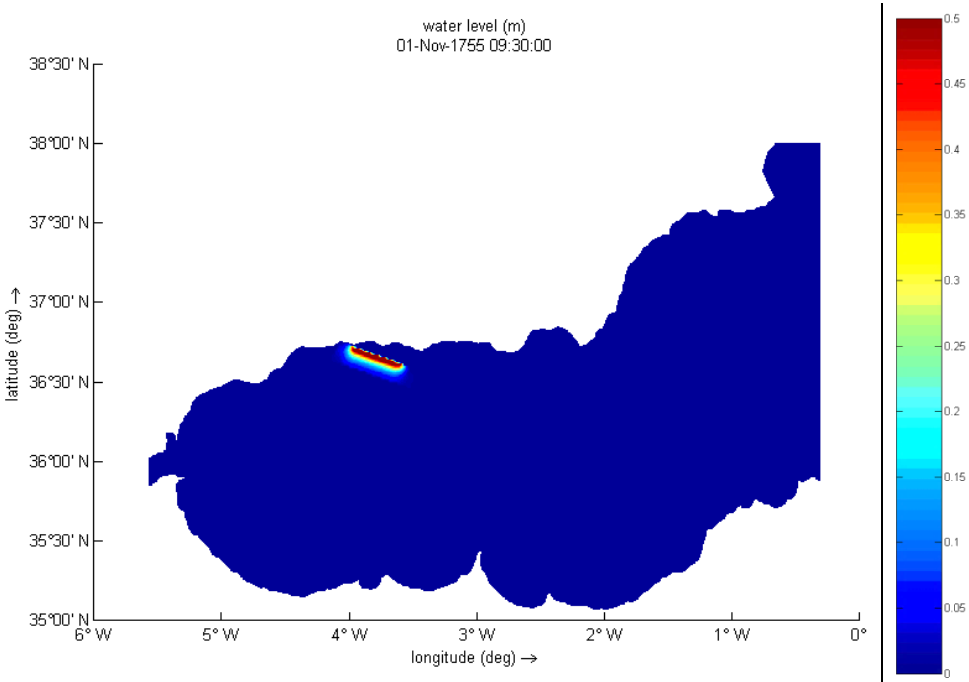
Tiempo de llegada

30 min



4.6 **Torrox Motril**

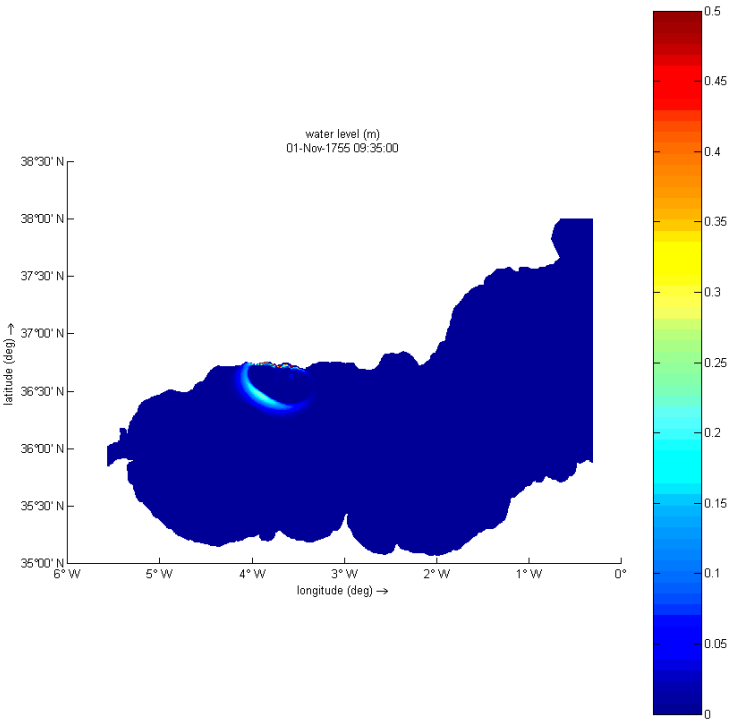
4.6.1 Instante inicial



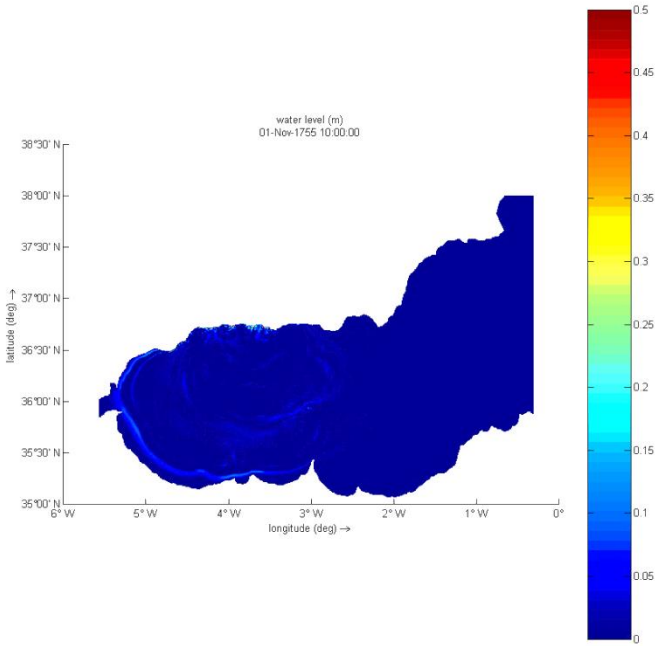
4.6.2 Tiempos de llegada

4.6.2.1 *Andalucía*

Granada
Málaga
Tiempo de llegada
5 minutos



Cádiz
Tiempo de llegada
30 minutos

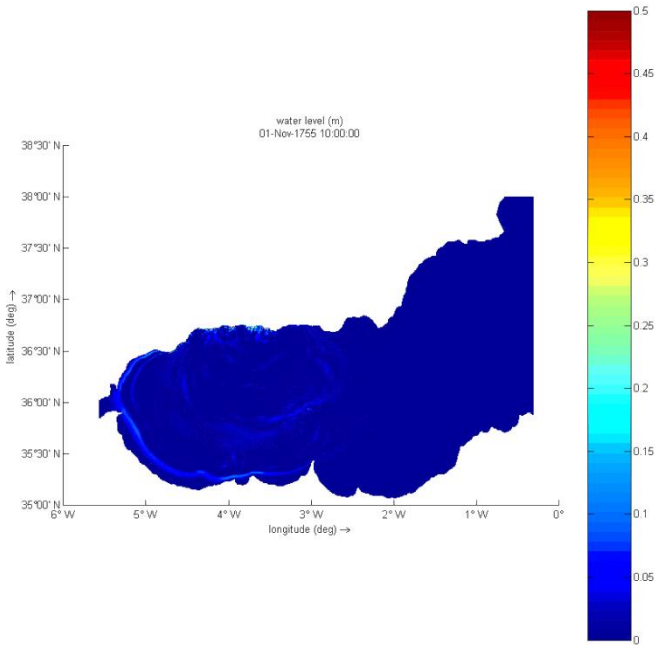


4.6.2.2 *Ceuta y Melilla*

Ceuta

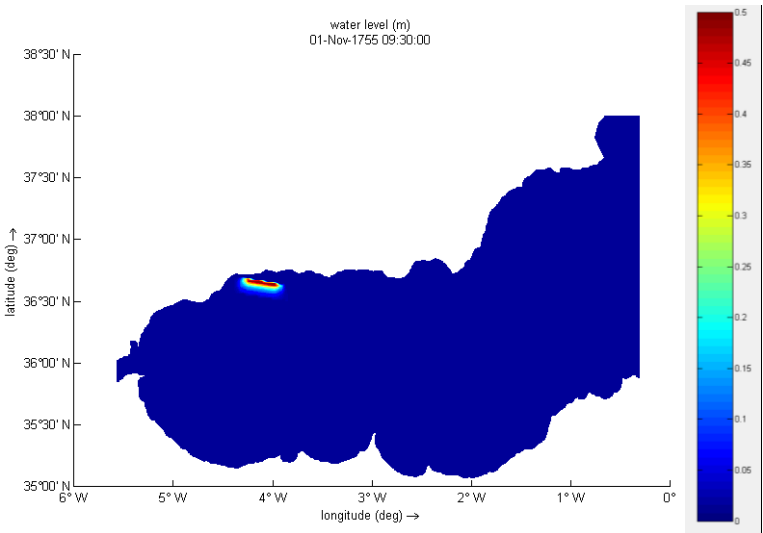
Tiempo de llegada

30 minutos



4.7 Rincón de la Victoria-Torrox

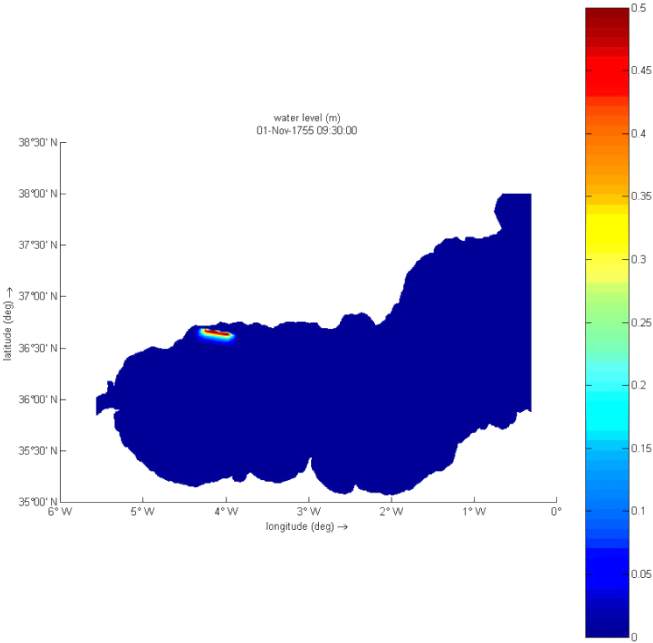
4.7.1 Instante inicial



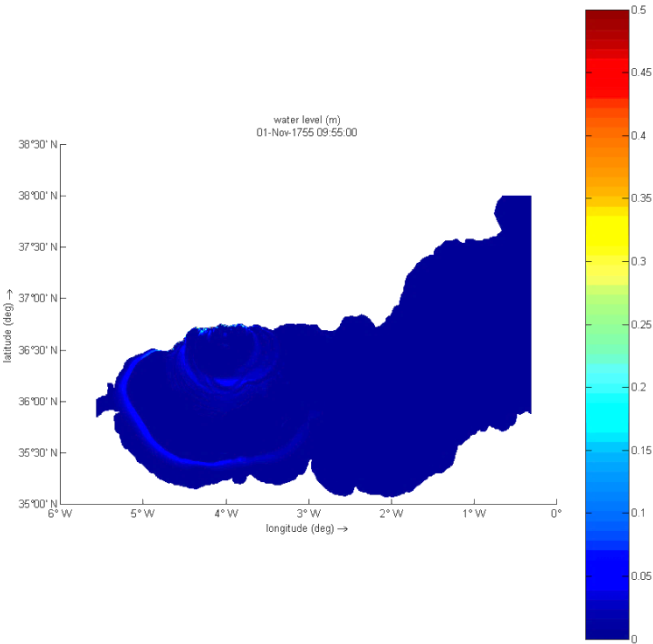
4.7.2 Tiempos de llegada

4.7.2.1 *Andalucía*

Málaga
Tiempo de llegada
0 minutos

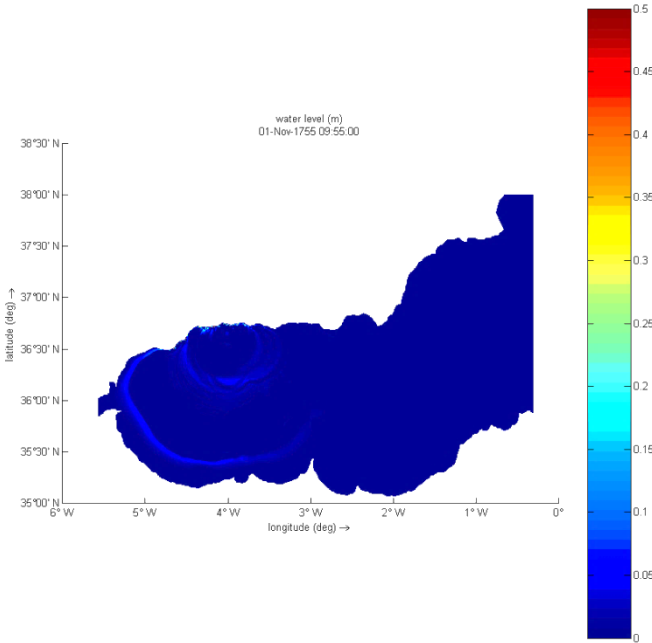


Cádiz
Tiempo de llegada
25 minutos



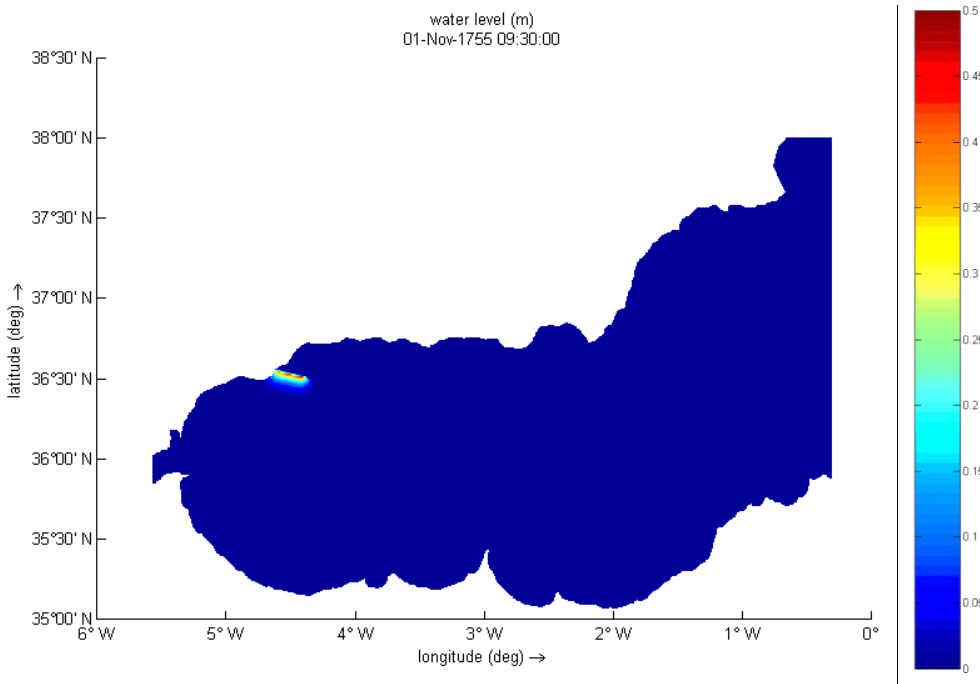
4.7.2.2 Ceuta y Melilla

Ceuta
Tiempo de llegada
25 minutos



4.8 Fuengirola

4.8.1 Instante inicial



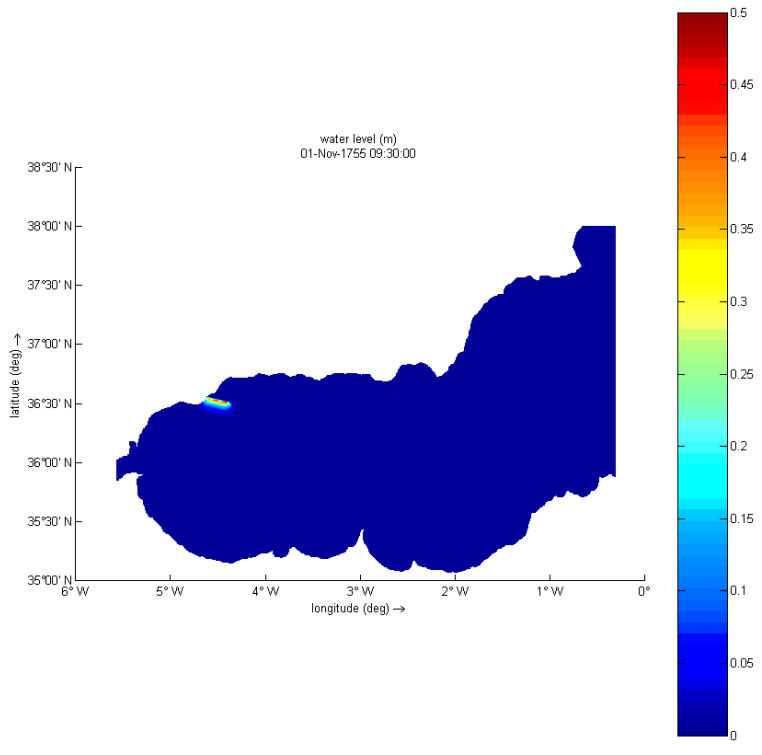
4.8.2 Tiempos de llegada

4.8.2.1 *Andalucía*

Málaga

Tiempo de llegada

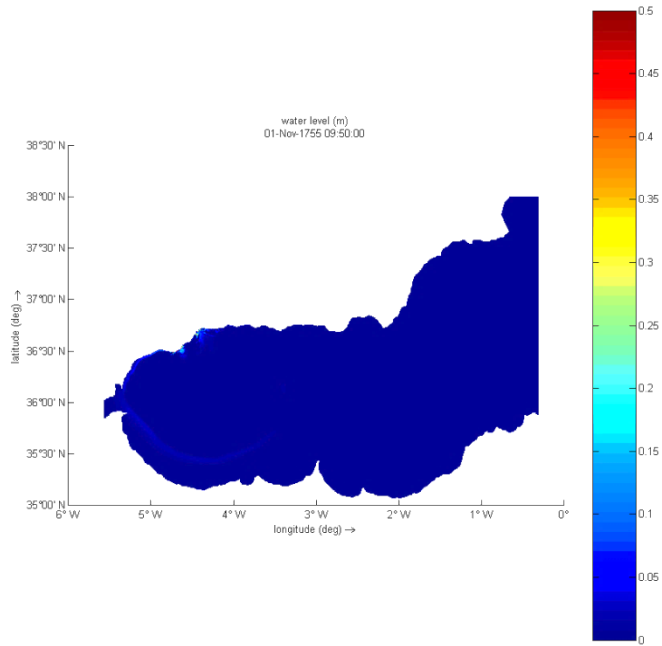
0 minutos



Cádiz

Tiempo de llegada

20 minutos

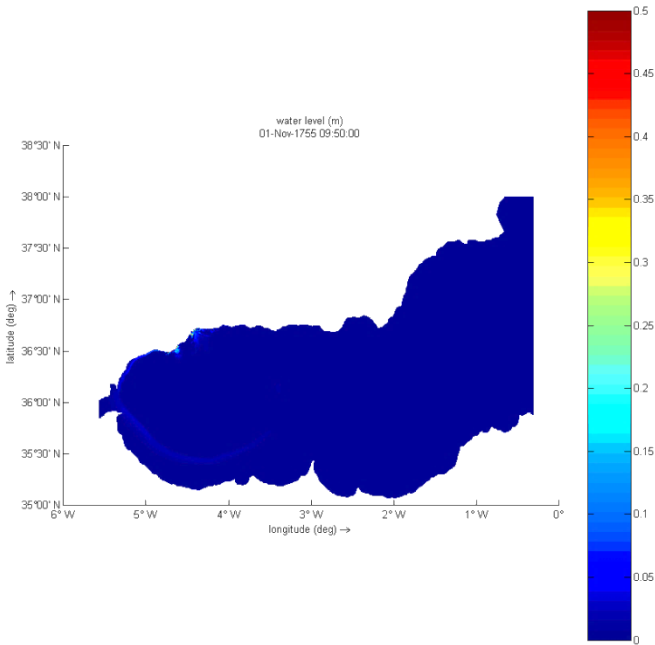


4.8.2.2 Ceuta y Melilla

Ceuta

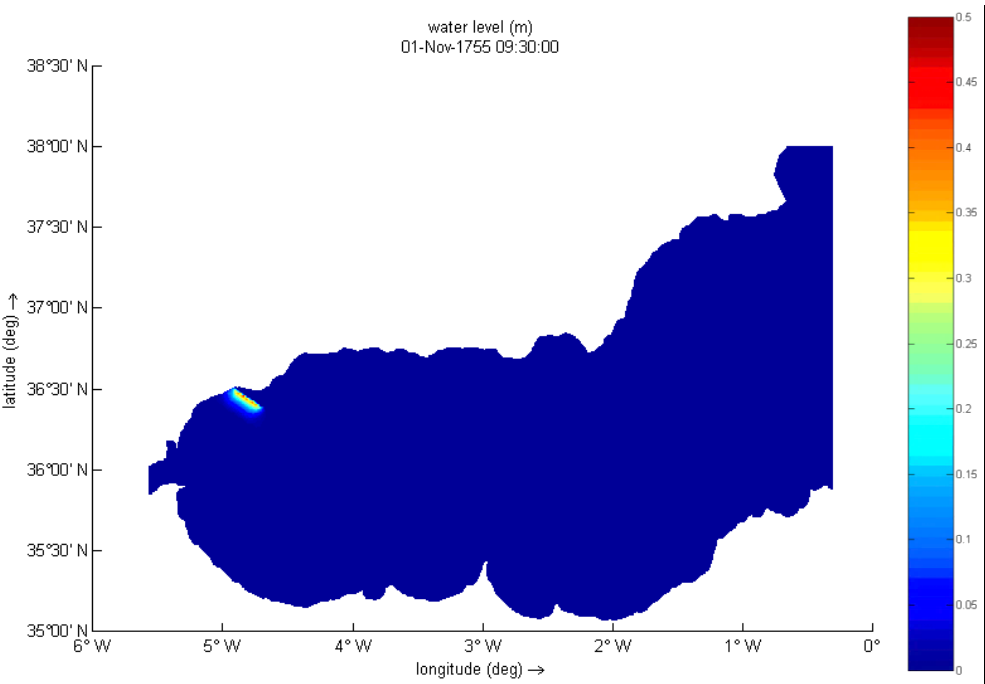
Tiempo de llegada

20 minutos



4.9 Marbella

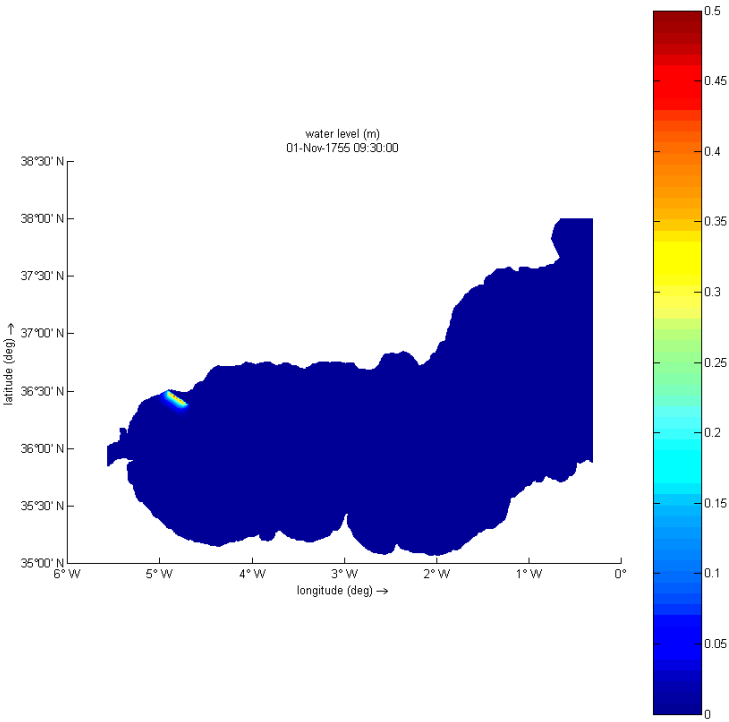
4.9.1 Instante inicial



4.9.2 Tiempos de llegada

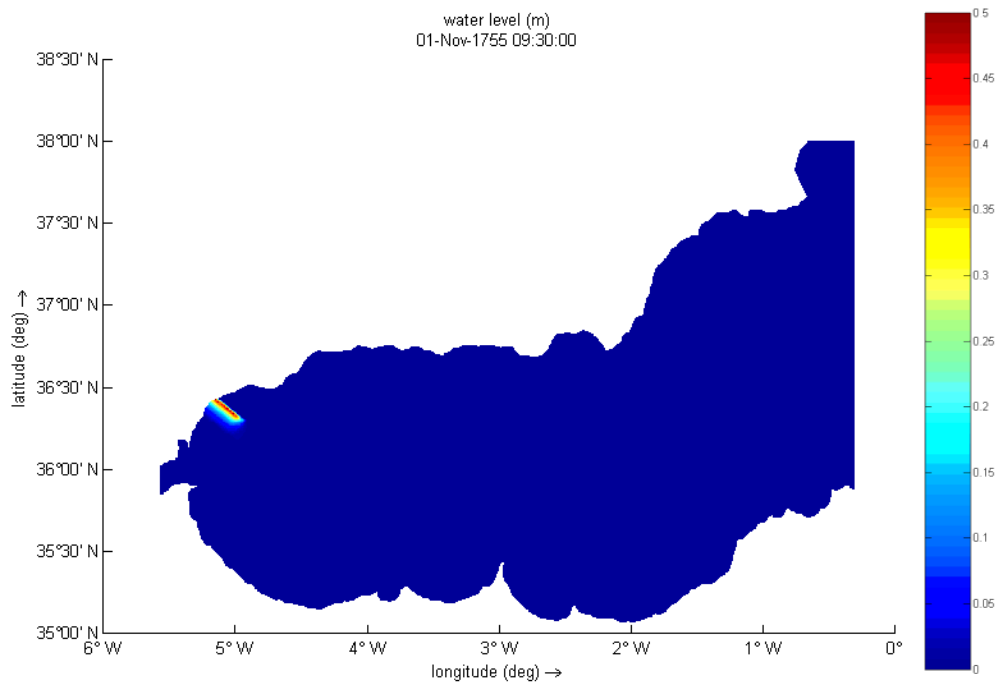
4.9.2.1 *Andalucía*

Málaga
Tiempo de llegada
0 minutos



4.10 Estepona

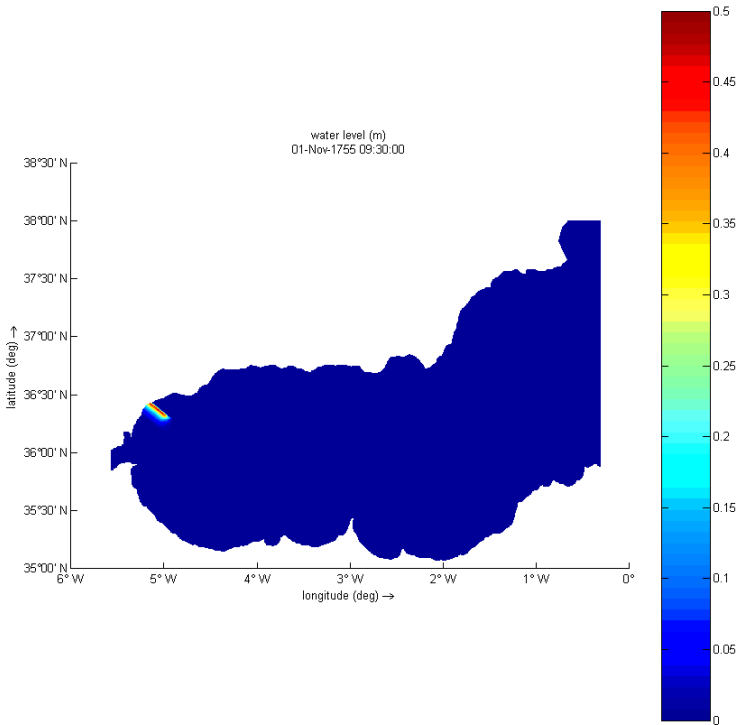
4.10.1 Instante inicial



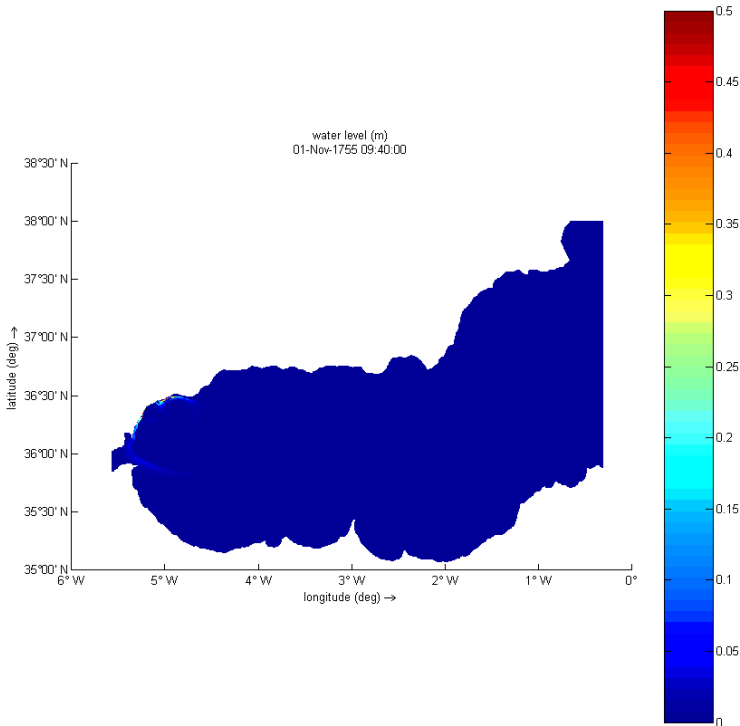
4.10.2 Tiempos de llegada

4.10.2.1 *Andalucía*

Málaga
Tiempo de llegada
0 minutos



Cádiz
Tiempo de llegada
10 minutos

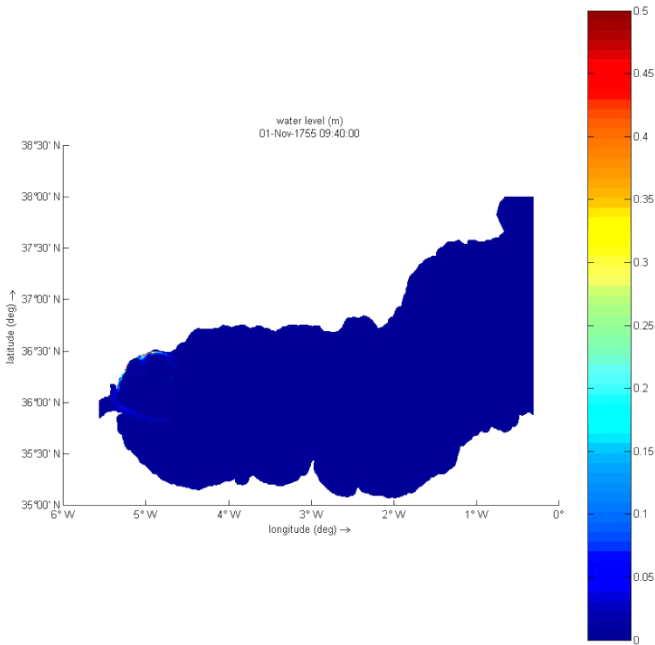


4.10.2.2 Ceuta y Melilla

Ceuta

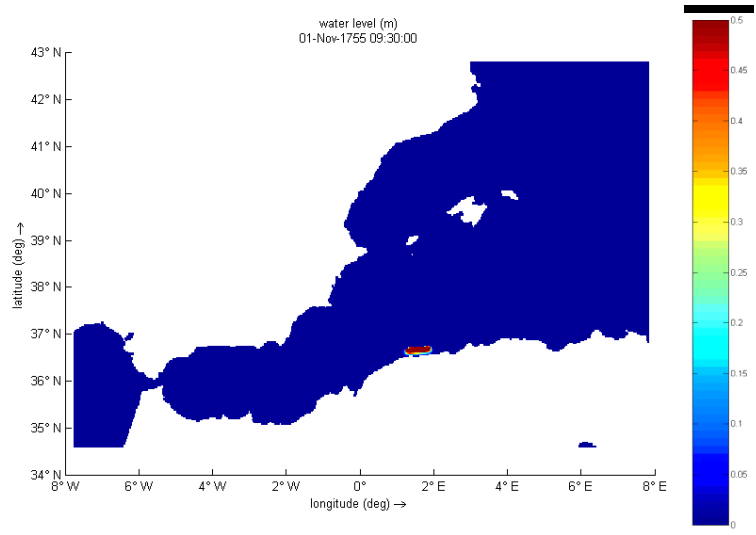
Tiempo de llegada

10 minutos



4.11 Argelia 1

4.11.1 Instante inicial



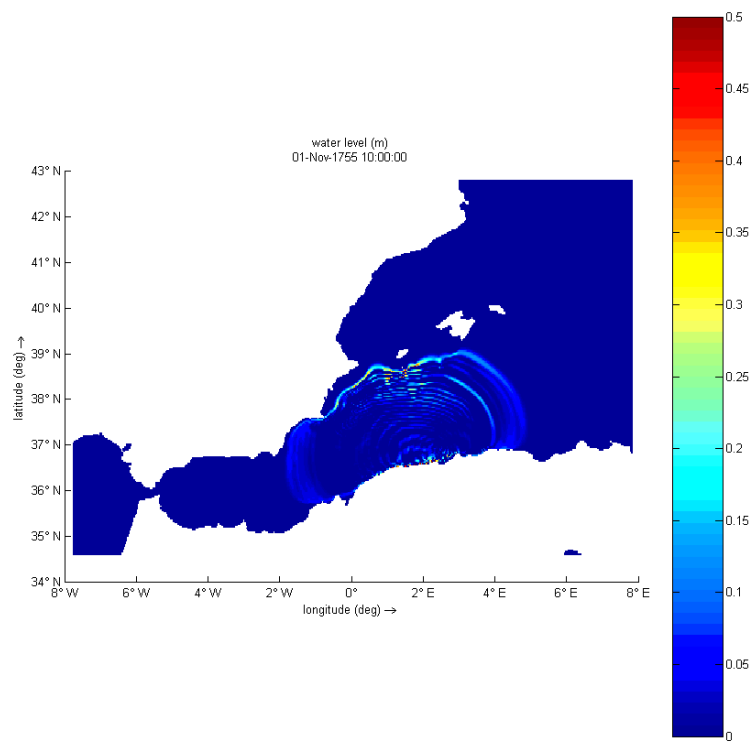
4.11.2 Tiempos de llegada

4.11.2.1 *Islas Baleares*

Ibiza

Tiempo de llegada

30 minutos

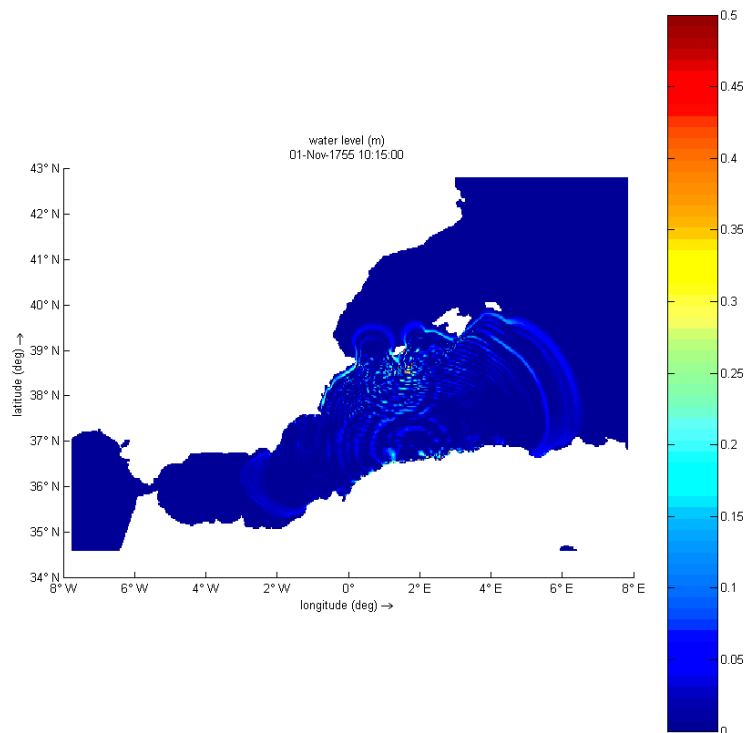


Mallorca

Menorca

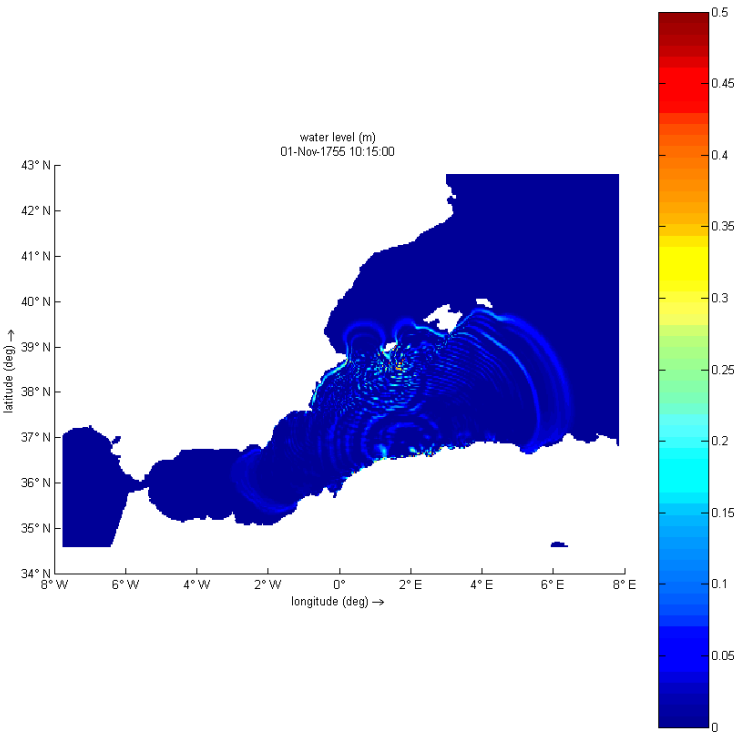
Tiempo de llegada:

45 minutos



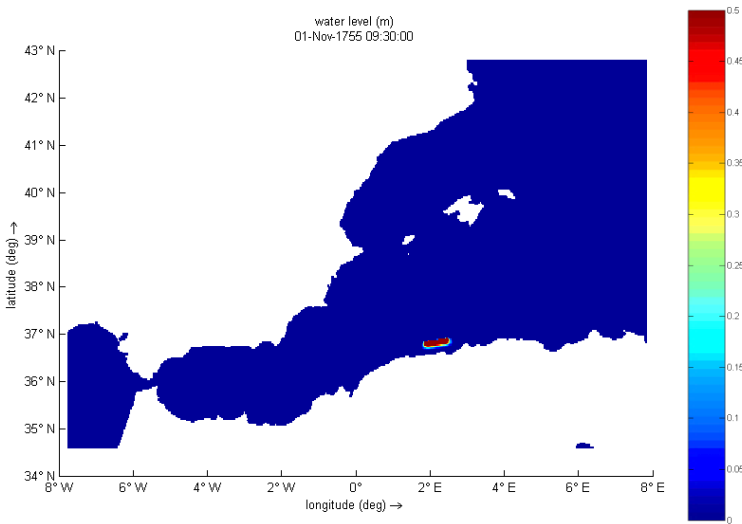
4.11.2.2 Comunidad de Murcia

Murcia
Tiempo de llegada:
45 minutos



4.12 Argelia 2

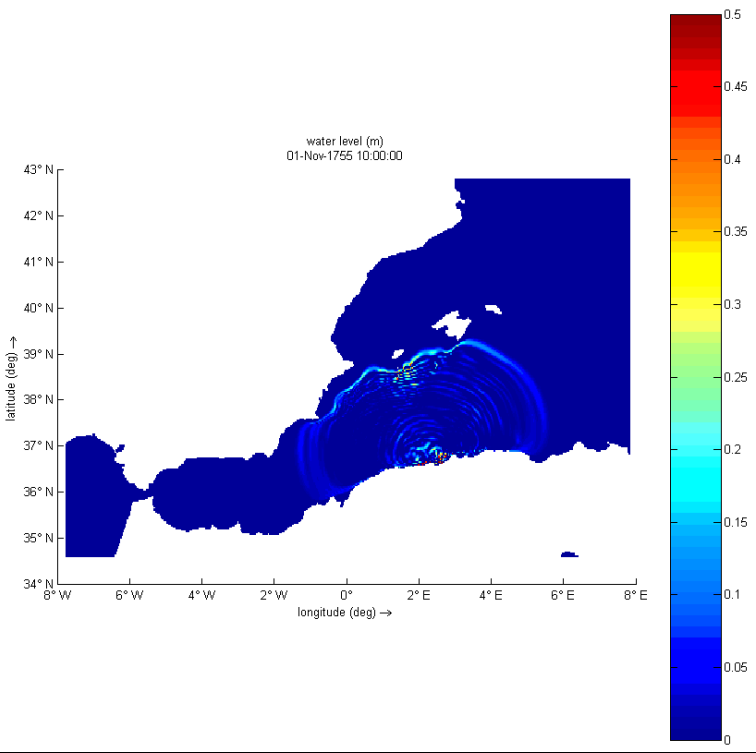
4.12.1 Instante inicial



4.12.2 Tiempos de llegada

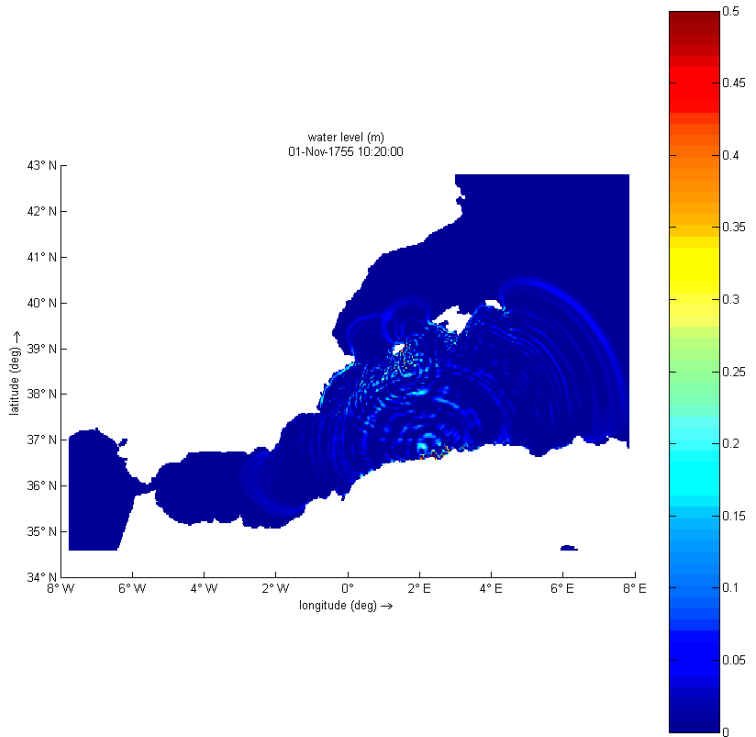
4.12.2.1 *Islas Baleares*

Ibiza
Mallorca
Tiempo de llegada
30 minutos



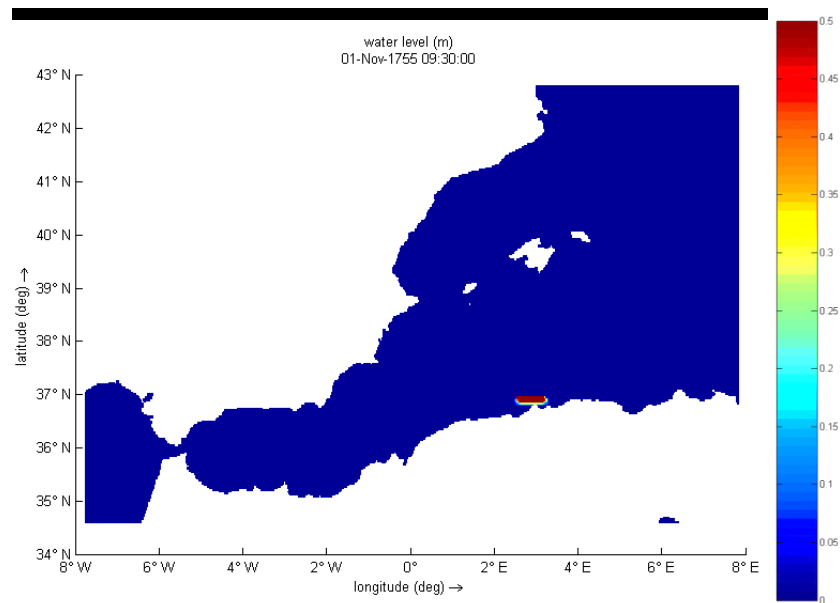
4.12.2.2 *Comunidad de Murcia*

Murcia
Tiempo de llegada:
50 minutos



4.13 Argelia 3

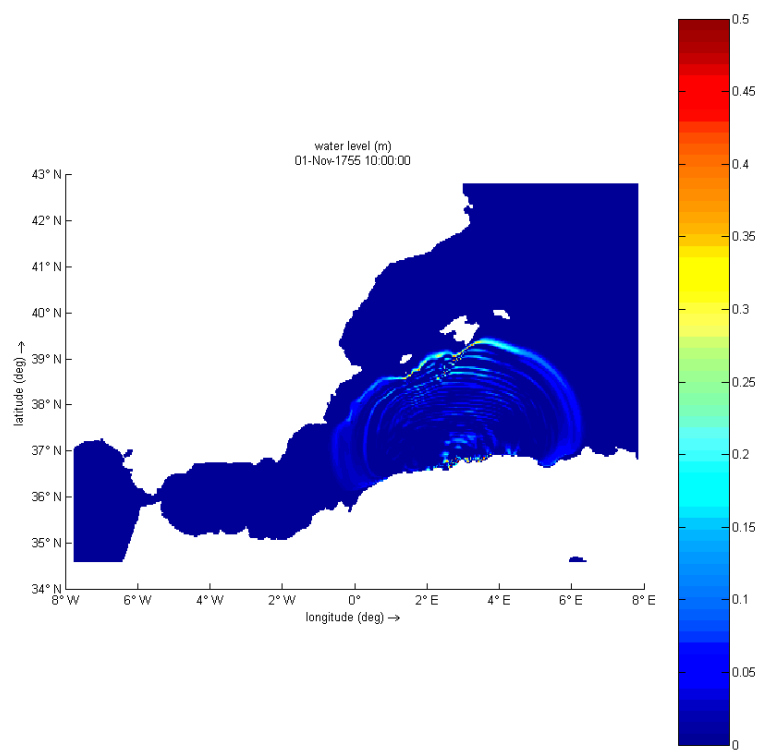
4.13.1 Instante inicial



4.13.2 Tiempos de llegada

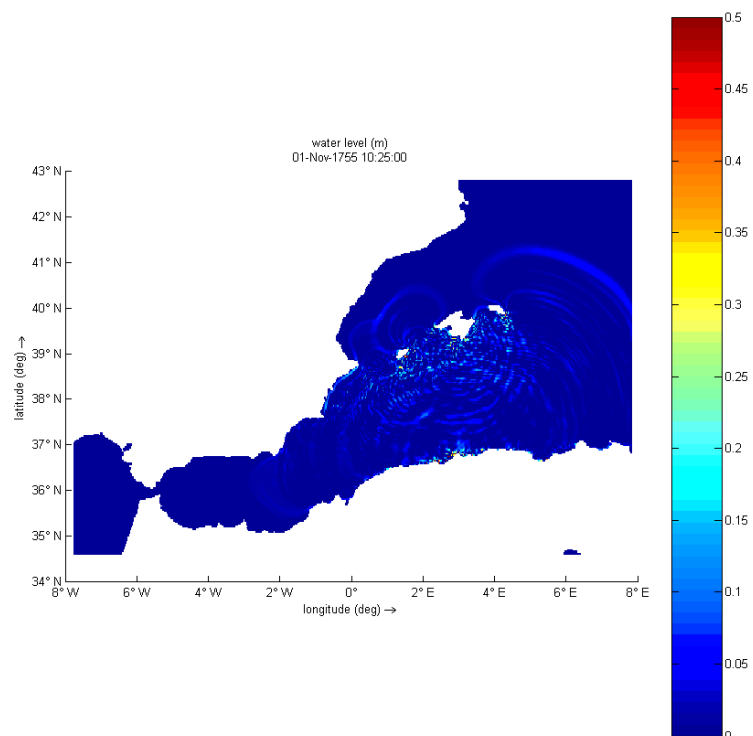
4.13.2.1 *Islas Baleares*

Ibiza
Mallorca
Tiempo de llegada
30 minutos



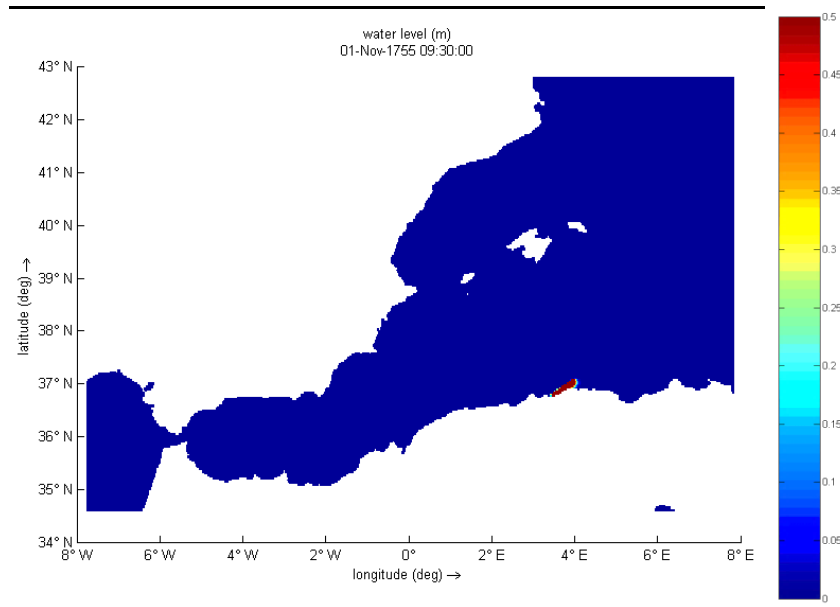
4.13.2.2 *Comunidad de Murcia*

Murcia
Tiempo de llegada:
55 minutos



4.14 Argelia 4

4.14.1 Instante inicial



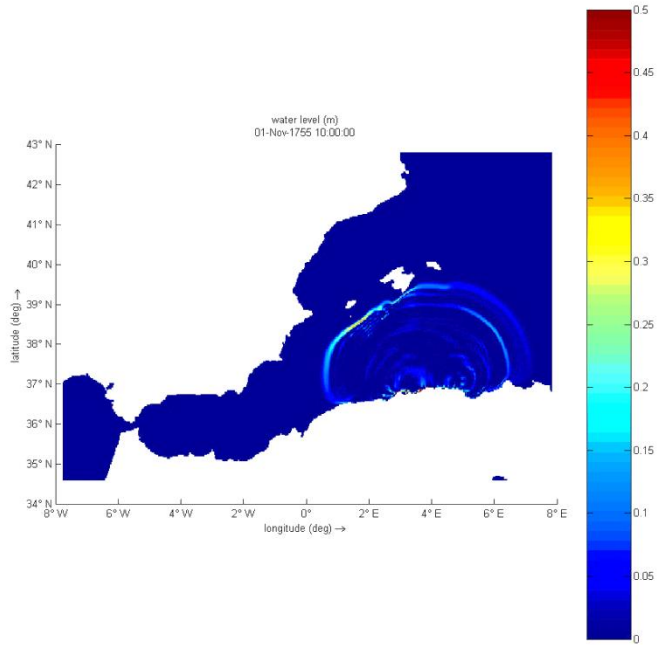
4.14.2 Tiempos de llegada

4.14.2.1 *Islas Baleares*

Mallorca

Tiempo de llegada

30 minutos

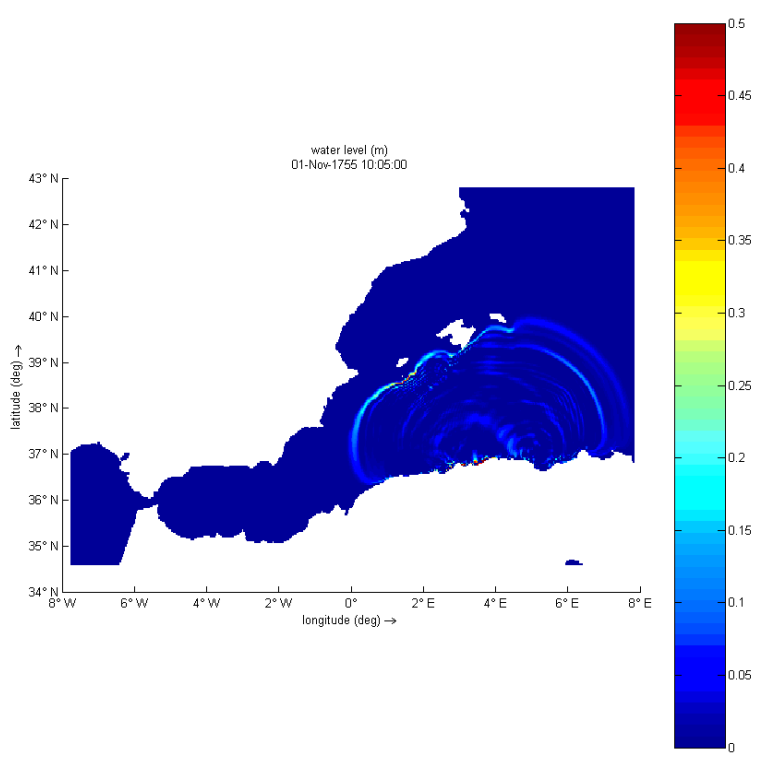


Ibiza

Menorca

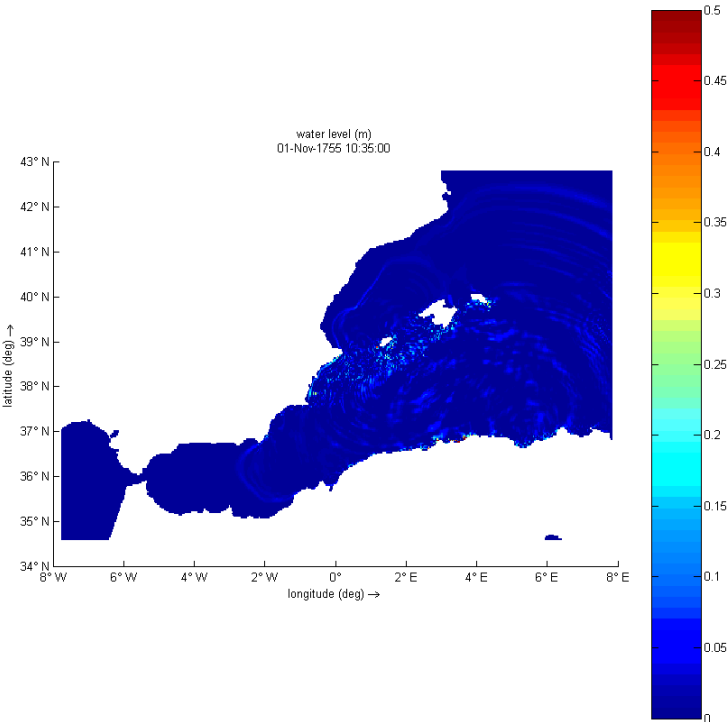
Tiempo de llegada

35 minutos



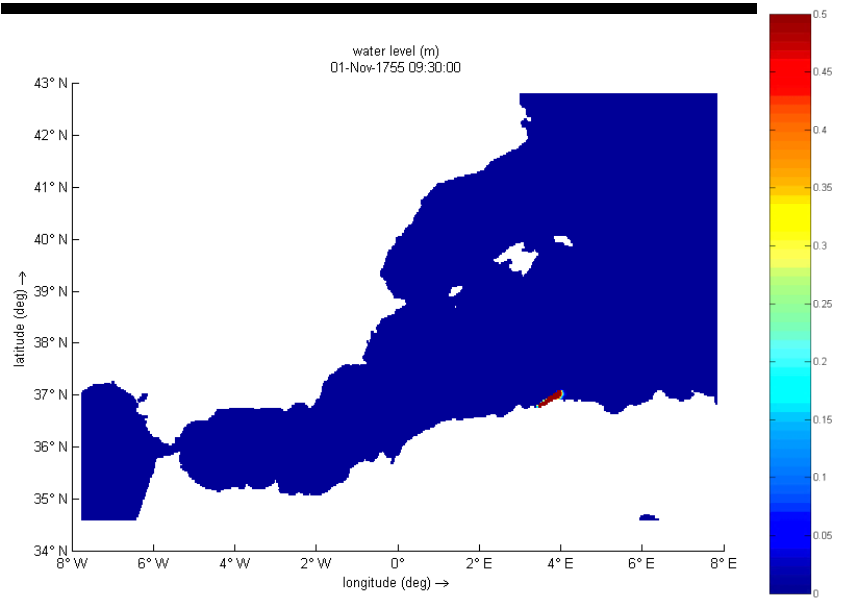
4.14.2.2 Comunidad de Murcia

Murcia
Tiempo de llegada:
1 hora 5 minutos



4.15 Argelia 5

4.15.1 Instante inicial



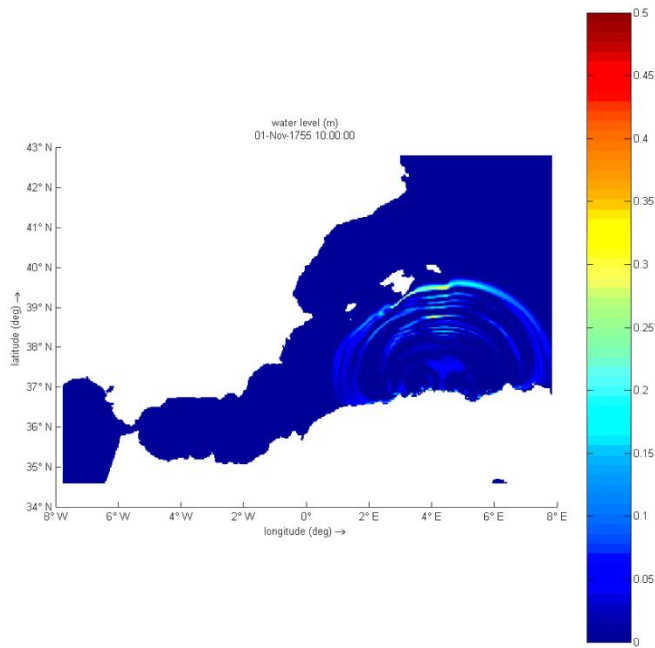
4.15.2 Tiempos de llegada

4.15.2.1 *Islas Baleares*

Mallorca

Tiempo de llegada

30 min

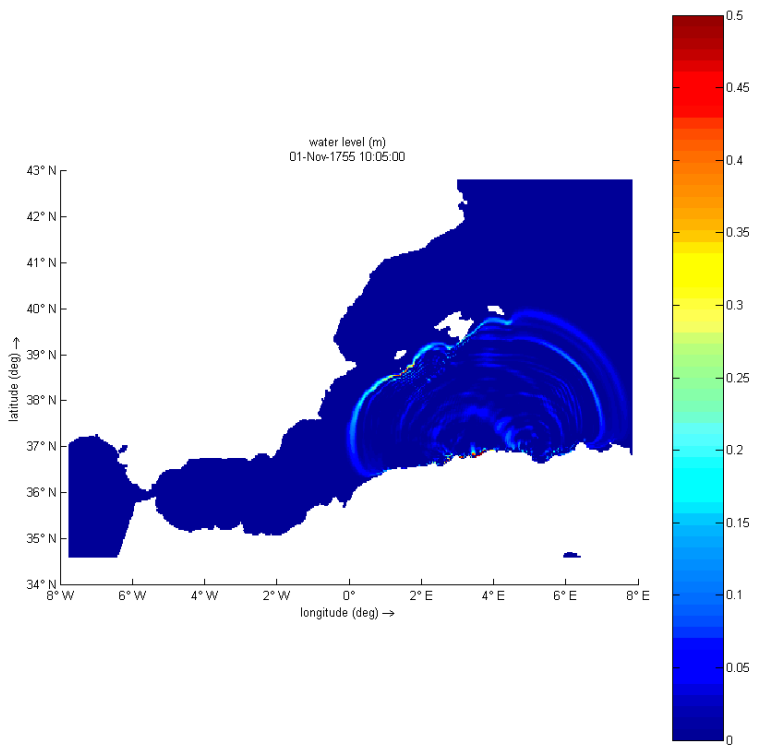


Ibiza

Menorca

Tiempo de llegada

35 min

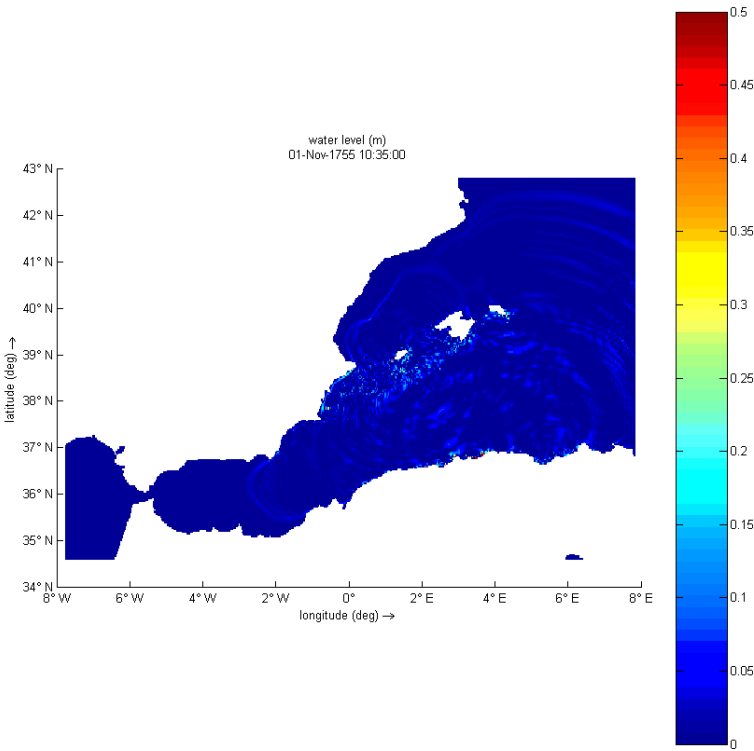


4.15.2.2 Comunidad Valenciana

Murcia

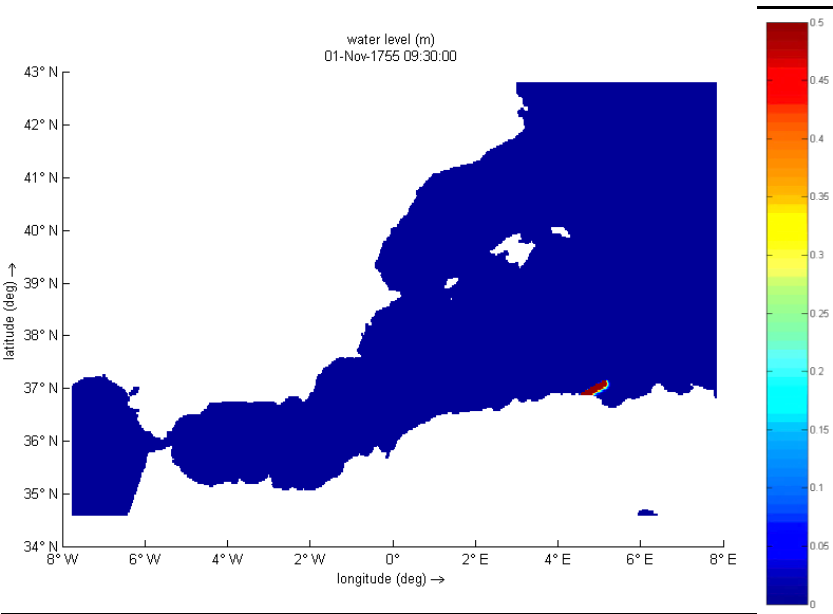
Tiempo de llegada:

1 h 5 min



4.16 Argelia 6

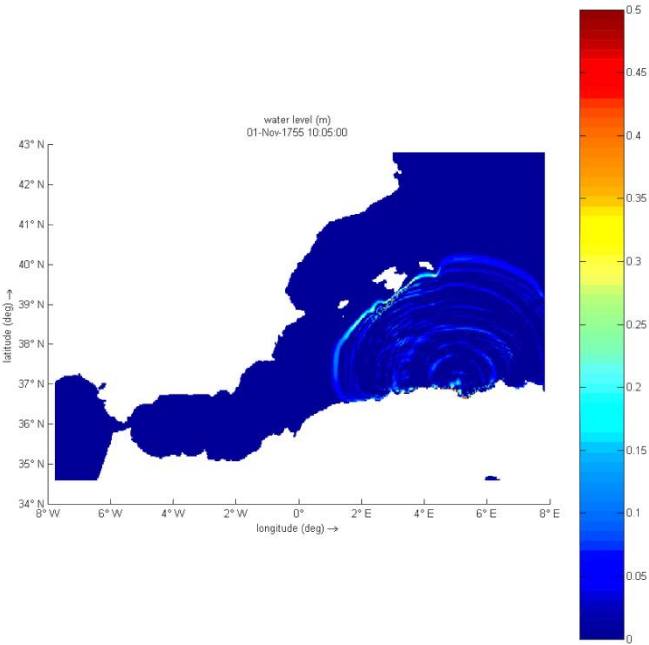
4.16.1 Instante inicial



4.16.2 Tiempos de llegada

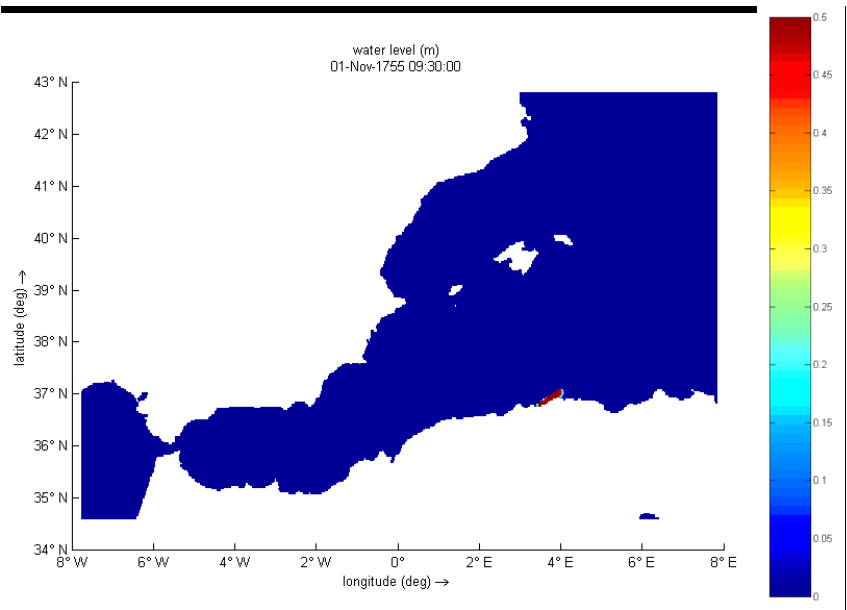
4.16.2.1 *Islas Baleares*

Mallorca
Menorca
Tiempo de llegada
35 min



4.17 Argelia 7

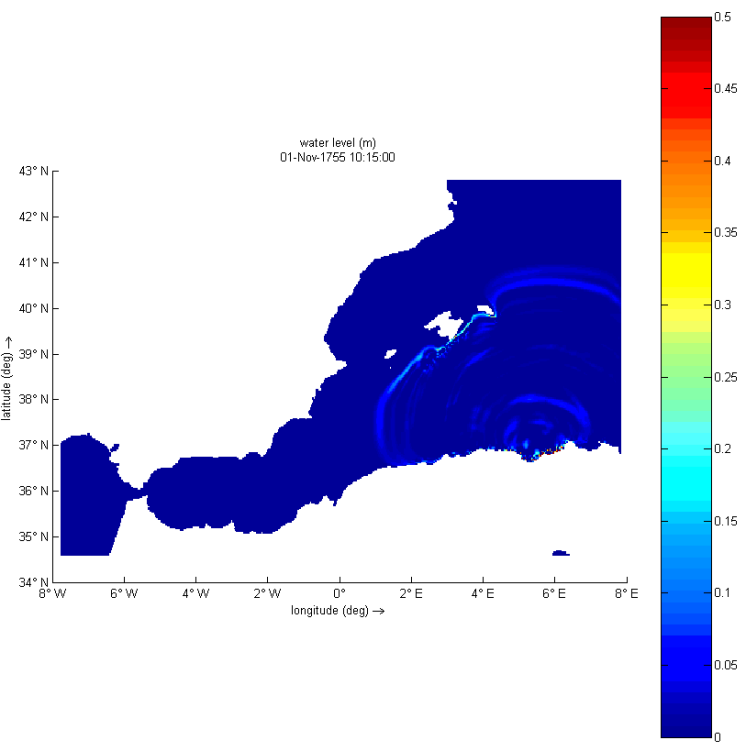
4.17.1 Instante inicial



4.17.2 Tiempos de llegada

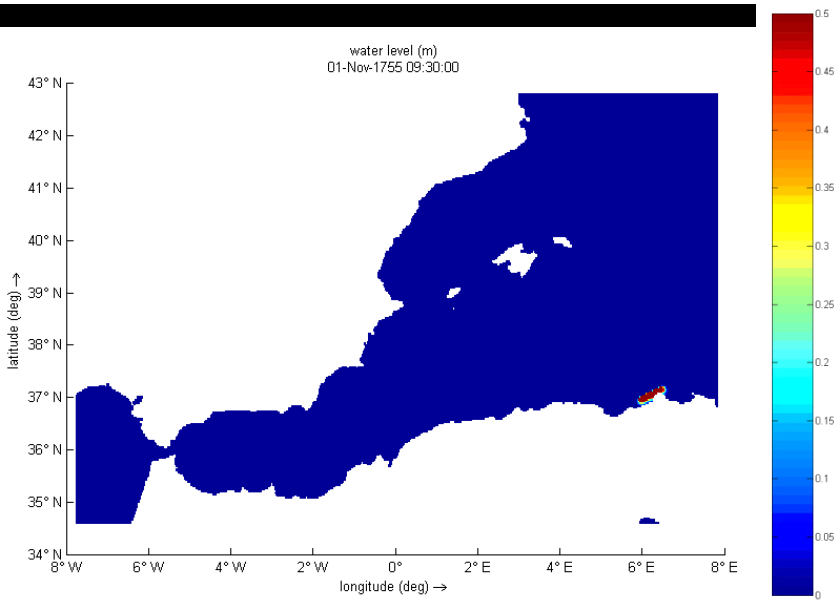
4.17.2.1 *Islas Baleares*

Ibiza
Mallorca
Tiempo de llegada
45 min



4.18 Argelia 8

4.18.1 Instante inicial



4.18.1.1 Tiempos de llegada

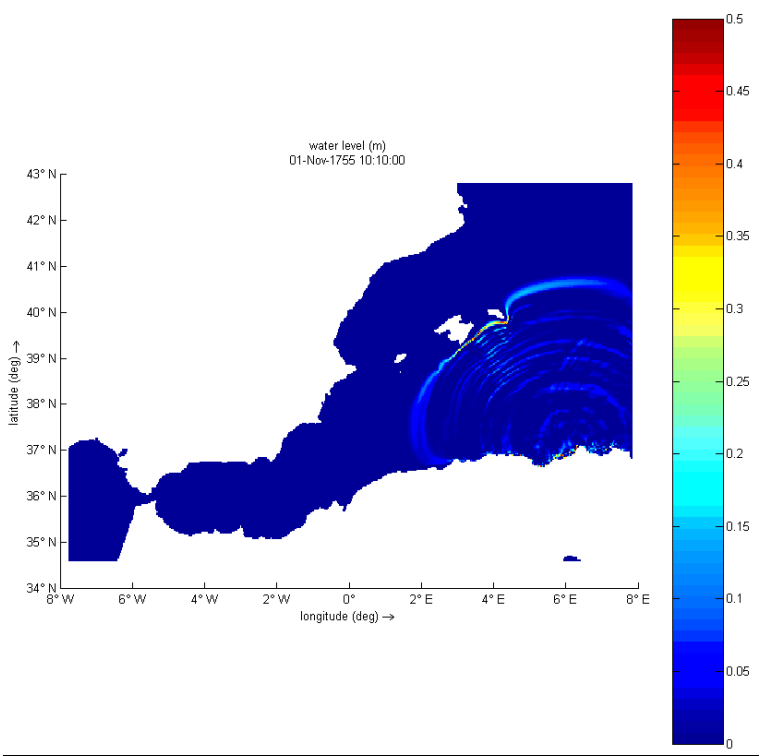
4.18.1.2 Islas Baleares

Ibiza

Mallorca

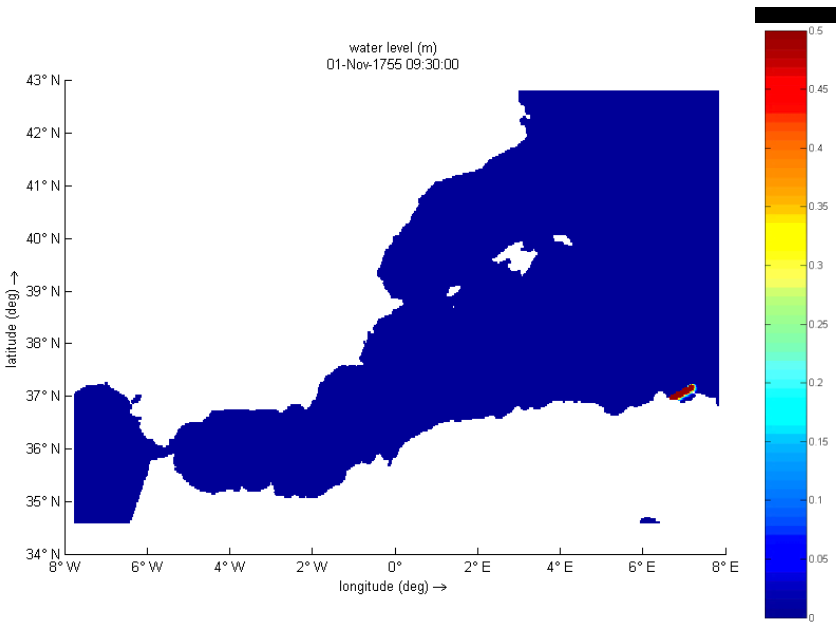
Tiempo de llegada

40 minutos



4.19 Argelia 9

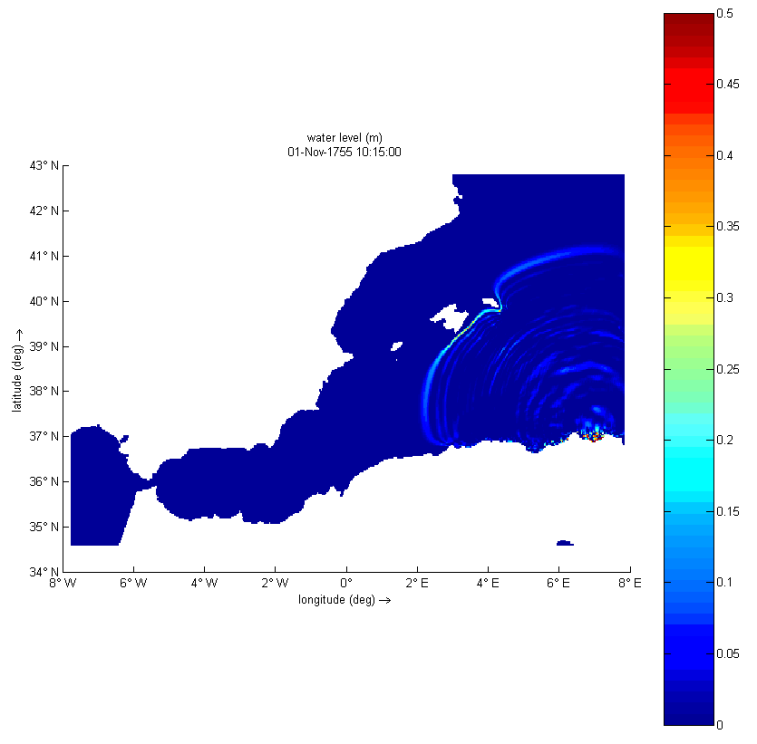
4.19.1 Instante inicial



4.19.2 Tiempos de llegada

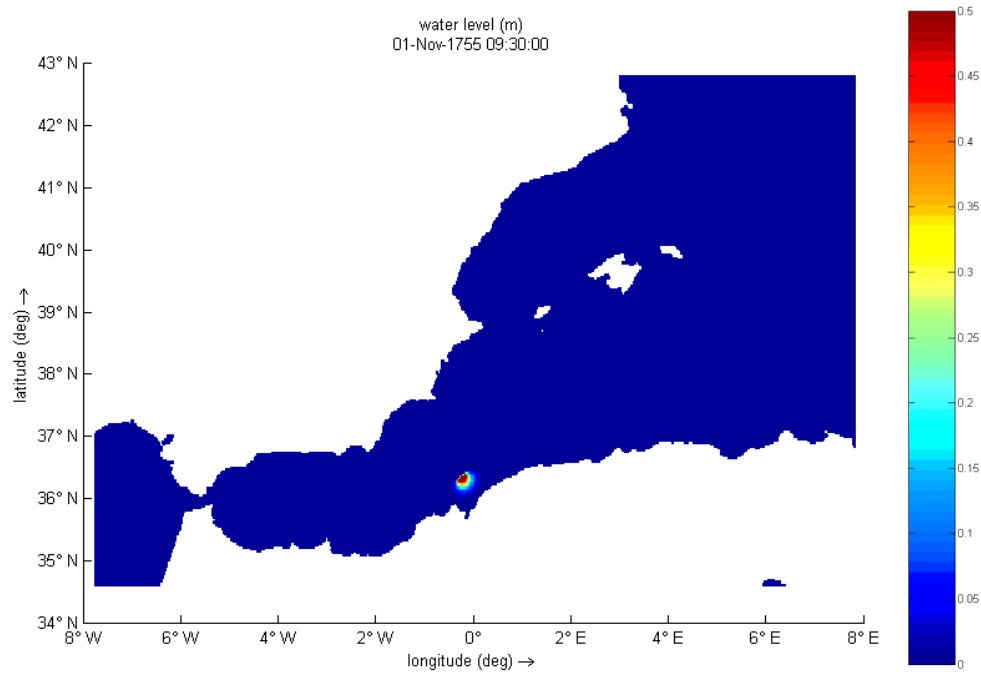
4.19.2.1 *Islas Baleares*

Ibiza
Mallorca
Tiempo de llegada
40 minutos



4.20 El Marsa Offshore - Orán

4.20.1 Instante inicial



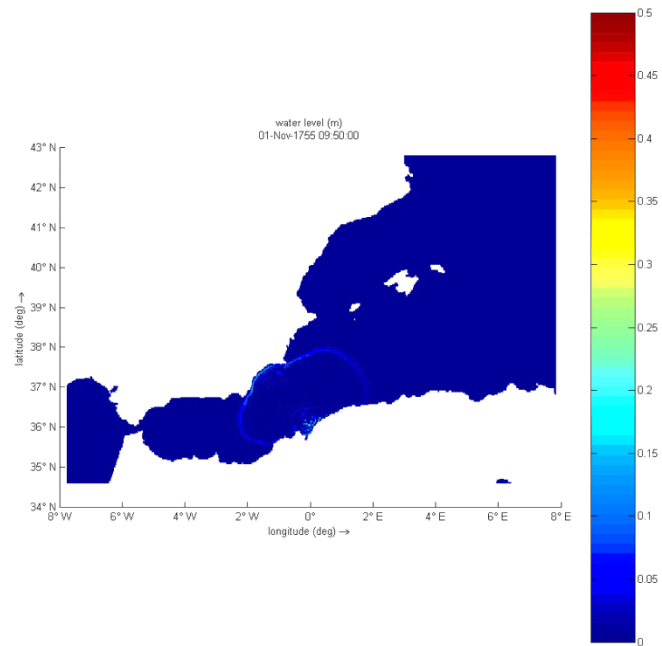
4.20.2 Tiempos de llegada

4.20.2.1 *Andalucía*

Almería

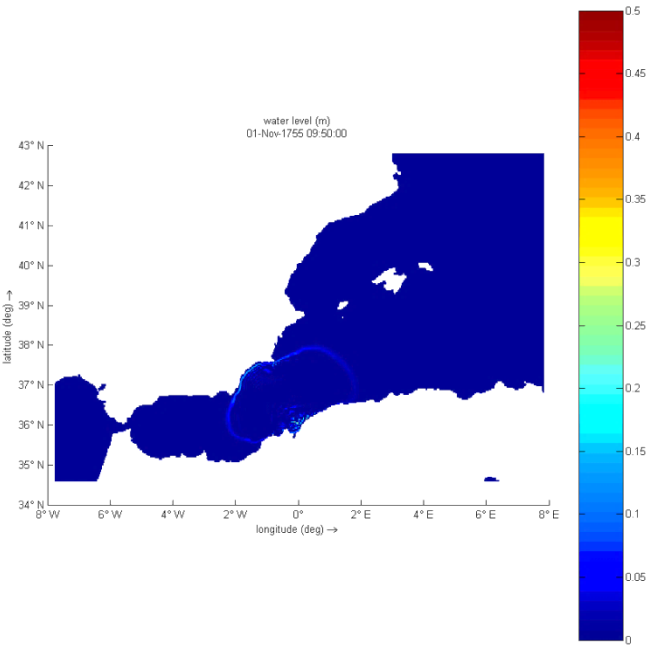
Tiempo de llegada

20 minutos



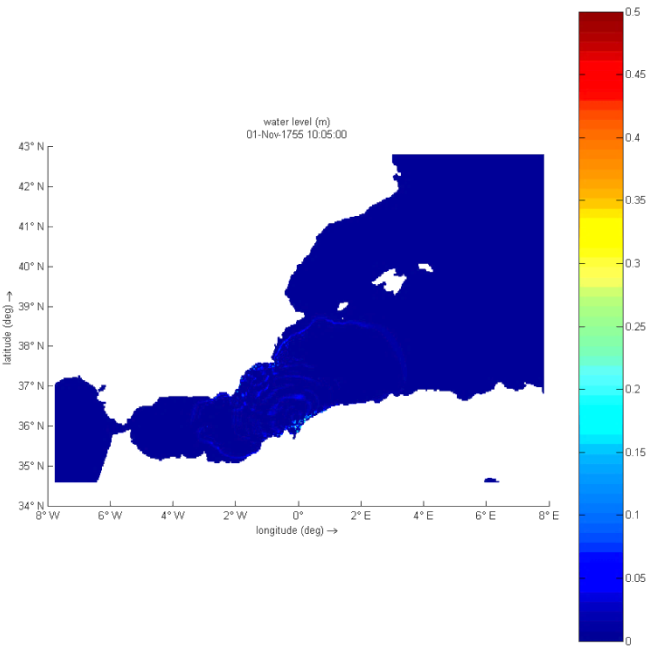
4.20.2.2 Comunidad de Murcia

Murcia
Tiempo de llegada:
20 minutos



4.20.2.3 Islas Baleares

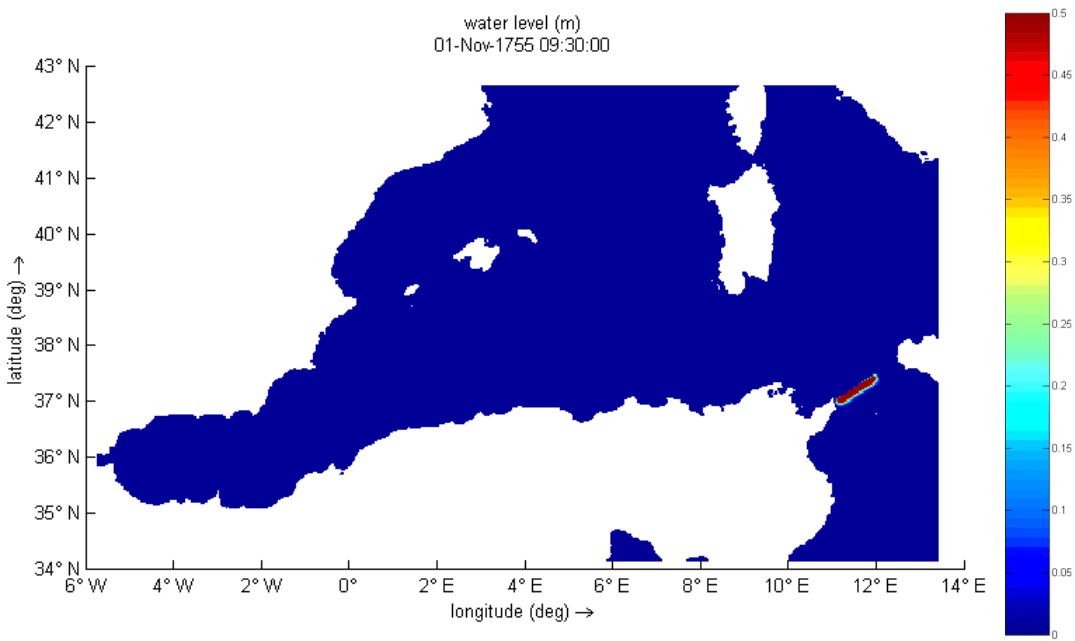
Ibiza
Tiempo de llegada:
35 minutos



5. ZONA 4

5.1 Sicily-Tunisia

5.1.1 Instante inicial



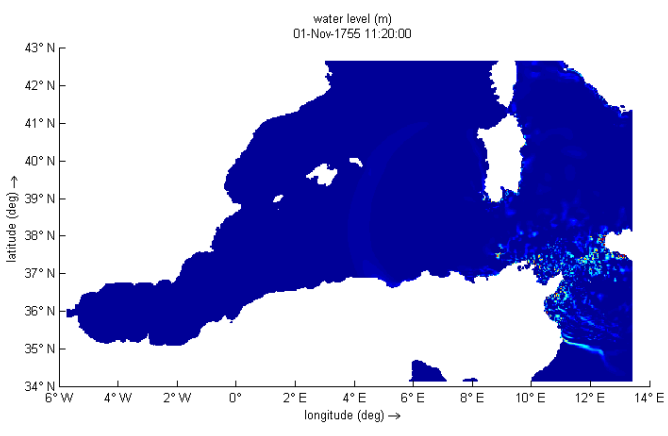
5.1.2 Tiempos de llegada

5.1.2.1 *Islas Baleares*

Menorca

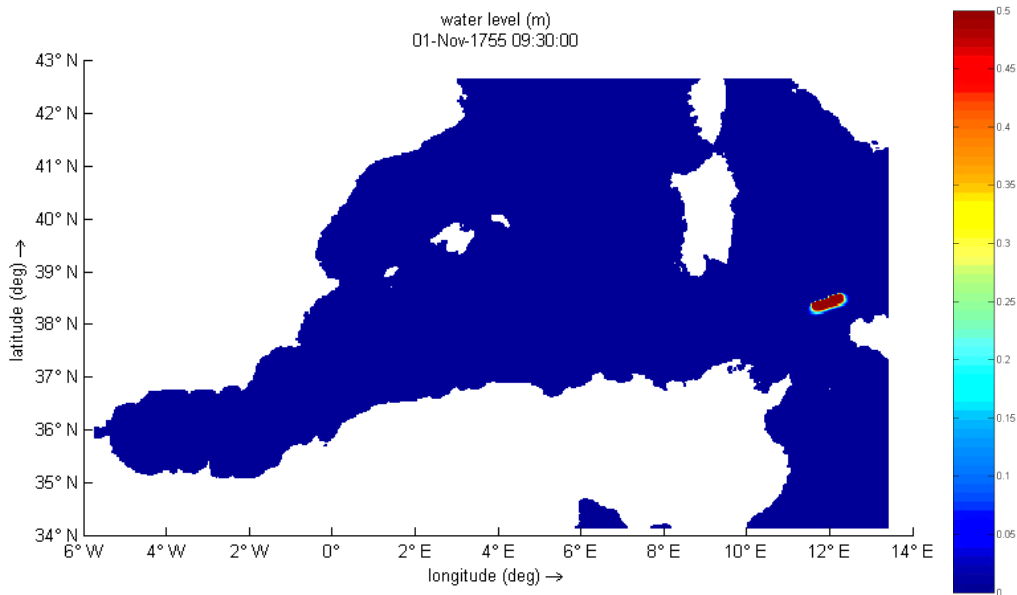
Tiempo de llegada

1 h 50 min



5.2 Southern Tyrrhenian

5.2.1 Instante inicial



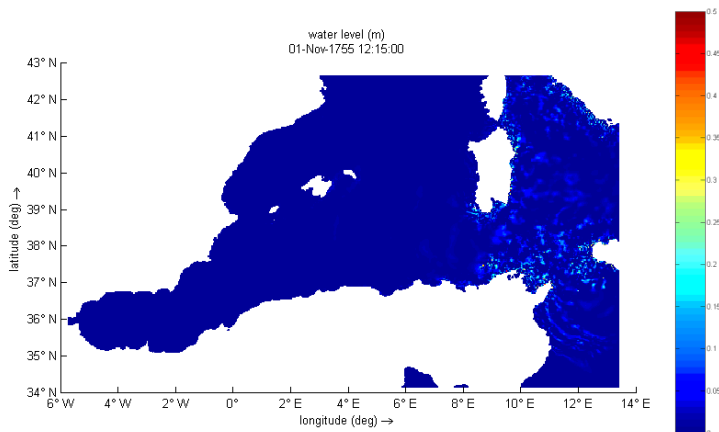
5.2.2 Tiempos de llegada

5.2.2.1 *Islas Baleares*

Menorca

Tiempo de llegada

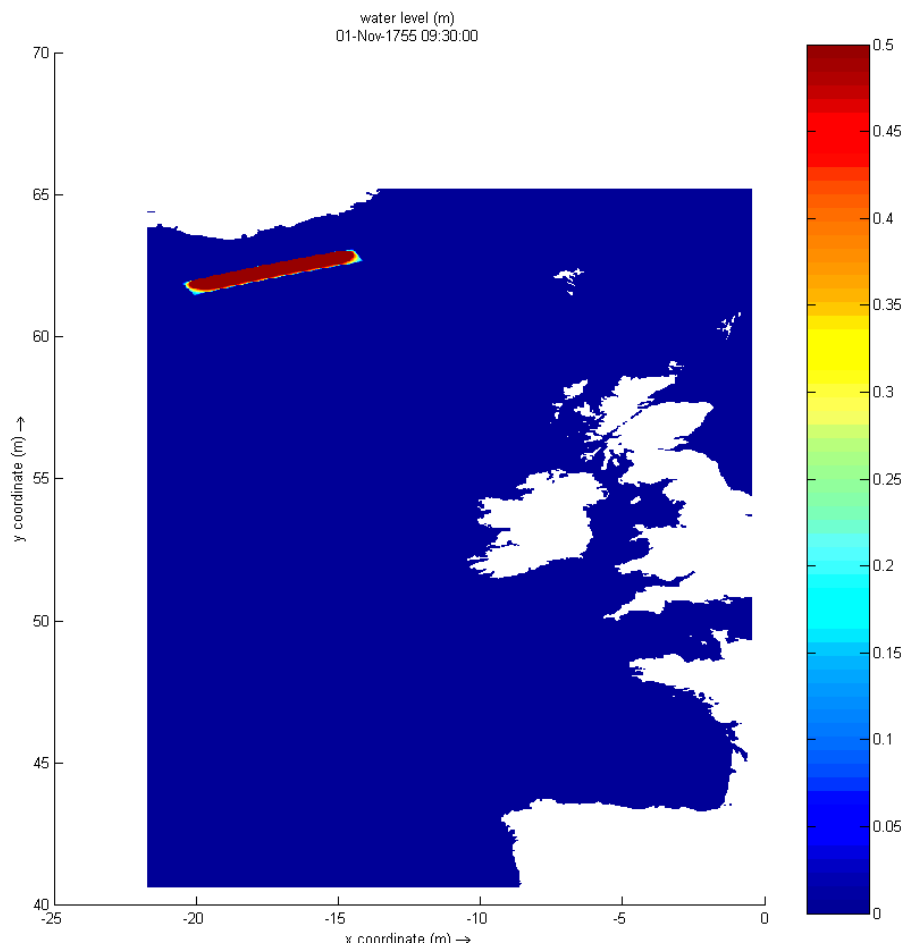
1 h 50 min



6. ZONA 5

6.1 Islandia

6.1.1 Instante inicial

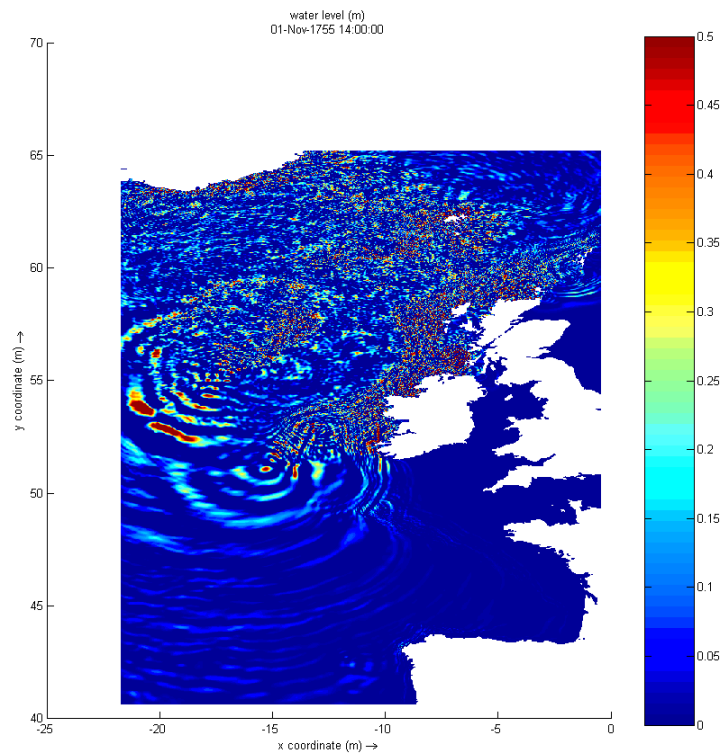


6.1.2 Tiempos de llegada

6.1.2.1 *Galicia*

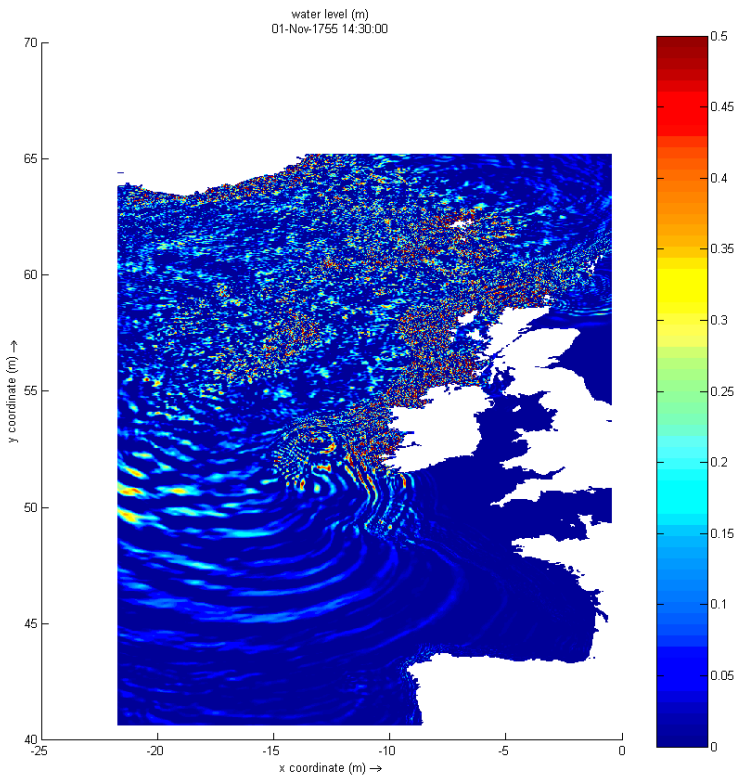
Tiempo de llegada

4 h 30 min



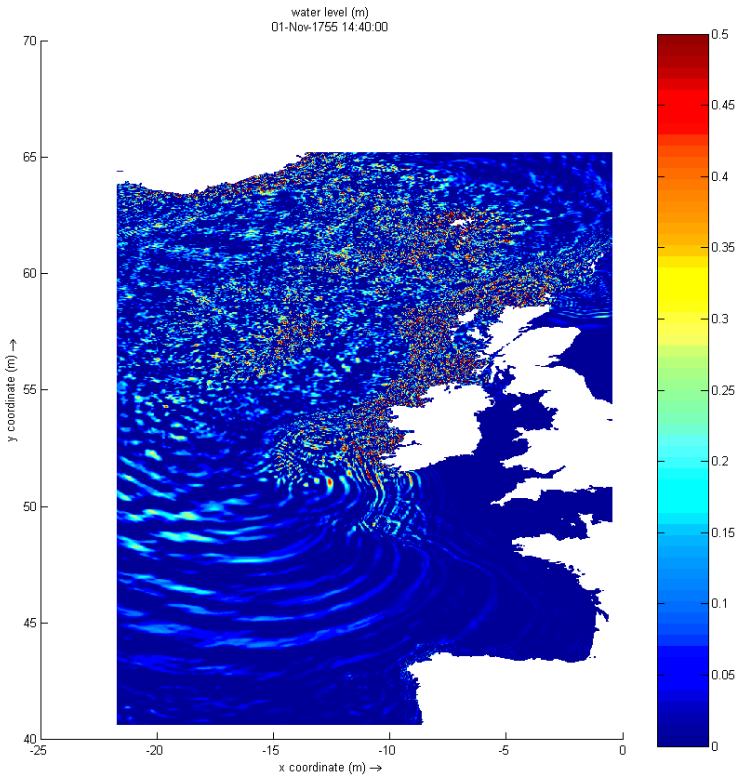
6.1.2.2 Asturias

Tiempo de llegada
5 h



6.1.2.3 Cantabria

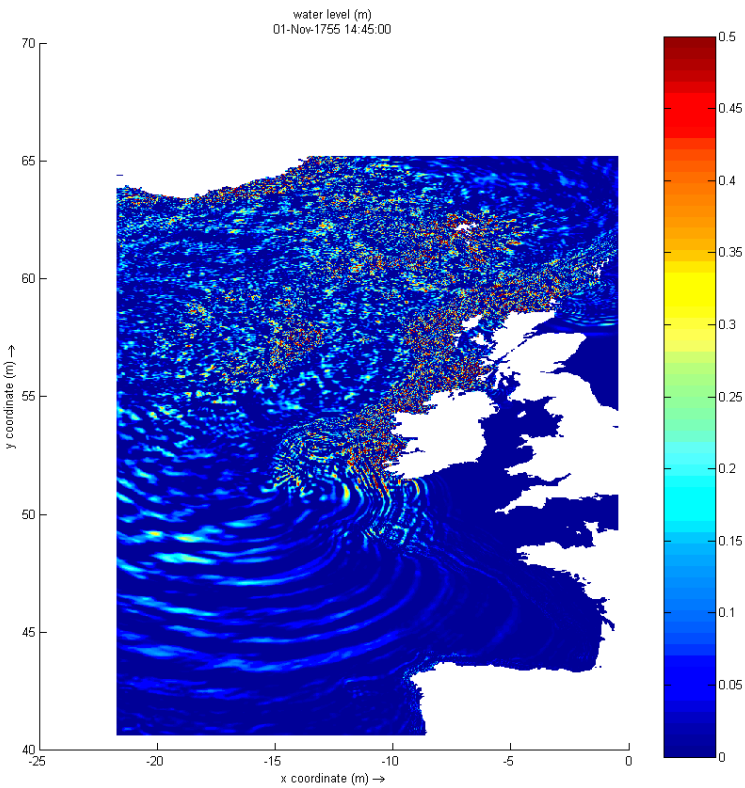
Tiempo de llegada
5 h 10 min



6.1.2.4 País Vasco

Tiempo de llegada

5 h 15 min



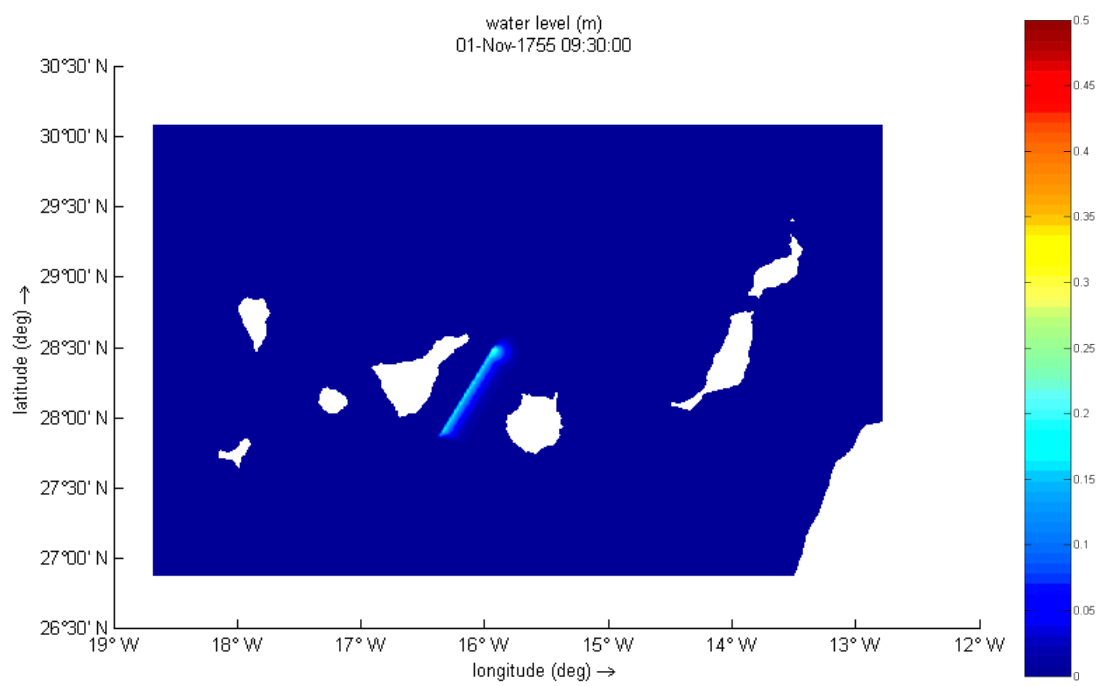
7. ZONA 6

Como se ha indicado en la Memoria “estas fallas no son relevantes desde el punto de vista tsunamigénico”

8. ZONA 7

8.1 Canarias

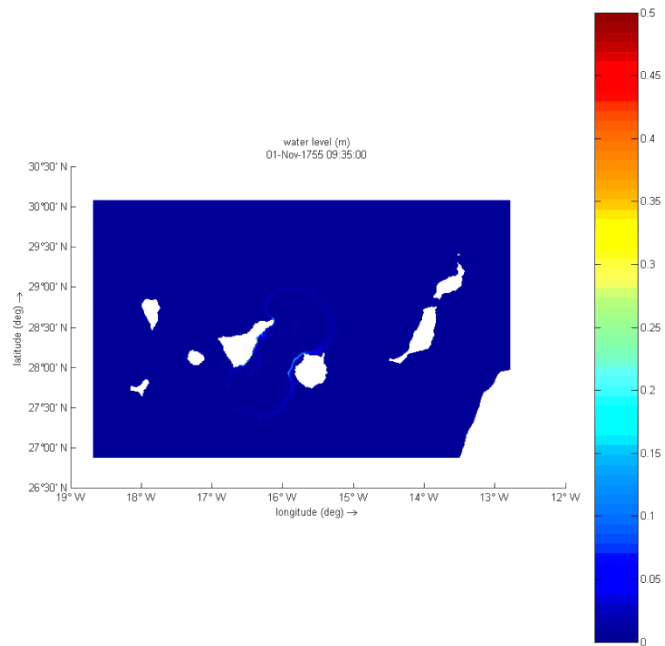
8.1.1 Instante inicial



8.1.2 Tiempos de llegada

8.1.2.1 *Canarias*

Tenerife
Gran Canaria
Tiempo de llegada
5 min

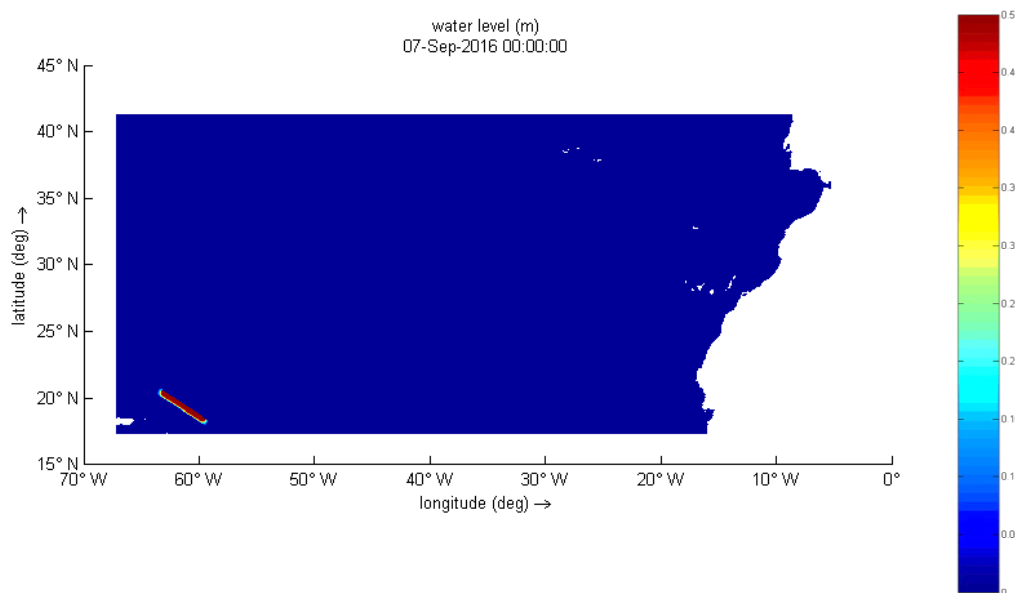


9. ZONA 8

9.1 Puerto Rico-Caribe

El tiempo inicial en el que comienza la simulación es el 07-09-2016 00:00:00
(dd mm aaaa hh:mm:ss)

9.1.1 Instante inicial

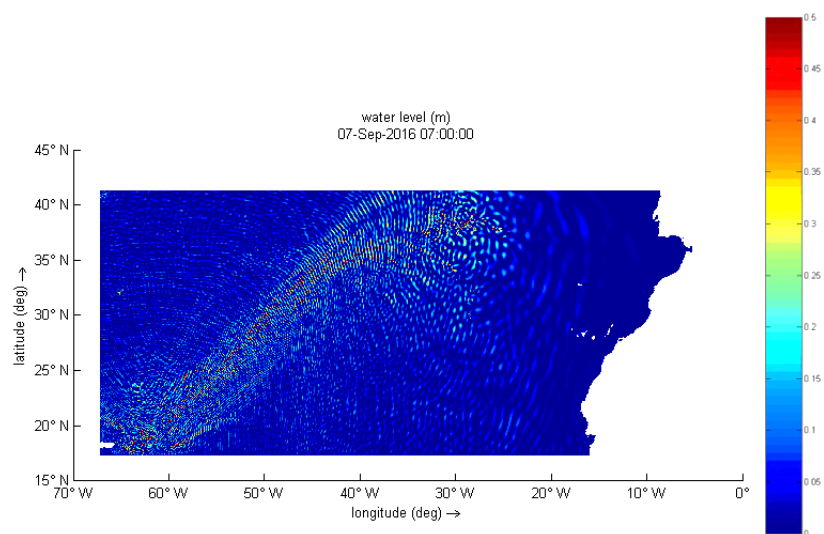


9.1.2 Tiempos de llegada

Islas Canarias

Tiempo de llegada

7 horas



10. CONCLUSIONES

A continuación se presenta la tabla resumen de los tiempos de llegada de la elevación de la lámina de agua asociada al tsunami generado en cada falla y por Comunidad Autónoma afectada:

Ord	ID	Falla	CCAA	Tiempo
1	AT001	Gorringe Bank	Andalucía	1 h
2	AT002	Portimao-Guadalquivir	Andalucía	35 min
3	AT004	Marques de Pompal	Andalucía	45 min
			Islas Canarias	1 h 20 min
			Galicia	1h 10 min
4	AT005	Horseshoe	Andalucía	45 min
			Islas Canarias	1 h 10 min
5	AT006	Coral Patch Ridge (1/2)	Andalucía	1h 10 min
6	AT007	Coral Patch Ridge (2/2)	Andalucía	50 min
7	ME001	Golfo de Rosas	Cataluña	0 min
8	ME002	Amposta Western Fault	Comunidad Valenciana	0 min
9	ME003	Amposta Central Fault	Comunidad Valenciana	0 min
10	ME004	Amposta E Quaternary Fault	Cataluña	10 min
11	ME005	Cabo de Cullera W Fault	Comunidad Valenciana	0 min
12	ME006	Cabo de Cullera C-W Fault	Comunidad Valenciana	0 min
13	ME007	Cabo de Cullera C-E Fault	Comunidad Valenciana	0 min
14	ME008	Cabo de Cullera E Fault	Comunidad Valenciana	15 min
15	ME009	SW of Columbretas Basin	Comunidad Valenciana	20 min
			Murcia	20 min
			Islas Baleares	20 min
16	ME010	Alborán Ridge N	Andalucía	15 min
			Melilla	25 min
17	ME012	Alborán Ridge S	Andalucía	15 min
			Melilla	15 min
18	ME013	Jebha Offshore	Andalucía	25 min
			Ceuta	25 min
19	ME014	Tofiño Bank	Andalucía	25 min
			Ceuta	25 min
20	ME016	Adra	Andalucía	5 min
			Melilla	30 min
21	ME021	Bajo Segura Offshore	Comunidad Valenciana	0 min
			Murcia	20 min
22	ME023	Santa Pola	Comunidad Valenciana	0 min
			Murcia	25 min
23	ME024	La Marina	Comunidad Valenciana	0 min

Ord	ID	Falla	CCAA	Tiempo
			Murcia	25 min
24	ME025	Barcelona	Cataluña	10 min
25	ME026	Delta del Ebro	Cataluña	0 min
			Comunidad Valenciana	1h 10 min
26	ME032	Averroes	Andalucía	15 min
			Melilla	20 min
27	ES600	Crevillente (Alicante) (3/3)	Comunidad Valenciana	0 min
28	NEO001	Tarragona-Barcelona (1/3)	Cataluña	10 min
			Islas Baleares	25 min
29	NEO 002	Tarragona-Barcelona (2/3)	Cataluña	0 min
			Islas Baleares	25 min
30	NEP003	Tarragona-Barcelona (3/3)	Cataluña	0 min
			Islas Baleares	25 min
31	NEO004	Castellón Norte	Comunidad Valenciana	15 min
			Islas Baleares	50 min
			Murcia	55 min
32	NEO005	Castellón Sur	Comunidad Valenciana	25 min
			Islas Baleares	30 min
33	NEO006	Torrox-Motril	Andalucía	5 min
			Ceuta	30 min
34	NEO007	Rincón de la Victoria-Torrox	Andalucía	0 min
			Ceuta	25 min
35	NEO008	Fuengirola	Andalucía	0 min
36	NEO009	Marbella	Andalucía	0 min
37	NEO010	Estepona	Andalucía	0 min
38	AR1	Argelia 1	Islas Baleares	30 min
			Murcia	45 min
39	AR2	Argelia 2	Islas Baleares	30 min
			Murcia	50 min
40	AR3	Argelia 3	Islas Baleares	30 min
			Murcia	55 min
41	AR4	Argelia 4	Islas Baleares	35 min
			Murcia	1 h 5 min
42	AR5	Argelia 5	Islas Baleares	30 min
			Murcia	1 h 5 min
43	AR6	Argelia 6	Islas Baleares	35 min
44	AR7	Argelia 7	Islas Baleares	45 min
45	AR8	Argelia 8	Islas Baleares	40 min
46	AR9	Argelia 9	Islas Baleares	40 min
47	DZCS004	El Marsa Offshore- Orán	Andalucía	20 min
			Murcia	20 min
			Islas Baleares	35 min

Ord	ID	Falla	CCAA	Tiempo
48	ITCS090	Sicily-Tunisia	Islas Baleares	1 h 50 min
49	ITCS014	Southern Tyrrhenian	Islas Baleares	1 h 50 min
50	-	Islandia	Galicia	4 h 30 min
			Asturias	5 h
			Cantabria	5h 10 min
			País Vasco	5h 15 min
51	-	Caribe-Puerto Rico	Canarias	7 h

Tabla 10-1. Tabla resumen de los resultados obtenidos

16090_Peligrosidad Rev. 2

P-637-INF-1125 Rev. 2

PRINCIPIA

Ingenieros Consultores

Velázquez 94

28006 Madrid - ESPAÑA

Tel (+34) 912091482

Fax (+34) 915751026

<http://www.principia.es>

principia@principia.es