

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio metodológico de señalética y rutas de evacuación en zonas españolas de riesgo de tsunami mediante técnicas geomáticas

Trabajo Final de Grado en Ingeniería Geomática y Topografía
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geomática, Cartografía y Topografía.

Autora: Raquel Arcón Navarro

Tutor: Francisco García García

Julio de 2017

Resumen

Los tsunamis son un fenómeno natural impredecible que se produce cada ciertos años y que pueden generar un gran impacto en las costas afectadas, dejando a su paso numerosos daños materiales, económicos, y sociales.

Aunque se tiene conocimiento de este fenómeno natural desde hace mucho tiempo, en la última década ha quedado demostrado el poder devastador que tiene. En algunos casos los planes de prevención, mitigación, y preparación de tsunamis han ayudado a salvar innumerables vidas humanas.

Es por ello que en el presente documento se pretende establecer unas rutas de evacuación, junto con una señalética determinada para poder paliar el efecto que podría tener un tsunami en el caso de que azotara las costas españolas. Las costas elegidas para este estudio son las costas de Cádiz y Conil de la Frontera. Para ello se ha realizado un análisis espacial de las dos zonas de estudio a partir de una serie de herramientas de edición y análisis cartográfico, obteniendo como resultado varios planos en los cuales se pueden distinguir las zonas de inundación, las rutas de evacuación hacia las zonas seguras y la ubicación de la señalética establecida.

Palabras Clave

Tsunami, Cádiz, Conil de la Frontera, señalética, población, costas, evacuación

Abstract

Tsunamis are a natural unpredictable phenomenon that occurs every few years and can have a great impact on the affected coast, leaving in its wake numerous material, economic, and social damages.

Although this natural phenomenon has been known for a long time, in the last decade the devastating power has been demonstrated. In some cases tsunami prevention, mitigation, and preparedness plans have helped save countless human lives.

This is why this document aims to establish evacuation routes, along with a specific signage to alleviate the effect that could have a tsunami in the event that it hit the Spanish coasts. The coasts chosen for this study are the coasts of Cádiz and Conil de la Frontera. For this purpose, a spatial analysis of the two study areas has been carried out through a series of cartographic editing and analysis tools, resulting in several planes in which the zones of flooding, the evacuation routes to the zones and the location of the established signage.

Key words

Tsunami, Cádiz, Conil de la Frontera, signage, population, beach, evacuation.

Resum

Els tsunamis son un fenomen natural impredecible que es produïx cada certs anys i que pot generar un gran impacte en les costes afectades, deixant al seu pas nombrosos danys materials, econòmics, i socials.

Encara que es té coneixement d'aquest fenomen natural des de fa molt de temps, en l'última dècada ha quedat demostrat el poder devastador que té. En alguns casos els plans de prevenció, mitigació, i preparació de tsunamis han ajudat a salvar innumerables vides humanes.

Es per això que en el present document es pretén establir unes rutes d'evacuació, junt amb una senyalètica determinada per a poder pal·liar l'efecte que podria tindre un tsunami en el cas que assotara les costes espanyoles. Les costes triades per a este estudi són les costes de Cadis i Conil de la Frontera. Per a això s'ha realitzat una anàlisi espacial de les dos zones d'estudi a partir d'una sèrie de ferramentes d'edició i anàlisi cartogràfica, obtenint com resultat diversos plans en els quals es poden distingir les zones d'inundació, les rutes d'evacuació cap a les zones segures i la ubicació de la senyalètica establida.

Paraules clau

Tsunami, Cádiz, Conil de la Frontera, senyalètica, població, costes, evacuació.

ÍNDICE

MEMORIA	1
1.- Introducción y objetivo.....	2
2.- Conceptos previos sobre tsunamis.....	3
3.- Estado del arte.....	5
3.1.- Tsunamis más importantes a nivel mundial.....	6
3.1.1.- Tsunamis recientes.....	6
3.1.2.- Tsunamis históricos.....	9
3.2.- Zonas de riesgo de tsunami en España.....	13
3.3.- Agencias y sistemas de alerta de tsunamis.....	16
3.3.1.- Internacionales.....	16
3.3.2.- Nacionales.....	20
4.- Señalética de tsunamis.....	22
4.1.- Zonas del Pacífico y Caribe.....	23
4.2.- Península Ibérica.....	25
4.2.1.- Portugal.....	25
4.2.2.- Necesidad de un uso de señalética en España.....	26
5.- Análisis espacial de la zona de estudio.....	26
5.1.- Localización.....	27
5.2.- Datos de partida.....	28
5.3.- Software utilizado.....	29
5.4.- Metodología empleada.....	30
5.5.- Resultados del análisis.....	37
5.6.- Daños Socio-económicos.....	37
6.- Presupuesto.....	38
7.- Conclusiones.....	39
8.- Bibliografía.....	41
ANEXO	43
Plano de situación y emplazamiento de Cádiz.....	44
Plano de inundación de Cádiz.....	45
Plano de zonas seguras, vías de evacuación y señalética de Cádiz.....	46
Plano de situación y emplazamiento de Conil de la Frontera.....	47
Plano de inundación de Conil de la Frontera.....	48
Plano de zonas seguras, vías de evacuación y señalética de Conil de la Frontera.....	49
Pdf de Protección civil de la zona de Cadiz.....	50
Pdf de Protección civil de la zona de Conil de la Frontera.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos generadores de tsunamis [Fuente: <i>Tsunamis e ciudades Resilientes.pdf</i>]	3
Figura 2. Parámetros físicos y geométricos de las ondas de los tsunamis [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h712.html]	5
Figura 3. Imágenes de antes y después del tsunami [Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110914_galeria_tsunami_japon_antes_de_spues.shtml]	8
Figura 4 Imágenes durante el tsunami [Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110914_galeria_tsunami_japon_antes_de_spues.shtml]	8
Figura 5 Imágenes durante el tsunami [fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110914_galeria_tsunami_japon_antes_de_spues.shtml]	8
Figura 6. Localización zonas tsunamis históricos [Fuente: <i>Elaboración propia</i>]	10
Figura 7. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]	10
Figura 8. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]	10
Figura 9. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]	11
Figura 10. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]	11
Figura 11. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]	12
Figura 12. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]	12
Figura 13. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	13
Figura 14. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	13
Figura 15. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	14
Figura 16. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	14
Figura 17. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	14
Figura 18. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	15
Figura 19. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: <i>La Gran Ola</i>]	15
Figura 20. Mareógrafos y estaciones sísmicas del Pacífico [Fuete: http://www.tsunami.gov/]	18
Figura 21. Boyas DART a nivel mundial [Fuente: http://www.tsunami.gov/]	19
Figura 22. Esquema de tiempo de tsunamis de Japón [Fuente: http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html]	20
Figura 23. Estaciones sísmicas de España [Fuente: http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion]	21
Figura 24. Relaciones externas [Fuente: http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion]	21
Figura 25. Esquemas de alerta de España en caso de tsunami [Fuente: http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion]	22
Figura 26. Señalética de Chile [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	23
Figura 27. Señalética Indonesia [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	24
Figura 28. Señalética EE.UU. [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	24
Figura 29. Señalética Japón [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	24
Figura 30. Señalética Nueva Zelanda [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	24
Figura 31. Señalética EE.UU. [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	24
Figura 32. Señalética Chile (a), Indonesia (b) y EE.UU. (c) [Fuente: <i>NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf</i>]	24

Figura 33 .Señalética de Portugal [Fuente: La Gran ola]	25
Figura 34. Señalética de Portugal [Fuente: La Gran ola]	25
Figura 35. Herramienta Clip [https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2014/04/GF9.HerramientasdeGeoprocesamiento.pdf]	29
Figura 36. Herramienta Intersect [https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2014/04/GF9.HerramientasdeGeoprocesamiento.pdf]	29
Figura 37. Herramienta Buffer [https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2014/04/GF9.HerramientasdeGeoprocesamiento.pdf]	29
Figura 38. Visualización programa Laszip [Fuente: Elaboración propia].....	30
Figura 39. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]	31
Figura 40. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]	31
Figura 41. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]	32
Figura 42. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]	32
Figura 43. Visualización de Cádiz [Fuente: Elaboración propia]	32
Figura 44. Inundación Cádiz [Fuente: Elaboración propia]	33
Figura 45. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	34
Figura 46. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	34
Figura 47. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	35
Figura 48. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	35
Figura 49. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	36
Figura 50. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	36
Figura 51. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Relación Profundidad/Velocidad en los tsunamis</i> [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h712.html]	4
Tabla 2. <i>Daños sociales y humanos</i> [Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_del_oc%C3%A9ano_%C3%8Dndico_de_2004]....	6
Tabla 7. <i>Escala de Inamura</i> [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html]	26
Tabla 8. <i>Tabla de Lida</i> [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html] ..	27
Tabla 9. <i>Escala conjunta de Inamura y Lida</i> [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html]	27

MEMORIA

1.- Introducción y objetivo

Este proyecto surge con la idea de intentar combinar varios conceptos que hemos aprendido a lo largo de la carrera, así pues se intenta que abarque temas tales como la ordenación urbanística junto con catastro, uso de LIDAR, ArcGIS y geofísica.

En la actualidad existe un desconocimiento de la situación de España frente a los tsunamis, se tiende a creer que es un fenómeno natural ajeno a este país, nada más lejos de la realidad. Las costas andaluzas situadas frente al golfo de Cádiz son potencialmente vulnerables debido a la existencia de varias fallas. De hecho, en 1755 un tsunami arrasó las costas de Portugal y España provocando grandes daños.

El objetivo de este trabajo es crear y diseñar un sistema de evacuación mediante una señalética específica, la cual permita dirigir a la población hacia zonas altas accesibles o alejadas de la costa en caso de tsunami.

Así pues hablando de tsunamis, lo primero que hay que tener en cuenta es que el problema jamás será resuelto ya que la litosfera de la Tierra está constantemente en movimiento. De ahí que, teniendo en cuenta el desconocimiento que se tiene hoy en día acerca de las posibilidades de que ocurra un tsunami en España y la falta de sistemas de prevención y paliación de los efectos que puede provocar, surge la necesidad de crear un sistema de evacuación que pueda ayudar a salvar las máximas vidas humanas posibles.

Para lograr un buen resultado se ha realizado un estudio previo de las zonas costeras de España en donde la altura de la ola sería mayor. Para ello se ha tenido en cuenta la población y la característica de la costa para posteriormente poder obtener unos mapas de inundación que representarían el alcance del tsunami tierra adentro, a través de la utilización del programa ArcGIS y mediante una cartografía extraída de la Sede Digital de Catastro para poder delimitar la distribución de las manzanas y las calles de la zona de estudio, combinada con el uso de datos LIDAR para poder conocer la altura de los edificios así como la elevación de la topografía de la zona para poder establecer zonas altas seguras lo más posiblemente alejadas de la costa.

Posteriormente tras haber obtenido las zonas inundadas, y haber analizado las infraestructuras que quedarían dentro de la zona de acción del tsunami, se han creado unas rutas de evacuación en las cuales se hace uso de un sistema de señalética para poder guiar a la población en el caso de que ocurriera un fenómeno natural de estas características.

A la hora de proponer un prototipo de señalética específico se ha tenido en cuenta los sistemas de señalética ya existentes alrededor del mundo y se ha optado por el más conveniente.

2.- Conceptos previos sobre tsunamis

Un tsunami se define como una ola o series de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza verticalmente, ésta se propaga en todas las direcciones desde la zona de origen y cuyas olas al aproximarse a la orilla aumentan en altura y pierden velocidad, descargando su energía en la costa.

Para que se origine un tsunami hace falta que el sismo que lo provoca haya tenido lugar bajo el agua y se haya producido un desplazamiento vertical, de modo que el océano es impulsado fuera de su equilibrio habitual, el hecho de que esa cantidad enorme de agua recupere un estado en equilibrio es lo que hace que se generen las olas. También hay que tener en cuenta que no solo los sismos de este tipo pueden generar tsunamis, las explosiones volcánicas, los deslizamientos del terreno submarino, también pueden.

Así pues el tectonismo es el responsable del 96% de los tsunamis observados, las erupciones volcánicas submarinas representan el 3%, los deslizamientos un 1%.

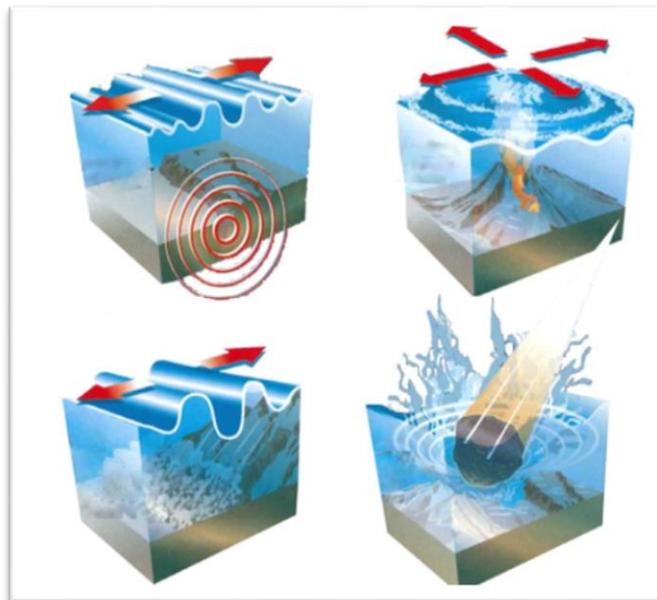
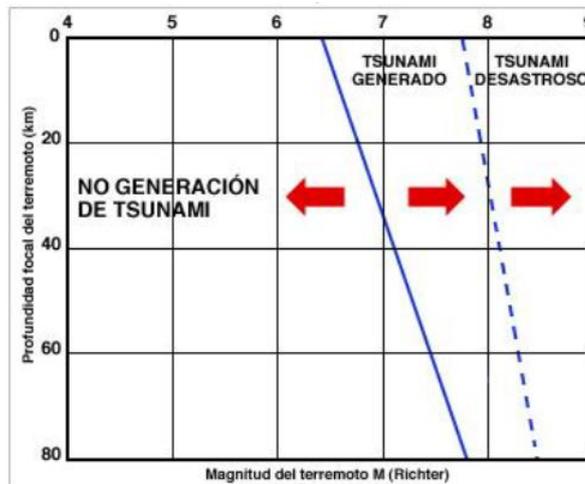


Figura 1. Mecanismos generadores de tsunamis [Fuente: *Tsunamis e ciudades Resilientes.pdf*]

De otro modo si las olas son provocadas por un terremoto en tierra, ya no serán tsunamis sino 'seiches', que son pequeñas olas que afectan a los puertos, embalses, estanques, etc.

Hay que destacar que no todos los terremotos pueden generar tsunamis, solo aquellos que tiene una magnitud considerable por encima de 6.5 en la escala de Richter aproximadamente, mientras que aquellos con magnitudes superiores a 7.7 pueden originar tsunamis de alto riesgo; Y aunque cualquier océano puede experimentar un tsunami, suelen ser más frecuentes en el océano Pacífico.

A continuación se muestra un gráfico que relaciona la posibilidad de que se genere un tsunami dependiendo de la profundidad del terremoto y de la magnitud de este.



Gráfica 1. Gráfica magnitudes generadoras de tsunamis [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html]

La velocidad de un tsunami depende de la profundidad del océano por el que viaja, esto hace que los tsunamis en alta mar sean casi indetectables, no se sienten por los barcos ni pueden verse desde la altura de un avión. Pueden viajar a gran velocidad por el agua, llegando a alcanzar los 700km/h, llegando así a las zonas costeras más próximas en pocos minutos y a las zonas más alejadas en varias horas.

La fórmula para calcular la velocidad de un tsunami en función de la profundidad oceánica es la siguiente:

$$Velocidad = \sqrt{gravedad * profundidad}$$

Ecuación 1. Velocidad de los tsunamis [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h712.html]

A continuación se muestra una tabla en donde se puede ver ejemplos de resultados obtenidos a partir de la función anterior:

PROFUNDIDAD (Braza: 1.82 m)	VELOCIDAD (Nudos: 1852 m/hora)
5000	582
3000	451
1000	260
500	184
100	82
10	26

Tabla 1. Relación Profundidad/Velocidad en los tsunamis [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h712.html]

Aunque se tiende a creer, y parece, que las olas mueven el agua hacia la costa, en realidad el agua solo sube y baja mientras que la energía se transmite hacia delante. En el momento que la ola se estrella contra la costa la energía se transfiere de la masa de agua hacia Tierra.

Con lo que respecta a la mecánica o movimiento de las ondas de los tsunamis, a continuación se muestra una serie de imágenes en las que se puede apreciar la evolución de este conforme se va acercando a la costa.

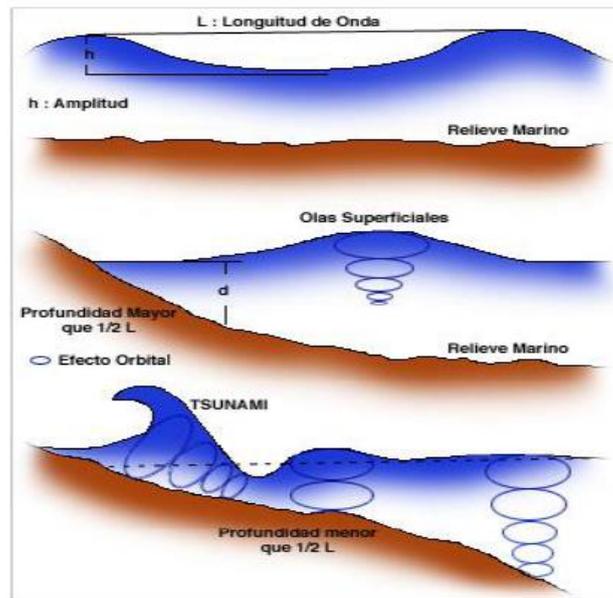


Figura 2. Parámetros físicos y geométricos de las ondas de los tsunamis
[Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h712.html]

Conforme la ola va entrando en aguas poco profundas la fricción del fondo del mar aplana el movimiento orbital de las partículas del agua, produciendo así que la ola rompa en la costa. A medida que el tsunami se acerca al litoral la ola va perdiendo velocidad, gana altura y a partir del momento en el cual la ola rompe poco se puede saber acerca de la velocidad que llevará después y hasta donde puede alcanzar el agua ya que esto depende de muchas variantes.

3.- Estado del arte

A continuación se va a analizar los tsunamis más importantes a nivel mundial teniendo en cuenta tsunamis más devastadores recientes e históricos; Así pues también se va a hablar un poco de los sistemas de alerta que tienen otros países y se va a comparar con el de España y Portugal.

Además también se va a aportar información sobre las zonas de riesgo de tsunami en España, base para la cual se tendrá muy en cuenta a la hora de elegir la zona de estudio.

3.1.- Tsunamis más importantes a nivel mundial

En el presente apartado se va a proceder a la descripción de algunos de los tsunamis más significativos de los cuales se tiene constancia. Se ha realizado una clasificación por etapas, una primera en donde se va a analizar los tsunamis más importantes a nivel mundial pero dentro de un periodo reciente, y una segunda clasificación en la que se va a tener en cuenta una recopilación de tsunamis históricos a lo largo del mediterráneo.

3.1.1.- Tsunamis recientes

Seguidamente se muestra una lista de los tsunamis más devastadores a nivel mundial de los últimos años, así como una breve descripción de la intensidad y los daños que provocaron.

Se ha tenido en cuenta para esta clasificación un periodo de tiempo de 300 años aproximadamente; Si se mira desde el punto de vista de la duración de la vida de una persona 300 años no se puede clasificar un periodo de tiempo reciente, pero teniendo en cuenta que hay tsunamis registrados desde antes de Cristo y que el periodo de aparición de un tsunami es relativamente largo, un franja de 300 años se ha considerado un tiempo reciente.

- *Tsunami de Indonesia:* Tuvo lugar un 26 de diciembre de 2004 y fue provocado por un terremoto submarino de 9.3 grados según la escala de magnitud del momento. Afecto a las costas Indonesia, Malasia, Sri Lanka, India y Tailandia, con una ola de 30 metros en algunas zonas, provocando un total de 144.000 muertes aproximadamente.

A continuación se muestra una tabla en donde aparecen las costas afectadas y los daños totales acusados.

	Pais	Muertos confirmados	Muertos estimados	Heridos	Desaparecidos	Desplazados
1	Indonesia	94 081 ²	167 000 ³	500 000	Decenas de miles	271 908
2	Sri Lanka	29 957 ²	30 000 ⁴	8200	5240	1,5 millones ⁵
3	India	14 962 ⁶	15 000 ⁷	-	5421	Cientos de miles
4	Tailandia	5046 ²	9400 ⁸	8953	3810	29 000
5	Somalia	142	Cientos	-	-	-
6	Birmania	90	-	45	14	788
7	Maldivas	74	-	-	31	6697
8	Malasia	68	-	299	6	5000
9	Tanzania	10	-	-	-	-
10	Sudáfrica	4	-	-	-	-
11	Bangladés	2	-	-	-	-
12	Seychelles	1	-	-	7	-
13	Kenia	1	-	-	-	-
14	Madagascar	0	-	-	-	Cerca de 1200
15	Territorio Británico en el Océano Índico					
0	Total		144 000	200 000 ⁹	510 000	1,5-2 millones

Tabla 2. Daños sociales y humanos [Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_del_oc%C3%A9ano_%C3%8Dndico_de_2004]

- *Tsunami de Lisboa, Portugal:* Tuvo lugar un 1 de noviembre de 1755 y fue provocado por un terremoto de 9 grados en la escala Richter aproximadamente, el cual afecto tanto a las costas de Portugal como a las costas andaluzas pertenecientes a Huelva y Cádiz, entre otras. En algunas zonas la altura de la ola se presupone sobre los 15 metros. Se estima que murieron entre 60.000-100.000 personas y hablando de daños materiales cabe destacar que provoco la destrucción casi total de Lisboa, casi el 85% de los edificios resultaron dañados. En Huelva el 81% de la flota pesquera fue destruida y en Cádiz, aunque las murallas protegieron a gran parte de la población, resultaron gravemente dañadas.

- *Tsunami en Arica, Chile:* Fue provocado por un sismo de 9 grados en la escala de Richter el 13 de agosto de 1868. Basándonos en los documentos de la época encontrados se estiman olas de hasta 18 metros de altura, provocando cerca de 300 personas fallecidas y numerosos daños materiales. Unos años después las costas de Arica fueron barridas por un nuevo tsunami de características similares el 9 de mayo de 1877 y el puerto boliviano llamado Cobija, que estaba recuperándose de los daños del primer desastre natural, fue prácticamente desolado.

- *Tsunami en Messina, Italia:* Tuvo lugar un 28 de diciembre del 1908, el causante fue un sismo entre Sicilia y Calabria (Sur de Italia) de magnitud del momento 7.1. Las localizaciones de Messina y Reggio Calabria quedaron prácticamente destruidas debido a las 3 grandes olas de 12 metros que barrieron la costa italiana provocando así numerosas pérdidas humanas que se estiman entre 75.000 - 200.000. Como dato destacable cabe matizar que se han encontrado escritos donde dicen que el mar llego a retirarse de la costa hasta 70 metros.

- *Tsunami de Sendai, Japón:* Tuvo lugar el 11 de marzo de 2011, y el tsunami fue provocado por un terremoto de magnitud 9, el cual genero olas de hasta 40 metros de altura. Se registró una ola de 10 metros en Sendai, lo cual provoco que el aeropuerto quedara completamente inundado, y en las calles el agua se llevó coches y edificios. El tsunami causo inundaciones y llegó hasta las costas Japón, Hawái, Alaska, Rusia, Indonesia, Filipinas, Oregón y California, etc. de hecho uno de los puertos de este último condado quedo completamente destruido. El tsunami provocó la muerte de 15.893 personas, además de 6.152 heridos y 2.556 desaparecidos, y fue el causante del famoso accidente de la central nuclear en Fukushima, Japón.

A continuación se muestran una serie de imágenes, en algunas se puede ver la comparativa de una zona durante el desastre y de esa misma zona una vez la población ya ha empezado a recuperarse de los daños causados, y en otras se aprecia el avance de la ola a través de las edificaciones.



Figura 3. Imágenes de antes y después del tsunami [Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110914_galeria_tsunami_japon_antes_despues.shtml]



Figura 4 Imágenes durante el tsunami [Fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110914_galeria_tsunami_japon_antes_despues.shtml]



Figura 5 Imágenes durante el tsunami [fuente: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/09/110914_galeria_tsunami_japon_antes_despues.shtml]

- *Tsunami de Sanriku, Japón:* Tuvo lugar el 15 de junio de 1896 y fue debido a un sismo de 8 grados de magnitud, el cual dejó olas de hasta 35 m en algunas zonas. Dicho tsunami causó un total de 22.000 muertes aproximadamente y 9.000 hogares destruidos y varios puertos y embarcaciones arrasados.

Así pues también se produjeron daños en las localidades de Iwate, Miyagi, Aomori, Hokkaido y Hawái, registrándose en esta última zona olas de hasta 9 metros de altura.

- *Tsunami de las islas Aleutianas, Alaska:* Tuvo lugar el 1 de abril de 1946 debido a un terremoto de 7.4 en la fosa de las Aleutianas. El tsunami no fue muy devastador en las costas continentales de Alaska ya que las islas Aleutianas se llevaron la peor parte, absorbiendo la energía del tsunami y protegiendo la parte continental.

En la zona de Scotch Cap (Unimak island, Alaska) llegó una ola de 30 metros de alto que destruyó el faro ubicado en los acantilados a 42 metros sobre el nivel del mar.

Tras 5 horas del terremoto, el tsunami llegó hasta las costas de Hawái, concretamente en Hilo, en donde toda la costa de la ciudad fue destruida dejando un montón de áreas inundadas y 159 personas fallecidas.

-*Tsunami Krakatoa, Indonesia:* el tsunami que tuvo lugar en esta región fue provocado por la acción de un volcán, a diferencia de los anteriores tsunamis mencionados que fueron provocados por terremotos.

Un 27 de agosto de 1883 el volcán de Krakatoa provocó varias erupciones las cuales hicieron que uno de los laterales de éste se abriera y entraran en contacto el magma y el océano. Esto ocasionó una gran explosión que destruyó gran parte de la isla y generó olas de hasta 30 metros de altura que alcanzaron las costas de Indonesia, la India y varias islas cercanas, dejando a su paso un total de 36.000 fallecidos como consecuencia de la acción combinada de la fuerza de las erupciones del volcán y el tsunami.

3.1.2.- Tsunamis históricos

Primeramente se van a detallar algunos de los tsunamis de los cuales se tiene registro, de la parte oriental del mar Mediterráneo, es decir, las zonas de costa de Italia, Grecia, Egipto, Turquía, Siria, etc. Ya que esta es la zona en donde más se han registrado ya que justo se encuentran un gran número de fallas ubicadas en la zona.

En lo que respecta a la parte oriental, se pueden diferenciar varias zonas de actividad de tsunamis, las cuales son:

- Arco Helénico/Hellenic Sea (Rojo)
- Mar Egeo/Aegean Sea (Verde)
- Golfo de Corinto/ Corinth gulf and Maliakos gulf (Rosa)
- Arco de Chipre/Cyprean Arc (Naranja)
- Mar del Levante/Levantine sea (Azul)

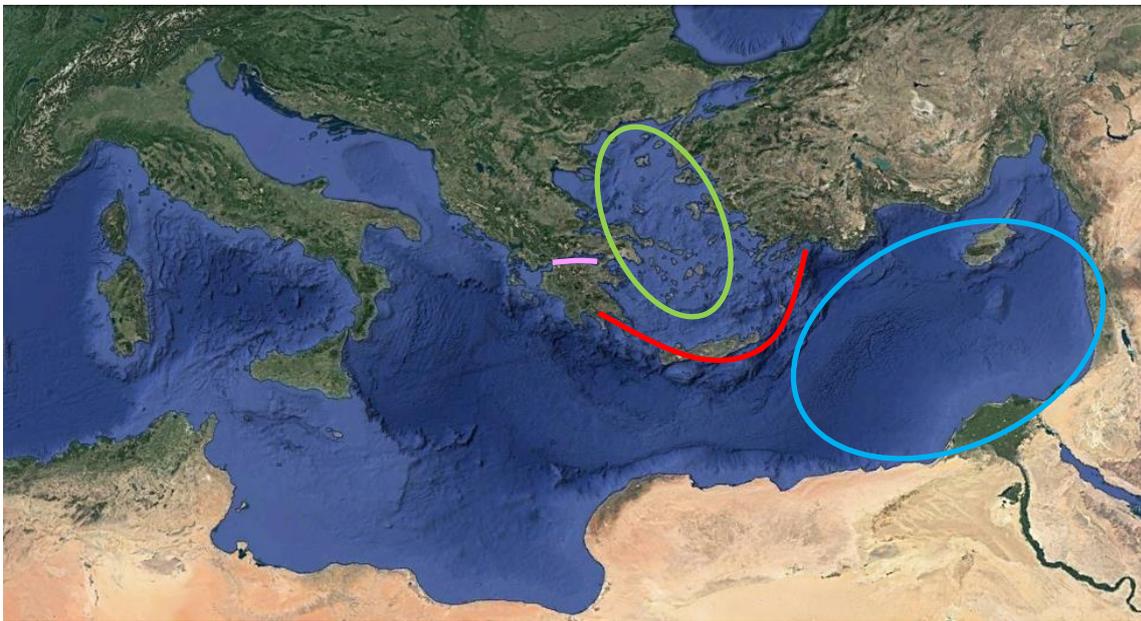


Figura 6. Localización zonas tsunamis históricos [Fuente: Elaboración propia]

A continuación se va a mostrar un registro de los diferentes Tsunamis ocurridos en las zonas orientales del Mediterráneo, este registro se va a mostrar en forma de tablas, en las cuales aparecerá el día, mes y año del terremoto que provocó el tsunami, la magnitud de éste y una imagen situando a la mayoría de ellos en un mapa. Como se tratan de tsunamis históricos, de algunos de ellos no se tiene constancia de su magnitud o de la fecha exacta, pero sí que se tienen evidencias de que han ocurrido. Todo esto se sabe debido a que se han encontrado escritos antiguos y se han realizado estudios geológicos en la zona.

Arco de Chipre y mar del Levante

Día	Mes	Año	Magnitud
21	Julio	365	-
9	Julio	551	7.5
18	Enero	749	-
22	Mayo	1202	-
11	Mayo	1222	6.5
-	-	1759	-

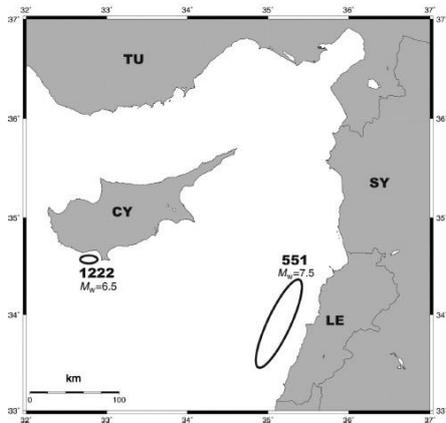


Figura 7. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]

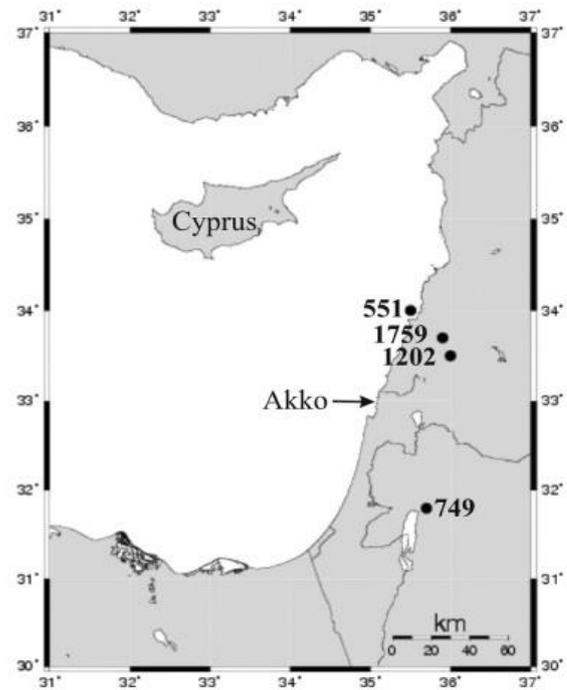


Figura 8. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]

Tabla 3. Tsunamis Históricas [Fuente: Elaboración propia]

PARTE OCCIDENTAL DEL MEDITERRÁNEO

Hellenic Sea

Día	Mes	Año	Magnitud
21	Julio	365	8.3
-	-	544	7.5
8	Agosto	1303	8
-	-	1343	7.2
-	-	1402	6.8
-	-	1481	7.2
6	Febrero	1866	-
20	Septiembre	1867	-
-	-	1956	7.4

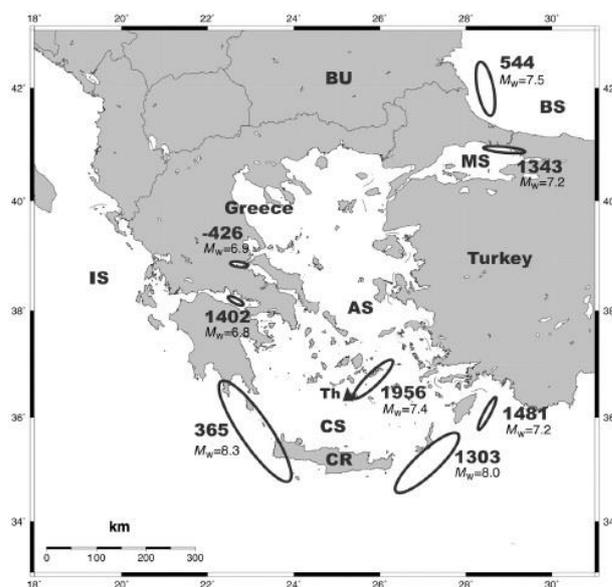


Figura 9. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]

Corinth gulf and Maliakos gulf

Día	Mes	Año	Magnitud
-	-	552	-
-	Junio	1402	-
25	Mayo	1748	7
23	Agosto	1817	-
26	Diciembre	1861	-
25	Mayo	1963	-

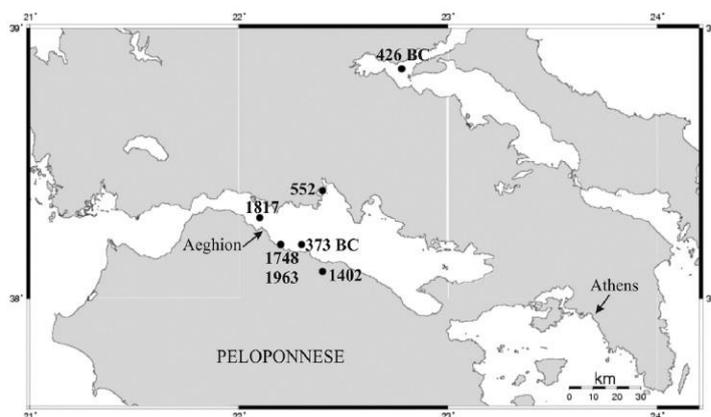


Figura 10. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]

Tabla 4. Tsunamis Históricos [Fuente: Elaboración propia]

Aegean Sea

Día	Mes	Año	Magnitud
4	Noviembre	1650	-
22	Agosto	1856	-
-	-	1893	-
22	Junio	1932	7.9
4	Noviembre	1950	8
9	Julio	1956	7.8

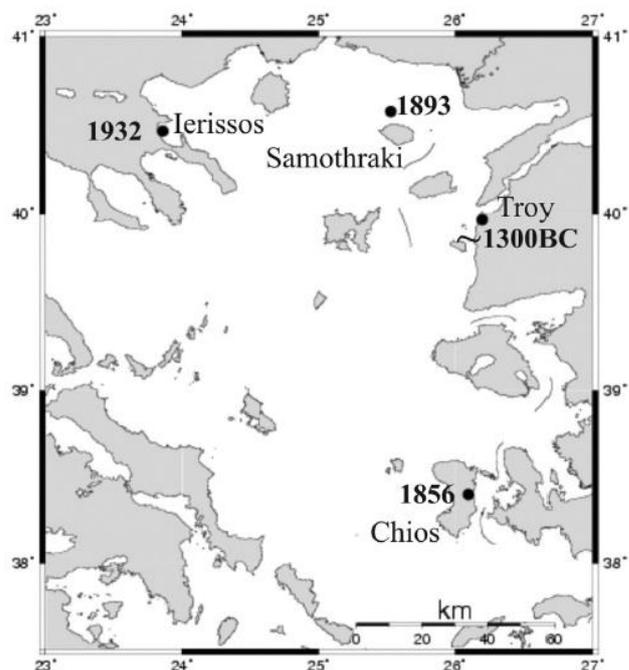


Figura 11. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]

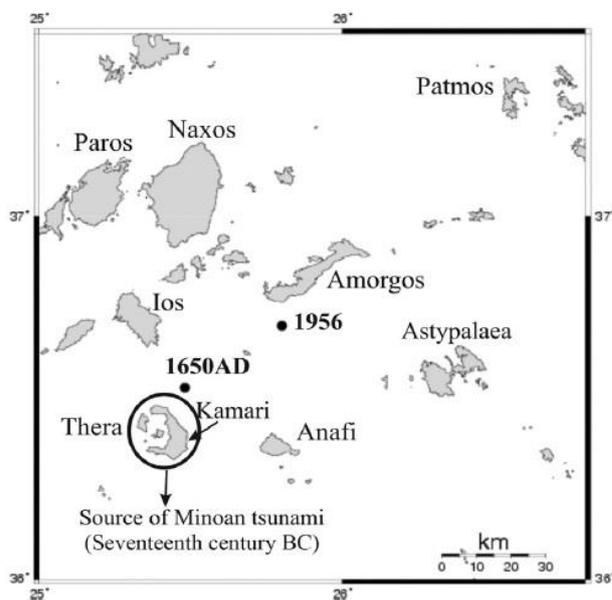


Figura 12. Ubicación tsunamis [Tsunamis in the European-Mediterranean Region]

Tabla 5. Tsunamis Históricos [Fuente: Elaboración propia]

3.2.- Zonas de riesgo de tsunami en España

Científicos españoles han analizado los sedimentos de las costas de Galicia y en la zona de Bárbate han encontrado evidencias geológicas de que se han producido 7 tsunamis durante los últimos 7.000, y además unos de esos tsunamis datado de hace 4.000 años fue uno de gran magnitud. Por lo tanto nos encontramos en el caso de que el tsunami que tuvo lugar en 1755 no es un caso aislado, y hay probabilidad de que pueda volver a pasar. Según el documental de *La Gran Ola*:

“Existe la misma probabilidad de que ocurra un tsunami mañana que dentro de 100 años.”

Primero de todo hay que ser conscientes de que en el golfo de Cádiz existen varias fallas que pueden generar un sismo en cualquier momento, las cuales generarían un tsunami que afectaría a gran parte de Portugal y el sur de España. Así pues también hay que tener en cuenta que el origen de un tsunami puede ser debido a la acción combinada del desplazamiento de más de una falla, o simplemente de la acción de una de ellas. A continuación se muestran una serie de imágenes extraídas del documental de *‘La gran ola’* en el cual aparece información de cada una de las fallas que podrían dar origen a un tsunami en las costas españolas y portuguesas.



Figura 13. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]



Figura 14. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]

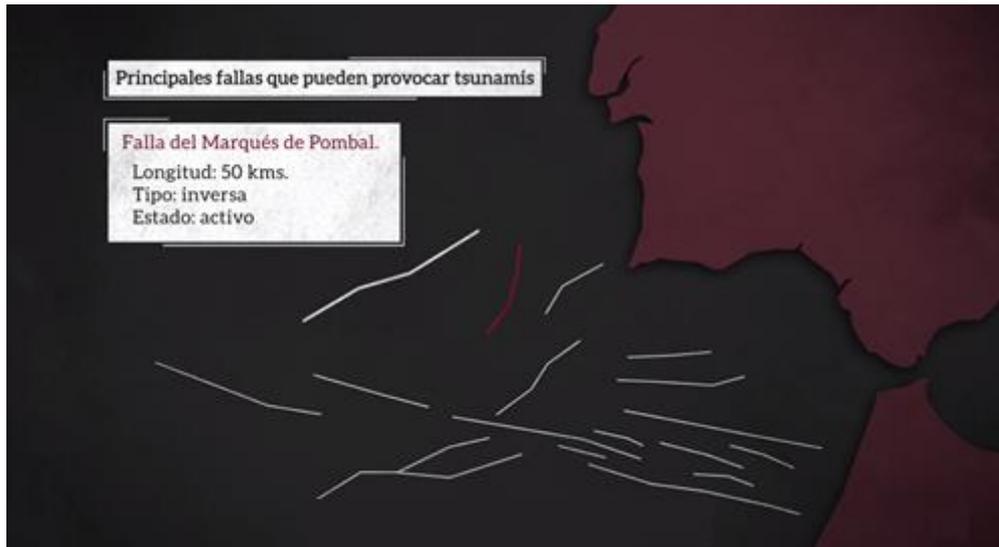


Figura 15. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]



Figura 16. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]



Figura 17. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]



Figura 18. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]



Figura 19. Fallas que pueden provocar tsunamis [Fuente: La Gran Ola]

A la hora de determinar cuáles serían las zonas potenciales cuyas costas podrían sufrir un tsunami significativo, no basta solo con tener en cuenta que fallas existen frente a las costas, sino que también hay que tener en cuenta la formación geológica de estas, es decir, hay que analizar detenidamente la batimetría y el fondo marino cercano a la costa.

Por ejemplo no sería lo mismo si un tsunami llegase a una costa en donde hay acantilados, que a una costa como las del sur-oseite de Andalucía, o a una playa como la playa de Malvarrosa (Comunidad Valenciana) la cual tiene una topografía en la costa mucho más suave.

Así pues, en la página de protección civil de España se puede encontrar un documento en formato pdf en donde aparecen planos de todas las costas de la región española clasificando, mediante una línea de color graduada, la altura máxima de ola que podría generar un posible tsunami.

La zona con mayor riesgo es la región de Andalucía, dentro del documento de la página de protección civil, ésta aparece clasificada en 4 zonas. La zona donde aparecen más costas con registros de olas más altas se registran en la Zona 1 que comprende toda la costa oeste de Andalucía.

A la hora de hacer el análisis espacial y crear las rutas de evacuación se han elegido dos de las ubicaciones pertenecientes de la zona 1 de Andalucía. De esta forma se ha optado por hacer el estudio de dos zonas, una de ellas será Cádiz, y otra será Conil de la frontera.

3.3.- Agencias y sistemas de alerta de tsunamis

El primer sistema de alerta de tsunamis se registra a principios de los años 20 en Hawaii, aunque era bastante rudimentario, alertaba de la llegada de un tsunami. Tras el desastre ocurrido en el tsunami de Hilo (Hawaii) en 1960, los sistemas de alertas van evolucionando y se van convirtiendo en más sofisticados, llegando a hacer la previsión de éstos monitorizada por satélites.

A pesar de esto, los sistemas de alerta actualmente no son eficaces en todos los casos ya que depende de la ubicación del epicentro del terremoto o maremoto que pueda provocar el tsunami; Si el epicentro se encuentra muy cercano a la costa puede que no haya suficiente lapso de tiempo para registrar los datos por el sistema de alerta, trabajar con esos datos y dar la alerta a la población para que puedan evacuar la zona afectada. Ningún sistema sirve de prevención contra un tsunami imprevisto.

A parte hay que tener en cuenta que el hecho de que se produzcan falsas alarmas es muy común.

3.3.1.- Internacionales

Muchas ciudades ubicadas en el pacifico poseen sistemas de alerta, tales como México, Ecuador, Chile, Perú, Estados Unidos o Japón.

A continuación se muestra información de algunos de los sistemas de alerta que se usan en los países anteriormente nombrados.

-La Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA) durante los últimos 50 años ha tenido la responsabilidad operativa del sistema de alerta de tsunamis de los Estados Unidos; Ésta lleva a cabo un programa de tsunamis, el cual es la unión de varias agencias para minimizar los impactos de los tsunamis.

El programa trabaja con otros socios operativos de la NOAA, como pueden ser la Oceanic Atmospheric Research (OAR), el servicio nacional del océano (NOS), el consejo nacional de satélites ambientales, datos y servicio de información (NESDID), etc.

La NOAA trabaja con sistemas de vigilancia para detectar rápidamente maremotos o terremotos que puedan ser generadores de tsunamis, así como realizar modelos para pronosticar los impactos de los tsunamis, y preparar acciones que sirvan para reducir o eliminar el impacto de las olas.

Los socios que trabajan con la NOAA se dividen el trabajo en varios campos:

1. Centros de alerta de tsunamis:

Las islas de Hawaii, las costas del pacifico de los Estados Unidos, el territorio del caribe y las islas vírgenes británicas trabajan con el centro de alerta de tsunamis del pacifico (**Pacific Tsunami Warning Center**) que fue creado en 1949, se encuentra en Honolulu (Hawaii) y pasó a formar parte de la red mundial de datos y prevención en 1965.

Otro sistema de alerta que existe ligado al anterior es el **National Tsunami Warning Center** que sirve a los Estados Unidos, Alaska y Canadá.

2. Educar y preparar a la población

- **Programa nacional de mitigación de riesgos de tsunamis**

Trabaja para reducir el impacto de los tsunamis en las costas y evitar en mayor cantidad los daños que este pueda producir

- **Programa Tsunamiready**

Es un programa que ayuda a la población a prepararse mediante una mejora en la planificación, educación y conciencia social.

- **Oficinas de prevención del clima**

Es un programa que implementa el anterior, trabaja junto con organizaciones estatales y locales, trabajando con comunidades para apoyar los esfuerzos para la preparación para los tsunamis. Educando no solo a la población sino también a escuelas, oficiales locales, medios de comunicación, etc.

A su vez se encarga de retransmitir las alertas de tsunamis emitidas por los sistemas de alertas de tsunami en cada zona.

3. Investigación, detección y datos sobre los tsunamis

- **Centro de Investigación de NOAA para los Tsunamis (OAR)**

Es un centro que se dedica a desarrollar y probar métodos nuevos o mejorados de detección de tsunamis, así como la modelización de estos.

- **Centro Nacional de Datos de boyas (NWS)**

Se encarga de mantener los sistemas de información del océano profundo mediante el uso de boyas DART de Estados Unidos. También proporciona información de los niveles del agua de todo el mundo en tiempo real.

- **Centro de Productos y Servicios operacionales oceanográficos (NOS)**

Este servicio opera y mantiene la red de estaciones del nivel de agua costeras.

- **Centros Nacionales de Información Ambiental (NESDIS)**

Produce mapas digitales de elevación costera de alta resolución, por otro lado posee una base de datos global de tsunamis históricos.

Numerosos departamentos y programas de la NOAA también contribuyen a la labor del Programa de Tsunami de NOAA, proporcionando datos, herramientas, capacitación, asistencia técnica y financiación. Estos incluyen la Oficina de Pronóstico Internacional de Actividades , de OAR Programa Nacional Colegio Sea Grant , de NESDIS Oficina de satélite y operaciones de producto y de la NOS Oficina de Gestión Costera , Servicio Geodésico Nacional , y la Oficina de encuesta sobre la costa .

-El sistema internacional de alerta de tsunamis del Pacífico (SAT) es un programa de prevención dirigido por la NOAA. Este sistema cuenta con una red de estaciones sismológicas y mareógrafos, que determinan rápidamente el epicentro, así como el seguimiento de la oleada, determinando la velocidad que llega a alcanzar, que puede ser incluso de 800km/h en el pacífico. De esta manera controla de forma continua la actividad sísmica y el nivel de superficie del océano en la cuenca del Pacífico.

A continuación se muestra una foto en la cual se pueden distinguir los distintos mareógrafos y estaciones de sismología que existen repartidas por el Pacífico.



Figura 20. Mareógrafos y estaciones sísmicas del Pacífico [Fuete: <http://www.tsunami.gov/>]

Como complemento el SAT también dispone de un buen sistema de comunicaciones y difusión en las naciones que se encuentran alrededor del Pacífico.

Teniendo en cuenta lo anterior, las principales funciones del SAT determinar si se ha generado un tsunami, proporcionar información sobre este, y retransmitir los mensajes de alarma de forma efectiva a la población o poblaciones que se vean afectadas y así minimizar los efectos devastadores del tsunami.

-El Sistema Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART) es un dispositivo de detección que se sitúa a 5.000 metros de profundidad y detecta variaciones de la columna de agua que está por encima midiendo cambios en la frecuencia de vibración de un haz de cristal de cuarzo que se encuentra en la superficie del mar, permaneciendo así enlazado con un sistema de flotación de esferas de cristal. El dispositivo envía señales a una boya que a través de distintos sensores y antenas, contacta y envía la información al satélite GOES y este a su vez retransmite los datos a los distintos centros de alerta y a la NOAA.

A continuación aparece una imagen en donde se sitúan todas las boyas DART que hay repartidas alrededor del mundo.



Figura 21. Boyas DART a nivel mundial [Fuente: <http://www.tsunami.gov>]

International Tsunami Survey Team (ITST)

Es un equipo internacional de estudio de tsunamis que básicamente se dedica a realizar estudios post-tsunami para recopilar datos inmediatamente después de un tsunami destructivo. Estos datos recogidos se usan para crear modelos numéricos de tsunami teniendo en cuenta el daño que han causado y el nivel de inundación. Así pues este equipo incluye investigadores de diversos campos, para poder darle un enfoque interdisciplinario.

Agencia Meteorológica de Japón (AMJ)

Las costas de Japón han sufrido diversos tsunamis a lo largo de los años, para poder reducir y mitigar los daños producidos por estos, la previsión de la información de tsunamis es esencial.

En cuanto se produce un terremoto la agencia meteorológica de Japón estima la posibilidad de que ocurra un tsunami a partir de datos de observación física. Si se estima que es posible que haya un tsunami la AMJ emite una alerta de tsunami para cada región comprendida a dos o tres minutos del epicentro del terremoto.

A continuación se muestra la secuencia de acciones que lleva a cabo la AMJ en función del tiempo para la emisión de información sobre los tsunamis y terremotos.

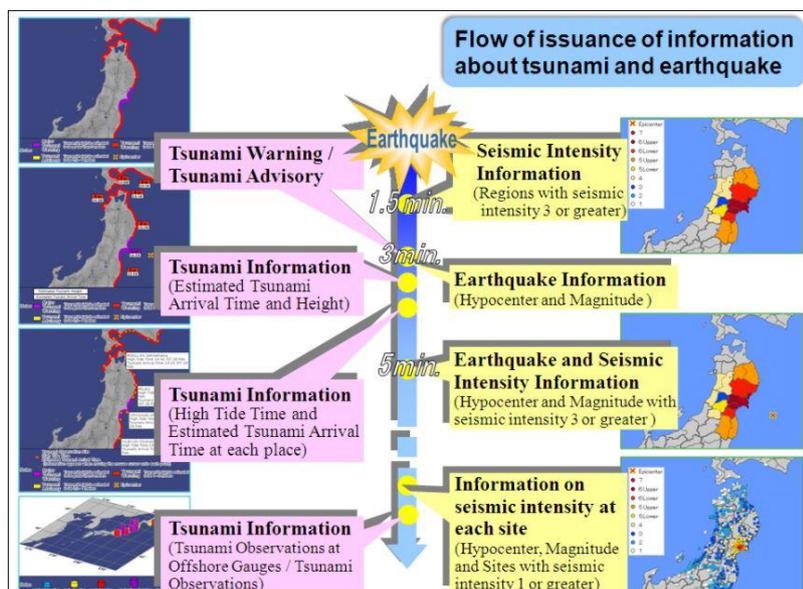


Figura 22. Esquema de tiempo de tsunamis de Japón [Fuente: <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>]

3.3.2.- Nacionales

Actualmente en España existe un sistema de alerta de tsunami pero faltan planes de evacuación, formación debida y mitigación de los posibles daños. El instituto geográfico nacional forma parte de la red europea de alerta de tsunamis.

Desde noviembre de 2015 está operativa la nueva red de alerta de tsunamis. Este nuevo sistema hace uso de un modelo de simulación que ha sido desarrollado por el Grupo de Ecuaciones Diferenciales, Análisis Numérico y Aplicaciones de la universidad de Málaga. El sistema de alerta está dividido en dos sistemas de vigilancia, uno para el Atlántico y otro para el Mediterráneo. El sistema del Atlántico se dispara cuando registra un seísmo de 7.5 de magnitud, mientras que el sistema del Mediterráneo se dispara con un seísmo de una magnitud de 6.5, esto es debido a que hay registros de seísmos de magnitudes de 6.5 que han provocado pequeños tsunamis en las costas del norte de Argelia.

Por otro lado, científicos de la universidad de Málaga han desarrollado un software específico para poder crear simulación de propagación e inundación en caso de tsunami. Dicho programa se llama Tsunami-HySEA, y en su página oficial se pueden ver simulaciones de como afecto el tsunami de Lisboa de 1755 a las costas de Cádiz y Huelva.

3.3.2.1.- Protección civil

Protección civil junto con el gobierno de España, el ministerio de fomento y el IGN (instituto geográfico nacional) han elaborado un documento en el que se recoge información sobre la red nacional de alerta de tsunamis. Dicho documento está accesible en la página web de protección civil.

Teniendo en cuenta el documento, en el apartado del marco normativo aparece la siguiente frase: “Se encomiende al IGN la implementación de la Red de Alerta de Tsunamis con la colaboración de Puertos del Estado, Protección Civil y Emergencias así como aquellas instituciones que dispongan de instalaciones susceptibles de integrarse en dicha Red.”

En primer lugar España posee un sistema de alerta sísmica y mareógrafos distribuidos por todo el territorio, en total más de 60 estaciones que trabajan con datos a tiempo real.



Figura 23. Estaciones sísmicas de España [Fuente: <http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion>]

En segundo lugar, España está conectada con los países más cercanos a la hora de transferir datos en tiempo real de otras instituciones.

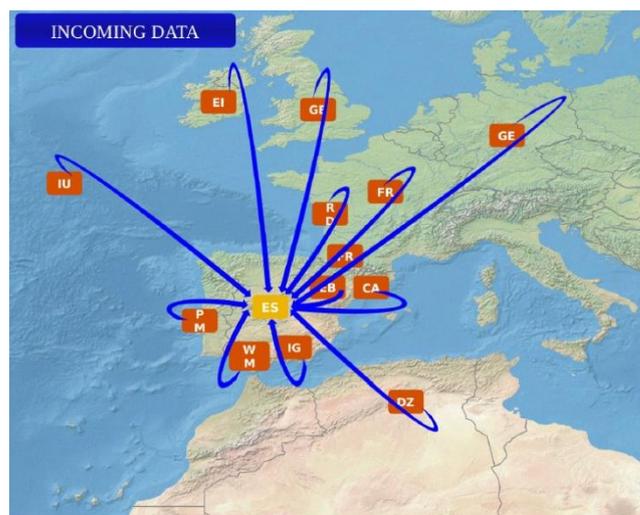


Figura 24. Relaciones externas [Fuente: <http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion>]

A continuación se muestra un esquema de alerta de tsunami en el cual podemos el procedimiento que está establecido ante una alarma en función del tiempo transcurrido desde el incidente:

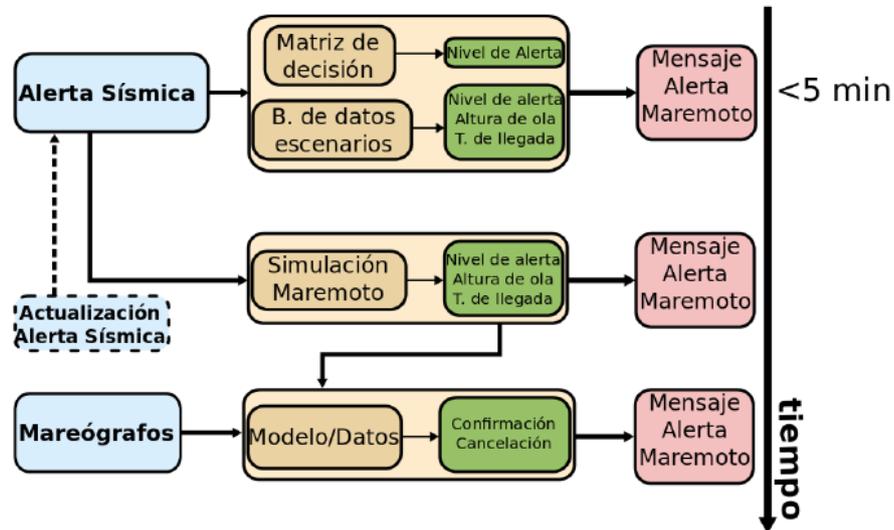


Figura 25. Esquemas de alerta de España en caso de tsunami [Fuente: <http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion>]

4.- Señalética de tsunamis

Las rutas de evacuación como en cualquier otro ámbito dependen de una buena señalización. En los casos de desastres naturales, en este caso frente a los tsunamis, es necesario saber cómo actuar y hacia dónde dirigirse. Para ello se debe disponer de una señalización efectiva para que todos los sistemas de gestión de riesgos, así como la población puedan acceder a las zonas seguras lo más rápido posible.

Existen regiones que son propensas a ser azotadas por estos fenómenos naturales, en muchas de ellas se puede encontrar señales que avisan de la existencia de zonas potenciales a ser afectadas por un tsunami y vías de evacuación para guiar a la población a zonas seguras.

Así pues la señalética debe ser entendible y fácil de interpretar tanto por la población de la zona como por los turistas. Es por ello que la mayoría de ellas cuentan con dibujos explicativos e indicaciones en el idioma nativo de la zona y en inglés. Deben estar en zonas accesibles y de fácil visualización.

Existe una normativa acerca de la señalética, implantada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), ésta reconoce dos tipos de señales:

1. Los paneles de información
2. Las propias señales que alertan de tsunamis.

Los paneles proporcionan información sobre los tsunamis y sirven para concienciar y educar a la población del riesgo y dar una respuesta efectiva a la hora de ejecutar una evacuación hacia una zona segura en caso de tsunami.

Como se ha comentado anteriormente estos paneles deben estar situados cerca de las playas y muelles. Se sugiere seguir el protocolo normalización en cada señal así como información que identifique a la autoridad local.

En cuanto a la ubicación de la señal, se debe tener en cuenta:

- Ninguna señal debe obstaculizar las señales de tráfico
- Se debe poder interpretar correctamente la información que se pretende transmitir.
- Elegir una ubicación y dirección en la que pueda ser advertida fácilmente por los viandantes.
- El terreno que soporta la señal debe ser firme y el sitio debe ser accesible para poder realizar un mantenimiento de la misma.

4.1.- Zonas del Pacífico y Caribe

A lo largo de las costas del pacífico y el caribe encontramos numerosas playas que tienen una señalética adecuada a tsunamis, ya que estas zonas están más acostumbradas a sufrir este tipo de desastres naturales.

A continuación se muestran una serie de imágenes donde se puede apreciar como es la señalética de diversas costas.



Figura 26. Señalética de Chile [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]

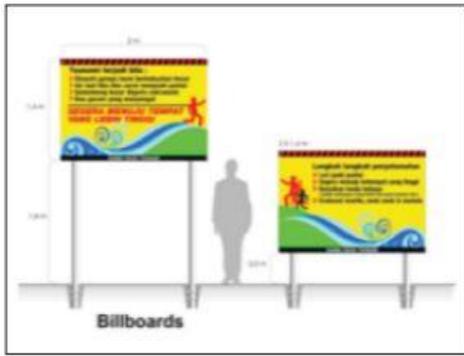


Figura 27. Señalética Indonesia [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]



Figura 28. Señalética EE.UU. [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]



Figura 32. Señalética Chile (a), Indonesia (b) y EE.UU. (c) [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]



Figura 31. Señalética EE.UU. [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]



Figura 30. Señalética Nueva Zelanda [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]



Figura 29. Señalética Japón [Fuente: NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf]

Como se puede observar los diferentes carteles de señalética rondan en torno a los colores azul, verde y amarillo. El amarillo representa precaución, mientras que el azul se suele utilizar para señalar sitios y el verde para señalar salidas de emergencia.

Analizando la forma, se puede destacar que los careles triangulares sirven para advertir de un peligro y tomar precaución, mientras que las señales rectangulares o cuadradas suelen servir para transmitir información.

Todas estas señales son claros ejemplos de que la información se puede apreciar rápidamente y de forma eficaz, predominando en la mayoría un dibujo de una ola y una persona corriendo hacia un edificio o hacia una zona elevada.

4.2- Península Ibérica

En este apartado se pretende hablar sobre la importancia de que haya un sistema de señalética instalado en las zonas potenciales de España con riesgo de tsunami, así como la utilización de señalética de tsunamis en algunas costas de la península ibérica.

Actualmente, aunque existen zonas con riesgo ante la acción de un tsunami y existen antecedentes, no existe ningún tipo de señalética en España, en cambio en Portugal sí.

Dado a que los tsunamis no entienden de fronteras políticas se va analizar en qué zonas de Portugal existe una señalética de tsunamis y como son.

4.2.1.- Portugal

Portugal se encuentra relativamente cerca de las zonas de estudio de este trabajo, por lo tanto se va a tener muy presente que tipo de señales se ha establecido.

Las localizaciones en las cuales se ha empezado a instalar una señalética para tsunami son Cascais y Lagos, por el momento son las únicas en Portugal.

Dicha señalética se encuentra en las zonas de playa en donde hay una mayor afluencia de turistas que pueden advertir la llegada de un tsunami, a través de la retirada del mar, más rápidamente que las personas que se encuentran en las calles.

Como podemos ver en las siguientes imágenes, la señalética que se usa en Portugal es de formato rectangular con colores verde y azul.



Figura 34. Señalética de Portugal
[Fuente: La Gran ola]



Figura 33. Señalética de Portugal [Fuente: La Gran ola]

4.2.2.- Necesidad de un uso de señalética en España

Tras haber realizado una búsqueda de otros tsunamis que se han producido a nivel mundial y haber estudiado los daños que estos han provocado, hay un patrón del comportamiento de la población que se repite a la hora de un desastre natural.

Según el documental de *“La Gran Ola”: El aviso de un tsunami es el propio sismo. Entre el sismo y el tsunami hay un periodo de tiempo, el cual debería ser aprovechado por las personas para huir a una zona en donde el tsunami no llegue, es decir, una zona elevada.*

Sin embargo, cuando en la costa se siente un seísmo, mucha gente tiende a alejarse de los edificios y a refugiarse en zonas de explanada, o amplias para evitar que le caigan objetos o hasta edificios en su caso. El problema surge cuando hay un desconocimiento por parte de la población, que se dirige hacia la playa para protegerse del terremoto sin tener en cuenta que después es muy probable que ocurra un tsunami. Este patrón de reacción desgraciadamente se ha repetido mucho a lo largo de los años y un ejemplo de eso es el tsunami de 1755 que tuvo lugar en Lisboa. El hecho de que la población huya hacia la costa buscando protección del sismo, hace que cuando llega la primera ola el número de fallecidos aumenta significativamente. El hecho de saber cómo reaccionar o hacia dónde dirigirse en caso de desastre natural de estas características es crucial.

De ahí esa necesidad de informar a la población mediante una señalética instalada en las calles cercanas a la costa indicando hacia donde deben dirigirse en caso de tsunami, el uso adecuado de este método ayudará a salvar muchísimas vidas en el caso de que ocurra un desastre de estas características.

5.- Análisis espacial de la zona de estudio

En ese apartado se detallan todos los pasos que se han seguido para hacer el análisis espacial, así como los datos que han sido necesarios y los datos obtenidos.

A la hora de realizar el análisis se ha buscado información de otros trabajos parecidos, en todos se calculaba el efecto devastador de los tsunamis en las costas afectadas en función de la cota máxima de inundación a partir de la escala de grados de tsunamis según Inamura y Lida. Esta escala relaciona la energía liberada en un tsunami, la altura de la ola, los daños posibles y la cota de inundación máxima en función del nivel del mar.

A continuación se muestran las escalas de Inamura, Lida y la escala conjunta de ambos.

Grado de tsunami m	Altura de ola H (metros)	Descripción de los daños
0	1 - 2	No produce daños.
1	2 - 5	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 - 10	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 - 20	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	> 30	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera.

Tabla 3. Escala de Inamura [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html]

Grado de tsunami m	Energía (Erg.)	Máxima altura de inundación R (metros)
5.0	25.6×10^{23}	> 32
4.5	12.8×10^{23}	24 - 32
4.0	6.4×10^{23}	16 - 24
3.5	3.2×10^{23}	12 - 16
3.0	1.6×10^{23}	8 - 12
2.5	0.8×10^{23}	6 - 8
2.0	0.4×10^{23}	4 - 6
1.5	0.2×10^{23}	3 - 4
1.0	0.1×10^{23}	2 - 3
0.5	0.05×10^{23}	1.5 - 2
0.0	0.025×10^{23}	1 - 1.5
-0.5	0.0125×10^{23}	0.75 - 1
-1.0	0.006×10^{23}	0.50 - 0.75
-1.5	0.003×10^{23}	0.30 - 0.50
-2.0	0.0015×10^{23}	< 0.30

Tabla 4. *Tabla de Lida* [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html]

Grado tsunami m	Altura de la ola H (metros)	Cota máxima de inundación R (metros)	Descripción de los daños
0	1 - 2	1 - 1.5	No produce daños.
1	2 - 5	2 - 3	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 - 10	4 - 6	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 - 20	8 - 12	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	> 30	16 - 24	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera.

Tabla 5. *Escala conjunta de Inamura y Lida* [Fuente: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h711.html]

También hay que tener en cuenta que en este tipo de análisis no se puede profundizar mucho ya que intervienen muchos factores de los cuales la información o no está disponible o no se podría automatizar. Por lo tanto en este análisis se ha tenido en cuenta la topografía, la altura de los edificios, las zonas potenciales con turismo, la cota de inundación máxima, la anchura de las calles que formarían las vías de evacuación así como la importancia de que sean perpendiculares a la costa para poder facilitar la huida.

5.1.- Localización

Haciendo referencia al apartado 3.2 de este documento, entre todas las zonas destacadas se han elegido dos de ellas en las que realizar las vías de evacuación.

La primera de ellas será Cádiz ya que tendría un gran impacto por tratarse de una zona muy turística y causaría grandes daños, aunque hay otras zonas de la costa andaluza en donde la altura de ola es más alta. Debido a las grandes dimensiones de la zona se ha escogido un tramo de la totalidad de la costa de Cádiz, este trozo escogido se ha seleccionado en función de la altura de ola que llegaría a la playa, siendo la zona más alta de toda Cádiz; Esto se debe a la orientación y la topografía de la costa.

Según el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Cádiz tiene una población de 118.919 habitantes y está orientada al turismo, lo cual hace que sea más necesario aun si cabe el uso de unas rutas de evacuación en caso de tsunami.

La segunda zona es Conil de la Frontera, ya que es una zona en donde la altura de la ola es más alta, y también es una zona turística, aunque no tanto como Cádiz. Según el instituto de Estadística y cartografía de Andalucía, Conil de la Frontera tiene una población de 20.301 habitantes y al igual que Cádiz gran parte del sector se dedica al turismo.

Al final del documento, en el anexo se encuentra adjunto dos planos de situación y emplazamiento de cada una de las zonas escogidas.

5.2.- Datos de partida

Para poder llevar a cabo todo el análisis espacial se ha descargado diferente información de distintos organismos, los cuales se detallan a continuación.

Primeramente, de la Sede digital del Catastro se ha descargado la cartografía de las zonas de estudio, en la que se encuentran las siguientes capas:

- EJES: Capa vectorial en la que aparecen los ejes de conexiones entre carreteras y calles.
- PARCELA: Capa vectorial en donde aparecen las parcelas que se encuentran distribuidas dentro de cada manzana.
- CONSTRU: Capa vectorial que contiene la representación de los elementos construidos.
- MASA: Capa vectorial que representa las manzanas.

Seguidamente, del Centro de descargas del IGN (Instituto Geográfico Nacional) se ha descargado datos LIDAR para poder realizar un MDS (Modelo Digital de Superficie), en total se ha descargado 11 archivos LIDAR de extensión “.Laz” para la zona de estudio de Cádiz y un total de 12 archivos para la zona de Conil de la Frontera.

Los archivos LIDAR (Light Detection And Ranging) son parte de una técnica de teledetección que utiliza una luz de láser para registrar la superficie produciendo mediciones exactas de coordenadas X, Y y Z. Los archivos se muestran en forma de nubes de puntos que se pueden visualizar, analizar y compartir con ArcGIS.

Por último se ha utilizado un fichero en formato shapefile con la geometría de los términos municipales de España extraído de la página oficial de ArcGIS.

Adicionalmente también se ha realizado una conexión WMS para obtener una ortofoto del PNOAA, y otra conexión WMS con la IDE de Andalucía.

5.3.- Software utilizado

Es necesario tener un conocimiento básico sobre los programas que se van a detallar en el apartado siguiente, tanto como la utilidad de las herramientas que se van a utilizar.

El primer programa que se va a utilizar es FUSION, éste es un software que se utiliza para tratar y visualizar datos LIDAR que ha sido desarrollado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). La adquisición de este programa es gratuita.

El segundo programa que se ha utilizado y en el que se basa la gran mayoría del análisis es ArcGIS. Se trata de un software en el cual se puede visualizar datos vectoriales y raster, se pueden modificar y aplicar herramientas de análisis sobre esos datos. Los datos vectoriales pueden venir definidos en puntos, líneas o polígonos.

A continuación se muestran varias herramientas, las cuales se han utilizado en el análisis.

- Clip: Una de las capas sirve como entidad base y otra capa sirve para definir los márgenes del recorte.

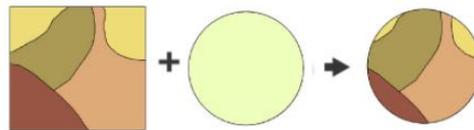


Figura 35. Herramienta Clip [<https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2014/04/GF9.HerramientasdeGeoprocesamiento.pdf>]

- Intersect: Se utiliza cuando se quiere obtener una capa con información que comparten otras dos capas en común.

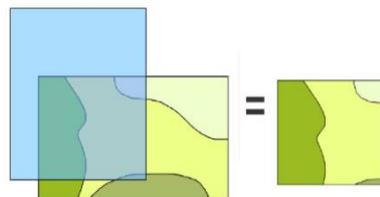


Figura 36. Herramienta Intersect [<https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2014/04/GF9.HerramientasdeGeoprocesamiento.pdf>]

- Buffer: Esta operación sirve para crear un área de influencia alrededor de un elemento o capa seleccionado.

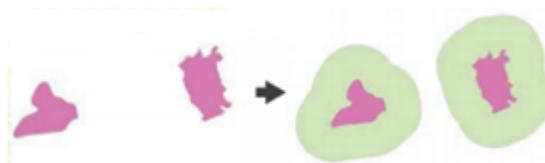


Figura 37. Herramienta Buffer [<https://geoinnova.org/blog-territorio/wp-content/uploads/2014/04/GF9.HerramientasdeGeoprocesamiento.pdf>]

5.4.- Metodología empleada

En este apartado se propone presentar la metodología para elaborar unas rutas de evacuación en función de la cota de inundación máxima.

Como la metodología es la misma independientemente de las dos zonas de estudio, se va a explicar paso a paso la zona de Cádiz, asumiendo que para la zona de Conil de la Frontera se ha seguido el mismo procedimiento y así evitar información redundante. Independientemente se mostrará también imágenes con los resultados para las dos zonas.

Primeramente se ha utilizado el programa Laszip para poder pasar todos los archivos descargados como extensión “.Laz” a “.Las”, para ello se ha añadido todos los datos y se han cambiado de formato todos a la vez.

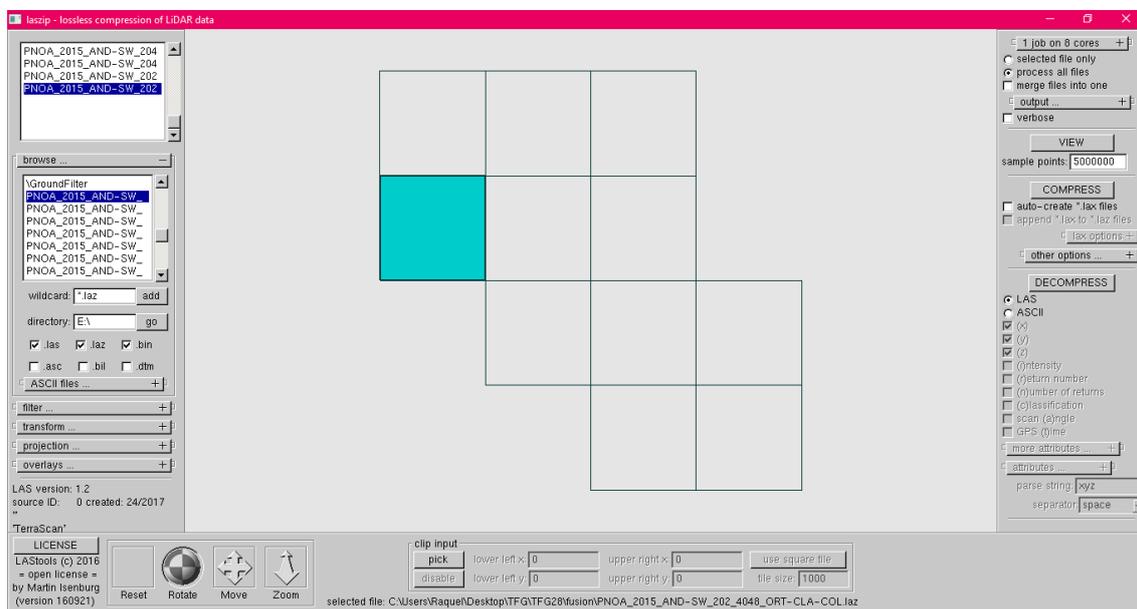


Figura 38. Visualización programa Laszip [Fuente: Elaboración propia]

Una vez ya se han obtenido los archivos en el formato adecuado, se ha procedido a usar unos comandos del programa “Fusión”, para poder aplicar dichas comandos es necesario ejecutarlos desde el símbolo del sistema (también conocido como cmd).

La primera sentencia que se ha usado sirve para poder unir los 11 archivos “.Las” que definen la zona de estudio de Cádiz, esta herramienta se llama *mergedata* y la sentencia que se ha utilizado es la siguiente:

```
C:\fusion\MergeData C:\Desktop\TFG\fusion\direcciones.txt C:\Desktop\TFG\fusion\union.las
```

(Nombre de la herramienta\ Dirección del archivo de entrada\ Dirección del archivo de salida).

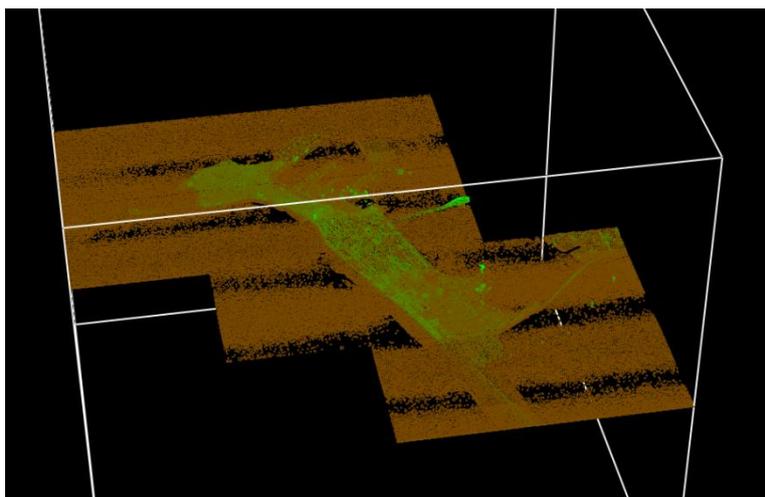


Figura 39. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]

La segunda herramienta que se ha utilizado ha servido para delimitar la zona de estudio y eliminar las zonas que no nos interesan (como puede ser el mar). Para ello se ha utilizado un fichero shape que contenía la geometría del municipio de Cádiz.

La sentencia que se ha utilizado y el resultado se muestran a continuación:

```
C:\fusion\polyclipdata C:\Desktop\TFG\fusion\Cadiz.shp C:\Desktop\TFG\fusion\cadiz.las
C:\Desktop\TFG\fusion\union.las
```

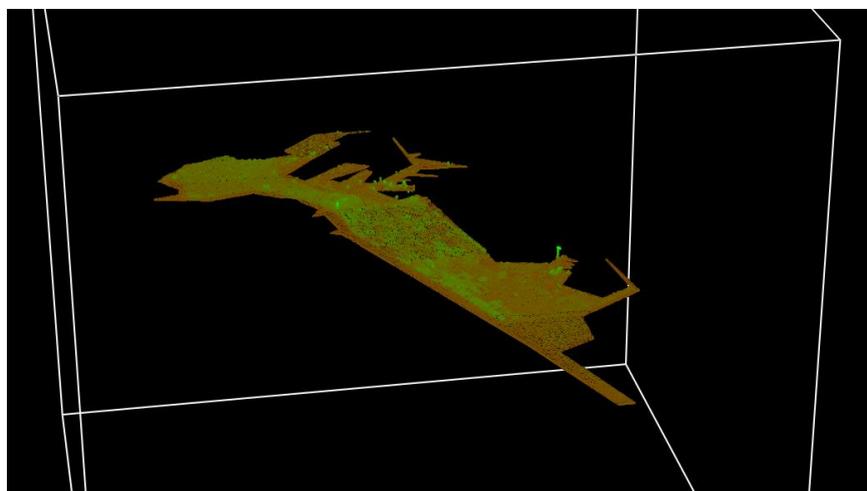


Figura 40. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]

Una vez realizado este paso se ha procedido a la generación de un modelo digital del suelo (MDS) que representa la topografía junto con todos los objetos que hay por encima de este. Para poder obtener el MDS se ha utilizado la herramienta *Canopymodel*. A continuación se muestra la sentencia de ejecución y el resultado.

```
C:\Fusion\CanopyModel C:\Desktop\TFG\fusion\MDS.dtm 1 m m 1 30 0 0
C:\Desktop\TFG\fusion\union.las
```

Mediante el MDS se ha creado un archivo “.asci” y un “.tif”. El primero de ellos (“.asci”) se ha utilizado en el programa ArcGIS para poder elaborar una capa raster con la información de las alturas y el segundo (“.tif”) se ha utilizado para poder visualizar el MDS.

Tras realizare este paso se ha verificado que no existan outliers. A simple vista no se apreciaba ninguno así que se procedió a examinar toda la zona. Aunque para la elaboración de este trabajo no es necesaria mucha precisión. Las siguientes imágenes muestran un ejemplo de cómo se vería la zona de estudio según una graduación por colores en función de la elevación.

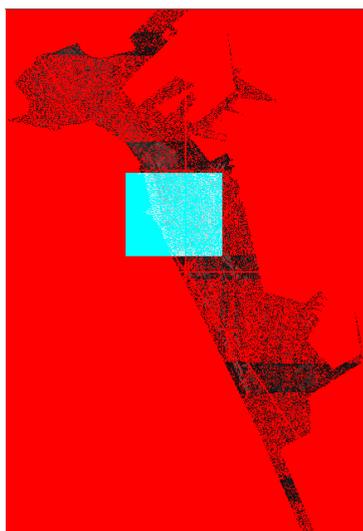


Figura 41. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]

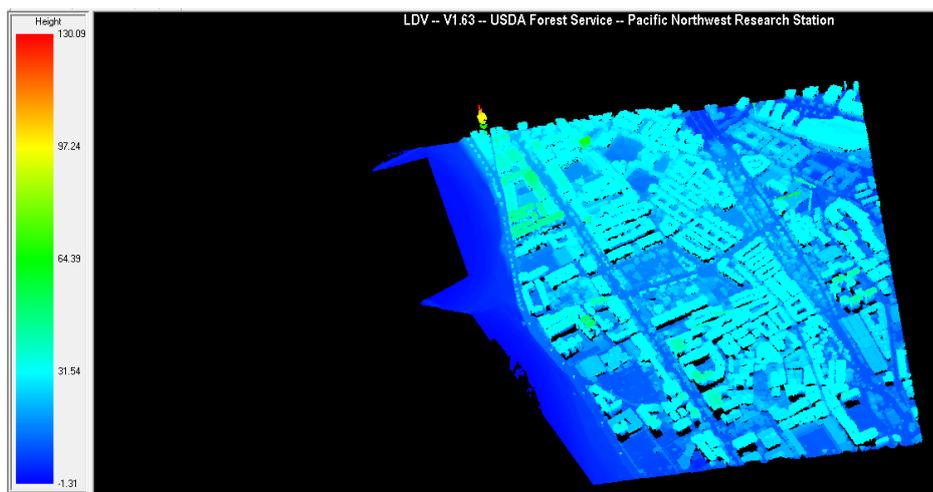


Figura 42. Visualización nube de puntos Cádiz [Fuente: Elaboración propia]

Los siguientes pasos se han realizado en el programa ArcMap, a partir del archivo de extensión “.asci” que se ha obtenido anteriormente.

Para poder operar con ArcMap se ha utilizado la herramienta “ASCII to raster”, para pasar toda la información a formato raster y poder trabajar con ella.

A continuación se muestra el resultado obtenido:



Figura 43. Visualización de Cádiz [Fuente: Elaboración propia]

Con esto se ha obtenido una capa de formato raster en la cual aparecen píxeles con información de la altitud sobre el nivel del mar.

Seguidamente se ha procedido a realizar una clasificación en función de la cota de inundación máxima para saber qué objetos o edificios quedarían inundados y cuáles no. La reclasificación se ha llevado a cabo mediante la herramienta “Reclassify” y se ha tenido en cuenta una cota máxima de inundación de 10 metros según la escala conjunta de Inamura y Lida.

Se ha cogido 10 porque la zona de Cádiz en donde se va a hacer el análisis registra una ola de 12 metros de altura, aunque también existen evidencias de que la ola registrada en el tsunami de 1755 llegó a alcanzar los 15 metros.

Así pues se ha dado un valor de 0 a todas las zonas que estaban por debajo de la cota de inundación máxima y un valor de 1 a las que estaban por encima y por tanto son válidas.

En la imagen adjuntada debajo se puede apreciar las zonas válidas en verde y las zonas por debajo de la cota de inundación en color carne.



Figura 44. Inundación Cádiz [Fuente: Elaboración propia]

Para poder trabajar con esta capa raster reclasificada y con la capa de parcelas, hay que pasar la primera capa a formato vectorial. Por ello se ha utilizado la herramienta “Raster to Polygon”.

Una vez se ha conseguido una capa vectorial clasificada en función de la cota, se ha procedido a crear una capa partir de esta en donde solo aparezcan las zonas buenas para realizar la evacuación, utilizando una selección por atributos a partir del valor 1 (valor que se le da a las zonas que superan la cota máxima de inundación) y una vez seleccionada todas las zona se ha realizado la operación “Export data” obteniendo la siguiente capa:



Figura 45. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]

Seguidamente se ha realizado un intersect de esta última capa con la capa de Parcelas que se ha descargado de catastro, obteniendo todas las construcciones que quedarían por encima de 10 metros.

El resultado es el siguiente:



Figura 46. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]

Para que el análisis sea efectivo solo nos interesan las zonas seguras que estén a cierta distancia de la costa y sean accesibles en un determinado tiempo, por ello se ha tomado un margen de 500 metros con un tiempo de advertencia del tsunami de 5 min. Suponiendo que una persona normal podría llegar a hacer 1 Km andado en 10 minutos, aunque en casos de alerta la población iría corriendo, hay que tener en cuenta que entre la población se encuentran niños pequeños y personas mayores que no podrían correr por eso se ha tomado una distancia de 500 metros en 5 minutos.

Para poder realizar esta parte del análisis se ha creado una capa vacía en la cual se ha dibujado la línea de costa de la zona de interés. En un principio se intentó usar la capa de línea de costas proporcionada por el IGN pero esta no se adaptaba bien y por lo tanto no nos servía. Se ha utilizado la herramienta "buffer" dos veces para poder definir dos zonas de acción, una situada a 300 metros de la línea de costa y otra a 500 metros. La zona de acción de 300 metros sería una zona en donde existen zonas seguras pero al encontrarse próxima a la playa no es

tan recomendable utilizarlo como zona segura en caso de evacuación, preferiblemente se ha de evacuar a la zona de acción de los 500 metros. En casos de tsunamis es preferible huir tierra adentro, pero si no se tiene la posibilidad hay que buscar un sitio elevado.

Posterior mente se ha realizado un clip, quedando así únicamente las parcelas buenas dentro del área de evacuación establecida.

El resultado es el siguiente, siendo la zona de color verde clarito la zona de acción de 300 metros y la de verde oscuro la de 500 metros.



Figura 47. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]



Figura 48. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]

Este procedimiento también se ha seguido para la zona de Conil de la Frontera y el resultado final ha sido el siguiente:



Figura 49. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]



Figura 50. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]



Figura 51. Proceso análisis [Fuente: Elaboración propia]

5.5.- Resultados del análisis

Atendiendo a la distribución de las parcelas seguras dentro de las dos zonas, existen bastantes alternativas de zonas seguras. Se van a establecer varias zonas seguras, en caso de ser una propiedad pública no habrá ningún problema a la hora de que la población pueda acceder a la azotea del edificio o las zonas altas abiertas dentro de la construcción, que estén por encima de 10 metros, en el caso de ser una propiedad privada habría que hablar con los propietarios y llegar a un entendimiento con ellos.

En función de las parcelas elegidas como zonas seguras finales se han establecido unas rutas para poder acceder a estas zonas lo más rápido posible teniendo en cuenta la anchura de la calle y el tráfico que circula por esta. Así mismo también se han escogido las calles perpendiculares a la costa. En dichas rutas se va a ubicar una señalética con paneles informativos acerca de los tsunamis y las propias señales que dirigen a la población a las zonas seguras establecidas. Estas señales como se ha explicado antes se han ubicado en zonas accesibles y de fácil visualización, zonas como la playa en la cual los turistas pueden verla fácilmente.

Como resultado se ha obtenido un plano de cada zona de estudio en donde aparecen las rutas de evacuación, la localización de las parcelas elegidas y la ubicación de las señales. Dicho plano se muestra en el Anexo.

5.6.- Daños Socio-económicos

Suponiendo que un tsunami azotara las costas de Cádiz y Conil de la frontera, con el sistema implantado se salvarían muchísimas vidas. En el caso de la zona de Cádiz justamente encontramos más de un instituto a la orilla de la costa, así como iglesias, museos, y una catedral en primera línea de playa; Sitios como estos suelen estar ligados con gran afluencia de personas, es por eso que la labor de evacuación en estas zonas es crucial. Las vidas humanas que se podrían salvar utilizando este método no tienen comparación en el caso de que no se usará.

Hablando de daños materiales y económicos, la implantación de una señalética de tsunamis en las zonas de estudio no tendría ningún efecto ya que no puede frenar o disminuir el impacto de la ola sobre las diferentes infraestructuras. En el caso de Cádiz estos daños serían meramente en edificios y construcciones, teniendo en cuenta la existencia de una gasolinera cercana a la costa. En comparación, en la zona de Conil de la Frontera también se verían afectados verían complejos hoteleros y los distintos cultivos que se encuentran en la zona, ya que el hecho de que grandes cantidades de agua salada entren en contacto con los campos arruinaría la cosecha, incluso puede llegar a dejar a tierra inservible para cultivar en un futuro.

6.- Presupuesto

Par poder elaborar el presupuesto de este trabajo se ha de tener en cuenta varios factores como el Presupuesto de ejecución de material (PEM), los gastos generales (GGE) y el beneficio industrial (BI). De esta forma se ha aplicado la siguiente fórmula para poder calcular el presupuesto de ejecución por contrata (PEC).

$$PEC = PEM + GGE + BI$$

A continuación se muestra una tabla con el desglose de los cálculos:

- Cálculo del presupuesto de ejecución material (PEM):

Se tiene en cuenta que solo se necesita como operario a un Ingeniero en Geomática y Topografía.

	sueldo base	Plus de convenio
Coste mano de obra (mes)	1.393,49€	66,00€
Numero de pagas al año	14	
Sueldo anual	19.508,86€	924€
Total sueldo anual	20.432,86€	
Seguridad social (40%)	8.173,14€	
Coste total mano de obra (anual)	28606,00€	
Coste total mano de obra (día)	114,88€	

	Fusion	ArcGIS
Coste licencia	Gratuito	4.200€/año
		11,51€/día

Tiempo dedicado	
Búsqueda de información	2 día
Descarga de los datos/Realización análisis	1 día
Realización planos	1 día
TOTAL	4 días

	Mano de obra	Software	Total
Tiempo dedicado (4 días)	459,53€	46,04€	505,57€

(La elaboración de todas las tablas que aparecen en este apartado son de *fuentes propias*)

- Cálculo de los gastos generales (GGE):
Los gastos generales suponen un 13% del presupuesto de ejecución material, siendo un 65,72€
- Cálculo del Beneficio Industrial (BI):
Los gastos del beneficio industrial suponen un 6% del presupuesto de ejecución material, siendo un 33,33€

Así pues el presupuesto de ejecución por contrata sería 601,63€, sumándole un 21% de IVA, el resultado sería **727.97€** (Coste total del trabajo).

7.- Conclusiones

Como se ha comprobado lejos queda la creencia de pensar que España está libre de los efectos de un fenómeno natural de estas características. En este trabajo se han visto las diferentes zonas potenciales que podrían verse afectadas y los efectos que podría causar un tsunami en ellas. Teniendo en cuenta la cantidad de gente que podría encontrarse en las playas de Cádiz y Conil de la Frontera, turistas, residentes, niños, jóvenes, personas mayores, etc. es esencial dirigir correctamente a la gente en un estado de caos y pánico. Porque cuando nos encontramos ante una situación así, muchas víctimas también son provocadas por la aglomeración de gente que va corriendo y no sabe hacia dónde ir. Así pues se hace imprescindible el uso de una señalética de tsunamis que vaya ligada a unas vías de evacuación que permitan guiar a la población hacia zonas seguras.

Como en Portugal ya existe una señalética con un diseño específico, unos colores y unas formas ya definidas [Figuras 33 y 34], y es la zona más cerca a nuestra zona de cálculo, se ha decidido continuar con ese diseño en las costas españolas, garantizando así una homogeneidad en cuanto a señalética se refiere.

Con este trabajo se propone unas vías de evacuación hacia unas zonas seguras en función de dos zonas de acción (una primera de 300 metros y otra de 500 metros), pero para que este trabajo sea más eficiente habría que tener en cuenta muchos más factores que ayuden a optimizar esta metodología de trabajo. Por ello se proponen varias variantes que podrían ayudar en ello.

Como líneas futuras en relación a la elaboración de este trabajo se propone:

- Diseñar un método mediante el cual, si se da el caso de que una zona de evacuación ya está totalmente ocupada, se dirija a la población a la zona segura más cercana. Este método debería de llevarse a cabo e indicarse antes de que la población llegue a la zona que ya está ocupada, evitando así una pérdida de tiempo y sistema de evacuación más eficaz.
- La realización de un estudio urbanístico de las edificaciones, detallando el año de construcción, si ha sufrido alguna reforma, el estado en el que se conserva la propiedad, etc. y que toda esa información pueda ser accesible mediante la sede electrónica del catastro para que en un futuro se pueda incorporar a este análisis y así obtener unos resultados mejores. Teniendo así en la ficha catastral de cada inmueble un apartado referente a la vulnerabilidad que tendrían los edificios frente a un tsunami. Este apartado,

aparte de tenerse en cuenta para el análisis también serviría en lo referente a un consorcio de seguros a la hora de asegurar una vivienda cercana a la costa.

- En la zona de estudio de Cádiz existe una zona, la zona más al sur, que para poder hacer unas vías de evacuación se necesitarían pasos a nivel ya que por esa zona no hay ningún edificio cerca y para poder llegar a la construcción más cercana hay que cruzar varias vías de comunicación.
- Se propone también que el uso de una señalética como la de Nueva Zelanda [Figuras 29 y 30] en donde el color verde queda asignado para definir las zonas seguras y el color azul sirve para destacar las rutas de evacuación indicando mediante un símbolo la forma de evacuación de la zona ya sea en transporte o a pie.

Sin embargo también se debe inculcar una formación básica sobre estos fenómenos naturales tanto en los centros educativos, como en las oficinas, medios de comunicación, etc. Ya que como ha quedado claro en este documento, el conocimiento previo sobre un tsunami puede mejorar notablemente la situación frente a éste.

Como resultado final, este análisis podría ser de utilidad para los centros de protección civil de España, ya que éstos poseen información acerca de la inundabilidad de ciertas zonas en caso de tsunami pero no poseen ningún tipo de desarrollo de vías de evacuación mediante una señalética específica.

8.- Bibliografía

- *Libros*

Prager, E. J. (2001). "La Furia de Nuestra Madre Tierra". Ed: Mc Graw Hill.

Papadopoulos Gerassimos A. (Diciembre 2015) "Tsunamis in the European-Mediterranean Region". Ed. Elsevier.

- *Documentación audiovisual*

Arroyo, F. (Dirección). (2017). *La Gran Ola* [Película].

Instituto Geográfico Nacional (s.f.). "Terremotos y la peligrosidad de Tsunamis en España".

- *Enlaces (Los siguientes links estaban activos a fecha de 06/07/2017)*

20Minutos: <http://blogs.20minutos.es/ciencia-para-llevar-csic/2014/07/08/sabias-que-un-tsunami-causo-en-espana-mas-de-1-000-muertos/>

Alerta Catástrofes: <http://www.alertacatastrofes.com/mapa-riesgos-tsunamis-europa/>

Criminal Justice USA: <http://www.criminaljusticeusa.com/blog/2011/10-most-destructive-tsunamis-in-human-history/>

Cwis: <http://cwis.usc.edu/dept/tsunamis/alaska/1946/webpages/index.html>

DN: <http://www.dn.pt/sociedade/interior/cascais-vai-ter-sistema-de-alerta-tsunami-5055525.html>

El Mundo: <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/03/11/internacional/1299824643.html/>

El espanol: http://www.elespanol.com/ciencia/20160129/98240412_0.html

Fesmcugtpv: <https://fesmcugtpv.org/cms/phocadownload/oficinas/oficinas-despachos-valencia/tablas-salariales-2017.pdf>

Gerencie: <https://www.gerencie.com/seguridad-social-para-trabajadores-independientes-y-verificacion-del-pago-de-aportes-por-parte-del-contratante.html>

Guioteca: <https://www.guioteca.com/curiosidades/los-10-tsunamis-mas-devastadores-de-los-que-se-tenga-registro/>

Inocuesco: <http://itic.iocunesco.org>

Itec: <https://itec.es/informacio/ConfecionPresupuesto-PEC.aspx>

JMA: <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>

Lusop: <http://www.lusopt.pt/portugal/1020-alerta-tsunami-em-lisboa-sabe-quanto-tempo-tem-para-fugir#>

NDBC: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart.shtml>

NOAA: <http://www.noaa.gov/oceans-coasts>

Nosolosig: <http://www.nosolosig.com/articulos/286-cuanto-cuestan-los-productos-arctis-de-esr>

Oei: http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/noticias_830.htm

OSSO: <http://www.osso.org.co/tsunami/>

Pijama Surf: <http://pijamasurf.com/2011/03/top-10-tsunamis-mas-grandes-o-destructivos-de-la-historia/>

Protección Civil: <http://www.proteccioncivil.es/riesgos/maremotos/documentacion>

RTVE: <http://www.rtve.es/noticias/20150311/gran-tsunami-afecta-costa-andaluza-cada-mil-anos/1113062.shtml>

Taringa: <http://www.taringa.net/posts/imagenes/12504535/Tsunami-en-Japon-6-Meses-Despues.html>

Terra: <https://www.terra.cl/noticias/chile/tsunami-1868-olas-de-18-metros-arrasaron-con-todo-arica,63051acb4fd25410VqnVCM4000009bcceb0aRCRD.html>

Tsumaps: <http://www.tsumaps-neam.eu/news/blog/communicating-tsunami-evacuations-effectively/>

Tsunami: <http://www.tsunami.gov/>

UC: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h713.html

Wikipedia: <https://es.wikipedia.org>

Tsunamis e ciudades Resilientes.pdf:

<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/26015/1/Jo%C3%A3o%20Pratas%20-%20Tsunamis%20e%20ciudades%20Resilientes.pdf>

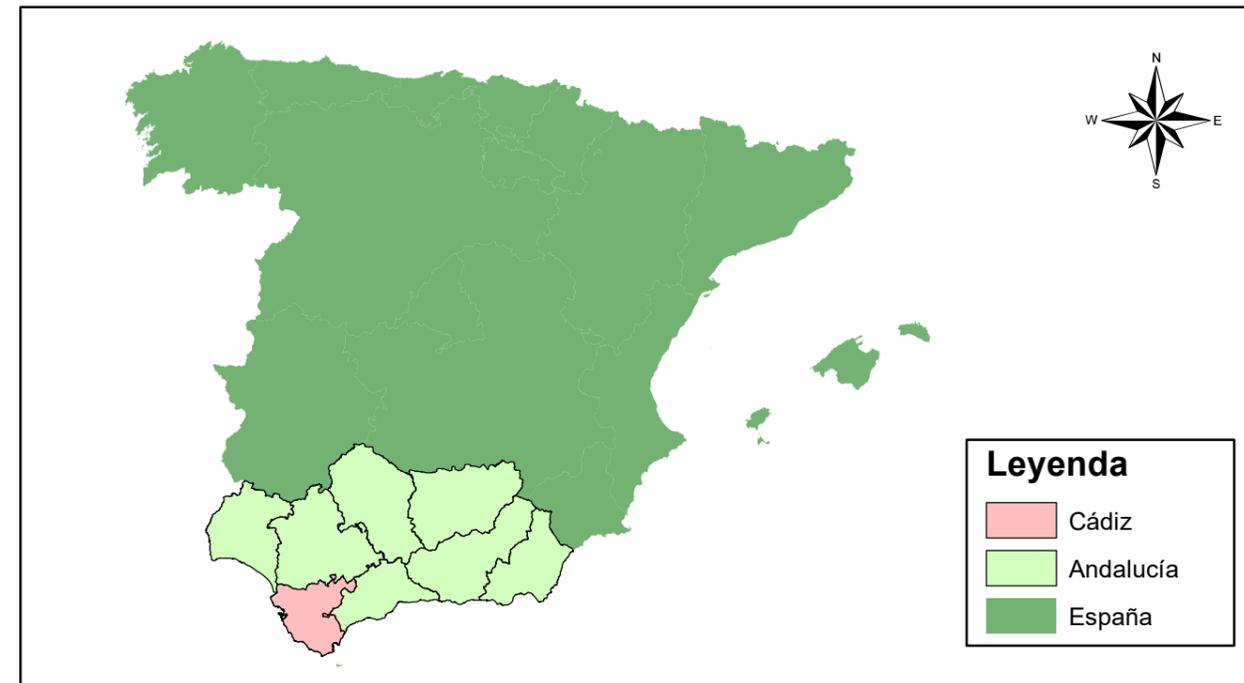
NEAMTIC. Preparación para casos de tsunami protección civil España.pdf:

<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002208/220802s.pdf>

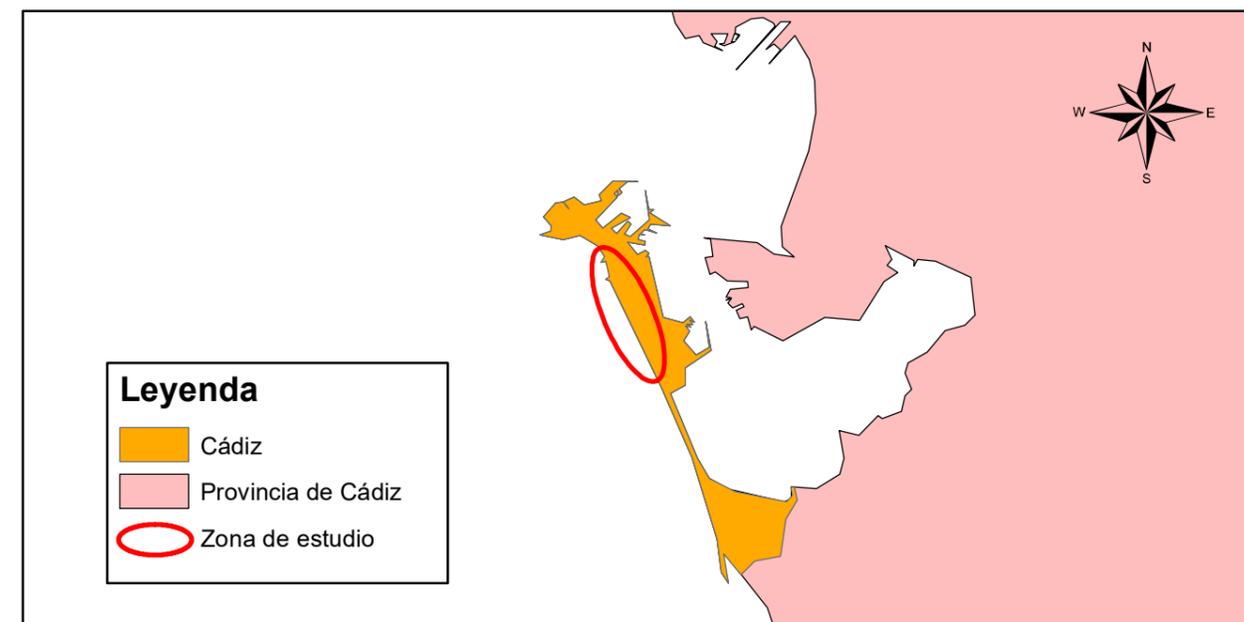
ANEXO



Escala 1:30.000



Escala 1:10.000.000

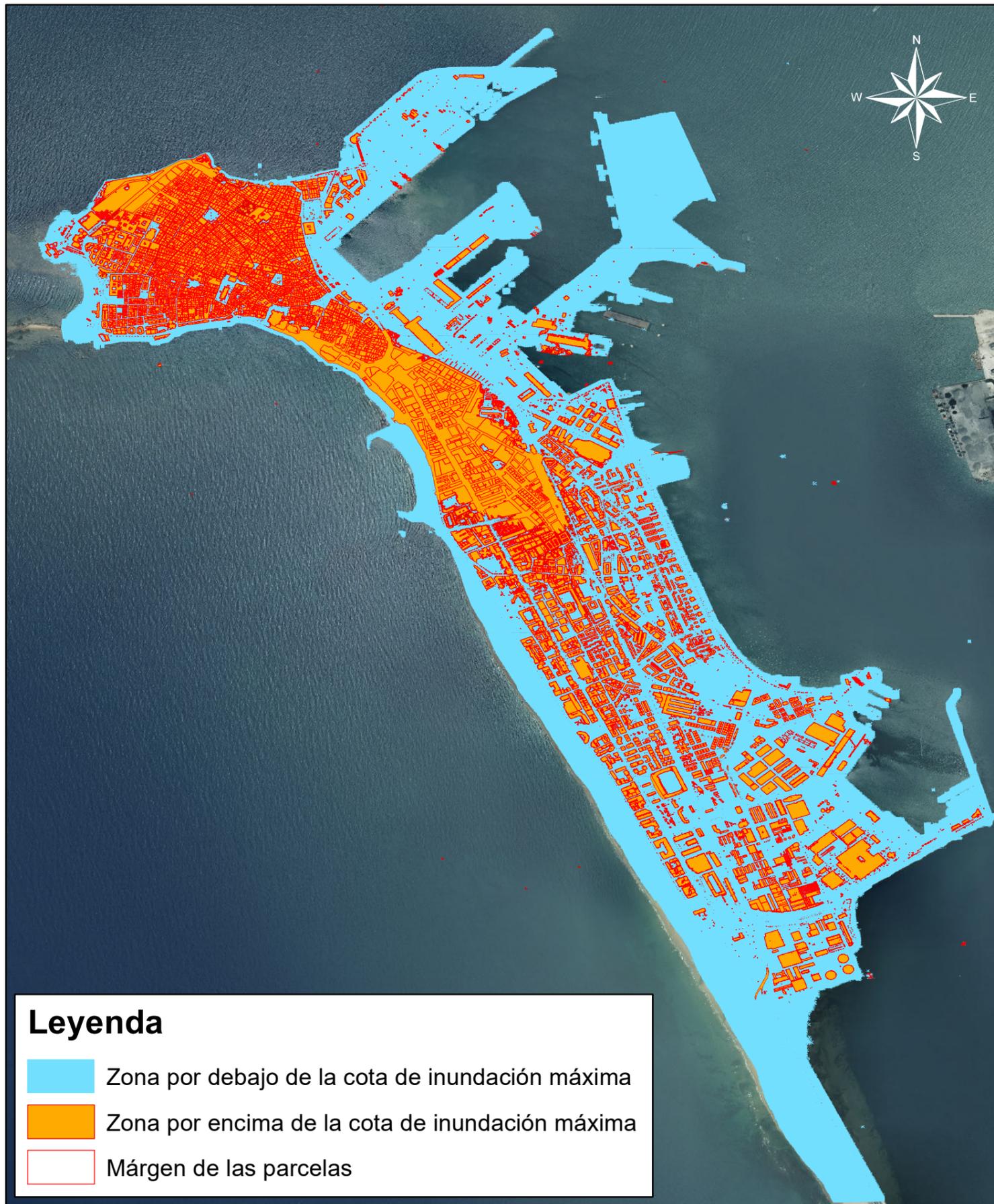


Escala 1:200.000

Título: Plano de Situación y emplazamiento de Cádiz		Sistema. Ref: ETRS89 UTM zona 29
Escala 1:30.000	Fecha: Julio 2017	
Autora: Raquel Arcón Navarro	Firma:	
Tutor: Francisco García García		
Universidad Politécnica de Valencia	Número de plano: 1	



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Escala 1:30.000

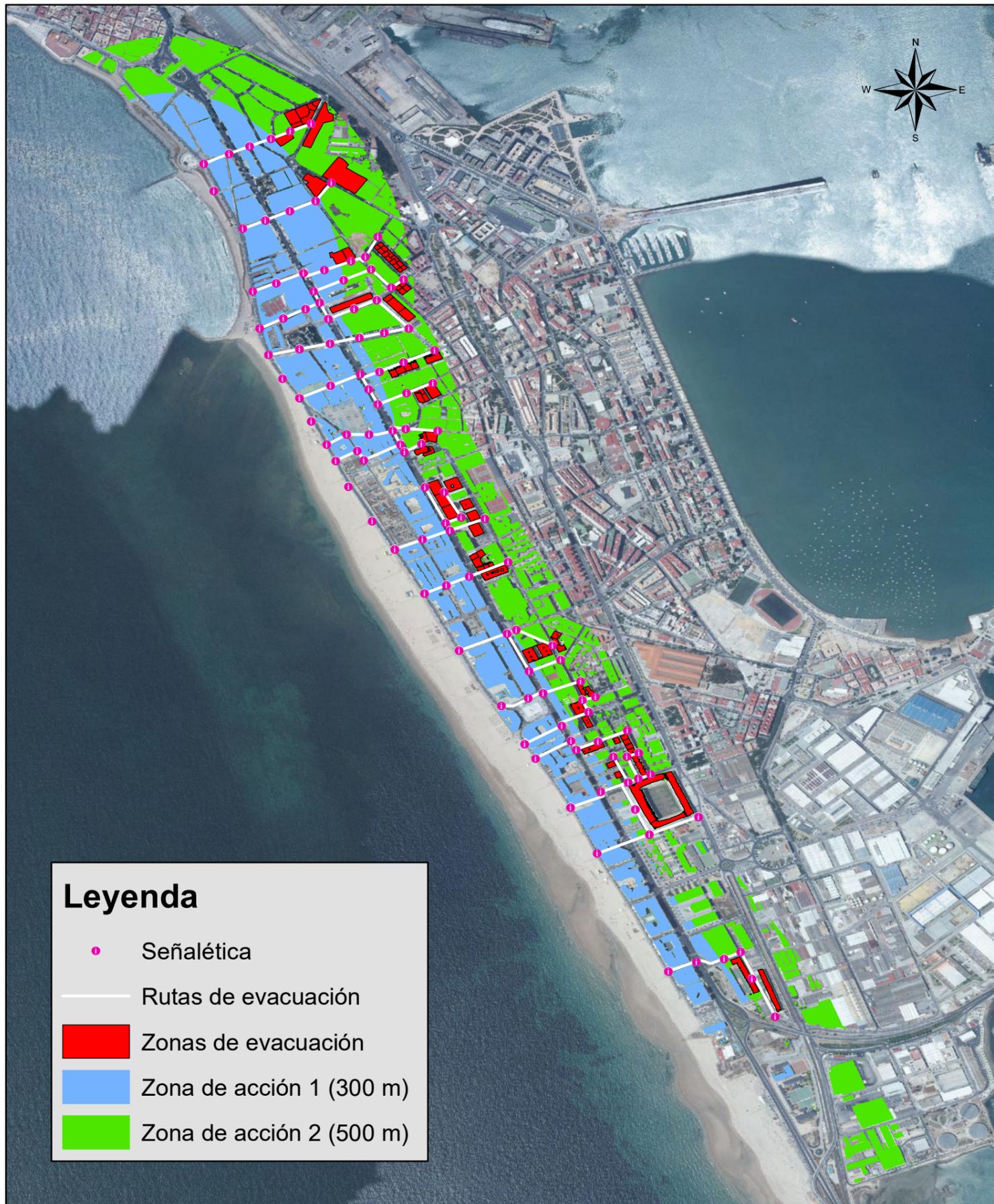
Leyenda

- Zona por debajo de la cota de inundación máxima
- Zona por encima de la cota de inundación máxima
- Margen de las parcelas



Escala 1:10.000

Título: Plano de inundación de Cádiz		Sistema. Ref: ETRS89 UTM zona 29
Escala 1:30.000	Fecha: Julio 2017	
Autora: Raquel Arcón Navarro	Firma:	 <small>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</small>
Tutor: Francisco García García		
Universidad Politécnica de Valencia	Número de plano: 2	



Leyenda

- Señalética
- Rutas de evacuación
- Zonas de evacuación
- Zona de acción 1 (300 m)
- Zona de acción 2 (500 m)

Escala 1:17.000



Escala 1:5.000

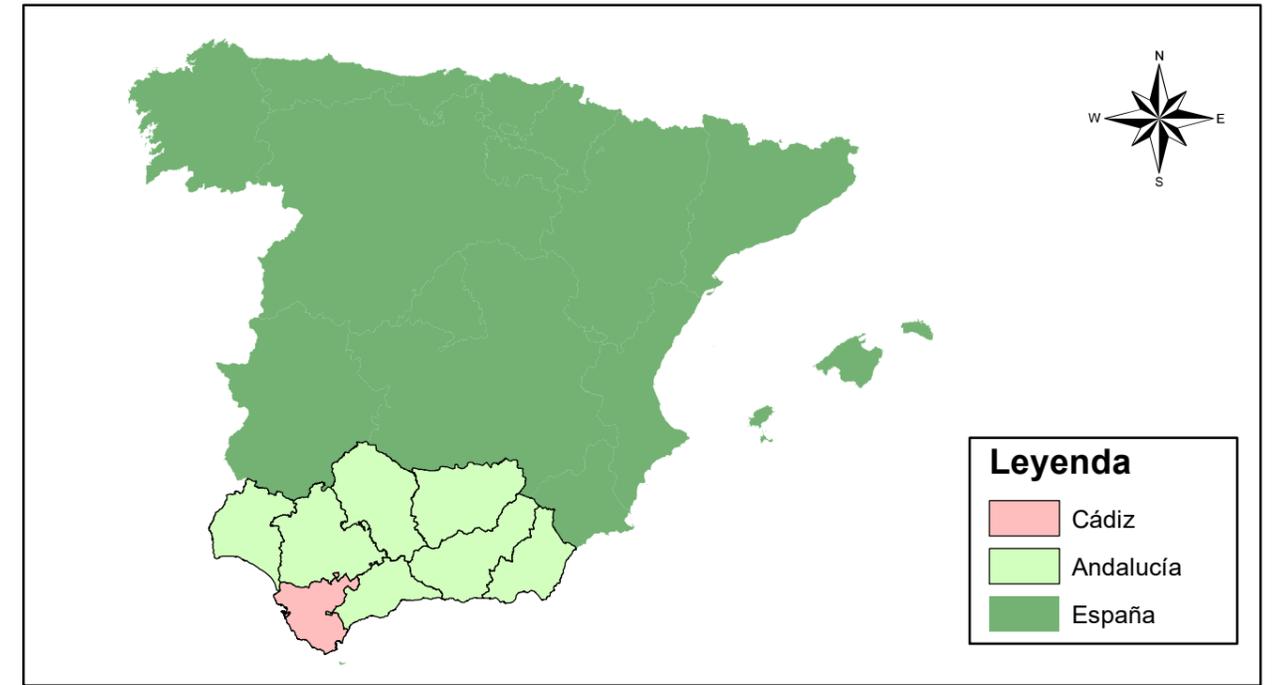
Título: Plano de las rutas de evacuación y señalética la zona de estudio de Cádiz		Sistema. Ref: ETRS89 UTM zona 29
Escala 1:17.000	Fecha: Julio 2017	
Autora: Raquel Arcón Navarro	Firma:	
Tutor: Francisco García García		
Universidad Politécnica de Valencia	Número de plano: 3	



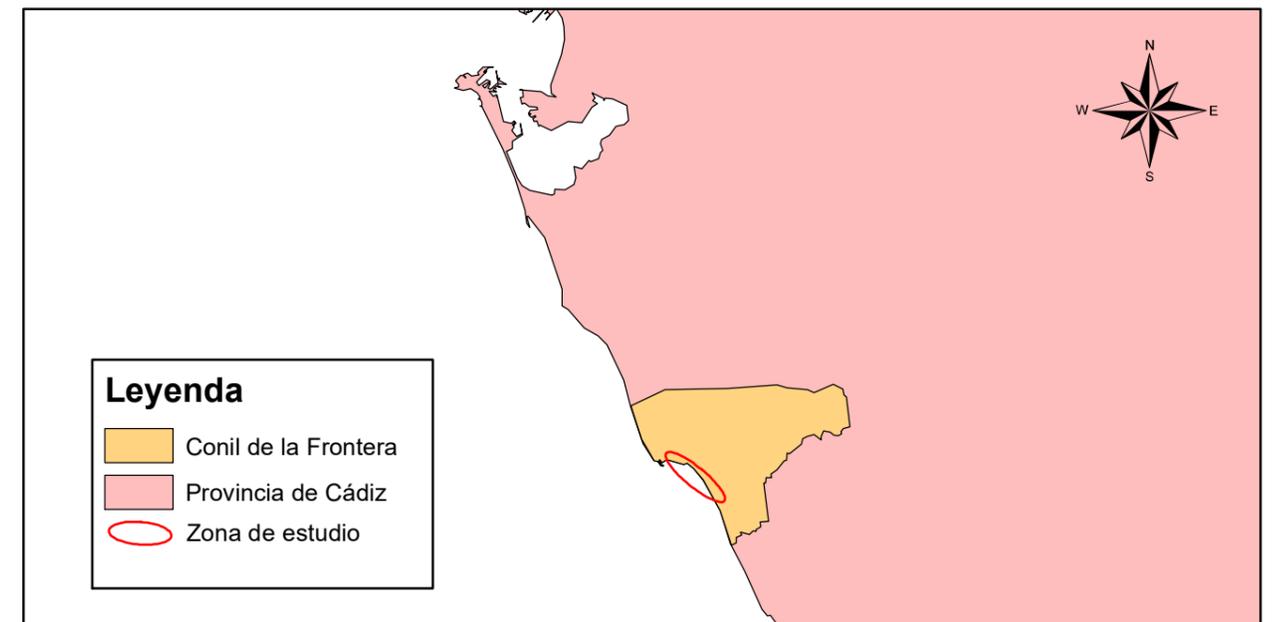
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Escala 1:30.000



Escala 1:10.000.000

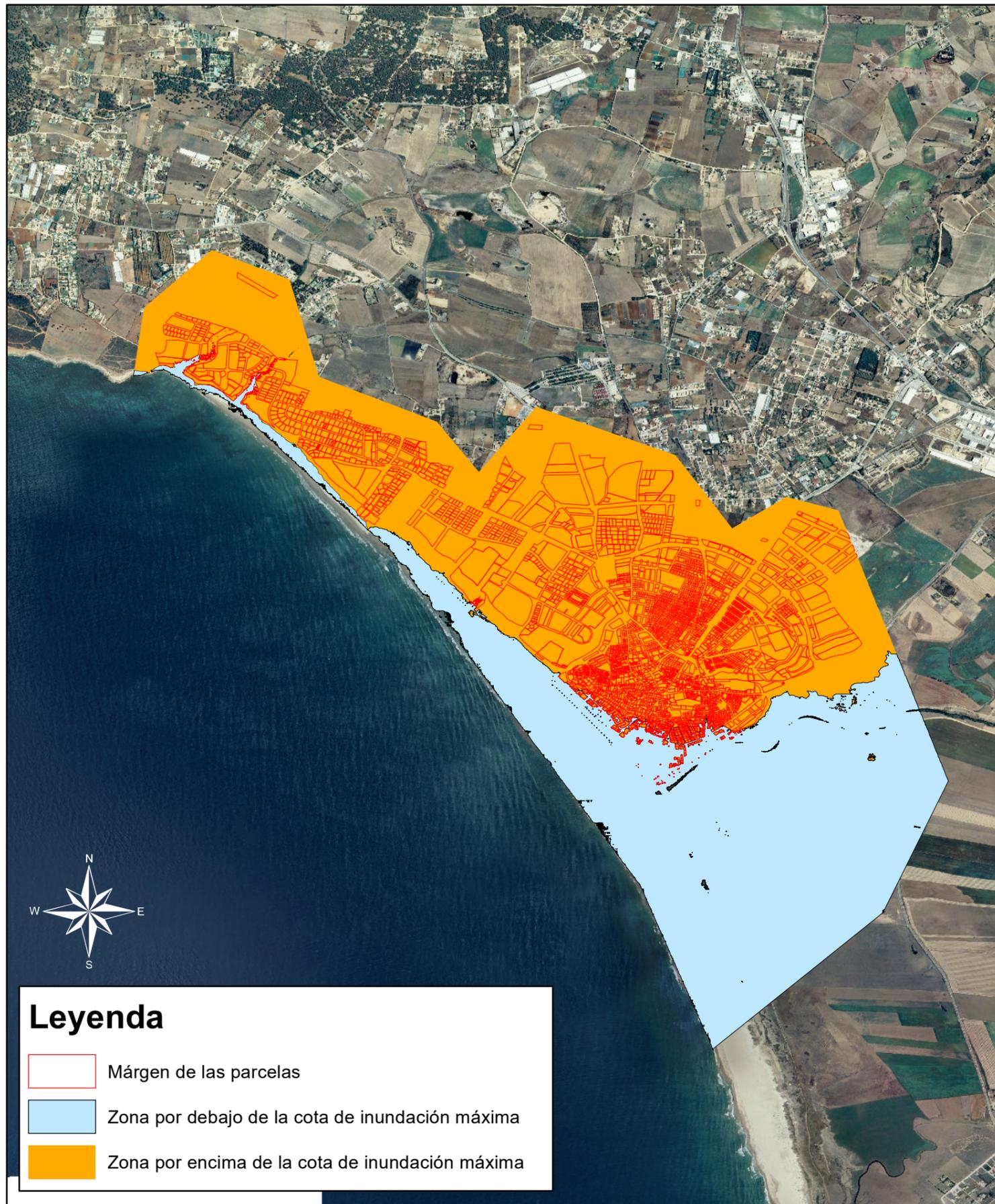


Escala 1:500.000

Título: Plano de Situación y emplazamiento de Conil de la Frontera		Sistema. Ref: ETRS89 UTM zona 29
Escala 1:30.000	Fecha: Julio 2017	
Autora: Raquel Arcón Navarro	Firma:	
Tutor: Francisco García García		
Universidad Politécnica de Valencia	Número de plano: 4	



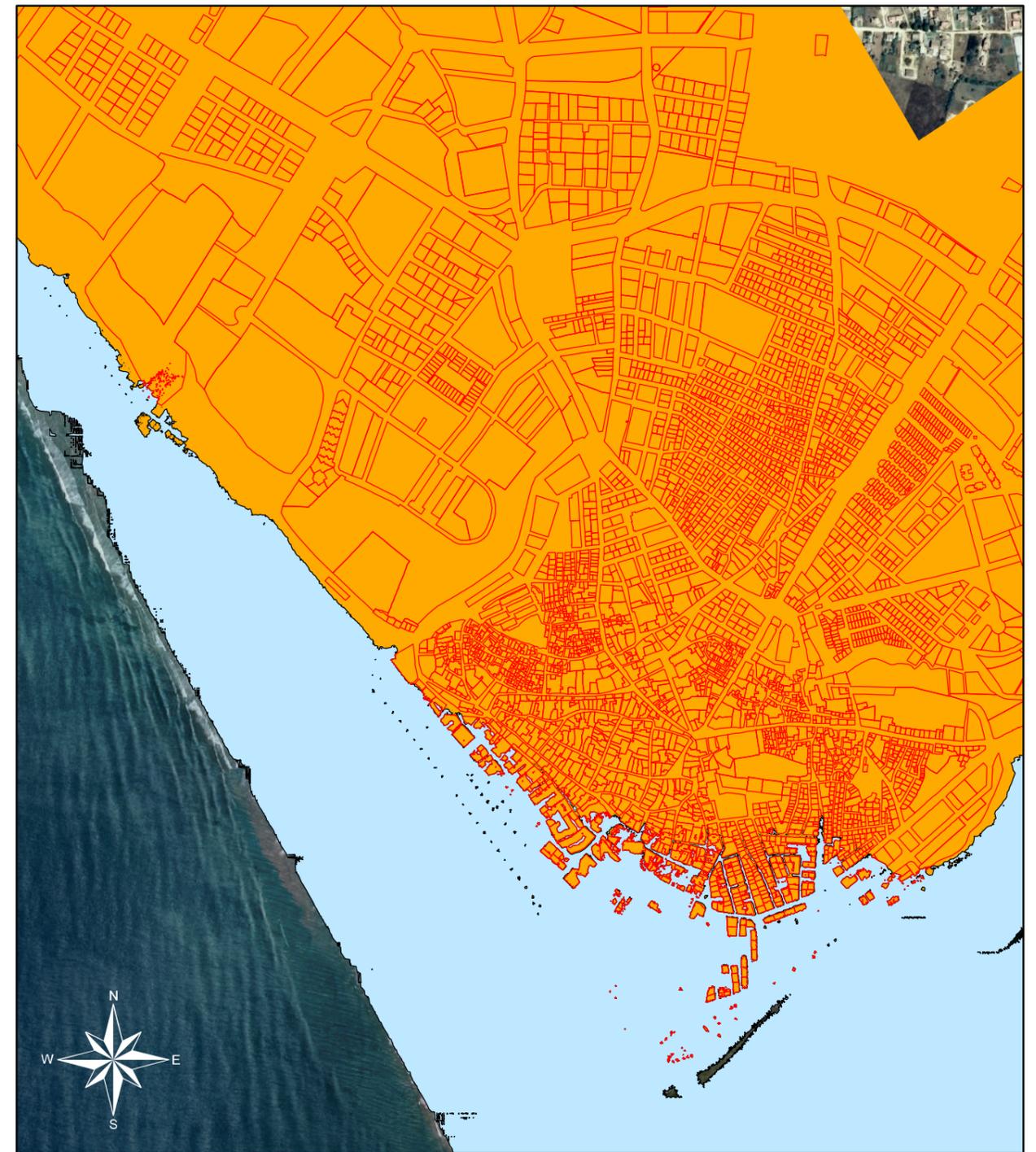
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



Escala 1:30.000

Leyenda

- Margen de las parcelas
- Zona por debajo de la cota de inundación máxima
- Zona por encima de la cota de inundación máxima



Escala 1:10.000

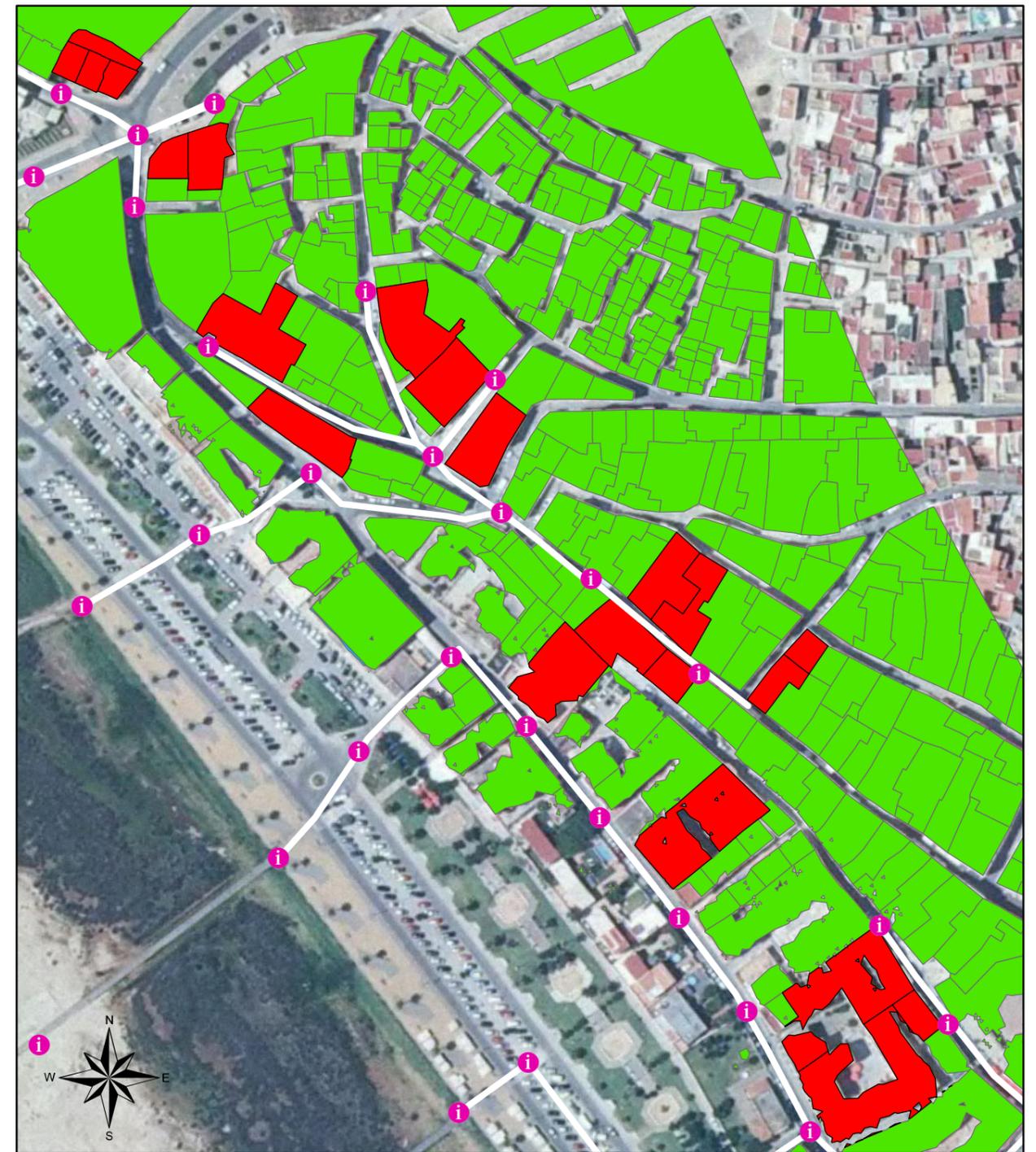
Título: Plano de inundación de Conil de la Frontera		Sistema. Ref: ETRS89 UTM zona 29
Escala : 1/30.000	Fecha: Julio 2017	
Autora: Raquel Arcón Navarro	Firma:	
Tutor: Francisco García García		
Universidad Politécnica de Valencia		Número de plano: 4



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

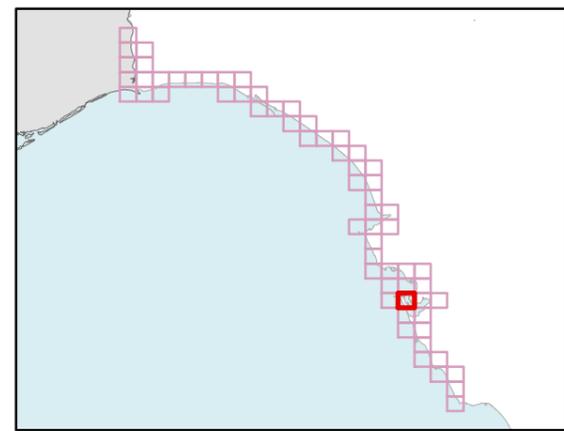
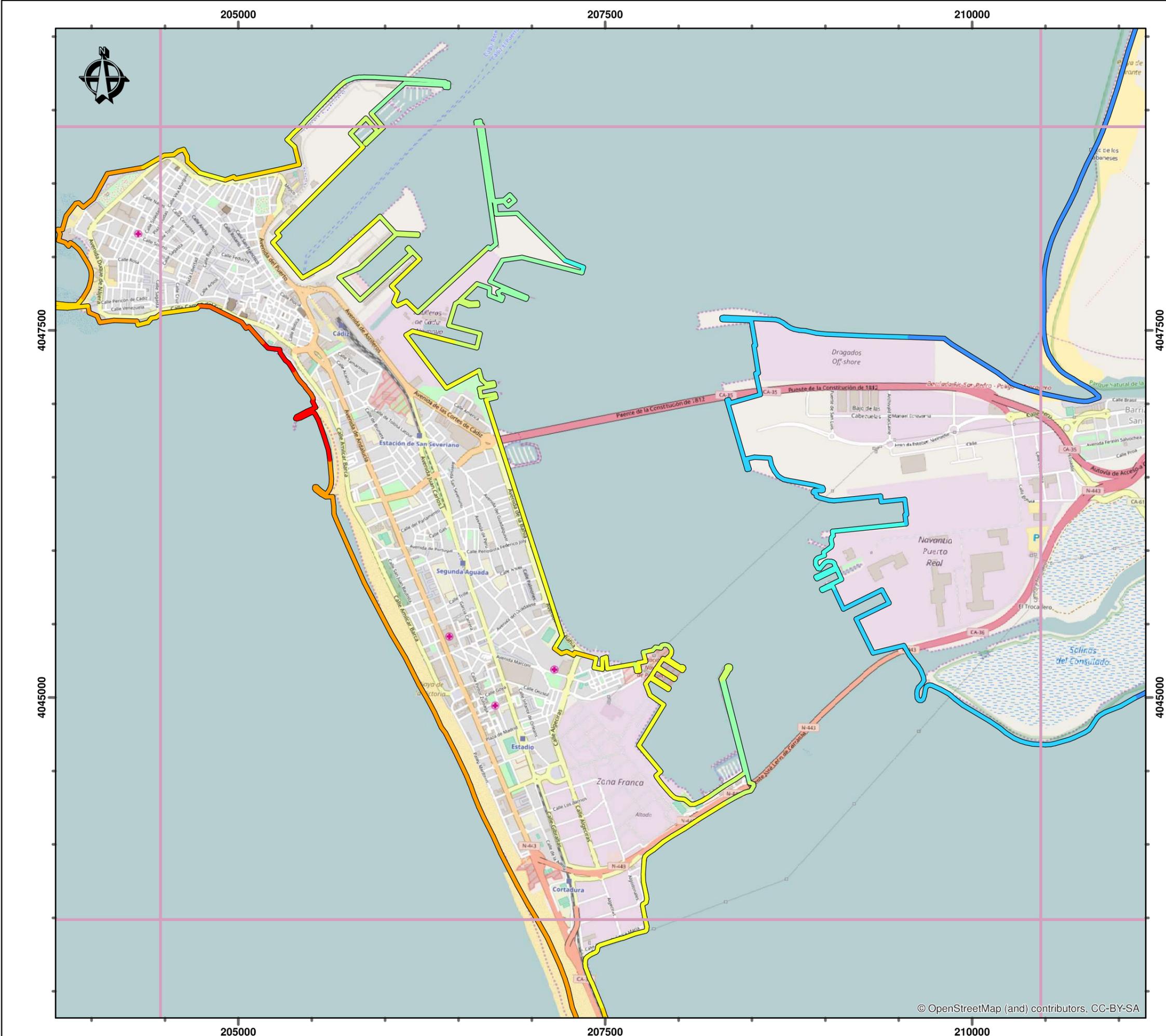


Escala 1:15.000



Escala 1:2.000

Título: Rutas de evacuación y señalética de la zona de estudio de Conil de la Frontera		Sistema. Ref: ETRS89 UTM zona 29
Escala 1:15.000	Fecha: Julio 2017	
Autora: Raquel Arcón Navarro	Firma:	
Tutor: Francisco García García		
Universidad Politécnica de Valencia	Número de plano: 6	



Sistema de coordenadas: ETRS 1989 UTM Zone 30N
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: ETRS 1989

Elevación máxima (m)	
0,00 - 0,20	Dark Blue
0,20 - 0,40	Blue
0,40 - 0,60	Light Blue
0,60 - 0,80	Cyan
0,80 - 1,00	Light Green
1,00 - 1,50	Green
1,50 - 2,00	Yellow-Green
2,00 - 4,00	Yellow
4,00 - 6,00	Orange
6,00 - 8,00	Dark Orange
8,00 - 10,00	Red-Orange
10,00 - 12,00	Red

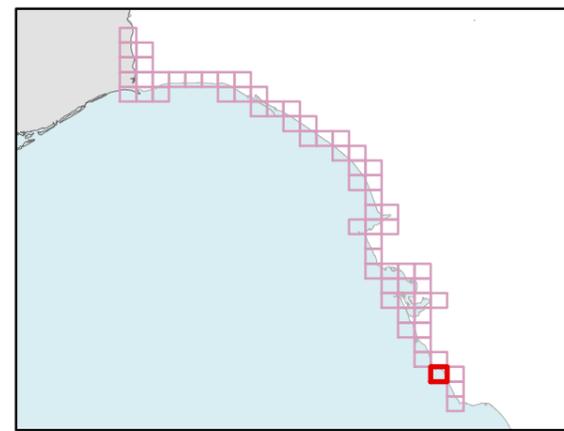
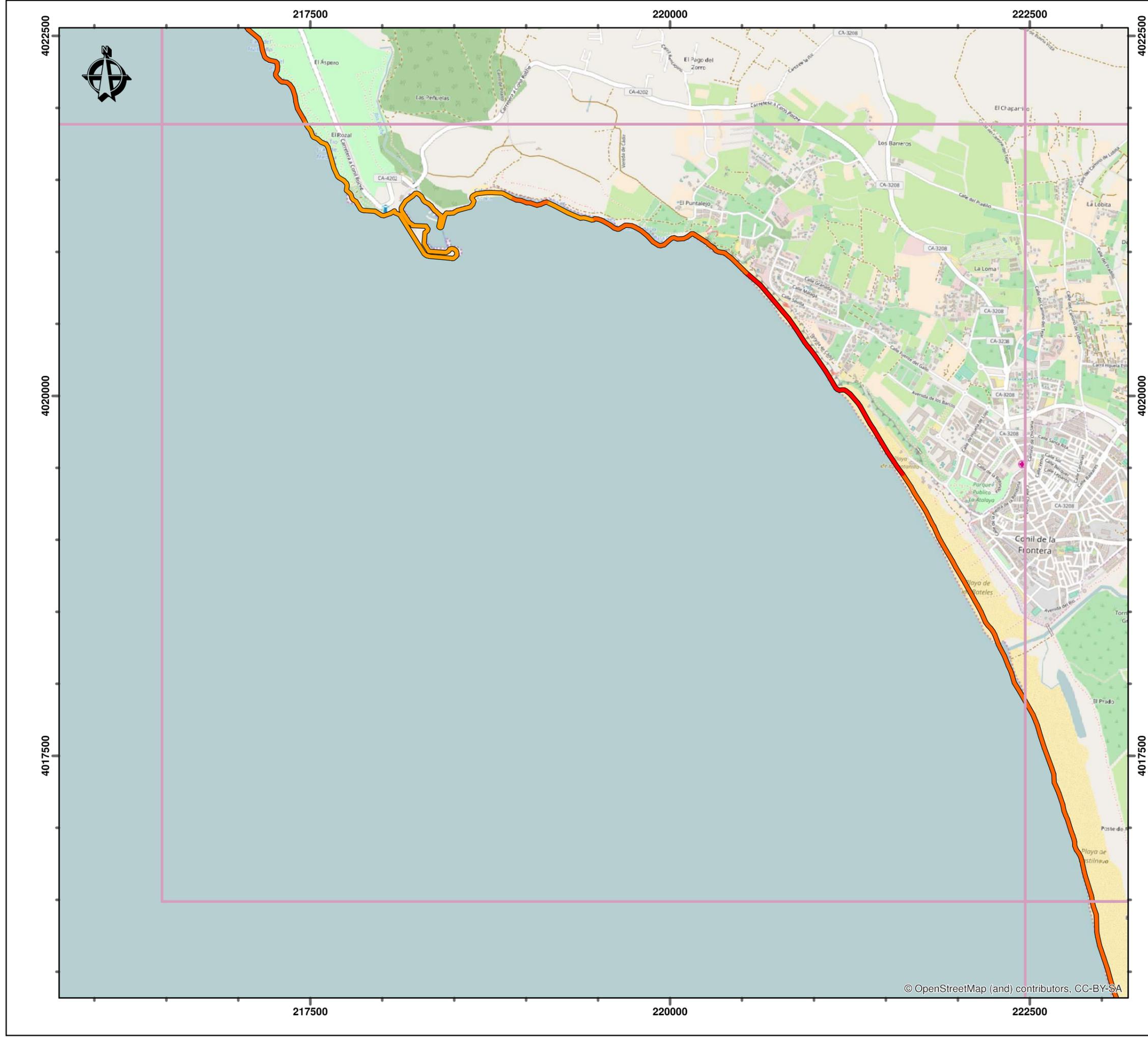
Ciente:

UTE:

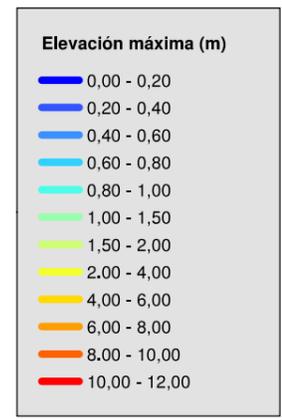
Título:
MAPAS DE PELIGROSIDAD DE MAREMOTOS EN LAS COSTAS ESPAÑOLAS

Escala: 1:25.000
 0 250 500 750 1.000 Metros
 N° plano: **EW38**
 Fecha: Oct 2016 Rev: 01

© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA



Sistema de coordenadas: ETRS 1989 UTM Zone 30N
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: ETRS 1989



Ciente:

UTE:

Título:
MAPAS DE PELIGROSIDAD DE MAREMOTOS EN LAS COSTAS ESPAÑOLAS

Escala: 1:25.000
 0 250 500 750 1.000 Metros

Nº plano: **FB40**
 Fecha: Oct 2016 Rev: 01

© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA