

# TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

## “ESTUDIO Y ANÁLISIS CRÍTICO DE POSIBLES SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN EN LOS DELTAS MEDITERRÁNEOS: EL CASO DEL DELTA DEL GUADALFEO”



Carlos Ramírez Anguita

Tutores: Miguel Ortega Sánchez - Rafael Bergillos Meca

**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos



**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**



# TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

## ESTUDIO Y ANÁLISIS CRÍTICO DE POSIBLES SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN EN LOS DELTAS MEDITERRÁNEOS: EL CASO DEL DELTA DEL GUADALFEO”

Autor:

Carlos Ramírez Anguita

Tutores:

Miguel Ortega Sánchez

Rafael Bergillos Meca

UNIVERSIDAD DE GRANADA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

## Índice

Resumen/Abstract	8
1.- Introducción	10
2.- Zona de estudio	11
2.1. Localización	11
2.2. Cuenca del Guadalfeo	13
2.3. Afecciones	15
2.4. Climatología, oleaje y viento de la zona	17
2.5. Actuaciones de regeneración en Playa Granada	19
3.-Metodología	22
3.1. Datos	22
3.1.1 Ortofotografías	22
3.1.2 Cartografía línea de costa	23
3.1.3 Cartografía usos del suelo	23
3.2. Análisis de datos	24
3.2.1. Evolución de la línea de costa	24
3.2.2. Evolución de la superficie construida	24
3.2.3. Evolución de los usos del suelo	25
4.- Resultados	26
4.1. Evolución de la línea de costa	26
4.1.1. Periodo 1947 – 1999	26

4.1.2. Periodo 1999 – 2014	29
4.2. Evolución de la superficie urbanizada	40
4.3. Evolución de los usos del suelo	55
4.4. Alternativas para reducir los problemas de erosión en la costa y creación de nueva playa	60
4.4.1. Obras de defensa duras	60
4.4.2. Obras de defensa blandas	69
4.4.3. Replanteo DPMT	73
5.- Conclusiones	78
6.- Referencias	80



# Índice de figuras

**FIGURA 1.** Zona costera del Delta del río Guadalfeo.

**FIGURA 2.** Vista 3D del delta del río Guadalfeo.

**FIGURA 3.** Mapa hipsométrico de la cuenca del río Guadalfeo. Divisoria, sierras que la delimitan y afluentes.

**FIGURA 4.** Mapa de pendientes de la cuenca del río Guadalfeo.

**FIGURA 5.** Presa de Béznar.

**FIGURA 6.** Presa de Rules.

**FIGURA 7.** Rosa del oleaje obtenida del punto SIMAR 2041080.

**FIGURA 8.** Rosa de los vientos obtenida del punto SIMAR 2041080.

**FIGURA 9 a.** Arena destinada a la regeneración de Playa Granada en junio 2014.

**FIGURA 9 b.** Situación de la playa antes de la regeneración (panel superior) y el aporte de sedimentos (panel inferior).

**FIGURA 9 c.** Actividades durante la regeneración en julio de 2016.

**FIGURA 9 d.** Estado de Playa Granada a la altura del Hotel Robinson tras la regeneración de abril de 2017.

**FIGURA 10.** Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 11.** Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el tramo de la Playa de Salobreña.

**FIGURA 12.** Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el tramo de Playa Granada.

**FIGURA 13.** Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el tramo de Playa de Poniente.

**FIGURA 14.** Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 1.

**FIGURA 15.** Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 1.

**FIGURA 16.** Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 1.

**FIGURA 17.** Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 1.

**FIGURA 18.** Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 2.

**FIGURA 19.** Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 2.

**FIGURA 20.** Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 2.

**FIGURA 21.** Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 2.

**FIGURA 22.** Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 3.

**FIGURA 23.** Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 3.

**FIGURA 24.** Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 3.

**FIGURA 25.** Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 3.

**FIGURA 26.** Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 4.

**FIGURA 27.** Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 4.

**FIGURA 28.** Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 4.

**FIGURA 29.** Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 4.

**FIGURA 30.** Superficie urbanizada (en ha) para cada una de las ortofotografías.

**FIGURA 31.** Superficie urbanizada en 1956 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 32.** Superficie urbanizada en 1977 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 33.** Superficie urbanizada en 1984 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 34.** Superficie urbanizada en 1998 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 35.** Superficie urbanizada en 2004 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 36.** Superficie urbanizada en 2007 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 37.** Superficie urbanizada en 2009 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 38.** Superficie urbanizada en 2011 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 39.** Superficie urbanizada en 2013 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 40.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1956 y 1977 en el tramo 1.

**FIGURA 41.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1977 y 1984 en el tramo 1.

**FIGURA 42.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1984 y 1998 en el tramo 1.

**FIGURA 43.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1998 y 2004 en el tramo 1.

**FIGURA 44.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2004 y 2007 en el tramo 1.

**FIGURA 45.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2007 y 2009 en el tramo 1.

**FIGURA 46.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2009 y 2011 en el tramo 1.

**FIGURA 47.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2011 y 2013 en el tramo 1.

**FIGURA 48.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1956 y 1977 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 49.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1977 y 1984 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 50.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1984 y 1998 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 51.** Evolución de la superficie urbanizada entre 1998 y 2004 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 52.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2004 y 2007 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 53.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2007 y 2009 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 54.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2009 y 2011 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 55.** Evolución de la superficie urbanizada entre 2011 y 2013 en los tramos 2 y 3.

**FIGURA 56.** Usos del suelo en 1956 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 57.** Usos del suelo en 1999 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 58.** Usos del suelo en 2003 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 59.** Usos del suelo en 2007 en el delta del Guadalfeo.

**FIGURA 60.** Leyenda usos del suelo.

**FIGURA 61.** Tipos de muros de defensa.

**FIGURA 62.** Tipos de pantallas de defensa.

**FIGURA 63.** Tipos de revestimientos de defensa.

**FIGURA 64.** Tipo de secciones transversales de espigones.

**FIGURA 65.** Efectos de un espigón en el transporte sólido de sedimentos.

**FIGURA 66.** Diques exentos playa Pedregalejo. Málaga.

**FIGURA 67.** Esquema dique arrecife, sumergido o de baja cota de coronación.

**FIGURA 68.** Regeneración en Playa Granada en diciembre de 2014.

**FIGURA 69.** Esquema de la actuación de la Posidonia en la protección de la costa.

**FIGURA 70.** DPMT actual de nuestra zona de estudio de acuerdo con la Ley de Costas.

**FIGURA 71.** Cota de inundación actual para el tramo 1: Playa de Salobreña.

**FIGURA 72.** Cota de inundación actual para el tramo 2: Playa Granada.

**FIGURA 73.** Cota de inundación actual para el tramo 3: Playa de Poniente.

**FIGURA 74.** CI para el año 2100 según escenario optimista y pesimista en el tramo 1.

**FIGURA 75.** CI para el año 2100 según escenario optimista y pesimista en el tramo 2.

**FIGURA 76.** CI para el año 2100 según escenario optimista y pesimista en el tramo 3.

# Resumen

Durante las últimas décadas, las costas del litoral mediterráneo se han visto sometidas a crecientes problemas de erosión, debidos principalmente a actividades humanas tales como la construcción de presas que retienen el sedimento, o la construcción de puertos que actúan como obstáculo alterando la dinámica litoral, ya que con frecuencia generan erosión en uno de los tramos de costa colindantes y sedimentación en el tramo opuesto. Estos problemas se verán incrementados en el futuro por el previsible aumento del nivel del mar, por lo que resulta necesario realizar un informe técnico orientado a estudiar posibles prácticas de gestión que ayuden a paliar los citados problemas de erosión.

En concreto, el delta del Guadalfeo se ha visto afectado durante los últimos años por la construcción en su cauce de las presas de Béznar y Rules, por una creciente presión urbanística y por una profunda transformación en los usos del suelo de los terrenos que lo constituyen, lo que ha provocado importantes problemas de erosión en la costa. El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es realizar un estudio de las distintas alternativas para mitigar estos problemas de erosión en el delta del Guadalfeo, cuya dinámica y problemática es común en deltas de todo el mundo, especialmente en aquellos situados en costas mediterráneas.

Para ello, en primer lugar se ha realizado un análisis general de la zona de estudio. Posteriormente, mediante el uso de distinta cartografía, se ha hecho un análisis de la evolución en la línea de costa, superficie urbanizada y evolución de los usos del suelo en el delta del Guadalfeo, con especial interés en los años posteriores a la entrada en funcionamiento de la presas de Rules, la principal afección de nuestro tramo objeto de estudio.

A continuación se han estudiado y analizado diferentes alternativas para reducir los problemas de erosión en la costa, valorando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, considerando criterios técnicos, económicos y ambientales.

Por último, se han discutido las alternativas más adecuadas para nuestro caso de estudio y se han establecido una serie de recomendaciones a modo de conclusión que serán trasladadas a las administraciones competentes en la gestión del sistema cuenca-costa objeto de estudio.

# Abstract

During the last few decades, the Mediterranean coasts have been subjected to the increase of erosion problems, mainly due to human activities such as dam constructions which shall retain sediments, as well as coast construction acting like an obstacle changing coastal dynamic, since they frequently generate erosion in one of the adjacent coast sections, and sedimentation in the opposite one. These problems will be increased in the future by the expected sea level rise, becoming necessary to make a technical report focused on analyzing possible management techniques that might help to palliate mentioned erosion problems.

Specifically during the last past years, the Guadalfeo delta has been affected by the construction of Béznar and Rules dams in its riverbed. It is due to a growing citizen pressure as well as to a very deep transformation in the use of this group of lands. These facts have caused important erosion problems on the coast. The main purpose of this Final Degree Project is to study different alternatives to reduce these erosion problems in the Guadalfeo delta. It has to be said, these dynamics and problems are quite frequent in deltas around the world, especially in those on the Mediterranean coast.

Firstly, a general analysis of the study area has been made for this end. Subsequently, by the help of the different cartography, a coastline evolution, urbanized area and evolution of land uses in the Guadalfeo delta analysis has been executed. All this has been carried always focusing on the years thereafter the launch of the Rules dam, the main influence of the stretch under study.

Then, different alternatives have been studied and analyzed in order to reduce coastline erosion problems, assessing the advantages and disadvantages of each one, considering technical, economic and environmental criteria.

Finally, the most suitable alternatives for our case study have been discussed and a series of recommendations have been established as a conclusion, which will be transferred to the administration in charge of the management of the basin-coast system under study.

# 1.- Introducción

Actualmente, en el campo de la ingeniería de costas, uno de los aspectos que concentra mayores esfuerzos es el problema de la erosión litoral. Debido a la fuerte presión antrópica y al aprovechamiento extremo de los recursos, la erosión litoral se ha convertido en un problema que afecta a todos los países costeros del mundo. Este problema impacta directamente sobre el turismo y el desarrollo económico de los países, por lo que es necesario aunar esfuerzos para atender este problema. En el caso concreto de España, este problema adquiere si cabe mayor dimensión, debido a que nuestro país cuenta con una gran cantidad de kilómetros de costa, muchos de ellos con un alto valor ecológico, así como la importancia económica de nuestras playas, uno de los grandes atractivos turísticos del país.

Por todas las razones anteriormente expuestas, las administraciones deben centrar sus esfuerzos en mitigar estos problemas de erosión, mediante un aprovechamiento racional de los recursos y llevando a cabo actuaciones en la costa que estén respaldadas por un amplio y detallado estudio técnico, para actuar sobre la raíz del problema y no sólo sobre las consecuencias, de manera que los fondos destinados a dichas actuaciones sean verdaderamente eficientes.

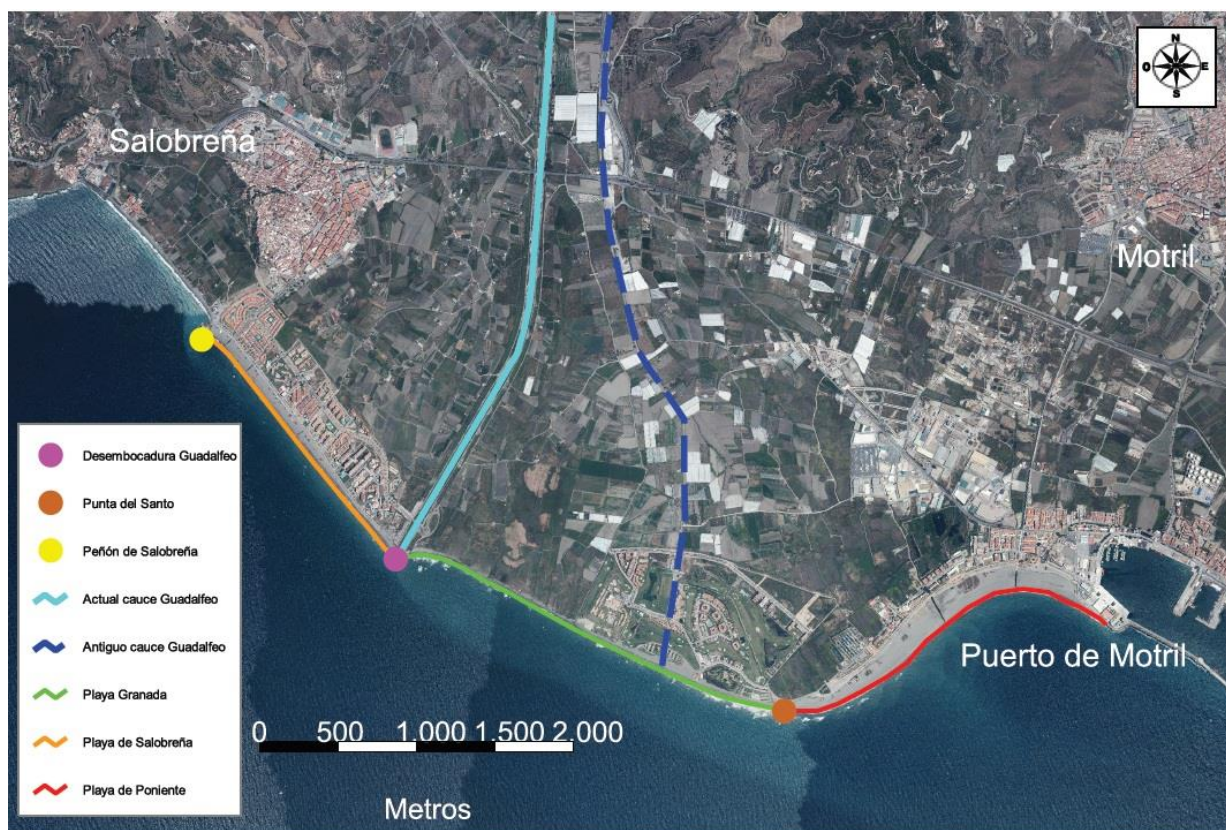
Los deltas mediterráneos se han visto afectados en gran medida por los procesos erosivos. La retención y alteración del tránsito sedimentario fluvial y litoral, y los cambios en los usos del suelo, unido a la ocupación de playas y dunas costeras, han provocado una alteración crítica de la dinámica natural costera, acentuada en estos últimos años por la creciente presión antrópica sobre la franja litoral. En el caso concreto del delta del Guadalfeo, la entrada en funcionamiento de la presa de Rules en el año 2004 ha condicionado la evolución del sistema deltaico así como la evolución de la línea de costa. Esta presa regula en torno al 85% de la esorrentía total de la cuenca, lo que supone una retención muy importante de los sedimentos transportados por el río que no llegan hasta la desembocadura. Este descenso en el aporte de sedimentos se ha traducido en un retroceso de la línea de costa. Para mitigar esta situación se han llevado a cabo numerosas actuaciones de gestión de la costa mediante regeneraciones (aporte de sedimentos) en las zonas afectadas por la erosión. Estas actuaciones han tenido escaso éxito, volviendo la playa a la situación anterior en un breve transcurso de tiempo.

En este Trabajo Fin de Grado se van a abordar diferentes alternativas para reducir los problemas de erosión en la costa y creación de nueva playa, discutiendo las ventajas e inconvenientes de cada una de estas actuaciones para su aplicación en nuestro tramo de estudio. Este es el principal objetivo de este trabajo, el estudio de las distintas alternativas para mitigar los problemas de erosión en el delta del Guadalfeo, valorando ventajas e inconvenientes, y exponiendo una serie de recomendaciones a modo de conclusión que serán trasladadas a las administraciones competentes.

## 2.- Zona de estudio

### 2.1. Localización

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo el estudio y análisis crítico de los problemas de erosión en los deltas mediterráneos, así como de las distintas alternativas para mitigarlos, siendo el ámbito de estudio el delta del río Guadalfeo. Éste se encuentra situado en el sureste de la Península Ibérica ( $36^{\circ} 43' N$ ;  $3^{\circ} 35' W$ ).



**FIGURA 1. Zona costera del Delta del río Guadalfeo**

De forma general, nuestro tramo objeto de estudio se encuentra en la Comunidad Autónoma de Andalucía, en la Costa Tropical de la provincia de Granada. El delta se encuentra delimitado al oeste por el peñón de Salobreña y al este por el puerto de Motril, comprendiendo una distancia de algo menos de 7 kilómetros. La actual desembocadura del río se encuentra encauzada y se sitúa entre el peñón de Salobreña y la Punta del Santo. El tramo final del río Guadalfeo, sirve como límite entre los municipios de Salobreña y Motril. En la costa encontramos cinco zonas que cabe destacar: la Playa de Salobreña, la propia desembocadura del Guadalfeo, Playa Granada, la Punta del Santo, y la Playa de Poniente.



Sin embargo, a la hora de discutir las posibles soluciones a los problemas de erosión, nos centraremos en Playa Granada, que se corresponde con el tramo de costa que va desde la desembocadura actual del Guadalfeo hasta la Punta del Santo, de casi 3 kilómetros de longitud.

Playa Granada quedó aislada tras el encauzamiento del río. Debido a este hecho, la playa ha visto reducido por completo el aporte de áridos, al ir el río seco en su desembocadura, lo que ha producido serios problemas debido al acusado retroceso de la línea de costa. El proyecto de construcción de la presa de Rules preveía medidas para evitar esto, pero la inactividad de la administración pública ha llevado a la situación actual.



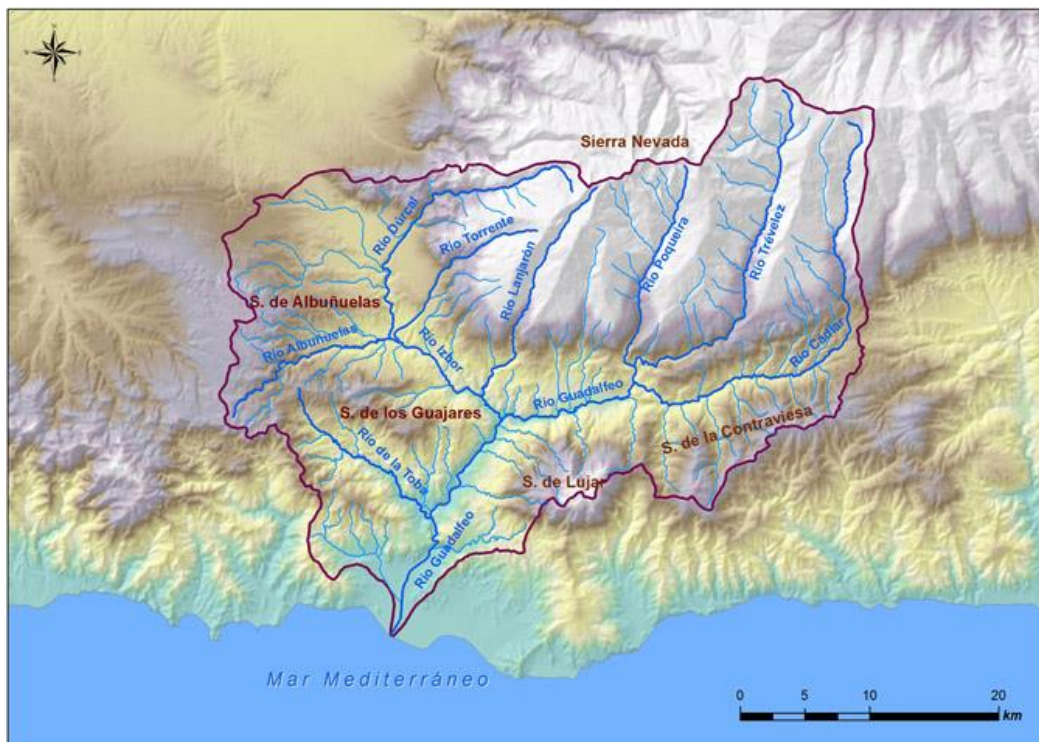
**FIGURA 2. Vista 3D del delta del río Guadalfeo**



## 2.2. Cuenca del Guadalfeo

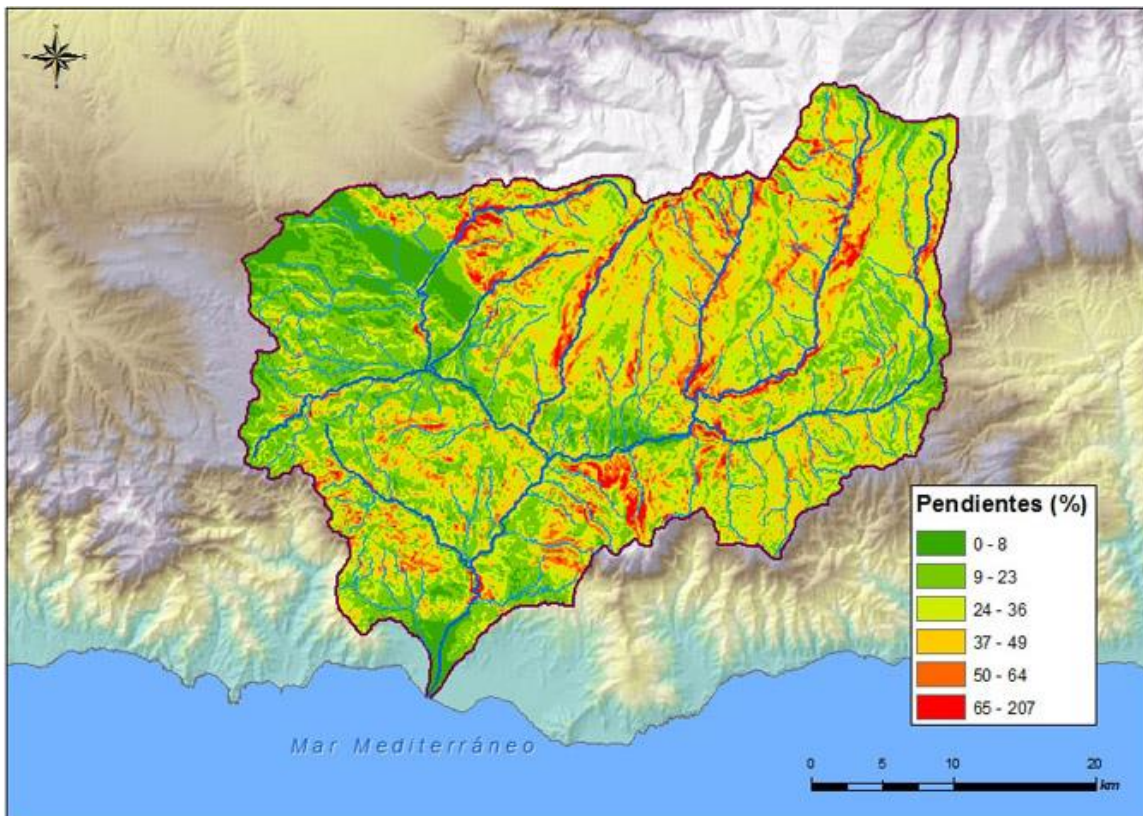
La cuenca del río Guadalfeo está situada en la mitad sur de la provincia de Granada, ocupando una superficie de 1.295 km<sup>2</sup>. Su divisoria norte está en Sierra Nevada, se limita al este por la divisoria de aguas entre el río Guadalfeo y el río Adra, al sureste por las sierras de la Contraviesa y Lújar, y al oeste el valle de Lecrín y la Sierra de los Guájares. Su principal afluente es el río Ízbor, cuya cuenca de 456 km<sup>2</sup> de extensión, ocupa más de la tercera parte de la superficie total de la cuenca. El río Ízbor tiene a su vez 3 afluentes principales que drenan la terminación oeste de Sierra Nevada: los ríos Lanjarón, Torrente y Dúrcal.

Los afluentes nororientales más importantes del río Guadalfeo son, de este a oeste, los ríos Cadiar, Trevélez y Poqueira, que drenan el margen suroriental de Sierra Nevada. Esta parte de la cuenca se asienta sobre la comarca de las Alpujarras, con altitudes que superan los 2000 m.s.n.m. El resto de la cuenca de este río se sitúa sobre la comarca del valle de Lecrín, que constituye una zona de transición entre la Vega del Genil, La Alpujarra, la propia Sierra Nevada y la zona costera, y presenta un característico microclima. La cuenca baja comprende la denominada Vega de Motril-Salobreña, ocupada por una llanura aluvial y el delta del río, de morfología prácticamente llana. Esta zona se extiende desde el estrecho valle por el que penetra el río Guadalfeo, procedente de su cuenca alta, hasta el mar; en el sector más próximo al litoral.



**FIGURA 3.** Mapa hipsométrico de la cuenca del río Guadalfeo. Divisoria, sierras que la delimitan y afluentes.

Una de las características más significativas de la cuenca del Guadalfeo es su abrupto relieve, que pasa de alturas de más de 3000 metros en cabecera a cota 0 en apenas 40 kilómetros. Esta característica le confiere al río Guadalfeo un gradiente muy elevado, así como un alto poder erosivo, lo que favorece el transporte de sedimentos, pudiendo encontrar desde arenas hasta bolos, en gran variedad de gradación y mezcla. Los valores medios de pendiente son superiores al 35%, lo que permite hablar de una región muy accidentada. Las mayores elevaciones se localizan en su parte norte.



**FIGURA 4. Mapa de pendientes de la cuenca del río Guadalfeo.**

En cuanto a sus características climáticas se trata de una cuenca semiárida con un clima subtropical mediterráneo cuyos valores de precipitación anual tienen una gran variabilidad espaciotemporal, yendo desde 460 mm/año en los valles (altitudes menores de 600-800 m.) hasta los 630 mm/año en las zonas montañosas (altitudes a partir de los 1500 m.). En las zonas de alta montaña (altitudes por encima de los 2500m.) aproximadamente el 70% de la precipitación anual cae en forma de nieve. Por tanto, el régimen hidrológico de la cuenca se encuentra muy condicionado por la presencia de nieve en Sierra Nevada en los meses de noviembre a junio. Los meses de verano son muy secos debido a la influencia del anticiclón de las Azores, mientras que la precipitación media aumenta en los meses de otoño e invierno. Estos factores producen grandes variaciones estacionales en el régimen de caudales.

## 2.3. Afecciones

Dentro de la cuenca del Guadalfeo, encontramos varias afecciones a nuestra playa de estudio aparte del encauzamiento ya explicado. Estas afecciones se corresponden con varias infraestructuras de gestión y regulación hidrológica -presas de Béznar y Rules, y el dique del Granadino- y el puerto de Motril.

- La presa de Béznar ( $36^{\circ} 54' 54''$  N;  $3^{\circ} 32' 43''$ ), construida entre los años 1977 y 1985, se encuentra situada sobre el río Ízbor, afluente principal del Guadalfeo, donde termina el Valle de Lecrín, en los términos municipales de las mancomunidades de El Pinar y Lecrín. Es una presa de bóveda de doble curvatura, con una cota de cimentación de 134 m y una cota de cauce de 110 m. La longitud de coronación es de 408 m. La longitud del río afectada por el embalse de Béznar es de 4,4 Km.



**FIGURA 5. Presa de Béznar**

- Por otro lado, la presa de Rules ( $36^{\circ} 51' 35''$  N;  $3^{\circ} 29' 40''$ ), fue construida entre los años 1993 y 2003. Está situada sobre el río Guadalfeo, a unos 4 kilómetros aguas abajo de donde convergen éste y el río Ízbor. Se trata de una presa de tipo arco-gravedad de 500 m de radio. Presenta una cota de cimentación de 130 m y una cota de cauce de 100 m. La cota y longitud de coronación son de 250 y 620 m respectivamente. El aliviadero es de labio fijo y el cuenco amortiguador de tipo trampolín sumergido.



Desde su construcción, la presa de Rules ha influido y condicionado en gran medida la morfología y dinámica del delta del Guadalfeo, ya que con su puesta en funcionamiento quedan reguladas prácticamente la totalidad de las aportaciones de agua en la cuenca, a excepción de las procedentes del río de la Toba, los acuíferos de Escalate y el Delta y, presumiblemente, una parte de los procedentes de la Sierra de Lújar.



**FIGURA 6. Presa de Rules**

- Asociado a esta presa encontramos el Dique del Granadino, situado en la cuenca alta del río Guadalfeo, cerca de la confluencia de los ríos Poqueira y Trevélez. Entrado en funcionamiento en el año 2002, este dique fue construido con el fin de retener sedimentos y evitar el rápido aterramiento del embalse de Rules y su consecuente menor eficacia para almacenar agua en los años próximos; sin embargo, presenta problemas de colmatación desde las fuertes lluvias que cayeron en la zona en 2010.
- Otra afección cercana a nuestra playa de estudio es el puerto de Motril, construido entre 1908 y 1927. Está situado entre la punta del Santo y el cabo Sacratif ( $36^{\circ} 43' N$ ,  $3^{\circ} 31' W$ ). Se encuentra en mar abierto y no presenta abrigo natural. Se protege con un dique paralelo a la costa y un contradique sensiblemente perpendicular al anterior. La boca de entrada al puerto está orientada al suroeste y tiene un ancho de 250 metros.

## 2.4. Climatología, oleaje y viento de la zona

Para caracterizar el oleaje y el viento de nuestra zona de estudio vamos a servirnos de los registros históricos obtenidos de Puertos del Estado. Para ello seleccionamos el punto SIMAR 2041080 que es el más cercano a Playa Granada, el cual cuenta con información desde el año 1958 hasta la actualidad, seleccionando los datos correspondientes a todo este intervalo para obtener una mayor fiabilidad en la caracterización del oleaje y el viento. Los datos recogidos han sido representados en las correspondientes rosa del oleaje y rosa de vientos.

En esta rosa del oleaje está representada la altura de ola significativa, junto con su dirección y la frecuencia con la que se presenta, que son los principales parámetros que definen el oleaje.

Como se observa, nos encontramos con dos direcciones de oleaje predominantes, el suroeste (SW) y el este (E), y la altura significativa de ola muy baja, predominando la inferior a un metro. En menor medida encontramos oleaje de entre uno y dos metros de altura, siendo ya el superior a dos metros despreciable.

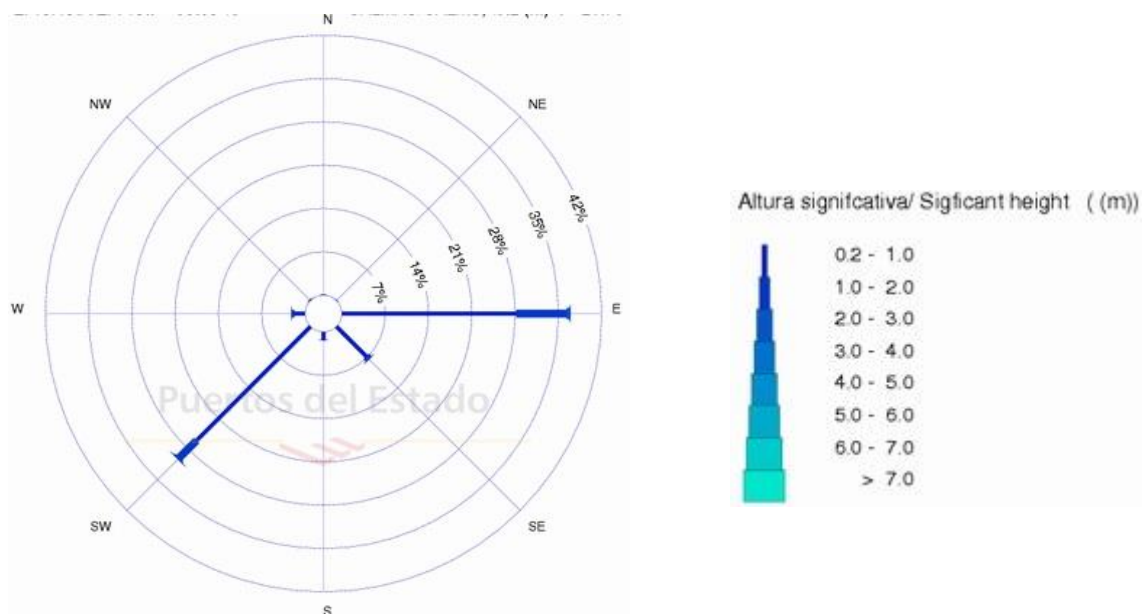
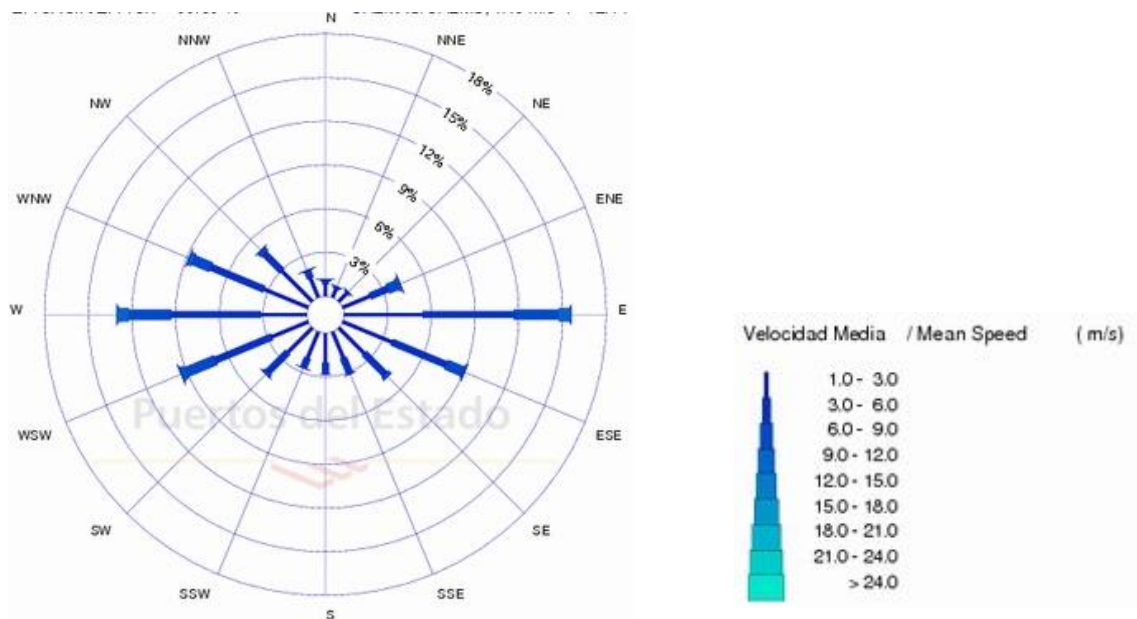


FIGURA 7. Rosa del oleaje obtenida del punto SIMAR 2041080

Del mismo modo, con los datos referentes al viento, representamos la rosa de los vientos con la velocidad media, así como su dirección y frecuencia, que son los principales parámetros que caracterizan el viento.

Se observan dos direcciones principales del viento la oeste (W) y la este (E), siendo los vientos predominantes de entre unos 3-6 m/s. Los vientos superiores a 15 m/s son poco frecuentes.



**FIGURA 8. Rosa de los vientos obtenida del punto SIMAR 2041080**

## 2.5. Actuaciones de regeneración en Playa Granada

Desde el año 2005 se han empleado más de diez millones de euros en continuas regeneraciones en el litoral granadino, siendo Playa Granada una zona especialmente vulnerable, que ha requerido un porcentaje muy elevado de estas partidas. Estas actuaciones, realizadas con sedimentos procedentes de la contigua Playa de Poniente, sólo tapan temporalmente el problema, siendo necesario llevar a cabo soluciones que acaben con esta situación de una manera definitiva. A continuación vamos a numerar los planes de regeneración efectuados en Playa Granada desde 2005, describiendo con más detalle los realizados en los últimos tres años:

- Obras de emergencia: Playa Granada; T.M Motril.
- Mantenimiento y conservación de la Costa de Granada, 2006.
- Mantenimiento y conservación de la Costa de Granada 2006-2009.
- Regeneración de Playa Granada y la Cagadilla; TT. MM de Motril y Salobreña.
- Mantenimiento y conservación de la costa de Granada 2008-2011.
- Conservación y mantenimiento del litoral de la provincia de Granada, 2012-2013.
- Conservación y mantenimiento del litoral de la provincia de Granada, 2014.
- Trasvase de arena en Playa Granada y la Cagadilla; TT.MM Motril y Salobreña.

En los últimos tres años, estos problemas de erosión se han acentuado, incrementándose las actividades de regeneración efectuadas en la zona y que en algunos casos han tenido una vida útil de meses o de incluso días. A continuación se exponen las actuaciones realizadas en Playa Granada en los últimos tres años:

- Regeneración junio 2014

Entre los días 10 y 17 de junio del año 2014 se realizó un bypass de sedimentos en Playa Granada, extrayéndolos de la parte oeste del dique de abrigo del puerto de Motril y depositándose en Playa Granada.

- Regeneración diciembre 2014

En diciembre de 2014 se llevó a cabo una regeneración artificial en Playa Granada, en la que se aportaron más de 120.000 metros cúbicos de sedimentos procedentes de Playa de Poniente (junto al dique de abrigo del puerto de Motril). Los trabajos finalizaron el 10 de diciembre.

- Regeneración julio 2016

Durante los días 18 y 19 de julio de 2016 se realizó una regeneración en playa Granada en la zona del complejo Robinson, transportando arena mediante camiones desde la parte final de Playa de Poniente hasta Playa Granada.

- Regeneración abril 2017

Durante la primera semana de abril se llevó a cabo un Plan de emergencia con un presupuesto de 729.000 € para paliar los daños provocados por el temporal que en febrero afectó a ocho playas granadinas, entre ellas Playa Granada. El aporte de sedimentos para la regeneración de nuestra playa de estudio procedía una vez más de Playa de Poniente.

- Regeneración junio 2017

En esta regeneración, realizada hace apenas tres meses y que contó con una inversión de 98.000 euros, se actuó sobre doce puntos del litoral granadino, entre ellos Playa Granada. En concreto, los trabajos en Playa Granada y Playa de Poniente acabaron el día 28 de junio.

El 30 de junio, solamente dos días después de la finalización de las obras, un temporal de poniente arrastró gran parte de los sedimentos aportados en esta última regeneración.



a)



b)



c)



d)



**FIGURA 9**

**a. Arena destinada a la regeneración de Playa Granada en junio 2014.**

**b. Situación de la playa antes de la regeneración (panel superior) y el aporte de sedimentos (panel inferior).**

**c. Actividades durante la regeneración de julio de 2016.**

**d. Estado de Playa Granada a la altura del Hotel Robinson tras la regeneración de abril de 2017.**

Todas estas actuaciones de regeneración evidencian la problemática existente en la zona, y la necesidad de disponer medidas efectivas que solucionen la situación en Playa Granada a largo plazo.

## 3.-Metodología

En este apartado se va a analizar la metodología seguida para obtener los resultados en este TFG. Para ello, se ha estudiado la zona constituida por la Playa de Salobreña, Playa Granada y Playa de Poniente, delimitada al oeste por el Peñón de Salobreña y al este por el puerto de Motril. Para dicho análisis se ha hecho uso de las ortofotografías históricas y actual obtenidas tanto del IECA (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía) como del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) correspondientes a nuestra zona de estudio. También se ha empleado la información histórica correspondiente a los usos del suelo, obtenida del SIOSE, y la información sobre la evolución de la línea de costa facilitada por los profesores.

### 3.1. Datos

#### 3.1.1 Ortofotografías

Se ha hecho uso de una serie de ortofotografías para realizar el estudio de la evolución de la superficie urbanizada. A continuación se describe con detalle tanto sus características como la base de datos de donde han sido obtenidas. Las dos bases de datos utilizadas para la obtención de las ortofotos han sido las siguientes:

- Ortofotografías del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía:

A través del Localizador de Información Espacial de Andalucía (servicio Line@) se han obtenido las siguientes imágenes:

- Año 1956: Ortofotografía pancromática, resolución 1 metro / pixel. Georreferenciación: ED50. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 1977: WMS Ortofotografía pancromática, resolución 1 metro / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 1984: WMS Ortofotografía pancromática, resolución 1 metro / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 1998: Ortofotografía en color, resolución 1 metro / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 2004: Ortofotografía en color, resolución 1 metro / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 2007: Ortofotografía en color, resolución 1 metro / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 2008-2009: Ortofotografía en color, resolución 0,5 metros / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).
- Año 2010-2011: Ortofotografía en color, resolución 0,5 metros / pixel. Georreferenciación: ETRS89. Hoja 1055-43 (Escala 1:10.000).

- Ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA):

De este servicio se obtuvo la hoja 1055, ortofoto correspondiente al año 2015. Esta imagen tiene una resolución de 0,5 metros / pixel y se encuentra georreferenciada a ETRS89.

Como se observa, todas las ortofotografías están georreferenciadas al mismo sistema de coordenadas - ETRS89 - excepto la correspondiente al año 1956, que lo está a ED50.

### 3.1.2 Cartografía línea de costa

Para el análisis de la evolución de la línea de costa se ha hecho uso de la información proporcionada por los profesores, correspondiente con varias capas vectoriales de la línea de costa de nuestra zona de estudio. Estas capas corresponden con la línea de costa medida en diferentes años: 1947, 1956, 1973, 1977, 1981, 1993, 1995, 1998, 1999, 2001, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 y 2014.

### 3.1.3 Cartografía usos del suelo

Para el análisis de la evolución de los usos del suelo se ha hecho uso de una capa vectorial multitemporal con información de los usos del suelo y cobertura vegetal de los años 1956, 1999, 2003 y 2007.

La información de los usos del suelo viene recogida en la tabla de atributos por medio de un código cartográfico, el cual, al contrastarlo con la leyenda del mapa de usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía, permite elaborar una leyenda agrupando todos los códigos en los catorce tipos de usos del suelo más representativos para nuestra zona de estudio.

La capa multitemporal de los usos del suelo está georreferenciada a la proyección ED50. Las ortofotografías están en la proyección ETRS89, a excepción de la correspondiente con el año 1956; por tanto, tenemos que obtener otra capa vectorial de los usos del suelo georreferenciada a la proyección ETRS89 para los años 1999, 2003 y 2007. Para ello utilizamos el software de información geográfica gvSIG, el cual, mediante el gestor de geoprocetos, nos permite generar una capa georreferenciada a ETRS89 a partir de otra que lo esté a ED50, y viceversa. Una vez obtenida esta nueva capa para los usos del suelo, tenemos las ortofotos correspondientes a los años 1999, 2003 y 2007 y la capa vectorial de los usos del suelo en el mismo sistema de referencia, de manera que ya podemos trabajar superponiendo esta información.

## 3.2. Análisis de datos

### 3.2.1. Evolución de la línea de costa

Para el análisis de la evolución de la línea de costa hemos generado diversos mapas utilizando la ortofotografía más actual de la que se dispone, correspondiente con el año 2013, y cargando sobre ella mediante el software de información geográfica gvSIG las capas vectoriales de la línea de costa en diferentes años.

Inicialmente se han creado mapas con información de la línea de costa desde 1947 hasta 1999. Posteriormente, a partir de este año, los mapas que se han generado presentan solamente tres líneas de costa temporales cada uno. Esto se debe a que en el año 2004 entra en funcionamiento la presa de Rules, por lo que es de gran interés analizar de manera más pormenorizada las variaciones en la línea de costa en los años inmediatamente anteriores y en los posteriores a la puesta en funcionamiento de esta infraestructura de gestión y regulación hidrológica.

### 3.2.2. Evolución de la superficie construida

Para el análisis de la superficie urbanizada en torno a la costa de Playa Granada, lo primero que hemos hecho ha sido definir el ámbito de estudio. Éste ha venido delimitado por la carretera nacional N-340 y la costa.

Una vez fijado el ámbito de estudio, el siguiente paso ha sido marcar la superficie urbanizada sobre cada una de las ortofotografías anteriormente descritas, señalando todo tipo de construcción: tanto tejido urbano como urbanizaciones dispersas, zonas industriales y comerciales. Para ello se ha usado el software gvSIG, creando una capa vectorial tipo polígono para la superficie construida de cada una de las ortofotos estudiadas. Asimismo, empleando este mismo software, se ha generado un campo llamado "Área", y mediante la herramienta "Expresión" hemos obtenido el valor en unidades de superficie de nuestro área construida.

A partir de los datos obtenidos, se ha elaborado una gráfica con la evolución temporal de la superficie construida así como varios mapas donde se observa esta evolución.

### 3.2.3. Evolución de los usos del suelo

Para el análisis de la evolución de los usos del suelo, hemos definido el mismo ámbito de estudio que para el estudio de la evolución de la superficie urbanizada, el que queda delimitado por la carretera N-340 y la línea de costa.

A partir de la cartografía para los usos del suelo anteriormente descrita, y haciendo uso de la información de los usos y coberturas vegetales del suelo de Andalucía, se han generado cuatro mapas correspondientes con los años 1956, 1999, 2003 y 2007, donde se aprecia la evolución de los usos del suelo en nuestro ámbito de estudio.

La capa generada de los usos y coberturas vegetales del suelo se ha superpuesto a las ortofotografías correspondientes a dichos años, para conseguir un análisis más visual de los mapas.

## 4.- Resultados

A continuación se van a exponer los resultados obtenidos tras el estudio de las evoluciones de la línea de costa, la superficie urbanizada y los usos del suelo.

### 4.1. Evolución de la línea de costa

En este apartado se van a exponer los resultados obtenidos tras analizar la evolución de la línea de costa en nuestra zona de estudio desde el año 1947 hasta la actualidad.

#### 4.1.1. Periodo 1947 – 1999

En primer lugar se va a estudiar la evolución general de la línea de costa en el delta del Guadalfeo desde 1947 hasta 1999.

Como se observa (figuras 10-13), en este periodo no encontramos ninguna tendencia clara de evolución, alternándose periodos de avance y de retroceso en la línea de costa. Esto presumiblemente se debe a los variables aportes del río en la serie histórica estudiada. Si nos paramos a estudiar con más detalle el tramo de estudio por zonas, se observa que en la Playa de Salobreña (figura 11), que va desde el peñón de Salobreña hasta la desembocadura del Guadalfeo, la línea de costa ha ido avanzando desde 1947 hasta 1973, a partir de aquí sufrió un leve retroceso y ha mantenido una tendencia bastante estable hasta 1999. En el tramo de Playa Granada (figura 12), ubicado desde la desembocadura hasta el peñón del Santo, se produce un progresivo retroceso en la línea de costa desde 1947 hasta 1999; sin embargo, esto contrasta con el gran volumen de sedimento acumulado en la desembocadura del río en los años 1998-1999. Esto probablemente sea consecuencia de varios episodios de tormenta producidos en esos años. En el último tramo, el de Playa de Poniente (figura 13), que va desde el peñón del Santo hasta el puerto de Motril, se observa, al contrario que en los otros tramos, un avance de la línea de costa, debido al obstáculo que supone para los sedimentos el dique del puerto, unido a los oleajes predominantes de suroeste.





FIGURA 10. Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el delta del Guadalfeo



FIGURA 11. Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el tramo de la Playa de Salobreña





FIGURA 12. Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el tramo de Playa Granada



FIGURA 13. Evolución de la línea de costa entre 1947 y 1999 en el tramo de Playa de Poniente



#### 4.1.2. Periodo 1999 – 2014

A continuación vamos a estudiar la evolución de la línea de costa desde 1999 hasta 2004. Para realizar este estudio con más detalle vamos a dividir nuestra zona en 4 tramos:

- **Tramo 1**

Consideramos el tramo 1 la Playa de Salobreña - desde el peñón de Salobreña hasta la desembocadura del Guadalfeo -. En este tramo no podemos definir un patrón de evolución claro, puesto que se alternan periodos de avance con periodos de retroceso de la línea de costa.

En el período 1999-2004 (figura 14) se produce un ligero avance de la línea de costa, aunque también se observa un retroceso en este mismo período en la zona cercana a la desembocadura. En el siguiente período, 2004-2008 (figura 15), vemos como se invierte esta tendencia de avance y la línea de costa retrocede levemente. Esto puede deberse a la entrada en funcionamiento de la presa de Rules en el año 2004. En los siguientes periodos, tanto 2008-2010 (figura 16) como 2010-2014 (figura 17), vemos como esta playa se estabiliza, produciéndose leves variaciones en la línea de costa, incluso solapándose entre sí las correspondientes a varios años, lo que sugiere que esta zona del sistema se encuentra en equilibrio.



FIGURA 14. Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 1



**FIGURA 15. Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 1**



**FIGURA 16. Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 1**





**FIGURA 17. Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 1**

- **Tramo 2**

El tramo 2 se corresponde con el entorno de la desembocadura del río Guadalfeo, que es la zona más afectada de todo nuestro ámbito de estudio, en el que se presenta una tendencia clara de erosión de la línea de costa. Pasamos a estudiarlo en detalle:

Partimos de una situación inicial en el año 1999 con una gran acumulación de sedimentos en la desembocadura. Estos sedimentos se habían acumulado entre los años 1995 y 1999. Esto probablemente fuera debido a varios episodios de tormenta que habrían tenido lugar en esos años. A partir de aquí, en el periodo 1999-2001 (figura 18) se produce una importante erosión, que se mantiene hasta el 2004 (figura 18). En este periodo vemos como la línea de costa se suaviza, repartiéndose los sedimentos a ambos lados de la desembocadura y alcanzando el equilibrio anterior a 1999. En el siguiente período, 2004-2007 (figura 19), observamos la gran erosión sufrida en la desembocadura, probablemente debida a la entrada en funcionamiento de la presa de Rules en el año 2004. Esta erosión es mayor al este de la desembocadura, debido principalmente a que los oleajes más fuertes proceden del suroeste. En el periodo 2007-2009 (figuras 19 y 20) vemos como la erosión se mantiene aunque se suaviza en gran medida.

Entre el año 2009-2010 (figura 20) vemos una gran acumulación de sedimentos en torno a la desembocadura. Esto es debido a que en este año tuvo lugar una gran avenida que produjo una considerable descarga de caudal desde la presa de Rules. Esto se tradujo en un gran aporte de sedimentos y un avance en la línea de costa, que de nuevo es más pronunciada al este de la desembocadura. En el período siguiente, 2010-2014 (figura 21), y tras estos episodios de avenidas, se observa como continúa la erosión en el entorno de la desembocadura, de nuevo más acusado en la parte este, llegando a perderse prácticamente la totalidad de la playa para el año 2014.



**FIGURA 18. Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 2**

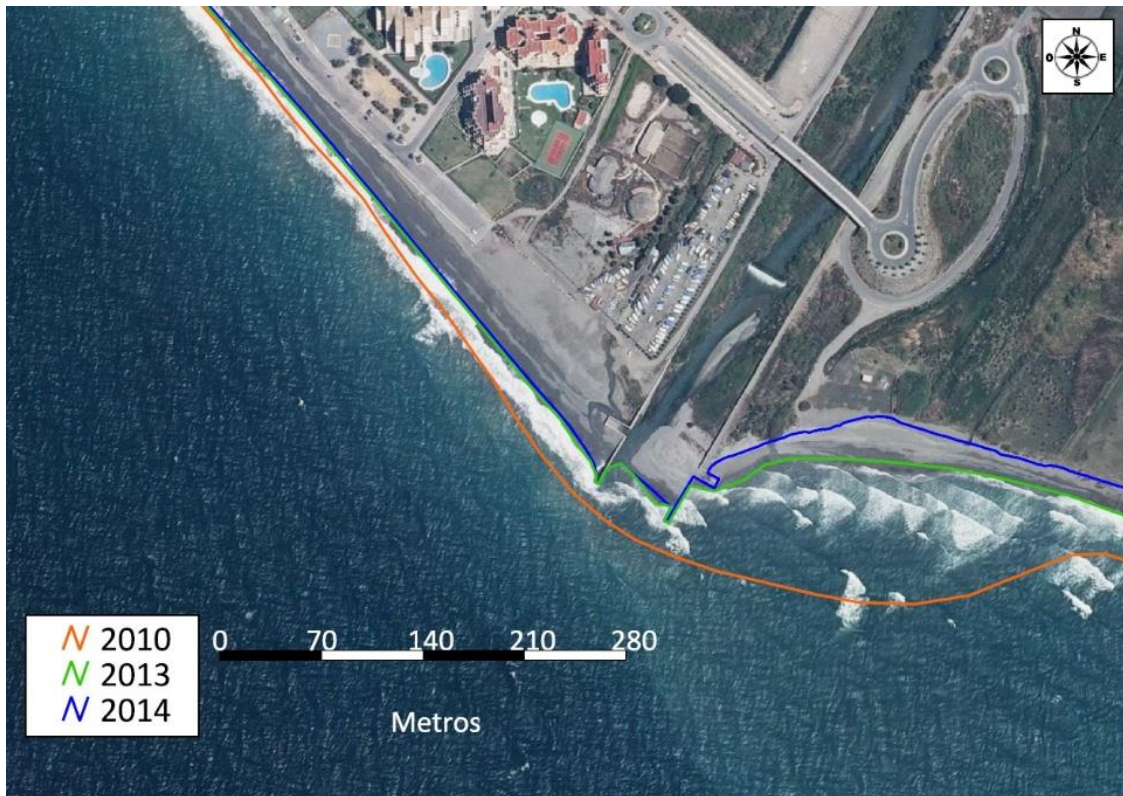




FIGURA 19. Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 2



FIGURA 20. Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 2



**FIGURA 21. Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 2**

- **Tramo 3**

El tramo 3 se corresponde con Playa Granada, desde la desembocadura del Guadalfeo hasta la punta del Santo. Esta zona presenta un comportamiento diferenciado en su parte más occidental, próxima a la desembocadura, y en su zona más oriental, cercana a la Punta del Santo.

En el periodo de 1999-2001 (figura 22) vemos como en la totalidad de la playa se produce un avance en la línea de costa, debido al suavizado en la desembocadura y a la tendencia al equilibrio que ya hemos explicado anteriormente. Entre los años 2001-2004 (figura 22), el tramo presenta una evolución desigual, produciéndose un importante retroceso en la parte occidental, mientras la parte oriental avanza. Esto se puede explicar por el oleaje predominante del suroeste que produce un transporte de sedimentos de la parte occidental a la oriental.

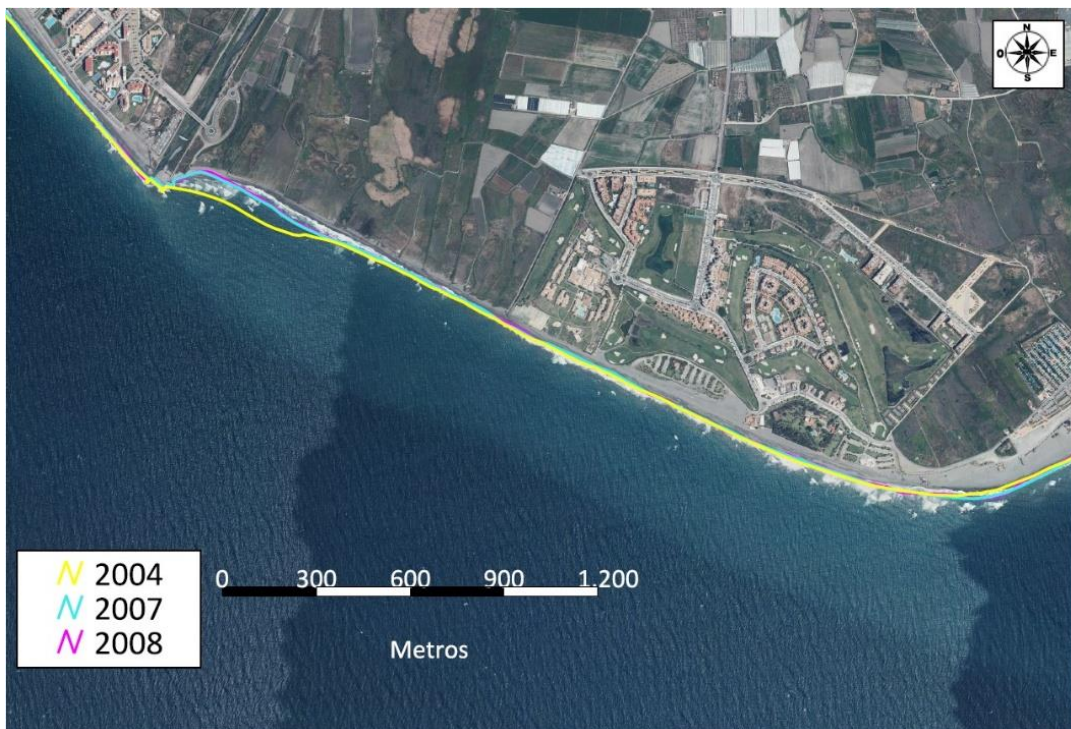
A partir del 2004, con la entrada en funcionamiento de la presa de Rules y, por consiguiente, la disminución en el aporte de sedimentos, se observa como en el periodo 2004-2008 (figura 23) se produce una importante erosión en la parte occidental de Playa Granada, mientras su parte oriental se mantiene estable, sin cambios significativos.



Por último, en el periodo 2009-2014 (figuras 24 y 25) se mantiene esta tendencia, produciéndose una erosión muy importante en la parte occidental de Playa Granada, hasta el extremo de desaparecer la playa en su parte más occidental en el año 2014; mientras que la parte oriental presenta leves retrocesos o se mantiene más estable conforme más nos acercamos a la punta del Santo.

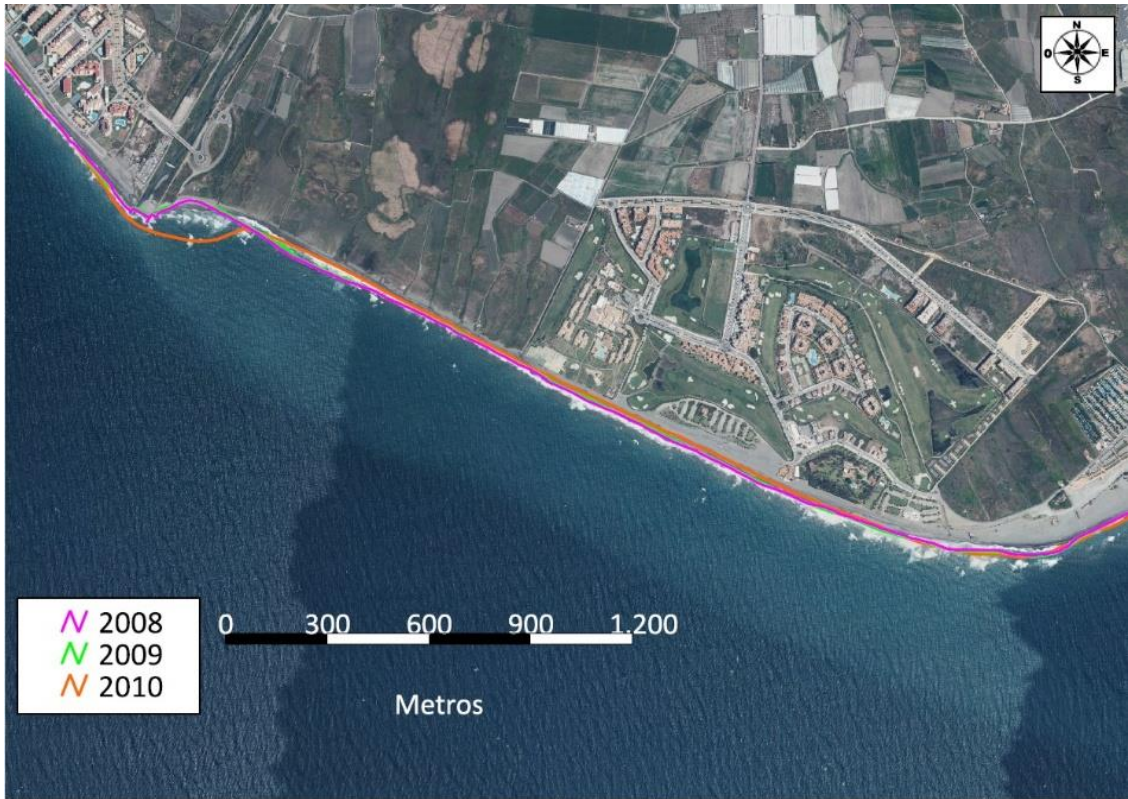


**FIGURA 22. Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 3**



**FIGURA 23. Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 3**





**FIGURA 24. Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 3**



**FIGURA 25. Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 3**



- **Tramo 4**

El cuarto y último tramo de estudio corresponde con la Playa de Poniente, que va desde la Punta del Santo hasta el Puerto de Motril. Debido al transporte longitudinal de sedimentos en dirección W-E, el dique exterior del puerto de Motril actúa como barrera, favoreciendo la acumulación de sedimentos en esta playa, la cual es zona de continuo avance.

En el periodo 1999-2004 (figura 26) se observa cómo se produce un avance en la línea de costa, precisamente en la parte oriental, contigua al dique del puerto. En el periodo 2004-2007 (figura 27) continúa el avance de la línea de costa, si bien ahora se produce en la zona media de la playa.

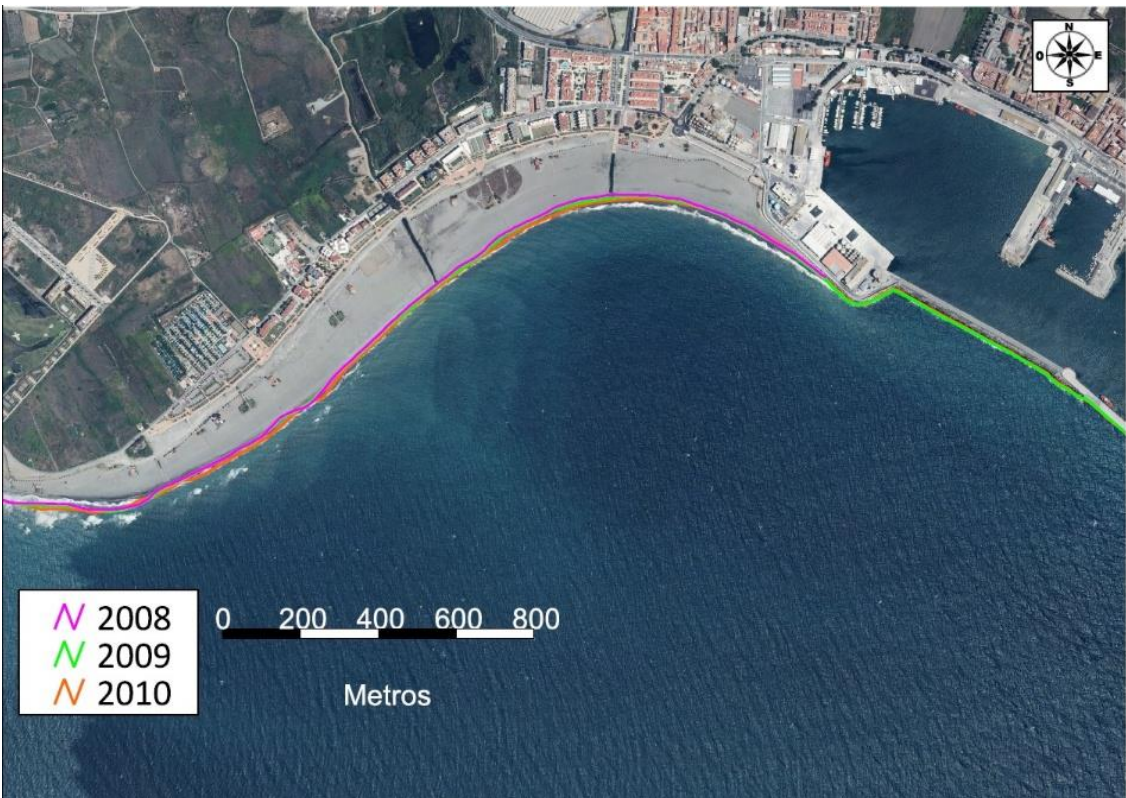
En el periodo 2007-2009 (figuras 27 y 28) la línea de costa se mantiene estable, sin ningún avance destacable. En el año 2010 (figura 28) vemos un nuevo avance de la línea de costa, probablemente debido al gran aporte de sedimentos del río Guadalfeo y su posterior transporte longitudinal hasta Playa de Poniente. En el año 2013 (figura 29) vemos de nuevo un leve avance de la línea de costa en la parte pegada al dique del puerto; mientras que en 2014 este avance se detiene manteniéndose la playa en equilibrio.



**FIGURA 26. Evolución de la línea de costa entre 1999 y 2004 en el tramo 4**

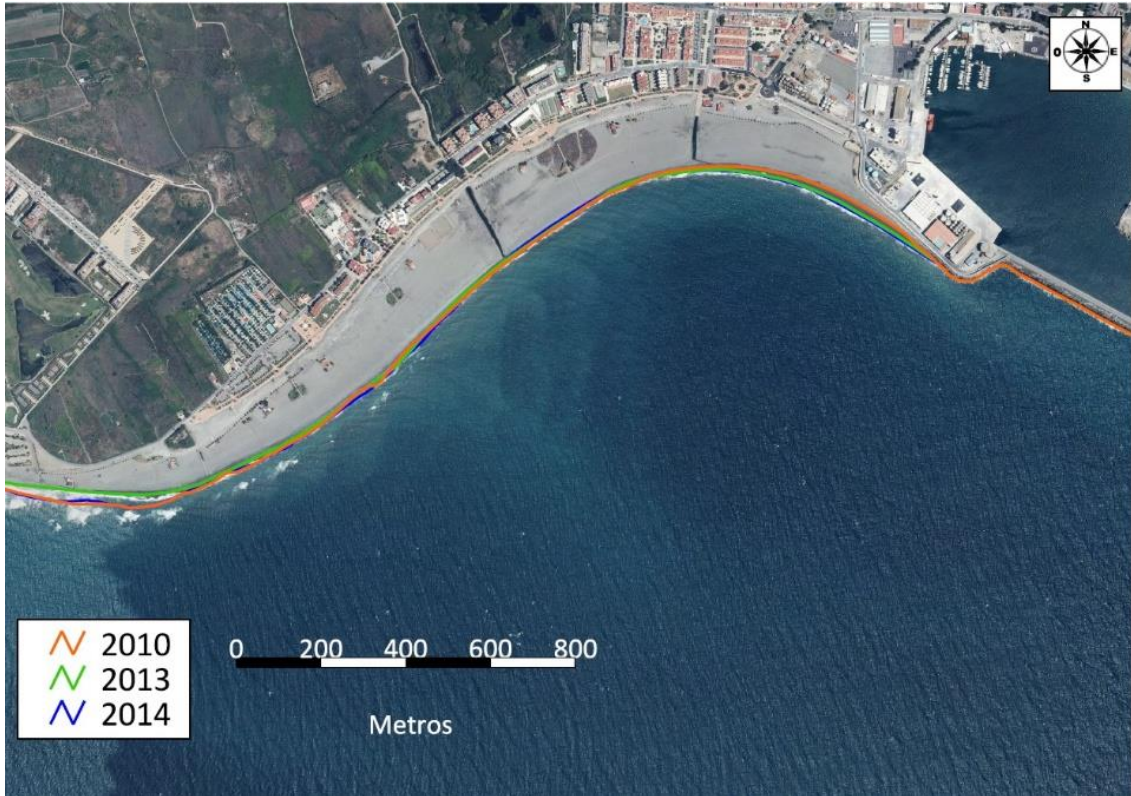


**FIGURA 27. Evolución de la línea de costa entre 2004 y 2008 en el tramo 4**



**FIGURA 28. Evolución de la línea de costa entre 2008 y 2010 en el tramo 4**

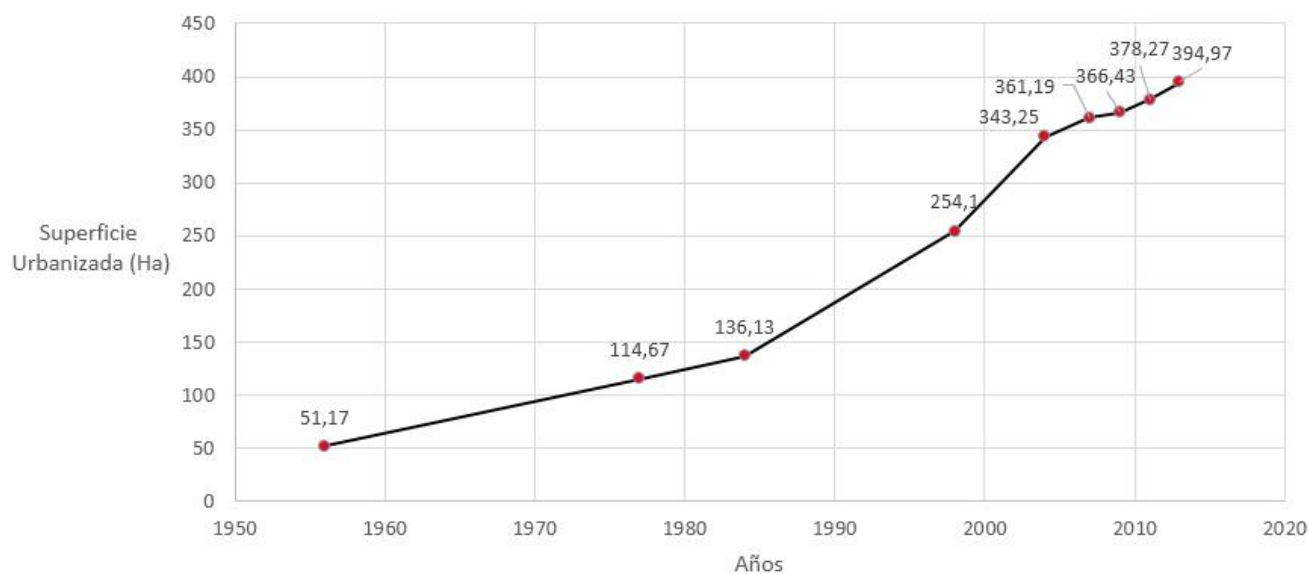




**FIGURA 29. Evolución de la línea de costa entre 2010 y 2014 en el tramo 4**

## 4.2. Evolución de la superficie urbanizada

A continuación se va a exponer un análisis de la evolución histórica mediante el estudio de la superficie urbanizada. Dicho análisis ha sido realizado mediante el estudio de las ortofotografías anteriormente referenciadas, las cuales cuentan con una resolución y precisión limitadas, por lo que los resultados obtenidos no deben considerarse como absolutos, sino orientativos.

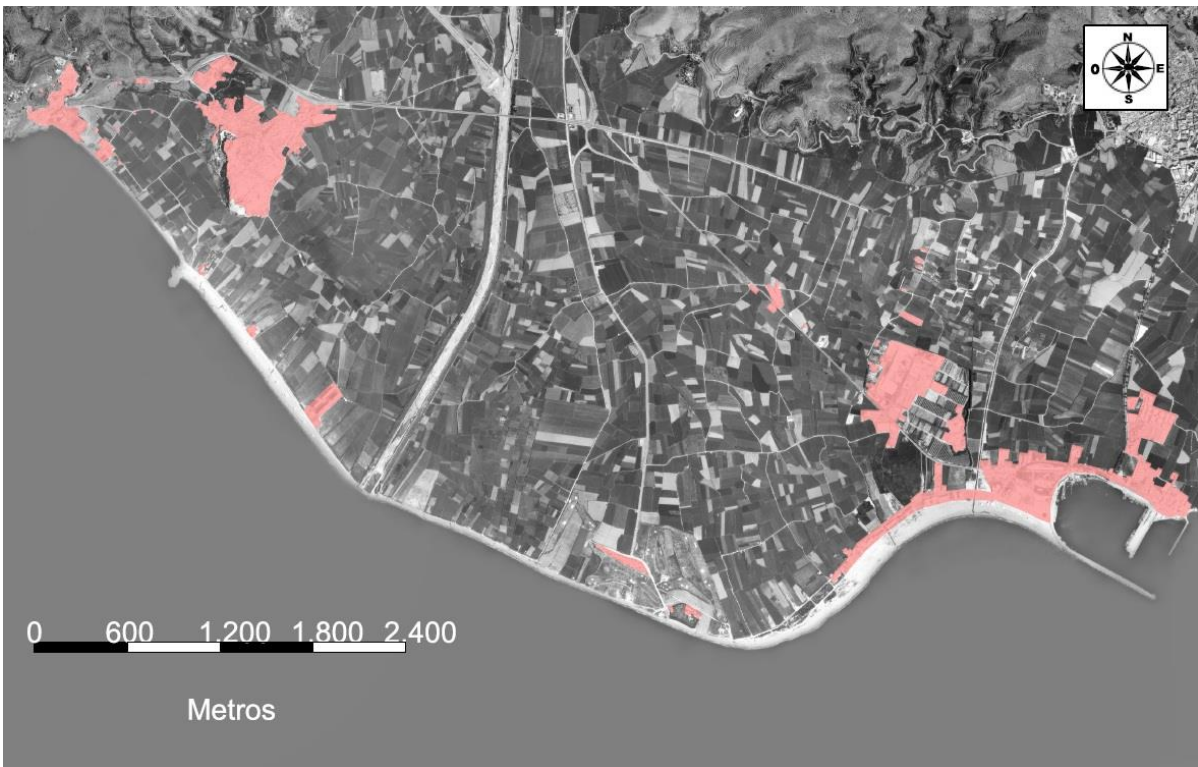


**FIGURA 30. Superficie urbanizada (en ha) para cada una de las ortofotografías**

Tanto en la anterior gráfica como en las siguientes ortofotos se puede apreciar el gran crecimiento urbanístico experimentado en la zona desde el año 1956 hasta 2013, pasando de las 51 ha construidas para el año 1956 hasta las casi 400 ha en la actualidad. Los datos de superficie urbanizada de los que se dispone, se corresponden con los años 1956, 1977, 1984, 1998, 2004, 2007, 2009, 2011 y 2013. Este crecimiento en la superficie urbanizada; sin embargo, ha variado tanto según la zona como el intervalo temporal.

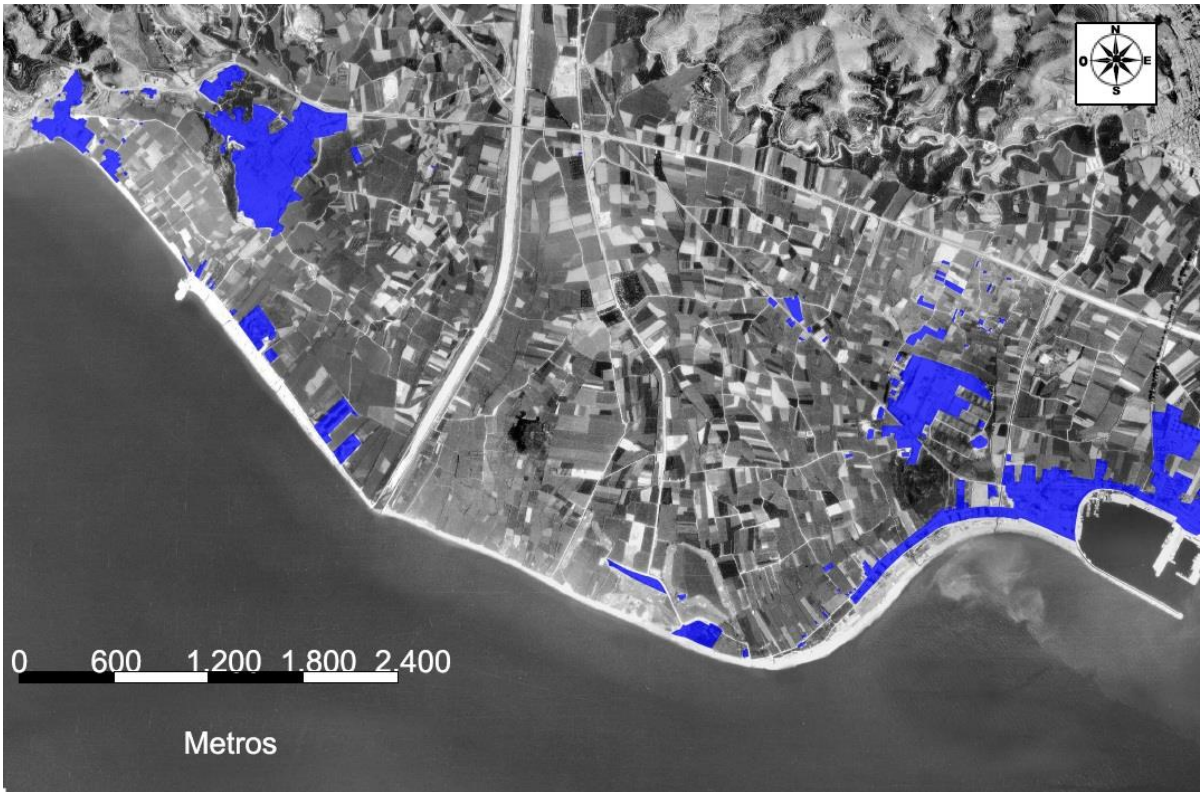


**FIGURA 31. Superficie urbanizada en 1956 en el delta del Guadalfeo**

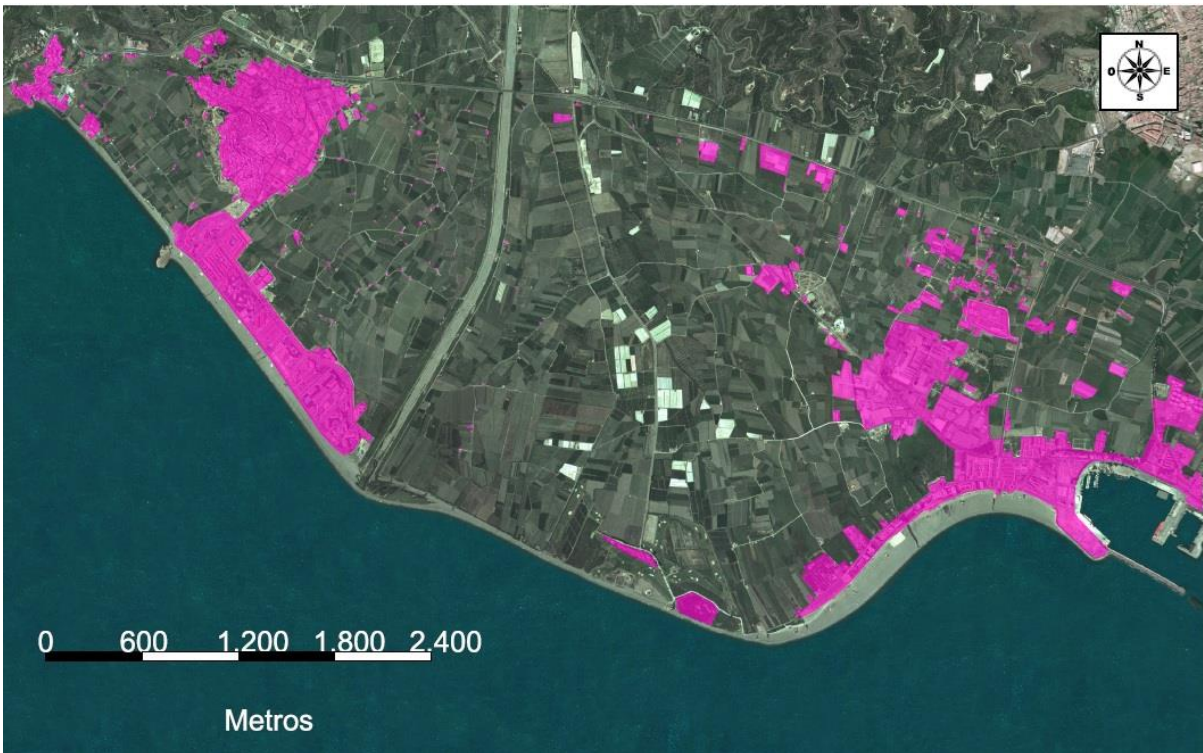


**FIGURA 32. Superficie urbanizada en 1977 en el delta del Guadalfeo**



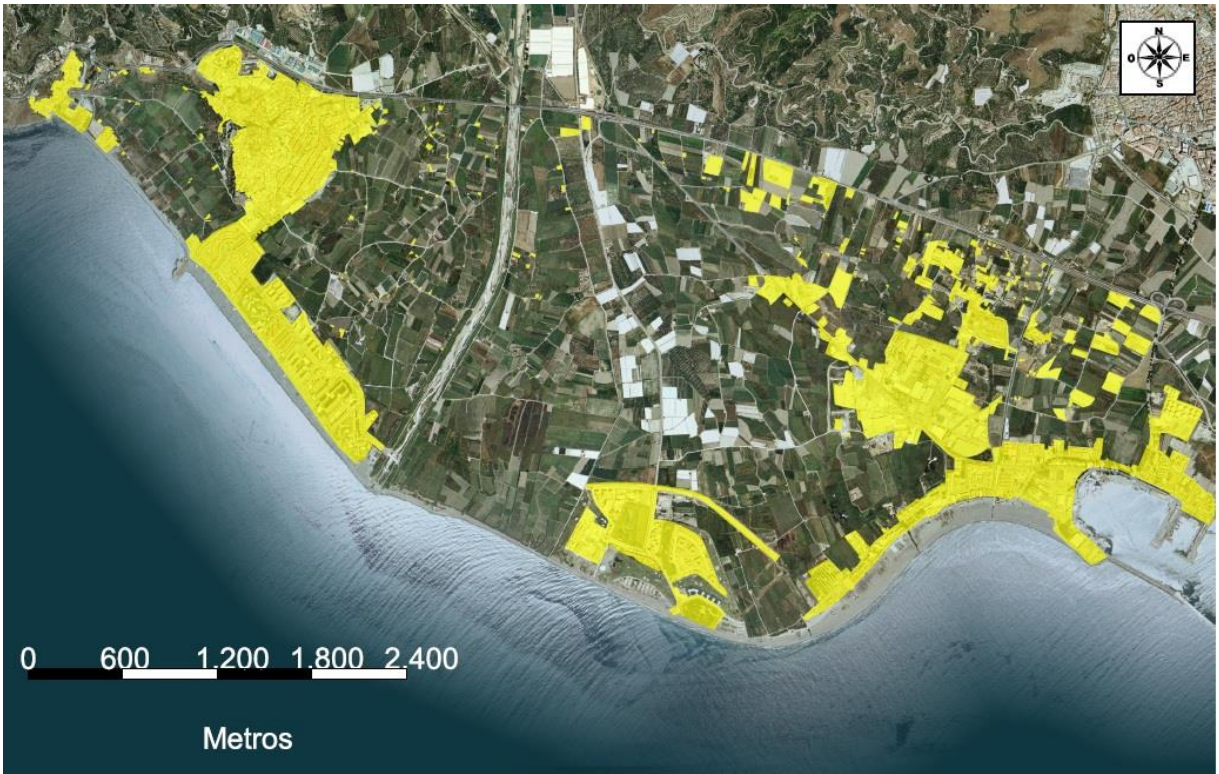


**FIGURA 33. Superficie urbanizada en 1984 en el delta del Guadalfeo**

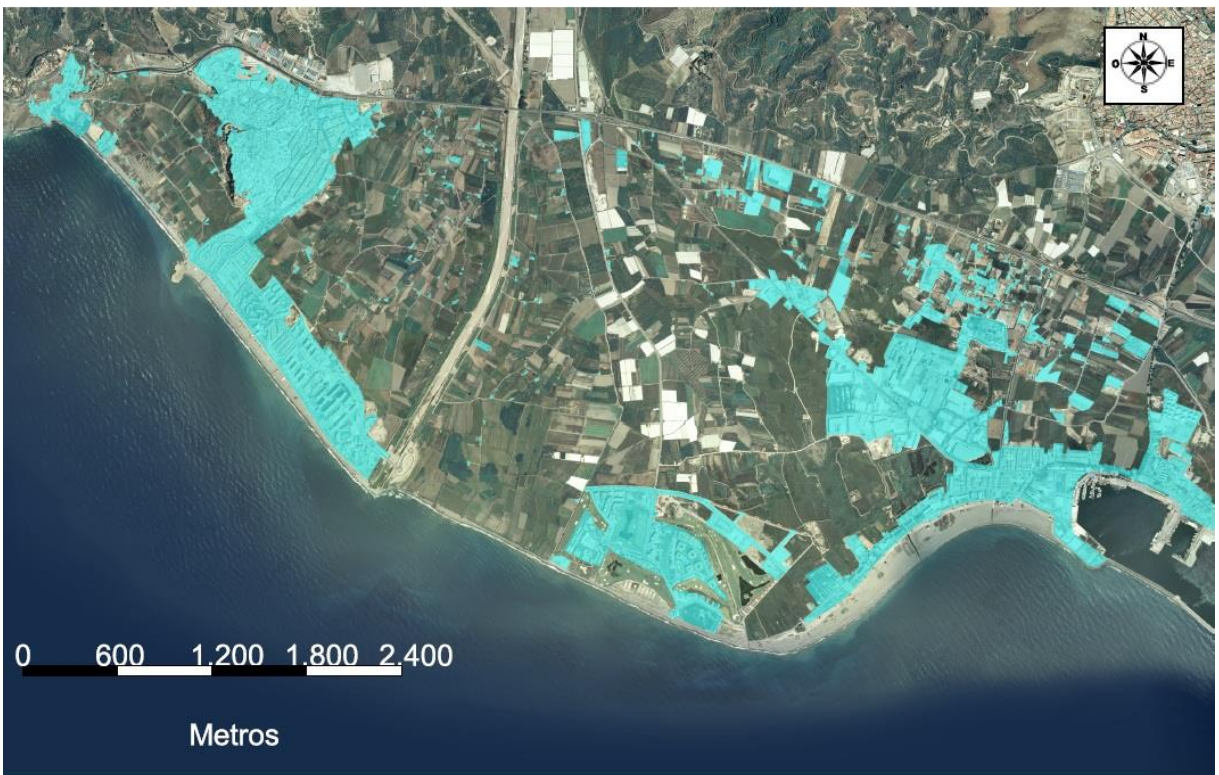


**FIGURA 34. Superficie urbanizada en 1998 en el delta del Guadalfeo**



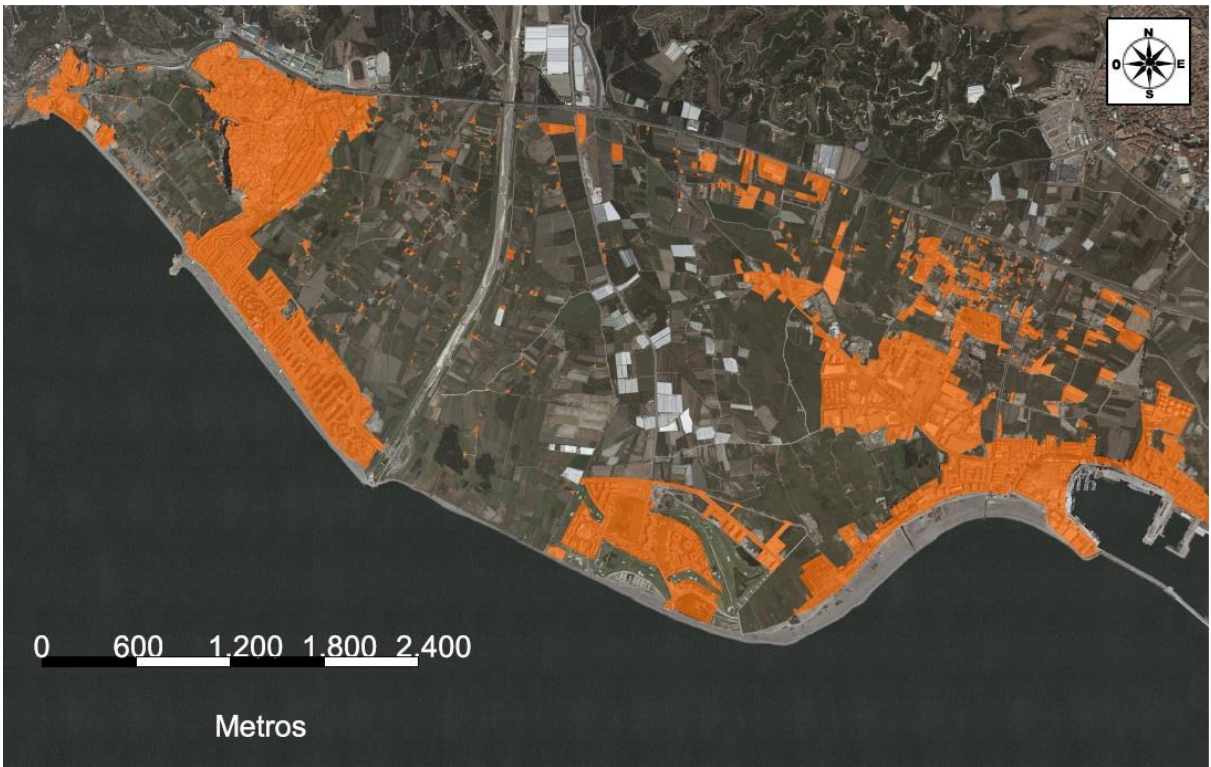


**FIGURA 35. Superficie urbanizada en 2004 en el delta del Guadalfeo**



**FIGURA 36. Superficie urbanizada en 2007 en el delta del Guadalfeo**

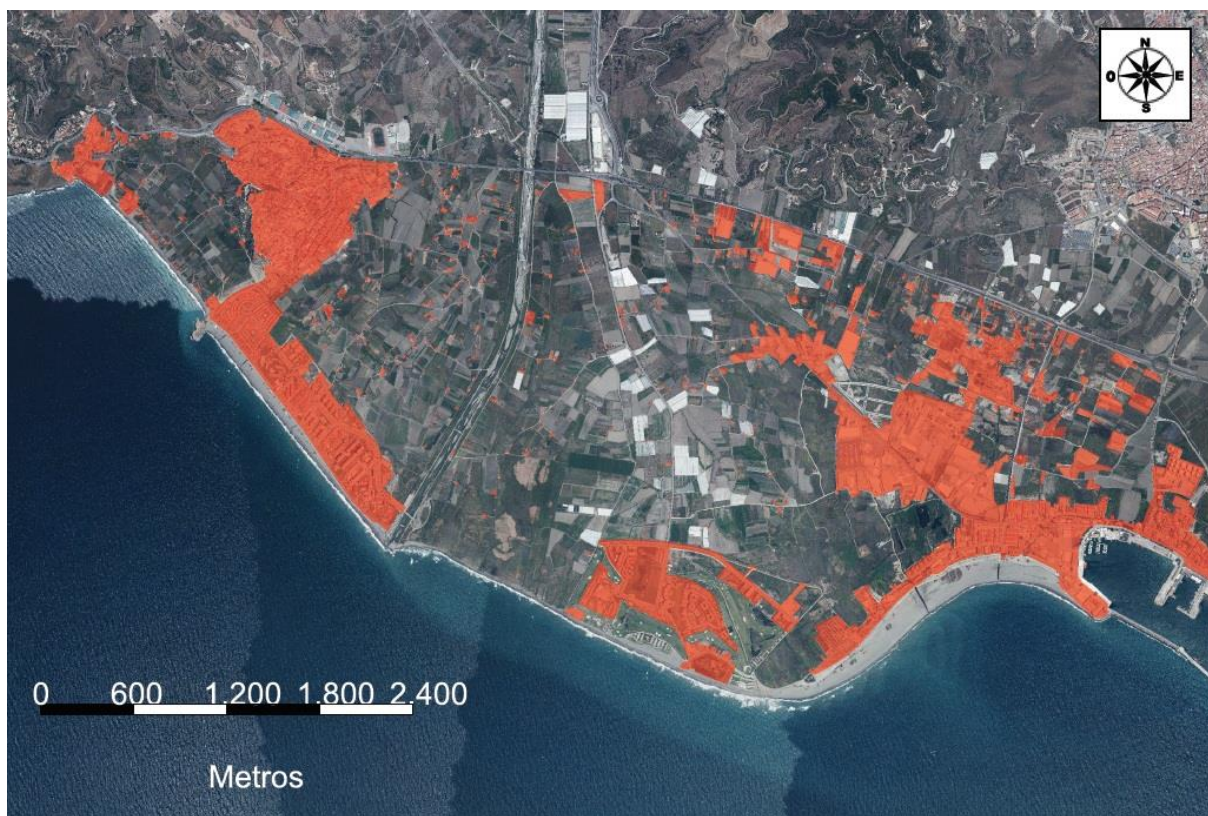




**FIGURA 37. Superficie urbanizada en 2009 en el delta del Guadalfeo**



**FIGURA 38. Superficie urbanizada en 2011 en el delta del Guadalfeo**



**FIGURA 39. Superficie urbanizada en 2013 en el delta del Guadalfeo**

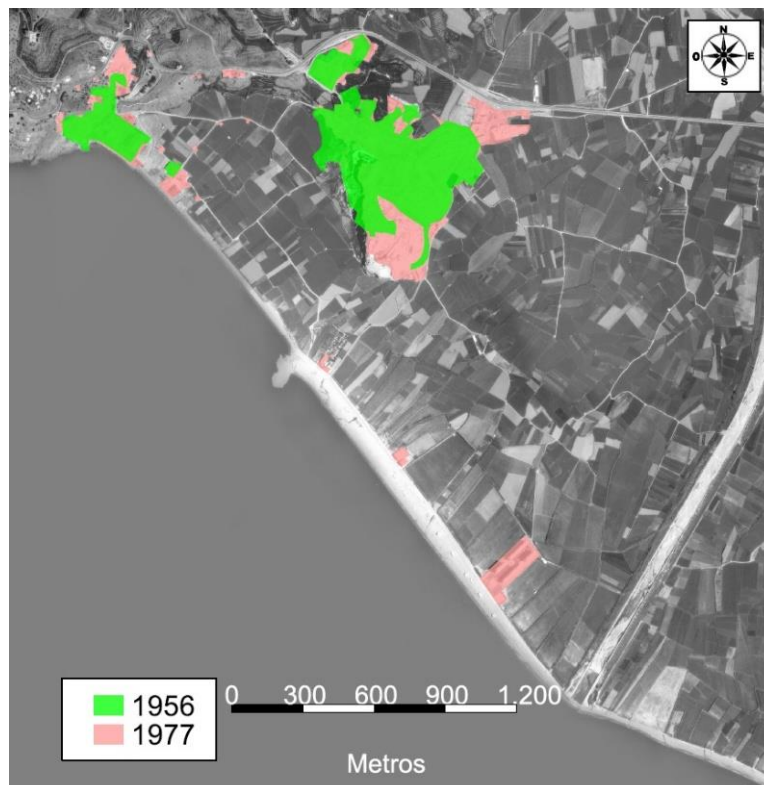
A continuación vamos a dividir la zona de estudio en tres tramos para llevar a cabo un estudio más pormenorizado de la evolución de la superficie urbanizada. Los tres tramos de estudio se van a corresponder con Salobreña, Playa Granada y Playa de Poniente y puerto de Motril.

- **Tramo 1: Salobreña.**

En la zona correspondiente a Salobreña se observa como en la ortofotografía correspondiente a 1956 las construcciones existentes se encuentran exclusivamente en el interior, sobre la roca, siendo inexistentes en la costa. Fijándonos en la imagen que sigue, correspondiente a 1977, vemos como la superficie urbanizada ha crecido sobre la roca y hacia la carretera N-340 (figura 40). Asimismo empiezan a aparecer algunas construcciones aisladas en la costa. Esta tendencia se mantiene para el año 1984 en el que vemos que el núcleo principal sigue creciendo hacia la vega y las construcciones en la costa siguen aumentando, aún de forma aislada (figura 41). Para el año 1998 ya se observa el gran cambio sufrido en la zona, donde la superficie construida ha aumentado en gran medida en la costa y ha acabado uniéndose al núcleo urbano inicial situado sobre la roca, conformando un único núcleo (figura 42). Del mismo modo, en la vega, al este del municipio de Salobreña, comienzan a

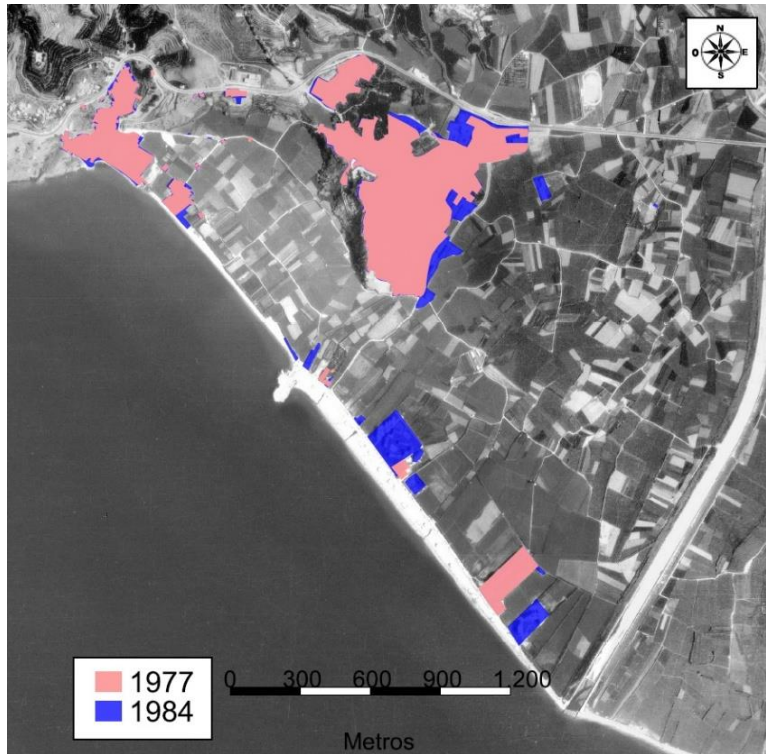


aparecer construcciones aisladas. Desde este año hasta la actualidad observamos un crecimiento progresivo en las diferentes ortofotos de las que disponemos. Las construcciones han ido ampliándose hacia la N-340, bordeando la misma. También se ha ampliado el brazo de unión entre el núcleo inicial y las construcciones costeras, e igualmente han ido creciendo las construcciones aisladas en la vega. También cabe destacar el crecimiento desde el 1998 de las construcciones costeras hacia el interior, construyéndose segundas y terceras líneas de edificios respecto a la costa (figuras 43-47).

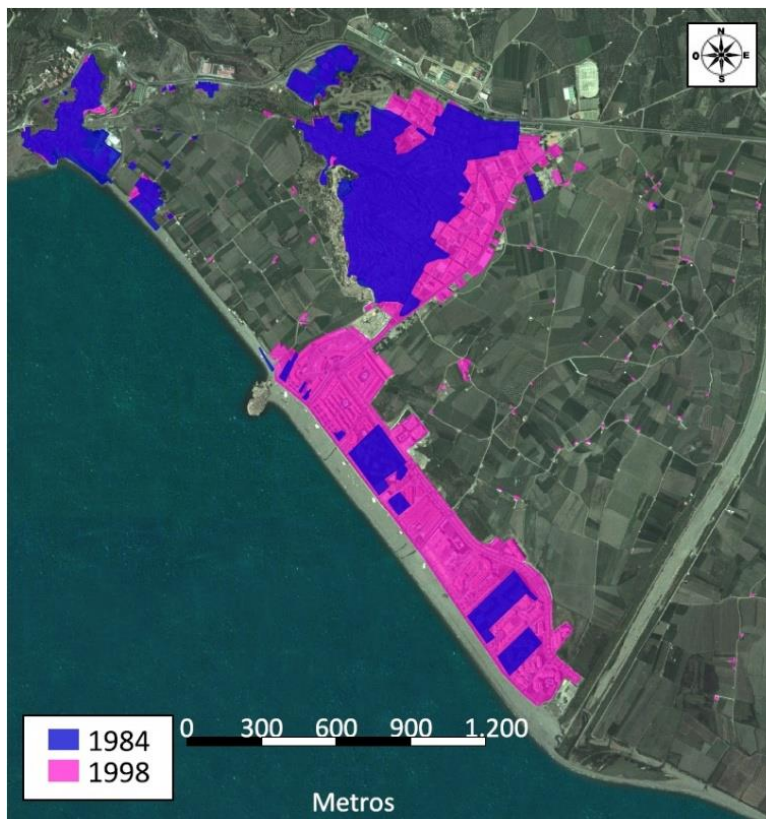


**FIGURA 40. Evolución de la superficie urbanizada entre 1956 y 1977 en el tramo 1**





**FIGURA 41. Evolución de la superficie urbanizada entre 1977 y 1984 en el tramo 1**



**FIGURA 42. Evolución de la superficie urbanizada entre 1984 y 1998 en el tramo 1**

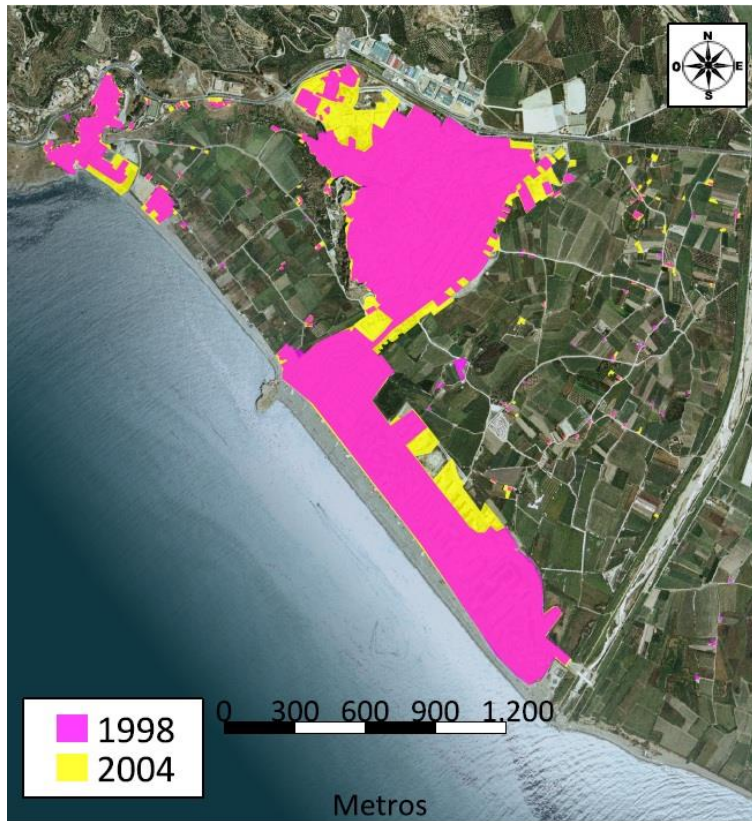


FIGURA 43. Evolución de la superficie urbanizada entre 1998 y 2004 en el tramo 1

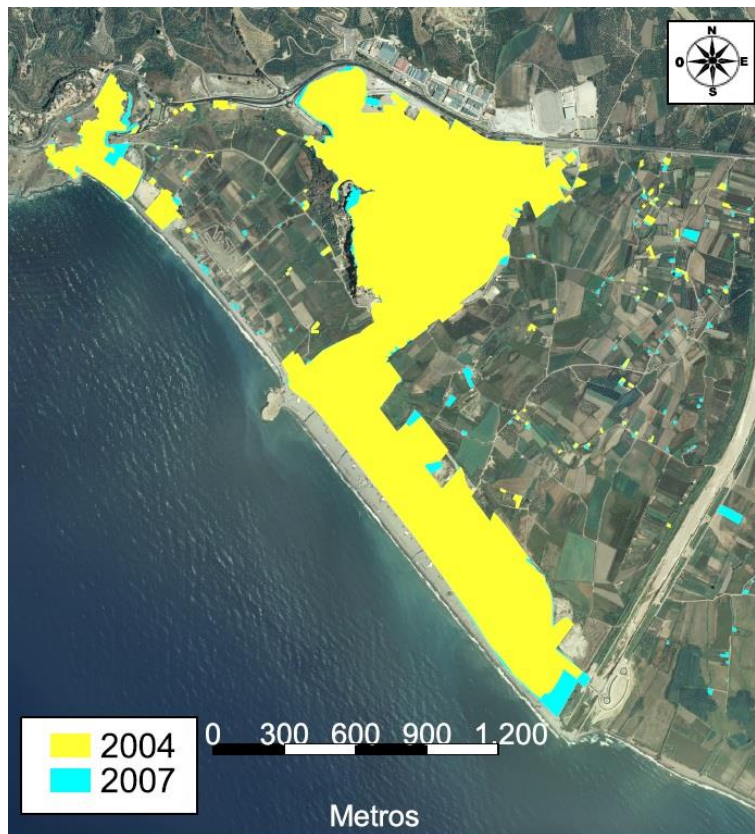
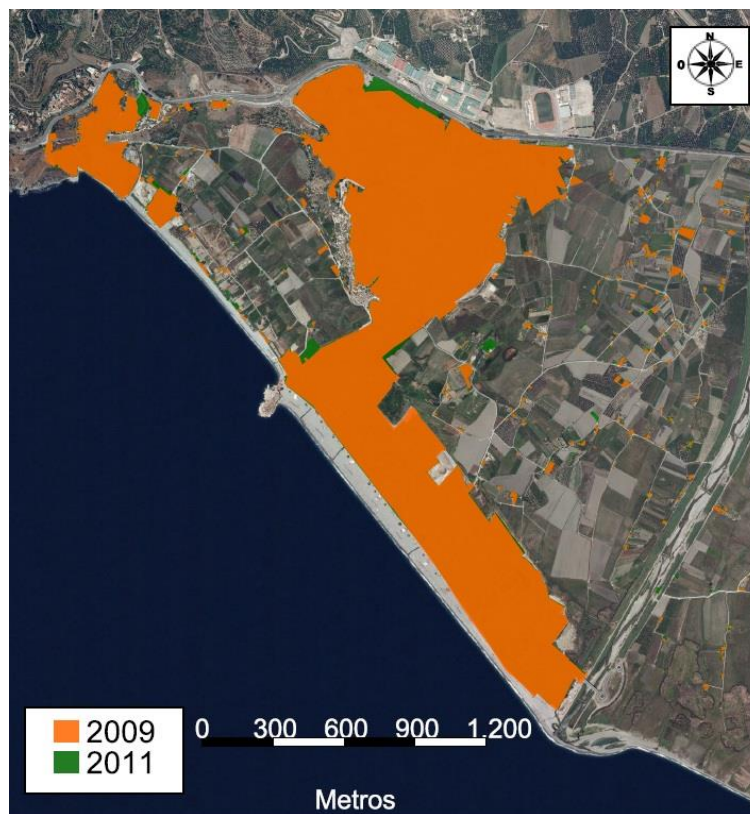


FIGURA 44. Evolución de la superficie urbanizada entre 2004 y 2007 en el tramo 1

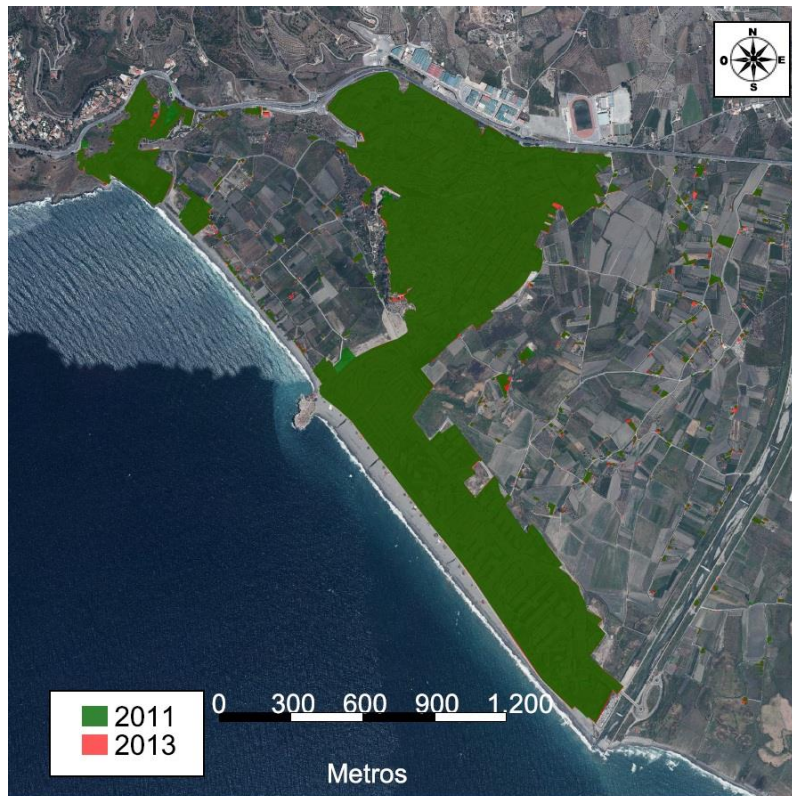




**FIGURA 45. Evolución de la superficie urbanizada entre 2007 y 2009 en el tramo 1**



**FIGURA 46. Evolución de la superficie urbanizada entre 2009 y 2011 en el tramo 1**



**FIGURA 47. Evolución de la superficie urbanizada entre 2011 y 2013 en el tramo 1**

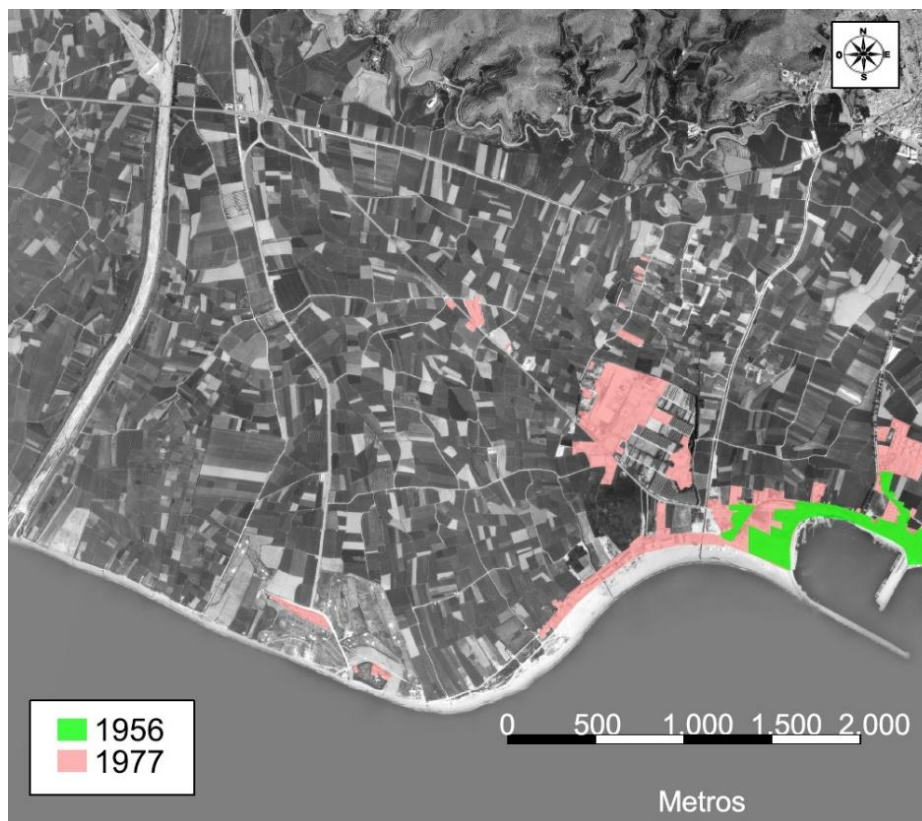
- **Tramo 2: Playa Granada.**

En referencia al núcleo de Playa Granada podemos ver que éste no existía en el año 1956. Para el año 1977 aparecen pequeñas urbanizaciones (figura 48) que se mantienen sin mucho crecimiento hasta el año 2004, donde ya se observa un gran crecimiento urbano debido a la construcción de complejos hoteleros y campos de golf (figura 51). Desde esta fecha hasta la actualidad han ido aumentando las construcciones en torno al complejo hotelero. Asimismo, desde el año 1998 hasta la actualidad han ido creciendo en gran medida tanto las construcciones aisladas como los cultivos por invernaderos en la zona norte de Playa Granada, entre la desembocadura del Guadalfeo y Motril Costa.

- **Tramo 3: Playa de Poniente y puerto de Motril.**

El tercer tramo de estudio corresponde con el Puerto de Motril y la Playa de Poniente, situados en la parte más oriental, a partir de la punta del Santo. En la ortofotografía correspondiente al año 1956 se observa como ya existía el puerto con un pequeño dique de abrigo. En el año 1977 aparecen nuevas construcciones siguiendo dos direcciones principales: hacia el norte del

puerto, edificios asociados a la actividad portuarios; y hacia el oeste, en primera línea de la playa de poniente, correspondiente a urbanizaciones costeras (figura 48). Durante los siguientes años y hasta la actualidad el crecimiento urbanístico ha ido siguiendo estos dos ejes principales. Los edificios de carácter industrial han seguido creciendo en el norte y noroeste del puerto, hasta alcanzar hacia el norte la carretera N-340 en forma de edificios diseminados. Asimismo también han aparecido cultivos en invernaderos al igual que en los otros dos tramos de estudio. En referencia a las construcciones residenciales situadas en Playa de Poniente, éstas han ido aumentando hasta alcanzar la punta del Santo para el año 1998 (figura 50) y a partir de esta fecha han ido aumentando hacia el interior, apareciendo una segunda línea de urbanización (figuras 51-55).



**FIGURA 48. Evolución de la superficie urbanizada entre 1956 y 1977 en los tramos 2 y 3**



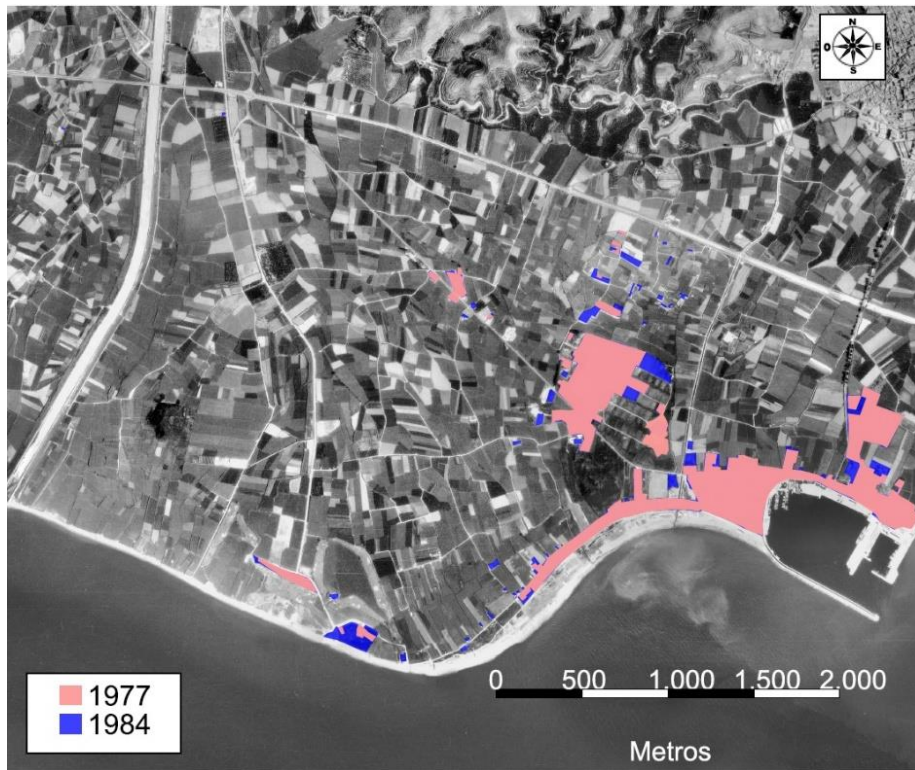


FIGURA 49. Evolución de la superficie urbanizada entre 1977 y 1984 en los tramos 2 y 3

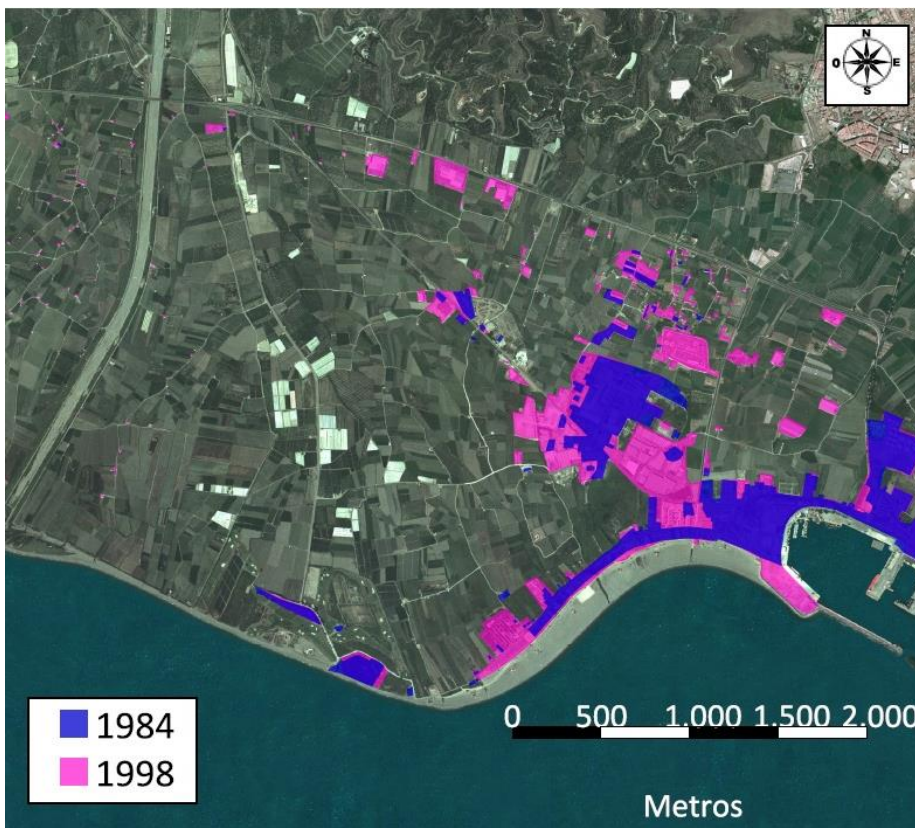
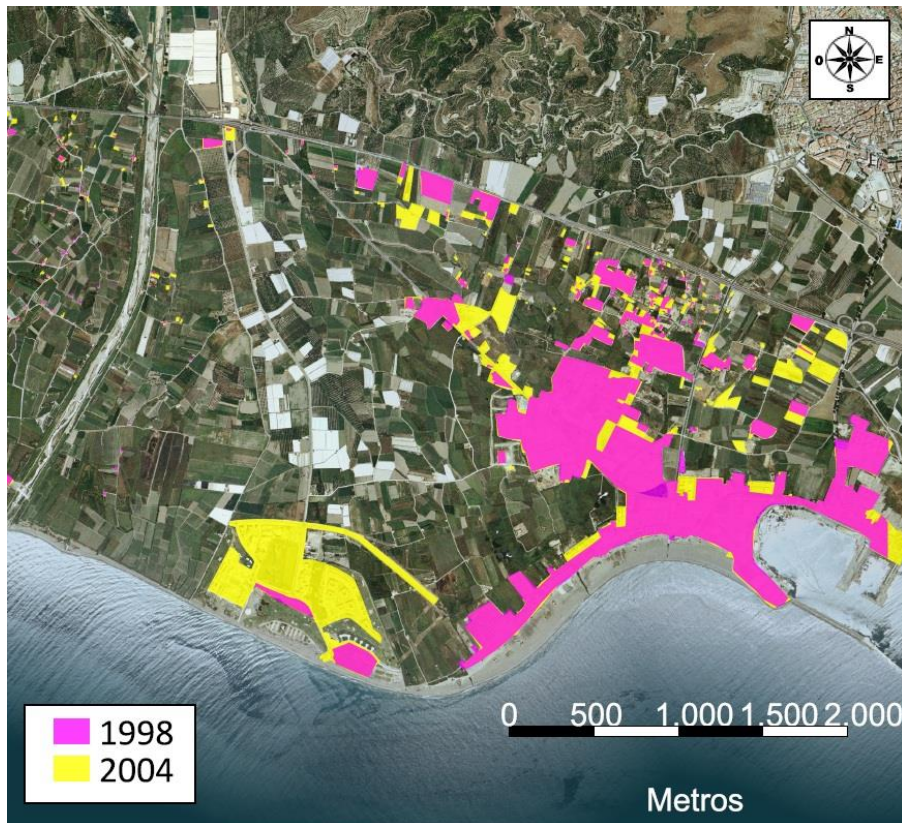
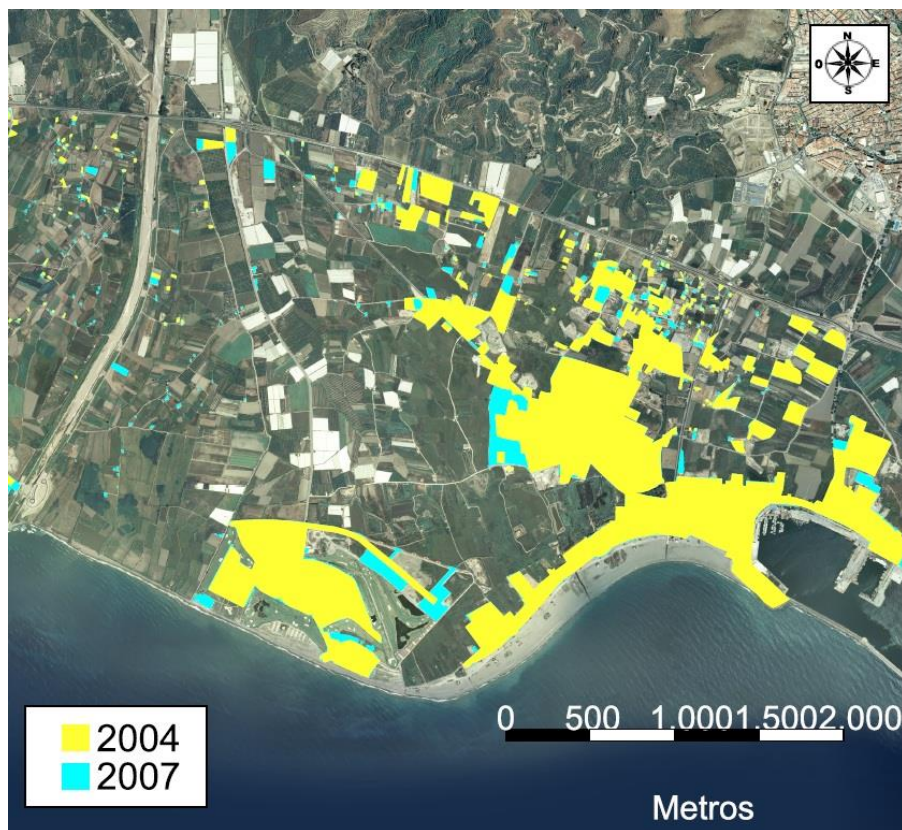


FIGURA 50. Evolución de la superficie urbanizada entre 1984 y 1998 en los tramos 2 y 3





**FIGURA 51. Evolución de la superficie urbanizada entre 1998 y 2004 en los tramos 2 y 3**



**FIGURA 52. Evolución de la superficie urbanizada entre 2004 y 2007 en los tramos 2 y 3**



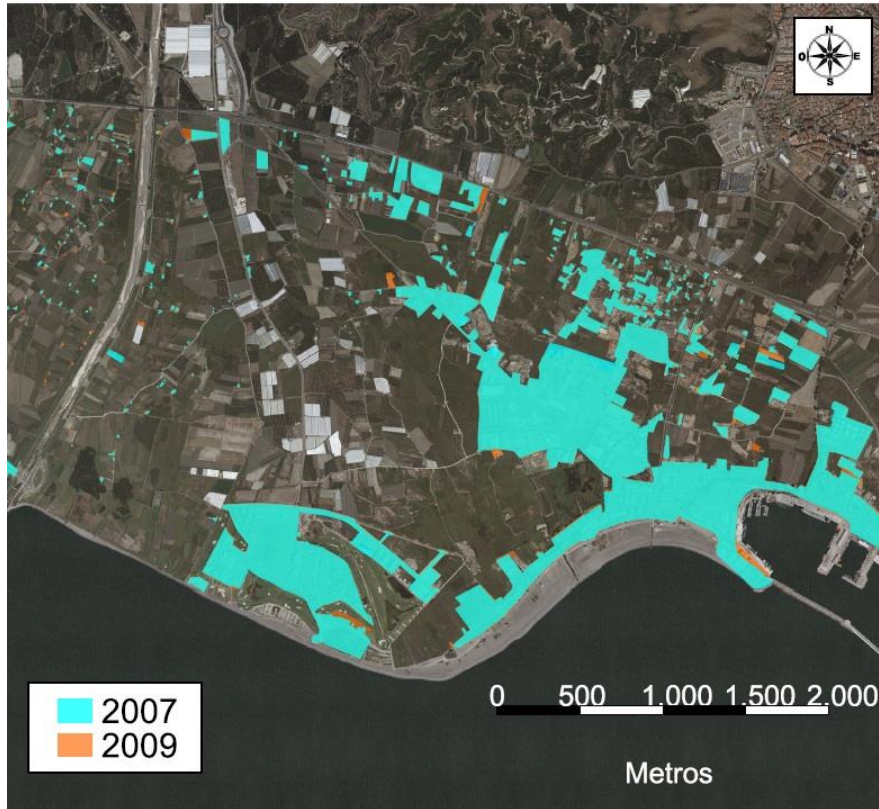


FIGURA 53. Evolución de la superficie urbanizada entre 2007 y 2009 en los tramos 2 y 3

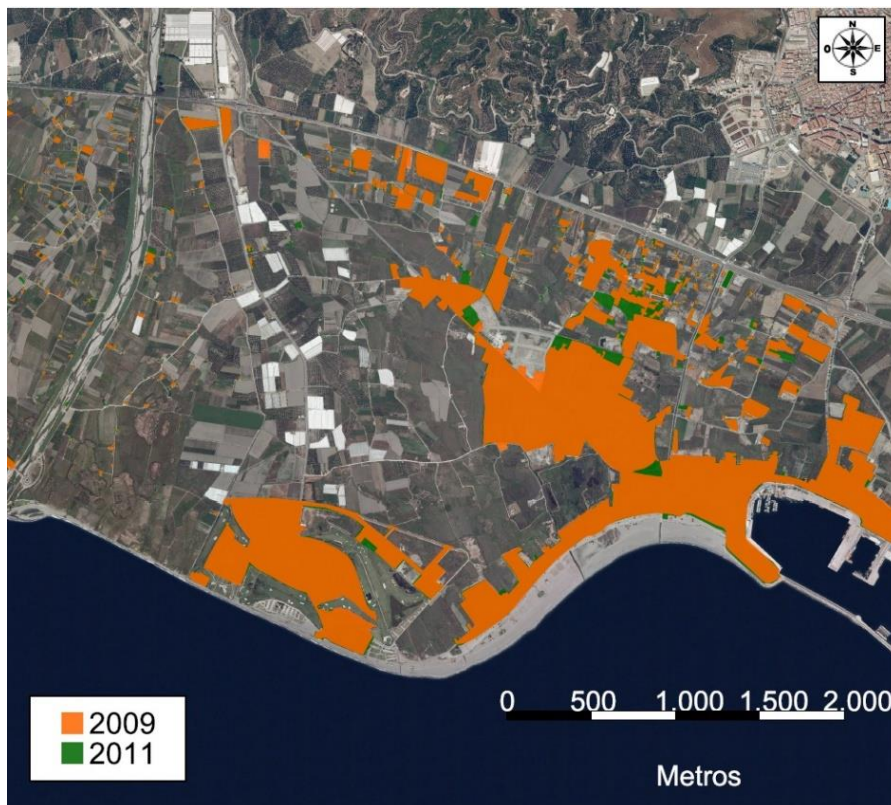
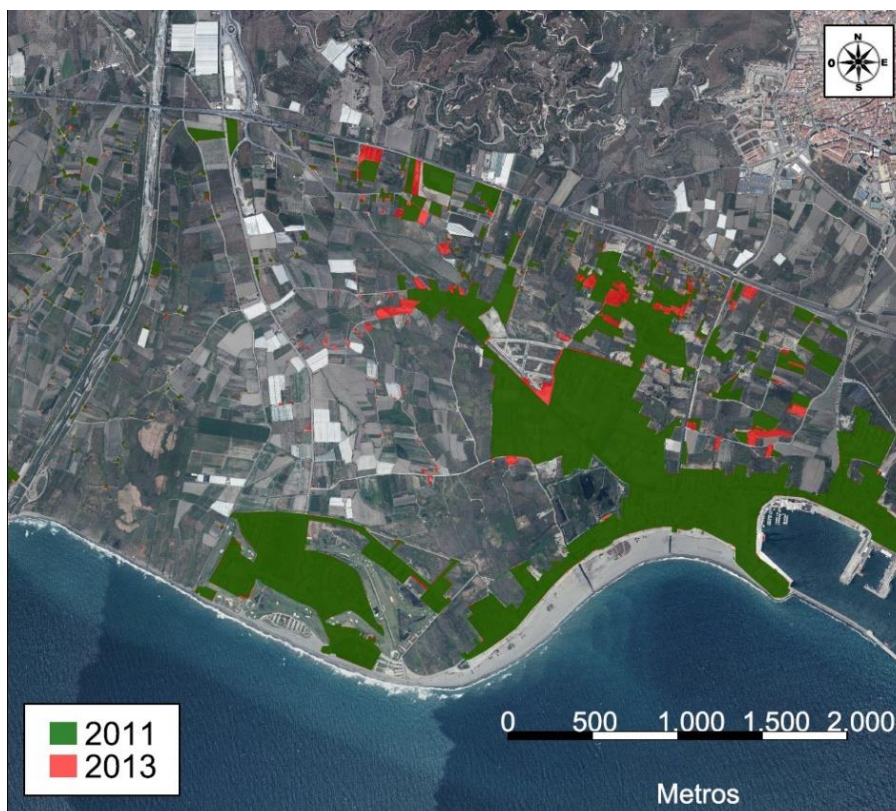


FIGURA 54. Evolución de la superficie urbanizada entre 2009 y 2011 en los tramos 2 y 3





**FIGURA 55. Evolución de la superficie urbanizada entre 2011 y 2013 en los tramos 2 y 3**

### 4.3. Evolución de los usos del suelo

A continuación se va a exponer un análisis de la evolución histórica mediante el estudio de la variación de los usos del suelo y cobertura vegetal. Dicho análisis ha sido realizado mediante el estudio de los diferentes mapas de usos del suelo y cobertura vegetal superpuestos con las ortofotografías correspondientes a cada uno de los años, para observar su correspondencia.

En las diferentes ortofotos se puede apreciar el aumento de la superficie urbanizada (representada en rojo) y anteriormente estudiada, así como el aumento de la superficie industrial y destinada a cultivos leñosos en regadío y en invernaderos, en detrimento de los cultivos herbáceos en regadío.

A continuación vamos a dividir nuestra zona de estudio en tres tramos diferenciados, como ya se ha hecho anteriormente, para llevar a cabo un estudio más pormenorizado de la evolución de los usos del suelo. Los tres tramos de estudio se van a corresponder con Salobreña, Playa Granada y Playa de Poniente y puerto de Motril.

- **Tramo 1: Salobreña**

En la zona correspondiente a Salobreña, en el año 1956 se observa como el suelo urbanizado se localiza exclusivamente en el interior, sobre la peña, como ya se ha indicado anteriormente. Este núcleo urbano se encuentra rodeado de dos pequeñas masas forestales, una de matorral y otra arbolada. También encontramos en el entorno de Salobreña dos pequeñas zonas industriales, una al norte del municipio, limitada por la N-340, y otra al oeste del mismo, junto a la costa. El resto del suelo está destinado como superficie de cultivo para cultivos herbáceos en regadío (figura 56).

Para el año 1999 se ve el gran cambio de los usos del suelo experimentado en la zona de estudio (figura 57). La superficie urbanizada inicial ha sufrido un fuerte desarrollo en el interior y ha crecido paralelamente por la costa, uniéndose finalmente con la población inicial constituyendo un único núcleo. En cuanto a las zonas industriales, se han construido dos pequeñas zonas industriales en la vega y otra al norte de Salobreña, próxima a la ya existente y separada de ella por un pequeño terreno de pastizal no arbolado. El crecimiento urbano se ha traducido en una disminución de los cultivos herbáceos en regadío de la vega, así como en la desaparición de la masa de matorral situada en las inmediaciones de la superficie urbanizada. Por otra parte, han aparecido parcelas de cultivos leñosos en regadío en la vega, ocupando parte del espacio destinado a cultivos herbáceos.

En los siguientes años 2003 y 2007 se observa una leve evolución en los usos del suelo (figuras 58 y 59). Tan solo se aprecia un crecimiento en la última zona industrial construida al norte de Salobreña, y que el terreno cercano a ella y que la separa de la zona industrial inicial se encuentra en construcción.

- **Tramo 2: Playa Granada**

En el entorno de Playa Granada, delimitado al este por la nueva desembocadura del río Guadalfeo y al oeste por la Punta del Santo, vemos como en el 1956 todo el suelo está ocupado por cultivos herbáceos en regadío (figura 56). Para el año 1999 este tramo sufre una profunda transformación, apareciendo en la costa zonas urbanizadas así como zonas verdes y espacios de ocio correspondientes a los campos de golf (figura 57). En el espacio de la vega, gran parte del terreno dedicado a cultivos herbáceos en regadío ha dado paso a cultivos leñosos en regadío y a cultivos bajo plástico.

Para los años 2003 y 2007 continúa esta dinámica, creciendo las zonas verdes y urbanizaciones de la costa así como la superficie dedicada a cultivos leñosos en regadío y a cultivos bajo plástico en el terreno de la vega (figuras 58

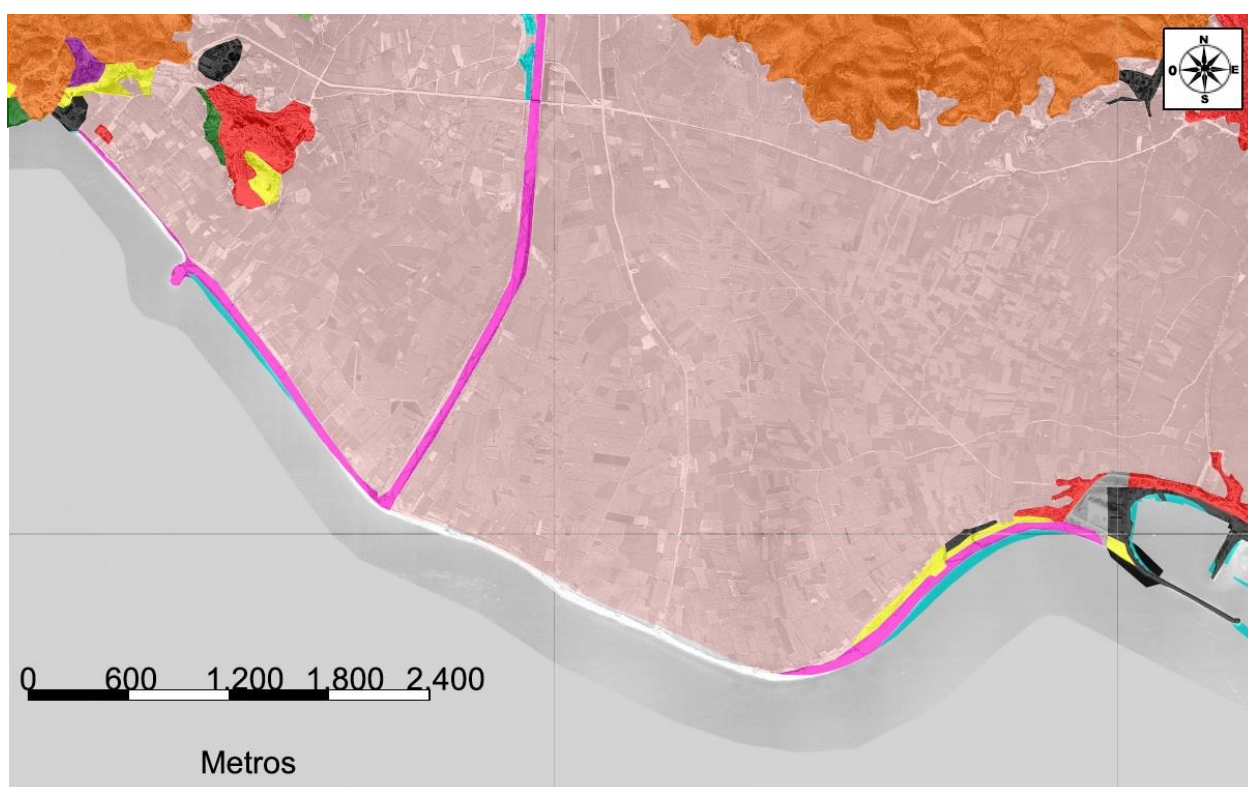
y 59). En el último mapa de usos del suelo (2007) se ve como sigue el proceso de crecimiento de las urbanizaciones en Playa Granada, encontrando zonas en construcción junto a las ya existentes.

- **Tramo 3: Playa de Poniente y puerto de Motril**

En el tercer tramo, correspondiente con el puerto de Motril y la Playa de Poniente, observamos para el año 1956 una pequeña zona urbanizada en las inmediaciones del puerto y una pequeña área en construcción; sin embargo, en Playa de Poniente no existe ninguna construcción en esta fecha, tan solo una pequeña extensión de matorral (figura 56).

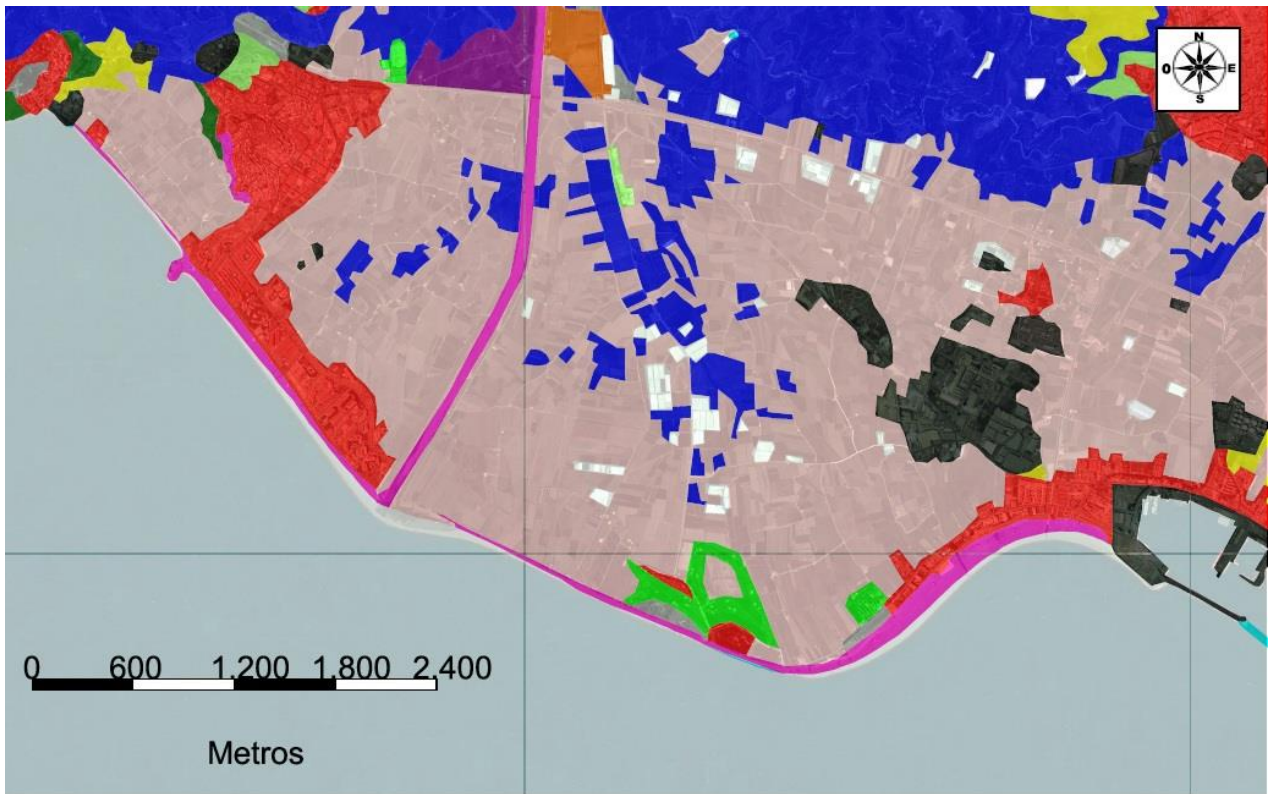
Para el año 1999 ya se observa el gran cambio sufrido en este tramo (figura 57). Encontramos varias zonas industriales, una al norte del puerto y varias al noroeste del mismo y próximas entre sí. Asimismo existe una zona de urbanizaciones al norte de las zonas industriales, y en Playa de Poniente también se han extendido las urbanizaciones paralelamente a la costa.

Para los años 2003 y 2007 no se observan importantes cambios (figuras 58 y 59). Puede destacarse la aparición de algunos cultivos en invernaderos al norte del puerto y la unión de dos de las zonas industriales para el año 2007.

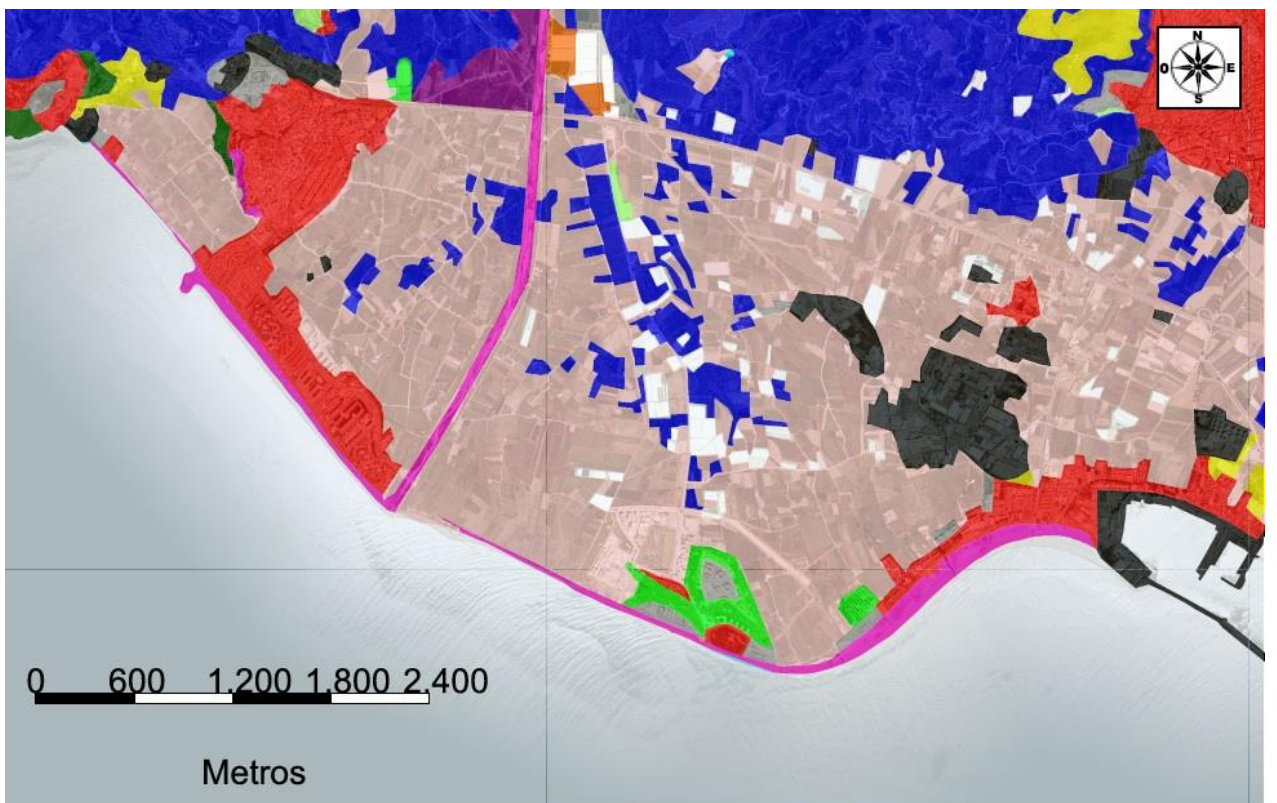


**FIGURA 56. Usos del suelo en 1956 en el delta del Guadalfeo**





**FIGURA 57. Usos del suelo en 1999 en el delta del Guadalfeo**



**FIGURA 58. Usos del suelo en 2003 en el delta del Guadalfeo**

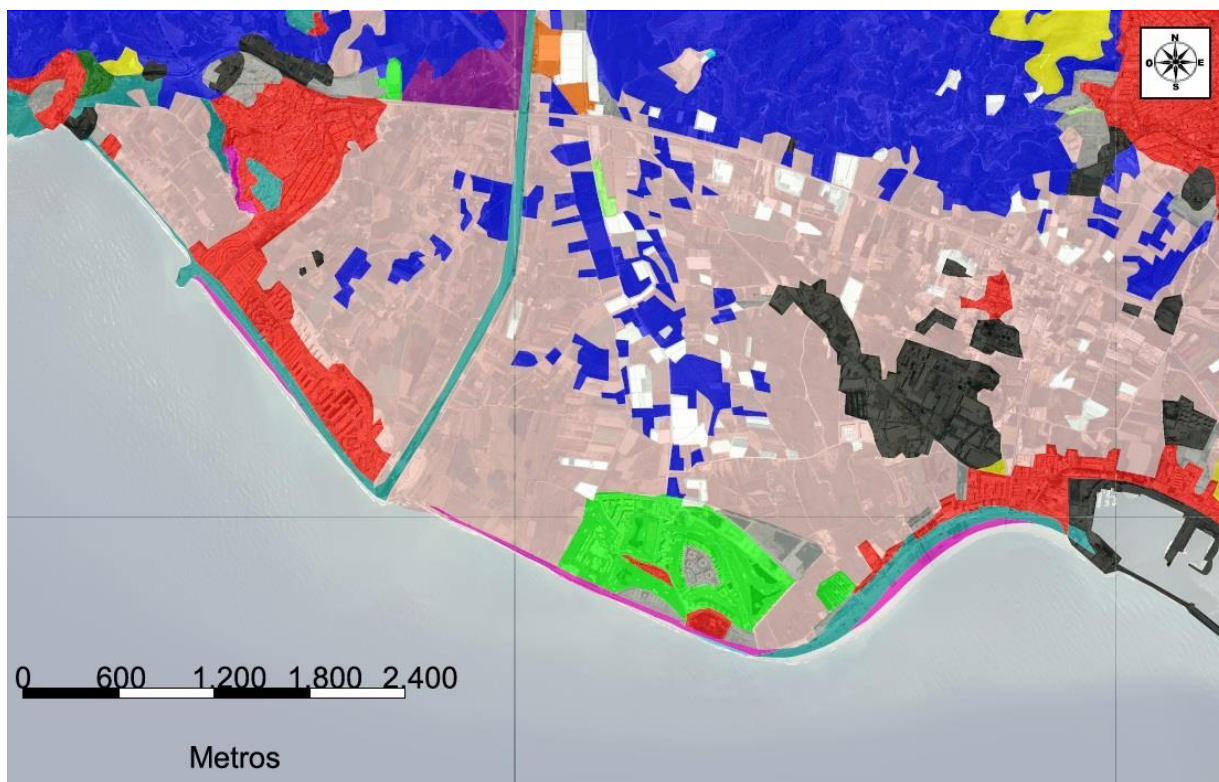


FIGURA 59. Usos del suelo en 2007 en el delta del Guadalfeo



FIGURA 60. Leyenda Usos del Suelo

## 4.4. Alternativas para reducir los problemas de erosión en la costa y creación de nueva playa

Como se desprende del estudio realizado sobre la evolución histórica en la línea de costa, superficie urbanizada y usos del suelo, existe un problema real en la desaparición de Playa Granada, sobre todo en su parte más occidental, que se ha visto agravado en los últimos años y que precisa de actuaciones y medidas tan urgentes como efectivas.

A continuación se exponen diferentes alternativas para la defensa de la costa y creación de nueva playa, así como las principales ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. Vamos a estudiar estas alternativas diferenciando dos grupos: obras de defensa duras y obras de defensa blandas.

### 4.4.1. Obras de defensa duras

Las obras de defensa duras llevan aparejadas consigo una estructura resistente. Existen numerosas clasificaciones dependiendo de las características de la obra que se consideren; sin embargo, la más corriente suele ser en función de la situación relativa a la que se encuentra de la línea de costa, dividiéndose en: defensas longitudinales, espigones o diques y obras exentas.

#### Defensas longitudinales

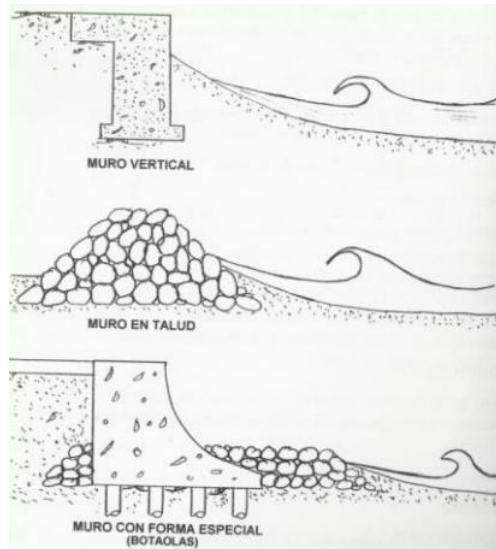
Este tipo de obras suelen construirse en la línea de costa o en la parte posterior de una playa, normalmente urbana o de urbanización. Suelen tener un doble objetivo: de resistencia al oleaje y como muro soporte de los terrenos situados en el trasdós. En ciertas ocasiones es un sustitutivo de urgencia a la pérdida de la defensa natural, playa, duna, etc. El objetivo principal de estas obras es proteger las propiedades ubicadas en su trasdós.

Este tipo de obras se pueden clasificar en: muros, pantallas y revestimientos:

- Muros

Son estructuras robustas, estructuralmente pueden ser flexibles o rígidas. Atendiendo a su forma en perfil pueden ser: verticales, en talud y con formas especiales (escalones, botasolas, etc.). Aunque existen muchas formas, las mencionadas son las más utilizadas.

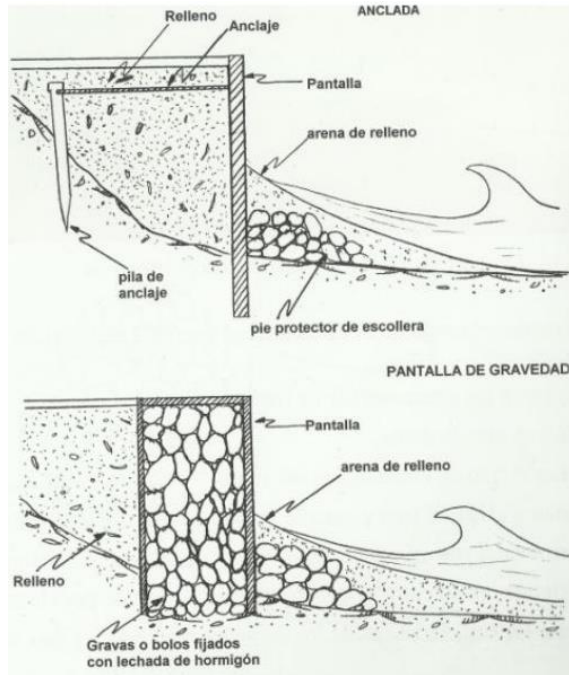




**FIGURA 61. Tipos de muros de defensa**

- Pantallas

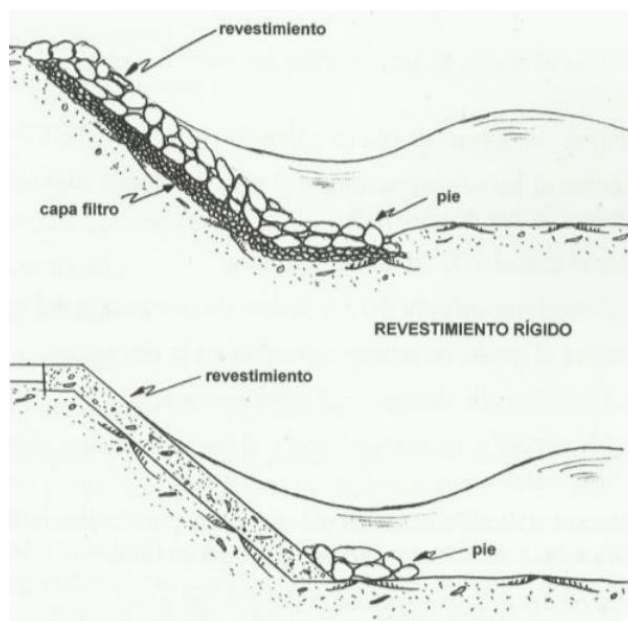
Son estructuras más ligeras, clavadas o pilotadas, que forman un tablestacado para la retención del material del trasdós. Las pantallas a su vez pueden clasificarse en: pantallas tablestacadas (o pilotadas y ancladas) y de gravedad. Las pantallas tablestacadas se anclan para soportar el empuje de las tierras del trasdós. En ambos casos se debe poner un pie de protección que evite socavamientos, pues estos tipos de estructuras favorecen las reflexiones del oleaje. Según CERC (1995) estas estructuras requieren, cuando son elementos tablestacados, de una buena penetración, y es adecuado su uso cuando son necesarias alturas importantes. Cuando se opta por pantallas de gravedad, estas requieren una buena cimentación unida a una penetración suficiente.



**FIGURA 62. Tipos de pantallas de defensa**

- Revestimientos

Son una capa protectora superficial que se asienta sobre un terreno original, dando a éste una mayor capacidad de resistencia frente a la acción externa de los agentes climáticos. Suelen ir asentados sobre terrenos en talud, pudiendo tomar una gran variedad de formas. Pueden clasificarse en: rígidos, contruidos generalmente por losa de hormigón; y flexibles, contruidos en escollera, bloques de hormigón, elementos modulares, asfaltos, etc.



**FIGURA 63. Tipos de revestimientos de defensa**

### ***Ventajas***

- ✓ Obras que admiten una gran variedad de formas, materiales y procedimientos constructivos.
- ✓ Protegen los terrenos situados en el trasdós.
- ✓ Pueden efectuarse como obras de emergencia.
- ✓ Coste bajo.

### ***Inconvenientes***

- ✓ Estas obras no proporcionan protección a las áreas adyacentes ni a las playas situadas frente a ellas.
- ✓ Pueden modificar los procesos costeros tales como la tasa de transporte longitudinal o la distribución y tasa de transporte transversal frente a ellas.

### ***Diques y espigones***

Son estructuras marítimas lineales, aproximadamente transversales a la línea de playa que se utilizan para frenar o retener parcial o totalmente el movimiento de arenas a lo largo de la costa. Los diques suelen entenderse como elementos más compactos y resistentes estructuralmente y los espigones como estructuras más ligeras. Los espigones se pueden construir aislados o dentro de un sistema de espigones. Los espigones necesitan obligatoriamente de una alimentación de arena entre ellos y no se utilizan como elementos de captación de arena natural (CERC, 1992). Los espigones se suelen clasificar en talud y verticales.

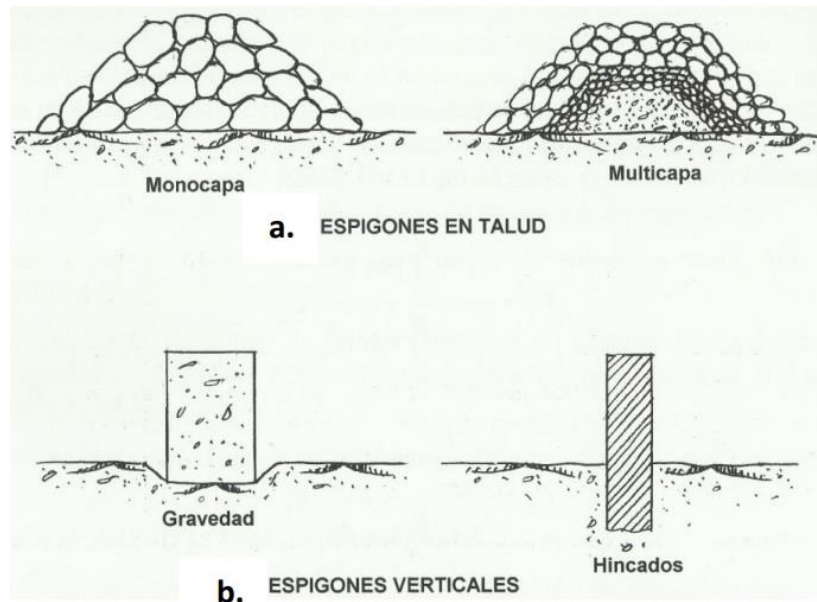
- Espigones en talud

Pueden ser monocapa o multicapa. Los espigones monocapa están compuestos exclusivamente por un tipo y tamaño de material. Los espigones multicapa tienen un diseño más complejo, ya que el cálculo de cada una de sus capas se aborda como si fuera un dique independiente. Generalmente se utilizan cuando se necesita una gran robustez.

- Espigones verticales

Los espigones verticales suelen ser menos corrientes que en talud, pues pueden producirse reflexiones que favorecen la pérdida de arena. Pueden ser usados cuando no se necesitan grandes obras de defensa o existen dificultades para construir espigones en talud. Se distinguen dos tipos: aquellos que se aguantan por gravedad y los que se encuentran hincados en el suelo.





**FIGURA 64. Tipo de secciones transversales de espigones**

En la práctica, los diques o espigones usualmente más empleados son aquellos construidos con escollera o bloques artificiales, con núcleo o sin él, con una sección en talud por ambos parámetros, teniendo cotas de coronación rebasables a cota fija y por su forma en planta suelen ser rectos, en L o en T.

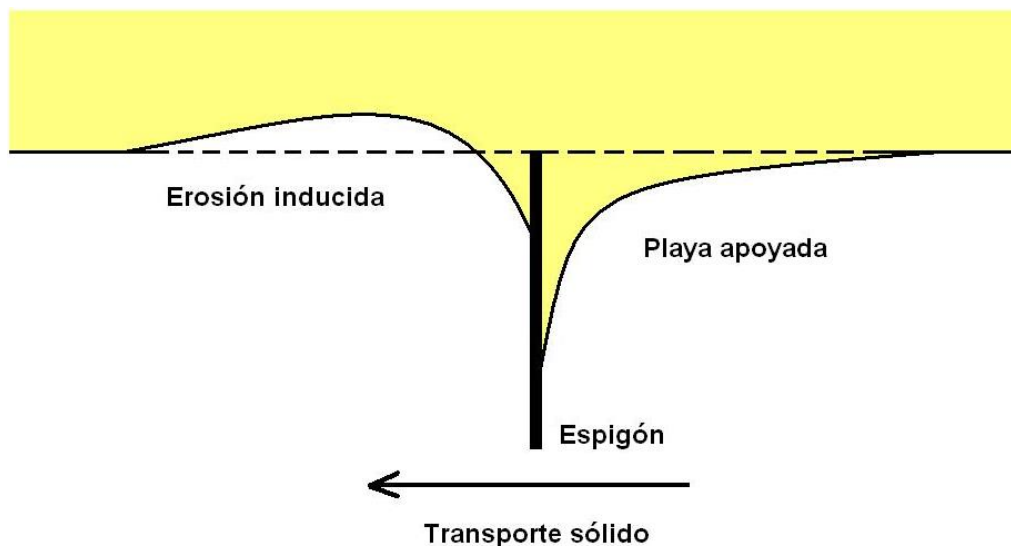
### ***Ventajas***

- ✓ Simpleza estructural.
- ✓ Facilidad de construcción.
- ✓ Coste relativamente bajo.
- ✓ Fácil reparación de daños.
- ✓ Difícil destrucción.
- ✓ Posibilidad de usar diversidad de materiales.
- ✓ Localmente se soluciona el problema de erosión en la zona a tratar.

### ***Inconvenientes***

- ✓ Transporte litoral retenido muy difícil de predecir. Depende de un gran número de parámetros.
- ✓ Aguas abajo se puede producir flanqueo (retroceso de la línea de costa, el arranque del espigón deja de estar conectado a tierra). Se puede evitar mediante regeneraciones / aportes de arena, aunque de esta manera se traslada el problema.
- ✓ Generan un importante impacto visual.

- ✓ Modificación de la dinámica litoral en los tramos de costa adyacentes debido al potencial incremento de la capacidad erosiva de las corrientes litorales.



**FIGURA 65. Efectos de un espigón en el transporte sólido de sedimentos**

### Obras exentas

Son obras marítimas lineales, generalmente paralelas a la línea de orilla y separadas de ella una distancia determinada, cuyo objetivo principal es proteger la zona del trasdós de la incidencia directa del oleaje, reduciendo la energía incidente. Adicionalmente, lo que se busca es aumentar la longevidad de una playa, proporcionando así una anchura suficiente de playa que sirva para generar una superficie de recreo y esparcimiento y a su vez permitir la protección de la tierra y bienestar de su trasdós. Esta variación en las características hidrodinámicas en el trasdós hace que la obra actúe en la costa a modo de “obstáculo dinámico” ya que la interacción y/o alteración de las tasas de transporte se deben a la modificación del flujo en el trasdós. En cambio, los espigones alteran el transporte de sedimentos debido al efecto barrera, es decir actúan como un obstáculo físico. La presencia del dique crea una zona abrigada donde debido al proceso de difracción se consigue una disminución de las alturas de ola y una curvatura del ángulo del oleaje, que tiende a ser perpendicular en el trasdós del dique.

Los tipos de obras exentas se pueden clasificar en dos grupos:

- Diques exentos emergidos

Son diques que se encuentran mar adentro y se desarrollan paralelamente o casi paralelamente a la línea de costa. Su cota de coronación puede fluctuar entre sobrepasar el nivel medio del mar, estar en el nivel medio o algo por debajo.

### ***Ventajas***

- ✓ Capacidad de controlar de una forma efectiva la erosión, reteniendo sedimento en su trasdós.
- ✓ Reducción de las corrientes de retorno a lo largo de la zona de abrigo, y por tanto evitan parte del transporte offshore.
- ✓ Reducción de altura de ola y peralte en la zona protegida.

### ***Inconvenientes***

- ✓ Los diques exentos son soluciones que requieren una adecuada evaluación de impacto ambiental por sus posibles efectos negativos sobre el paisaje costero y, en ocasiones, sobre los sistemas naturales de los fondos marinos.
- ✓ Elevado precio de construcción por tratarse de una obra exenta.
- ✓ Dificultad de mantenimiento.
- ✓ Posibilidad de accidentes de embarcaciones, surfistas...
- ✓ Pueden suponer una barrera total para el transporte de sedimento si su diseño no es el adecuado.
- ✓ Grandes velocidades de la corriente entre los espaciados en series de diques.





**FIGURA 66. Diques exentos playa Pedregalejo. Málaga**

- Diques sumergidos o de baja cota de coronación

Además de reducir el impacto visual de la obra, se consigue una mayor renovación de las aguas y una reducción en los costes de construcción, ya que necesitan menor cantidad de material al coronar a una cota menor y además las sollicitaciones del oleaje son menores.

Los diques sumergidos son diseñados como un filtro de olas, las alturas de ola menores consiguen atravesar el dique sin disminuir demasiado su energía, mientras que las olas con mayor altura rompen en la estructura perdiendo gran parte de ésta. Se ha demostrado que la erosión o acreción de sedimento están fuertemente ligadas a la altura de las olas, así por ejemplo, las olas de tormenta, que tienen un mayor altura, tienden a erosionar; mientras que las olas de baja energía, que son las de menor altura, tienden a acumular sedimento.

Además de las ventajas que presentan los diques exentos, los diques sumergidos presentan otras adicionales:

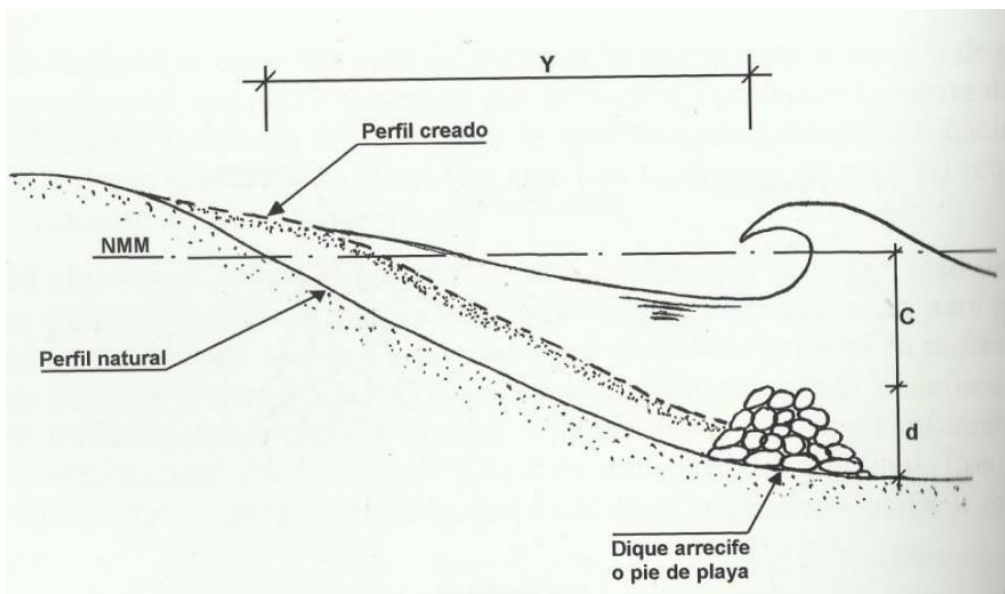
### ***Ventajas***

- ✓ Se reduce el impacto visual de la obra.
- ✓ Se consigue una mayor renovación de las aguas y una reducción en los costes de construcción, ya que necesitan menor cantidad de material al coronar a una cota menor y además las solicitaciones del oleaje son menores.

Además de los ya expuestos, las obras exentas presentan otros inconvenientes comunes a todas ellas:

### ***Inconvenientes***

- ✓ Erosión a ambos lados del litoral influenciado por la obra exenta.
- ✓ Reducción de la tasa de transporte longitudinal.



**FIGURA 67. Esquema dique arrecife, sumergido o de baja cota de coronación**

#### 4.4.2. Obras de defensa blandas

Dentro de las obras de defensa blandas suele englobarse la alimentación artificial mediante regeneraciones de arena u otro tipo de material sedimentario, la estabilización mediante vegetación y los trasvases de arena u otro material (bypass).

##### Regeneraciones

La regeneración artificial de playas consiste en la reposición de arena procedente de otro ambiente arenoso sobre una playa emergida. Se realiza en función de los procesos de transporte litoral y casi siempre utilizando materiales obtenidos del propio medio natural: bancos sumergidos, arenales, dunas semiestabilizadas o estabilizadas. La regeneración artificial de dunas, playas y ante-playas con arena drenada ha levantado gran polémica y a la vez expectación a lo largo de los últimos años. El interés generado viene dado por su intento de contribuir de manera positiva tanto a su estabilización como a su uso y recuperación de sus valores ecológicos, aunque en la práctica sólo se consigue el primer punto y de forma temporal.



**FIGURA 68. Regeneración en Playa Granada en diciembre de 2014**



### ***Ventajas***

- ✓ Es una opción rápida y que da soluciones al problema a corto plazo.

### ***Inconvenientes***

- ✓ Actúa sobre las consecuencias del problema y no sobre las causas.
- ✓ Impacto económico muy elevado. Supone un gran gasto para la administración pública.
- ✓ Sistema efectivo a corto /muy corto plazo y sin garantías de durabilidad.

### **Vegetación**

La estabilización de playas mediante plantas marinas consiste en efectuar repoblaciones en los fondos marinos cercanos a las playas de especies que contribuyen a la protección de la línea de costa frente a la erosión. En el caso del mar Mediterráneo, la especie más utilizada con esta finalidad es la Posidonia Oceánica, una planta marina endémica de este mar y que conforma extensas praderas que pueden encontrarse desde la superficie hasta una profundidad variable de hasta 40 metros de profundidad.

El estado de los ecosistemas formados por esta especie está estrechamente ligado a la hidrodinámica litoral de las costas mediterráneas. Numerosos estudios científicos llevados a cabo en el departamento de Biología Marina de la Universitat de Valencia sostienen que existe una clara coincidencia entre el deterioro de las praderas y lo que ocurre más tarde en la playa: "primero desaparece la Posidonia y después se va la playa" (García Carrascosa, M. 2010). Asimismo, se ha analizado la interacción que existe entre las praderas de Posidonia y el volumen y la estabilidad de la arena depositada en las playas. Los investigadores destacan que una vez que la pradera de Posidonia se ha consolidado, la "selva" de hojas actúa como una trampa que recoge todo tipo de partículas y acelera los procesos de sedimentación, tanto de las partículas movidas por el oleaje durante un temporal como de las desplazadas por las corrientes. Las matas, que reducen la velocidad del flujo del agua sobre el fondo, actúan como barreras que amortiguan la erosión hidrodinámica sobre la línea de costa.



**FIGURA 69.** Esquema de la actuación de la Posidonia en la protección de la costa

### ***Ventajas***

- ✓ Es una opción más sostenible y más económica que las convencionales.
- ✓ Ofrece beneficios adicionales como son: la contribución a la mitigación del cambio climático o mejoras en la calidad del agua, biodiversidad o las pesquerías.

### ***Inconvenientes***

- ✓ Lento desarrollo. Estos ecosistemas tardan decenas de años en “madurar”.
- ✓ Problema en reproducir artificialmente e incluso en forzar la aparición del ecosistema constituido por las praderas de Posidonia, por lo que la principal estrategia debe de ir dirigida a proteger las praderas existentes en el Mediterráneo.
- ✓ La presencia de praderas de Posidonia condiciona cualquier actuación estructural en la costa.
- ✓ Se trata de una planta muy exigente en sus requerimientos ecológicos y no tolera grandes variaciones de salinidad, por lo que no se halla en las zonas próximas a las desembocaduras de los ríos, como es la zona de nuestro estudio.

## Bypass

Tanto las obras marítimas construidas en la costa, como las infraestructuras de gestión y regulación hidrológica construidas en los ríos, interrumpen el flujo natural de sedimentos, generando zonas de acumulación y otras donde se produce déficit.

Las principales consecuencias que se derivan de esta distribución irregular de la arena son la generación de problemas de aterramiento en las bocanas de los puertos y una distribución de la arena no compatible con una gestión costera entendida como zona de esparcimiento, con zonas de playa exageradamente anchas a un lado y demasiado estrechas o inexistentes al otro, como ocurre en nuestra zona de estudio.

El sistema de bypass es un sistema artificial de trasvase de arena que básicamente consiste en corregir estas discontinuidades de arena producidas por las obras, extrayendo el sedimento de las zonas de acumulación y depositándolo en las zonas de erosión, que se encuentran aguas arriba o aguas abajo según el esquema de transporte.

Los proyectos de bypass son proyectos complejos que involucran una gran variedad de fenómenos costeros, por lo que no suele existir una solución única para cada problema. Así pues, el objetivo principal radica en seleccionar el sistema y el equipo que mejor satisfagan los requerimientos del emplazamiento.

El estudio previo a un proyecto de bypass de arena consta de un análisis de los procesos costeros y de una recogida de información del emplazamiento donde se va a realizar. La parte más importante de todo proyecto de bypass es el estudio de los procesos costeros, que proporciona las bases para la elección y el diseño del sistema que se va a utilizar.

Para estudiar los procesos costeros de la zona, se necesita información del clima de oleaje y de las variaciones del nivel del mar. El oleaje es la principal fuerza que mueve el sedimento y muchas de las ecuaciones utilizadas para calcular el transporte longitudinal están basadas en él. La dirección del oleaje es también muy importante en el diseño del sistema, puesto que determina el sentido del transporte de arena. Para optimizar el trabajo, se recomienda aprovechar el tiempo en que el oleaje proviene de su dirección predominante para realizar el bypass. En el caso de utilizar dragas para realizar el bypass, debemos recordar que su uso está limitado por la altura de ola. Por otra parte, las instalaciones fijas de bypass deben diseñarse de manera que resistan la altura de ola de diseño de la zona, y deben considerarse las variaciones del nivel del mar debidas a marea o a tormenta.

En la zona de estudio se deberá realizar un balance de sedimentos para determinar el volumen necesario de bypass, siendo el transporte longitudinal el término más importante de este balance.



### ***Ventajas***

- ✓ Este sistema suele dar muy buenos resultados.
- ✓ Lleva asociado otras ventajas como la disminución de los problemas de colmatación en presas o los de aterramiento en las bocanas de los puertos.

### ***Inconvenientes***

- ✓ El principal inconveniente es que para su realización se requiere de una información muy precisa de los procesos costeros, que es difícil de conseguir y es además muy variable en el tiempo y en el espacio.
- ✓ Las instalaciones fijas de bypass son muy susceptibles a las variaciones del transporte litoral en cuanto a volumen y dirección.
- ✓ Las instalaciones fijas de bypass requieren de valores precisos de oleaje (altura de ola, dirección, y corrientes) y de los procesos de interés (transporte longitudinal, distribución y magnitud); los cuales son difíciles de obtener.
- ✓ Otro inconveniente de los equipos fijos es que se ven muy afectados por la presencia de escombros, que dificulta la extracción de la arena disminuyendo fuertemente el rendimiento del equipo.

#### **4.4.3. Replanteo DPMT**

Aparte de las diferentes alternativas para la defensa de la costa y creación de nueva playa expuestas anteriormente, cabe destacar otra actividad de gestión en nuestro tramo de estudio: el replanteo del DPMT.

Con los datos tanto de la cota de inundación actual (línea amarilla) como de la cota de inundación para el año 2100 en un escenario optimista y pesimista (líneas verde y roja respectivamente) (Salido, 2015), cabe considerar la opción de modificar el DPMT en base a los resultados obtenidos.

Esta posibilidad debe de ser vista como una alternativa ideal y no real, ya que los terrenos existentes entre la actual y la estimada zona de servidumbre para el escenario 2100 tendrían que ser expropiados para pasar a titularidad pública, con el consiguiente coste económico que esto supondría para la administración.



**FIGURA 70. DPMT actual de nuestra zona de estudio de acuerdo con la Ley de Costas**



**FIGURA 71. Cota de inundación actual para el tramo 1: Playa de Salobreña**





**FIGURA 72. Cota de inundación actual para el tramo 2: Playa Granada**



**FIGURA 73. Cota de inundación actual para el tramo 3: Playa de Poniente**



Con los datos de la cota de inundación para el año 2100 tomaríamos el escenario pesimista (línea roja) y replantaríamos el DPMT y la servidumbre de protección, considerando la cota de inundación obtenida como la ribera del mar. A partir de ésta, determinamos los nuevos DPMT y servidumbre de protección de acuerdo con la Ley de Costas. Como ya se ha expuesto, los terrenos comprendidos entre la antigua y la nueva servidumbre de protección serían expropiados y pasarían a titularidad pública. De esta manera, nuestra playa objeto de estudio se encontraría protegida de la presión urbanística y sin necesidad de un nuevo replanteo del DPMT hasta dentro de mínimo 100 años.



FIGURA 74. CI para el año 2100 según escenario optimista y pesimista en el tramo 1

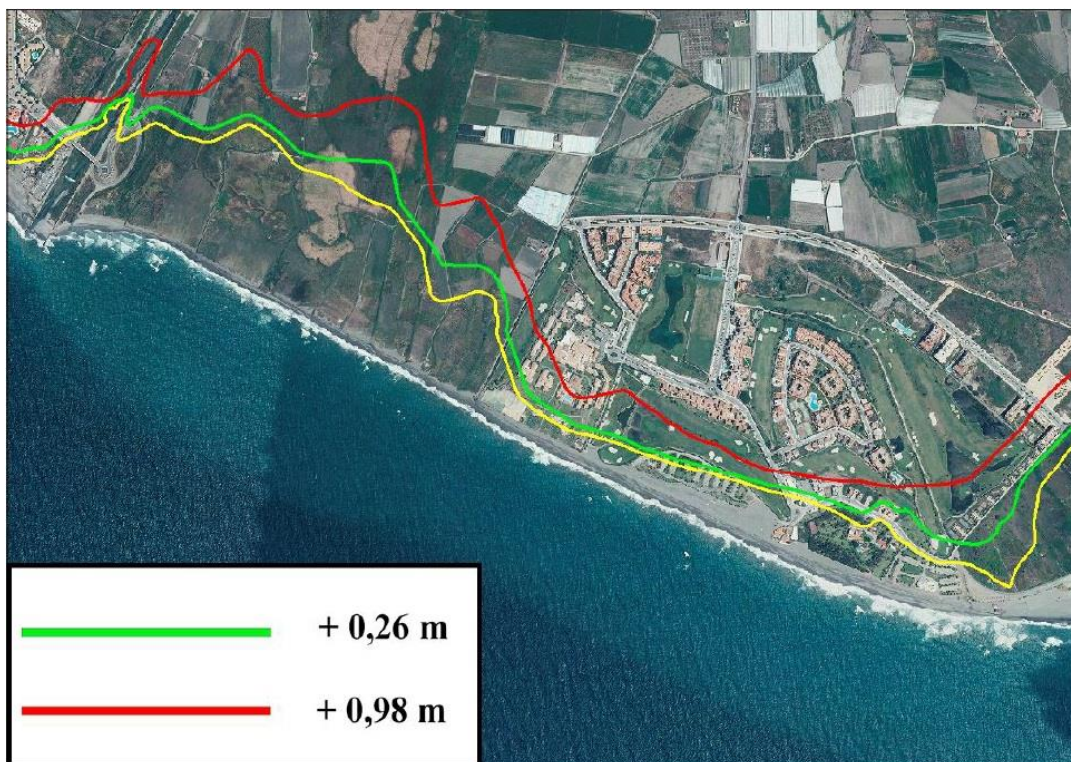


FIGURA 75. CI para el año 2100 según escenario optimista y pesimista en el tramo 2

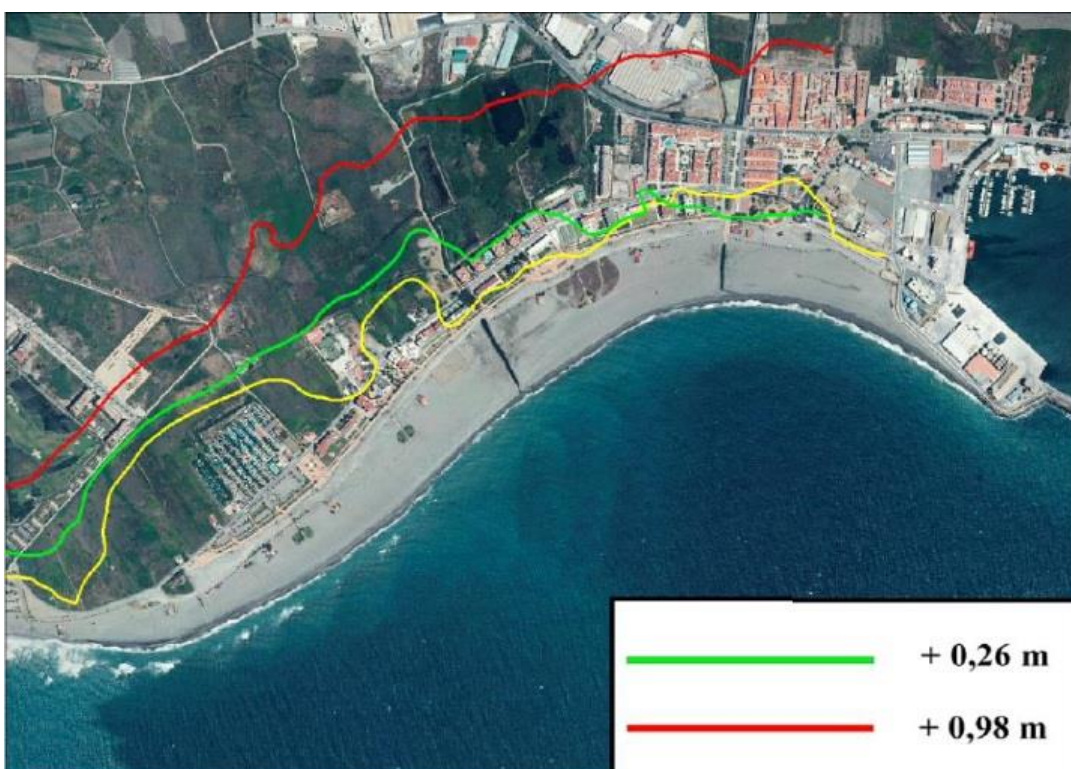


FIGURA 76. CI para el año 2100 según escenario optimista y pesimista en el tramo 3

## 5. Conclusiones

Tras realizar este estudio se pueden extraer una serie de conclusiones y proponer algunas recomendaciones:

-La opción de las regeneraciones como medida de creación de nueva playa es una alternativa agotada en nuestra zona de estudio. Como se ha descrito anteriormente, son numerosas las regeneraciones efectuadas, con unos resultados a muy corto plazo y con el consiguiente gasto económico que esto ha supuesto. Además, la utilización de sedimentos de Playa de Poniente es una medida tan poco acertada como negativa, puesto que aunque sea una zona de depósito y de avance de línea de costa, el uso de sedimentos de esta zona genera problemas de inundaciones en esta playa.

Por todo lo expuesto, las regeneraciones son una práctica que no debe llevarse más a cabo en Playa Granada, puesto que no da resultados satisfactorios a medio y largo plazo.

-La opción de estabilización de nuestra playa mediante poblaciones de *Posidonia Oceánica* no es adecuada, ya que se trata de una opción experimental, que aún no se ha llevado a cabo en un gran número de playas, por lo que no se tiene acceso a datos sobre su efectividad. Además de ser una técnica experimental, estas poblaciones presentan un lento desarrollo hasta alcanzar un estado de madurez, lo que no es compatible con la aplicación en nuestra playa, que se encuentra en una situación de urgencia que requiere una actuación a corto plazo. Aparte de esto, nuestra zona no es la indicada para este tipo de poblaciones, pues nos encontramos en la desembocadura de un río, zona de variaciones de salinidad constantes, no soportadas por la *Posidonia Oceánica*. También hay que añadir que la existencia de estas poblaciones es incompatible con otras actuaciones estructurales en la costa, las cuales alterarían su ecosistema.

Por todo esto, las plantaciones de *Posidonia Oceánica* no son una alternativa adecuada para mitigar los problemas de erosión en nuestra playa de estudio.

- Cesar con la creciente presión antrópica en el delta del Guadalfeo que se está realizando en forma de un continuo crecimiento de la superficie construida y una progresiva modificación de los usos del suelo. En su lugar es recomendable realizar un replanteo progresivo del Dominio Público Marítimo Terrestre en la zona, alejando este de la línea de costa conforme a la cota de inundación.

- Contemplar la opción de construir en nuestra playa obras de defensa duras tales como espigones o diques, habiéndose realizado previamente un estudio pormenorizado de los procesos costeros y del transporte longitudinal de los sedimentos. Estas obras, además, deben intentar reducir el impacto ambiental al



máximo y solucionar las afecciones en la playa de estudio sin crear ningún problema en los tramos de costa colindantes, permitiendo el flujo natural de sedimentos.

-Llevar a cabo de manera periódica bypass de parte de los sedimentos acumulados en la presa de Rules hasta Playa Granada, y no utilizar los áridos de Playa de Poniente, como se ha ido haciendo hasta ahora.

-Estos dos últimos puntos son las principales líneas de estudio que deben seguirse para solucionar el problema de erosión en Playa Granada. Además, con el bypass de sedimentos procedentes de la presa de Rules se aumenta la capacidad efectiva del embalse, evitando de esta manera su colmatación a largo plazo.

## 6. Referencias

- Bergillos RJ. (4 de julio de 2014). Regeneración de Playa Granada [Mensaje en un blog]. MORPHAL Morfodinámica de Playas Heterogéneas en el Litoral Andaluz del Mar de Alborán. Recuperado de <http://gdfa.ugr.es/morphal/>
- Bergillos RJ. (5 de diciembre de 2014). Regeneración de Playa Granada (II) [Mensaje en un blog]. MORPHAL Morfodinámica de Playas Heterogéneas en el Litoral Andaluz del Mar de Alborán. Recuperado de <http://gdfa.ugr.es/morphal/>
- Bergillos RJ & Ortega-Sánchez M (2017). Assessing and mitigating the landscape effects of river damming on the Guadalfeo River delta, southern Spain. *Landscape & Urban Planning* 165, 117-129.
- Bergillos RJ, Rodríguez-Delgado C & Ortega-Sánchez M (2017). Advances in management tools for modeling artificial nourishments in mixed beaches. *Journal of Marine Systems* 172, 1-13.
- Bergillos RJ, López-Ruiz A, Ortega-Sánchez M, Masselink G & Losada MA (2016). Implications of delta retreat on wave propagation and longshore sediment transport - Guadalfeo case study (southern Spain). *Marine Geology* 382, 1-16.
- Bergillos RJ, Ortega-Sánchez M, Masselink G & Losada MA (2016). Morpho-sedimentary dynamics of a micro-tidal mixed sand and gravel beach, Playa Granada, southern Spain. *Marine Geology* 379, 28-38.
- Bergillos RJ, Rodríguez C, Millares A, Ortega-Sánchez M & Losada MA (2016). Impact of river regulation on a Mediterranean delta: Assessment of managed versus unmanaged scenarios. *Water Resources Research* 52, 5132-5148.
- Dique “verdes” para salvar la playa (7 de noviembre de 2010). *Levante*. Recuperado de <http://www.levante-emv.com>
- Gautier L. (1 de julio de 2017). Otro temporal se come las regeneraciones en las playas a las puertas del mes de julio. *Ideal*. Recuperado de <http://ideal.es>
- Itinerarios Geológicos Virtuales (2013). Proyecto de innovación docente 11-282. Universidad de Granada, España. Recuperado de <http://servidorgeodin.ugr.es>
- López-Ruiz A, Bergillos RJ & Ortega-Sánchez M (2016). The importance of wave climate forecasting on the decision-making process for nearshore wave energy exploitation. *Applied Energy* 182, 191-203.
- Navarrete M. (9 de abril de 2017). Las playas mordidas por los temporales llegan a punto a Semana Santa. *Ideal*. Recuperado de <http://ideal.es>
- Ortega-Sánchez M, Bergillos RJ, López-Ruiz A & Losada MA (2017). [Morphodynamics of Mediterranean mixed sand and gravel coasts](#). SpringerBriefs in Earth Sciences, Springer, ISBN: 978-3-319-52439-9.
- Ovalle JA. (2012). Aplicación de obras de defensa blandas para la protección de la costa catalana (Tesis de Máster). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

- Peña E, Anta J & Pena L. *Actuaciones en el litoral y defensa de la costa* [diapositivas PowerPoint]. Recuperado de [ftp://ceres.udc.es/ITS\\_Caminos/Optativas/Ingenieria\\_Maritima/2011%20EPe%C3%B1a%20Tema%207%20Espigones%20Diques.pdf](ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/Optativas/Ingenieria_Maritima/2011%20EPe%C3%B1a%20Tema%207%20Espigones%20Diques.pdf)
- Prieto A, Ojeda J, Rodríguez S, Gracia FJ & Del Río L (19-21 septiembre, 2012). Procesos erosivos (tasa de erosión) en los deltas mediterráneos andaluces: herramientas de análisis espacial (DSAS) y evolución temporal (servicios OGC). XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC.
- Rocha-Felices A (2007). Defensas fluviales con espigones. En XVI Congreso Nacional Peruano de Ingeniería Civil.
- Rodríguez C. (2015). Estudio de la evolución del delta del Guadalfeo (Proyecto Fin de Carrera). Universidad de Granada, Granada, España.
- Salido A. (2016). Estudio y análisis de la cota de inundación en Playa Granada (Trabajo Fin de Grado). Universidad de Granada, Granada, España.
- *Segunda parte. Sistemas de bypass de arena* [archivo pdf]. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5971/05.pdf?sequence=6>
- Toledo C. (1 de agosto de 2016). Las algas de la orilla no son “basura”. *El Mundo*. Recuperado de <http://www.elmundo.es>
- Ubago L. (18 de julio de 2016). Comienzan las obras de regeneración en Playa Granada. *Ideal*. Recuperado de <http://ideal.es>
- Ubago L. (23 de febrero de 2017). La solución de Playa Granada no puede ser quitar arena de poniente. *Ideal*. Recuperado de <http://ideal.es>
- Ubago L. (31 de marzo de 2017). Plan de emergencia para recuperar ocho playas de la Costa Tropical. *Ideal*. Recuperado de <http://ideal.es>
- Ubago L. (6 de junio de 2017). Un mes de “obras” para dejar todas las playas perfectas. *Ideal*. Recuperado de <http://ideal.es>
- Yepes-Piqueras V. (25 de junio de 2014). Intervención en una playa: justificación y técnicas [Mensaje en un blog]. El blog de Víctor Yepes. Recuperado de <http://victoryepes.blogs.upv.es/>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
- Puertos del Estado.
- Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE).
- Web Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. <http://mapama.gob.es>