



*Escuela Técnica Superior de
Ingenieros de Caminos, Canales
y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS PLAYAS DE SOMO Y DEL PUNTAL DE SANTANDER

Trabajo realizado por:

Laura González Suárez

Dirigido:

Mauricio González Rodríguez

Raúl Medina Santamaría

Titulación:

**Máster Universitario
en Ingeniería Costera
y Portuaria**

Santander, octubre de 2018

TRABAJO FINAL DE MASTER



RESUMEN/ABSTRACT



RESUMEN

Título: *Análisis de la evolución de las playas de Somo y el Puntal de Santander*

Autor: *Laura González Suárez*

Dirigido por: *Raúl Medina Santamaría y Ernesto Mauricio González Rodríguez*

Palabras clave: *playa, pérdida, recesión, avance, dragado, estabilidad, línea de costa*

Las playas de Somo, Loredó y el Puntal se encuentran en el municipio costero de Ribamontán al Mar, situado al este de la Bahía de Santander. Estas playas son las más representativas del municipio, siendo la primera reserva de surf en España y atrayendo al año una gran cantidad de turistas, de los cuales una parte importante están ligados a la práctica de este deporte, llegando incluso a quintuplicar la población en los meses de verano.

La línea de costa de las playas mencionadas se encuentra en constante evolución. Actualmente, la zona de Somo y Loredó se encuentran en un proceso de recesión de la línea de costa, mientras que en la zona del Puntal ocurre lo contrario, tendiendo a la sedimentación y así creciendo hacia el oeste.

Esta problemática crece al entrar en conflicto con la operatividad del Puerto de Santander, ya que éste utiliza la bocana formada por Punta Rabiosa y la Península de la Magdalena como canal de navegación para los barcos que entran al mismo. Por ello, el puerto se ve obligado a realizar dragados de mantenimiento local para evitar que el Puntal cierre el mencionado canal. Debido a que al oeste el fondo se compone por rocas, el dragado debe realizarse en la zona del Puntal.

Este problema no es nuevo y ya se escribió sobre él en 1990, cuando se realizó un documento llamado *Diseño óptimo de la Canal de navegación de acceso al Puerto de Santander* (IH-90) realizado por IHCantabria. En este documento se analizó la evolución histórica de la Bahía, especialmente en su bocana y se calcularon unas tasas de evolución de la línea de costa, estableciéndose también un modelo morfodinámico de funcionamiento de las playas de estudio. Posteriormente, en 1992 se redactó otro documento (IH-92) para verificar este modelo de funcionamiento.

Actualmente, han pasado más de 25 años en los que se han podido recopilar diferentes datos que pueden ayudar a observar la evolución de la línea de costa, como son las fotografías aéreas, con los que se puede estimar si las tendencias que se establecieron en los documentos han cambiado.

El presente proyecto establece cuáles son las tasas de evolución de la línea de costa de las playas de Somo, Loredó y el Puntal estos últimos años, comparándolas con las calculadas en los documentos IH-90 e IH-92. También incluye la calibración y validación de un modelo de evolución de largo plazo aplicado a las playas de estudio.

Durante el documento de Trabajo de Fin de Máster Realizado se han elaborado cálculos acerca de la evolución de la línea de costa en las playas de Somo y Loredó y el Puntal, habiéndose obtenido resultados en cuanto al avance del Puntal y el retroceso de la línea de costa en Somo y Loredó. Estos resultados se han comparado posteriormente con las tendencias que se establecieron en el documento IH-90, obteniéndose tasas muy similares, tanto de retroceso de la línea de costa en las playas como de avance del Puntal, concluyéndose que el modelo morfodinámico que fue propuesto los documentos IH-90 e IH-92 es adecuado.

Además, durante los años que han pasado desde la redacción de los documentos de 1990 y 1992 se han desarrollado nuevos modelos de evolución de la línea de costa que antes no existían y que son más precisos que los antiguos, que pueden representar cómo ha retrocedido o avanzado la costa.

Como segunda parte del trabajo, se incluye una validación y calibración con el modelo Chronos, ayudándose de los resultados obtenidos previamente por el método de análisis de líneas de costa procedentes de la observación de fotografías. Este es un modelo de evolución de largo plazo que se enmarca dentro del proyecto SMC2020. Se ha obtenido que este modelo representa correctamente lo que ocurre en la realidad, pudiéndose llegar a utilizar en futuras líneas de investigación acerca de la evolución de la línea de costa.



ABSTRACT

Title: *Analysis of the evolution of the beaches of Somo and El Puntal of Santander*

Author: *Laura González Suárez*

Directed by: *Raúl Medina Santamaría and Ernesto Mauricio González Rodríguez*

Key words: *beach, loss, recession, advance, dredging, stability, coastline*

The beaches of Somo, Loredo and El Puntal are in the coastal municipality of Ribamontán al Mar, located east of the Bay of Santander. These beaches are the most representative of the municipality, being the first surfing reserve in Spain and attracting a large number of tourists a year, of which an important part is linked to the practice of this sport, even reaching a fivefold population in the summer months.

The coastline of the mentioned beaches is in constant evolution. Currently, the area of Somo and Loredo are in a process of recession of the coastline, while in the Puntal zone the opposite occurs, tending to sedimentation and thus growing to the west.

This problem grows when it comes into conflict with the operation of the Port of Santander, since it uses the mouth formed by Punta Rabiosa and the Magdalena Peninsula as a navigation channel for the ships that enter it. For this reason, the port is obliged to carry out local maintenance dredging to prevent the Puntal from closing the mentioned channel. Because to the west the bottom is made up of rocks, the dredging must be done in the Puntal area.

This problem is not new and was already written about it in 1990, when a document called Optimal Design of the Access Channel to the Port of Santander "(IH-90) made by IHCantabria. In this document the historical evolution of the Bay was analyzed, especially in its mouth, and evolution rates of the coastline were calculated, establishing also a morphodynamic model of operation of the study beaches. Later, in 1992, another document (IH-92) was drafted to verify this operating model.

Currently, more than 25 years have passed in which it has been possible to compile different data that can help observe the evolution of the coastline, such as aerial photographs, with which it is possible to estimate whether the trends that were established in the documents have changed.



This project establishes the evolution rates of the coastline of the beaches of Somo, Loredo and El Puntal in recent years, comparing them with those calculated in documents IH-90 and IH-92. It also includes the calibration and validation of a long-term evolution model applied to the study of the beaches.

During the Final Master's Work Document, results have been made about the evolution of the coastline on the beaches of Somo and Loredo and el Puntal, with the results obtained in terms of the progress of the Strut and the retreat of the line of coast in Somo and Loredo. These results have been subsequently compared with the trends established in the IH-90 document, obtaining very similar rates, both of the backward movement of the coastline on the beaches and the advance of the Strut, concluding that the morphodynamic model that was proposed IH-90 and IH-92 documents is adequate.

In addition, in all these years new models of evolution of the coast line have been developed that did not exist before and that are more precise than the old ones, which may represent how the coast has receded or advanced.

As a second part of the work, a validation and calibration with the Chronos model is included, helping me with the results previously obtained by the method of analysis of shorelines from the observation of photographs. This is a long-term evolution model that is part of the SMC2020 project. It has been obtained that this model correctly represents what happens in reality, being able to get to use in future lines of research about the evolution of the coastline.



ANTECEDENTES Y AGRACECIMIENTOS

El presente proyecto se enmarca dentro del Trabajo de Fin de Máster para el Máster en Ingeniería Costera y Portuaria de la Universidad de Cantabria, dentro de la especialidad de costas.

El modelo de evolución Chronos se enmarca dentro del Programa I+C==+C 2016 apoyo a proyectos de I+D como un proyecto de Investigación Industrial. Concretamente, consiste en una investigación planificada encaminada a adquirir nuevos conocimientos relativos a los procesos de erosión e inundación costera que puedan ser útiles para mejorar considerablemente productos ya existentes como es el Sistema de Modelado Costero (SMC).

El objetivo general del proyecto SMC2020 es acometer la investigación necesaria para la adquisición de nuevos conocimientos para la mejora del Sistema de Modelado Costero (SMC), que permita mejorar la competitividad de IHCantabria en el mercado de proyectos relacionados con la gestión de los riesgos de inundación y la provisión de servicios climáticos asociados a la morfodinámica de playas.

Concretamente, el presente Trabajo de Fin de Máster se encuentra dentro del objetivo número 4 de este proyecto: “Validación de la metodología, calibración / validación de las herramientas desarrolladas y aplicación a casos de estudios en la costa cántabra”; en el que se realiza una calibración y validación del modelo aplicándolo a las playas de Somo y Loredo.

Agradecimientos

Gracias Mauricio y Raúl por haberme dirigido en este Trabajo de Fin de Máster y darme la oportunidad de realizar prácticas en IHCantabria durante tres meses, pudiendo adquirir tantos conocimientos.

Gracias también a las personas del grupo de costas de IHCantabria que me han ayudado cuando lo he necesitado, en especial a Erica por su ayuda con el modelo, Camilo por resolverme tantas dudas y a Vero, que me ha orientado y ayudado y siempre ha estado atenta de mí en todo momento.



MEMORIA



ÍNDICE

1. Introducción.....	11
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Objetivos.....	17
1.3. Información utilizada.....	17
1.4. Contenido.....	18
2. Descripción de la zona de estudio.....	20
2.1. Localización y características.....	20
2.2. Morfología.....	22
2.3. Canal de navegación.....	25
2.4. Dinámica marina.....	26
3. Modelo morfodinámico de funcionamiento propuesto en 1990.....	29
3.1. Modelo morfodinámico de funcionamiento.....	29
3.2. Validación 1990-1992.....	35
3.3. Análisis de las tasas de 1990.....	36
3.4. Funcionamiento a futuro del sistema establecido en 1992.....	40
4. Evaluación del modelo morfodinámico propuesto en 1992 a día de hoy....	42
4.1. Metodología.....	42
4.2. Reconstrucción de la tasa de IH-90.....	49
4.3. Evolución de la línea de costa después de 1990.....	50
5. Aplicación del modelo Chronos.....	57
5.1. Objetivo.....	57
5.2. Descripción del modelo.....	57
5.3. Malla de cálculo.....	59
5.4. Dominio.....	59
5.5. Condiciones de contorno y parámetros utilizados.....	60
5.6. Calibración	61
5.7. Resultados obtenidos. Validación.....	61
6. Conclusiones/ Discusión.....	64
7. Bibliografía.....	65

1. - INTRODUCCIÓN

La playa es un recurso limitado y frágil, así como un factor limitante de la industria turística española en muchas zonas (Yepes, 1995), constituyendo las mayores acumulaciones de sedimentos del mundo, siendo a su vez una frontera entre el mar y la tierra, protegiendo las zonas de residencia cercanas al mar, ya que actúan como defensa de los fuertes oleajes.

Las zonas costeras son de vital importancia debido a diferentes aspectos:

- Desde el punto de vista ecológico, son claves por sus funciones de reserva sedimentológica y por el hecho de ser hábitat de numerosas especies.
- En cuanto al sector turístico en el mundo, un tercio de los ingresos son los debidos al costero, siendo el consumo turístico en España responsable de generar una gran cantidad de dinero, liderando el mercado de los viajes internacionales, identificándose como país receptor del turismo de “sol y playa”. La playa se convierte así en el principal factor productivo de la industria turística, haciéndose imprescindible cuidar el buen estado de las costas y del agua.
- Desde el punto de vista socioeconómico, las zonas costeras son, hoy por hoy, áreas de vital relevancia para los países costeros, ya que albergan a la mayor parte de su población y un elevado porcentaje de sus actividades económicas. (Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P., 2014).

Relacionado con este último punto en cuanto a la importancia socioeconómica, se estima que 1.900 millones de habitantes, es decir, un 28% de la población total del mundo, viven a menos de 100 kilómetros de la costa, en áreas a menos de 100 metros por encima del actual nivel del mar, según un estudio realizado por el equipo internacional de Matti Kummu, de la Universidad de Aalto en Finlandia (véase figura 1). En dicho estudio también se predice que hacia 2050 la cantidad de gente en esa zona se incrementará hasta los 2.400 millones.

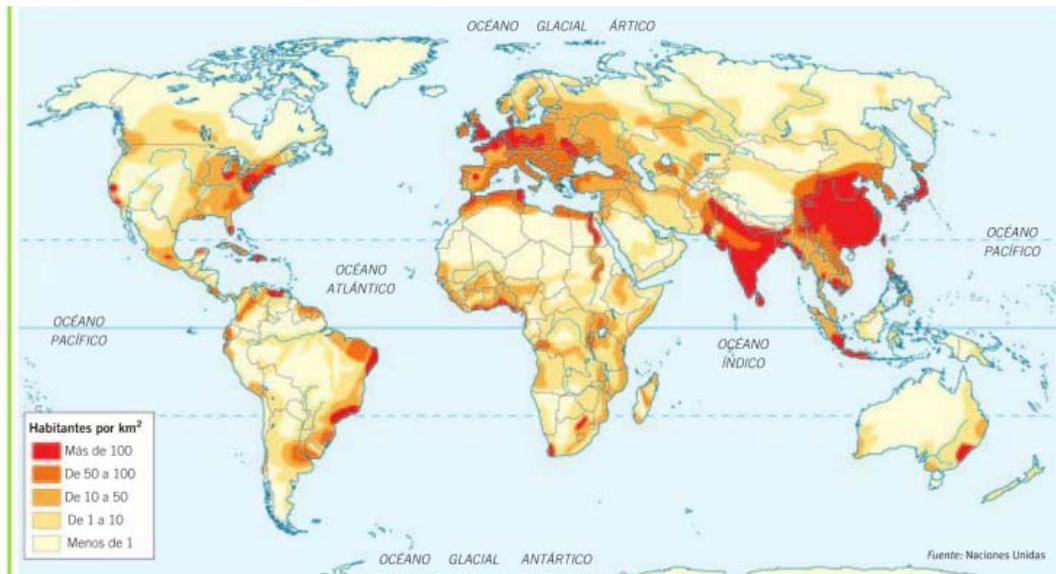


Figura 1. Distribución de la población mundial

En España, alrededor del 44% de la población vive en zonas costeras, habiéndose urbanizado alrededor del 57% de la costa arenosa.

En los párrafos anteriores se ha mostrado la importancia que tienen los sistemas costeros, tanto en la economía, al tratarse de una de las fuentes principales de ingresos gracias al turismo; como en la protección de las zonas habitadas, al tratarse de una barrera entre tierra y mar. A esto hay que añadir también la importancia que tiene en cuanto a la distribución de la población, situándose una parte muy importante de ésta en las proximidades del mar.

Es necesario también establecer la importancia que tienen las dunas para que sigan existiendo muchas playas, ya que son una reserva de arena para la propia regeneración natural de las mismas. Según explica Xisco Roig (2016), "no se entiende la playa si no hay dunas, con ellas se garantiza el sistema". También poseen un importante valor ecológico, estableciendo muchas veces la transición entre el mar y espacios de humedales costeros, así como albergando una gran riqueza de fauna y vegetación.

La arena de las playas y el espacio litoral son recursos que debe ser gestionado adecuadamente para garantizar su sostenibilidad, y con ella, la del propio turismo. Existen diversos estudios (Jiménez et al., 2007; Silva et al., 2007; Ariza et al., 2008; Roca y Villares, 2008) que indican la trascendencia de esta gestión (Yepes, 2014).

Un problema grave que sufren alrededor del 70% de las costas es el de la erosión de las

mismas. En 2001, los costes de protección ante la inundación-erosión de la costa en Europa ascendieron a 3.200 millones de €. Más del 50% de las playas y sobre el 70% de las dunas en España requieren restauración. (Medina, 2005)

Este problema es causado en muchas ocasiones por el hombre, debido a las obras de protección costera que construye, a dragados o a otras actividades. En los últimos años se han producido notables cambios en los usos del suelo, produciéndose un crecimiento urbanístico descontrolado en la costa que ha dado lugar a la rigidización de gran parte del litoral. Cantabria posee prácticamente 300 km de costa, situándose la mayoría de la población alrededor de ésta, por lo que existe una gran influencia humana en el litoral.

Por otro lado, los procesos de cambio climático y el calentamiento global que se sufren actualmente, están dando lugar a cambios que afectan directamente a la costa. La subida del nivel del mar produce un aumento en la inundación y erosión de las playas, que se traduce en pérdida y fragmentación de hábitats, fundamentalmente en las zonas sometidas a desarrollos urbanos que impiden la adaptación natural de la playa.

El cambio en la intensidad del oleaje y en la dirección de éste son otros de los efectos producidos por el cambio climático. El comportamiento encontrado es similar en alta mar y en aguas costeras, aunque los efectos de propagación sobre el oleaje hacen que los cambios sean más suaves en el litoral. En los últimos años se han observado aumentos en la intensidad del oleaje en el Cantábrico, siendo otra de las causas del aumento de la erosión en estas costas. (Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P., 2014)

El análisis de la evolución de la línea de costa es un elemento clave para entender la variabilidad en la tendencia de las playas a ser erosionadas y así acometer la evaluación, seguimiento y gestión del medio ambiente costero.

En el presente trabajo se va a estudiar la zona del Puntal, cuya ubicación y características se expondrán en los párrafos posteriores. Esta zona ha sufrido una serie de cambios en cuanto a la línea de costa a lo largo de los años.

A continuación, se plantea el problema que existe en las playas de estudio, fijando después los objetivos que se perseguirán y presentando la estructura y contenidos que se estudiarán desarrollarán a lo largo del documento.

1.1. –Planteamiento del problema

En el apartado anterior se ha descrito la importancia que tienen las playas en diversos sectores, así como los problemas que se tienen actualmente en cuanto a los cambios de la línea de costa. En cuanto a lo primero, las playas de estudio tienen una gran repercusión en los sectores anteriormente descritos:

- Desde el punto de vista ecológico, las dunas del Puntal forman parte de la Red Natura 2000, como se explicará posteriormente en el apartado de descripción de la zona de estudio
- En cuanto al sector turístico de Cantabria, Somo recibe una gran cantidad de turistas, muchos de ellos están ligados a la práctica del surf.
- Por otro lado, la localidad de Ribamontán al Mar tiene cerca de 5000 habitantes, que se encuentran en las proximidades de la costa

Con estos puntos, que se desarrollarán posteriormente, queda demostrada la importancia que tienen las playas de la zona de estudio y su repercusión en los distintos sectores. A continuación se describirá la problemática existente en dichas playas.

A partir de mediados del siglo XIX comenzaron a realizarse diversas actuaciones de ocupación en la Bahía de Santander. El canal de entrada al Puerto de Santander se encuentra situado entre la Península de la Magdalena y el Puntal (véase figura 2). Derivado de este crecimiento del puerto se encuentra el primer problema, que consiste en un crecimiento del Puntal hacia el oeste tendiendo a cerrar la entrada del canal de navegación. Según Vidal et al (1990), esto es debido a que, al reducir el prisma de marea, es decir, ocupar tierra que antes formaba parte del estuario, también se tiende a reducir la sección de la bocana. Dicha reducción de la bocana se traduce en un problema en cuanto a la operatividad del puerto ya que se deben realizar dragados periódicos para el mantenimiento local de la sección del canal de entrada.

Por otro lado, estos dragados que se acaban de mencionar se han hecho visibles en:

- Retroceso en el perfil de la zona de Loredó
- Retroceso en el perfil de la zona de Somo
- Deterioro del sistema dunar del Puntal



Figura 2. Vista general de la Bahía de Santander

De acuerdo con Vidal (2018), “El retroceso de El Puntal comenzó a partir del siglo XIX, cuando empezó la intervención humana en la bahía, y no se ha vuelto a estabilizar porque se perdió demasiada arena y se acabó con ‘El bajo de las Quebrantas’, una barrera natural de protección frente al oleaje que desapareció por el dragado. Sin esa barrera, las olas rompen en la playa con mucha más fuerza”.

Por lo expuesto anteriormente, existe un claro problema de erosión en estas playas, donde se está produciendo un retroceso constante de la línea de costa a lo largo de los años, reduciendo el ancho de las mismas. Además, este problema se agrava al tener en cuenta que en Somo hay una superficie urbanizada muy próxima a la costa y que el constante proceso de erosión está amenazando con llevarse la primera línea de playa.

Este problema de erosión se hace cada vez más visible; un ejemplo de ello es la imagen de la figura 3, donde se muestra la erosión del sistema dunar en la zona de la playa de Loredó.



Figura 3. Erosión de las dunas de Loreda

Este problema no es nuevo y ya fue detectado en los años 1989 y 1990. En este periodo se redactó un documento denominado “*Diseño óptimo de la Canal de navegación de acceso al Puerto de Santander*” (IH-90) en el que se realizó un análisis de la evolución histórica de la Bahía, especialmente en la bocana, concluyéndose que la actuación humana ha dado origen a importantes retrocesos en las playas del Puntal a Loreda, playas de cuales se va a analizar la evolución en el presente estudio. Se establecieron una serie de recomendaciones y propuestas de soluciones. Posteriormente se hizo un seguimiento de unos 2 años, en el que se verificó lo establecido en el primer documento, llamado “*Seguimiento y análisis de la evolución del sistema de playas Loreda-El Puntal y de la canal de navegación del Puerto de Santander, 1990-1992*”. Se planteó un modelo morfodinámico de funcionamiento y la predicción a futuro del comportamiento del Puntal y de las playas de Somo y Loreda.

Estos documentos se desarrollaron hace prácticamente 30 años. Actualmente, existen nuevos datos para evaluar la evolución del Puntal en los últimos años, como batimetrías o imágenes de satélite; así como modelos nuevos y técnicas más modernas de las que se utilizaron en aquella época. Por todo esto, existe una posibilidad de verificar si los documentos de 1990 estaban en lo cierto.

También se predijeron en estos documentos unas tasas de evolución de la línea de costa y de avance del Puntal para futuro, debiéndose comprobar si dichas tasas fueron correctas o, de lo contrario, se deben de actualizar.



1.2. –Objetivos

Habiendo establecido en el apartado anterior la problemática existente, se plantea un objetivo general y varios objetivos específicos para la consecución del primero.

Como objetivo general del presente estudio se plantea comprobar la validez del modelo de funcionamiento que se propuso en los años 1989-1990, así como las tasas de evolución, que se establecieron en el documento “*Diseño óptimo de la Canal de navegación de acceso al Puerto de Santander*”, realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, “IH Cantabria”. Se verificará también el seguimiento realizado posteriormente a la publicación del primer documento y plasmado en el escrito “*Seguimiento y análisis de la evolución del sistema de playas Loredo-el Puntal y de la Canal de Navegación del Puerto de Santander, 1990-1992*”.

Para la consecución de este objetivo principal se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la evolución de la línea de costa de las playas de Somo y Loredo, así como evaluar el crecimiento del Puntal hacia el oeste.
- Analizar las líneas de costa históricas a partir de fotografías aéreas.
- Definir la situación actual del Puntal y compararla con la predicha en 1990.
- Calibrar y aplicar el modelo de evolución de largo plazo “Chronos”.
- Establecer conclusiones de los resultados obtenidos.

1.3. – Información utilizada

Para la realización de este estudio se ha contado con los siguientes datos:

- Fotografías aéreas de vuelos históricos desde 1945 hasta 2017 proporcionadas por el CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica), que han sido cedidas por el PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), el Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Defensa (CEGET).
- Memoria del informe final “*Diseño óptimo de la Canal de navegación de acceso al Puerto de Santander*”, por la fundación Leonardo Torres Quevedo, así como resumen del mismo realizado por Miguel A. Losada, Raúl Medina y César Vidal.

- Informe “*Seguimiento y análisis de la evolución del sistema de playas Loredó-el Puntal y de la Canal de Navegación del Puerto de Santander, 1990-1992*”, por la Fundación Leonardo Torres Quevedo.
- Batimetría del año 2016 de la zona proporcionada por IHCantabria.
- Datos de dinámica marina de 1948 a 2015 proporcionados por IHCantabria.
- Datos de mareógrafo proporcionados por “IH data” desde 1992 a 2015
- Serie anual de dragados proporcionada por la Autoridad Portuaria del Puerto de Santander.

1.4. – Contenido

Con el fin de facilitar la lectura y comprensión de este estudio se ha estructurado el mismo en varios capítulos, distribuidos de la siguiente forma:

Capítulo 1: Introducción. En este capítulo se presenta la motivación del estudio y la problemática que existe, describiendo el objetivo general y los objetivos específicos, así como la estructura del presente documento.

Capítulo 2: Descripción de la zona de estudio. En este capítulo se hace una descripción de la localización y las características de la zona, la morfología, la dinámica marina actuante y las actuaciones que se han realizado en el canal de navegación.

Capítulo 3: Modelo morfodinámico de funcionamiento propuesto en 1990. En este capítulo se hace un resumen de lo planteado en dicho documento y de la validación que se realizó posteriormente, así como las conclusiones que se hicieron de funcionamiento a futuro del sistema.

Capítulo 4: Evaluación del modelo morfodinámico propuesto en 1990. En este capítulo se pretende mostrar la evolución histórica que ha sufrido el Puntal, estableciendo la metodología que se ha empleado para dicha evaluación. Así mismo, se hace una evaluación del modelo propuesto en 1990 y se propone un modelo morfodinámico de funcionamiento del sistema de la situación actual y futura.

Capítulo 5: Aplicación del modelo Chronos. En este capítulo se hace una introducción de qué es el modelo morfodinámico de evolución “Chronos” y las ecuaciones que utiliza.



Se hace una calibración y validación con datos medidos y, por último, se aplica para la estimación de la evolución a futuro del Puntal

Capítulo 6: Conclusiones/Discusión. En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas con base en los resultados mostrados, incluyendo una discusión de éstos.

Capítulo 7: Futuras líneas de investigación. En este capítulo se proponen futuros planteamientos de investigación, a partir del desarrollo del proyecto.

Capítulo 8: Bibliografía. En este capítulo se detalla la documentación consultada y las referencias que hayan sido citadas en el texto.

2. - DESCRPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. – Localización y características

En este capítulo se hace una breve descripción de la zona de estudio, centrándose en la ubicación de la misma, así como en sus características principales.

Las playas objeto del estudio se encuentran en el norte de España, en la comunidad autónoma de Cantabria, más concretamente en el municipio de Ribamontán al Mar, en Somo, en la costa de Trasmiera (véase figura 4).



Figura 4. Localización general de la zona de estudio

En la imagen de la derecha de la figura 4 puede verse la Bahía de Santander, que se encuentra situada en la zona central del litoral cántabro, junto a la capital regional y en ella se ubica el puerto de Santander, cuyo origen data de hace más de 2.000 años, según la página web oficial del mismo. El complejo portuario de Raos concentra la mayor parte de las operaciones físicas de cambio modal del Puerto de Santander, habiéndose realizado distintas obras de dragado de la canal de navegación destinadas a situar su calado en concordancia con la demanda de las necesidades del crecimiento del Puerto para permitir el paso de embarcaciones de mayor envergadura, como se ha mencionado en el apartado anterior.

Las playas de Somo y Loredo, así como el Puntal, se encuentran al norte de la Bahía de Santander, con la isla de Santa Marina y Mouro al frente (véase figura 5). La zona de estudio abarca estas playas, que suman en total una longitud aproximada de unos 4500 metros, desde Punta Rabiosa, al oeste, pasando por Somo, en el centro, y hasta Loredo, que se encuentra en frente de la isla de Santa Marina, al este.



Figura 5. Ampliación de la zona de estudio

Anteriormente se ha descrito brevemente la importancia en distintos sectores de la zona de estudio. A continuación, se profundizará en mayor medida en estos aspectos:

- En cuanto al sector ecológico del que se hablaba, la zona de estudio tiene una importancia alta debido a que las Dunas del Puntal forman parte de la Red Natura 2000, que tiene el objetivo de conservar y recuperar el mejor estado posible de una serie de hábitats y de especies de fauna y flora de interés comunitario.
- En cuanto al sector turístico y, por tanto, económico, Somo tiene un gran atractivo debido a sus playas, habiendo más de 58.000 turistas al año. También hay una larga tradición de la práctica del surf y windsurf debida a sus grandes oleajes, que hacen que haya unas condiciones idóneas para el desarrollo de estos deportes. Ribamontán al Mar ha sido declarada primera reserva natural del surf de España y segunda de Europa, reconociendo sus playas por su carácter medioambiental, deportivo y socioeconómico. Todo esto hace que el 24% de los turistas aproximadamente estén ligados a la práctica de este deporte.
- Por otro lado, el municipio de Ribamontán al Mar tiene una población de cerca de 4.500 habitantes que en verano crece hasta los 20.000 habitantes aproximadamente, llegando a quintuplicar su población, distribuyéndose la mayoría alrededor de la costa.

2.2. – Morfología

La Costa Cantábrica se caracteriza por ser rocosa y con abundantes acantilados y rasas, debido a la proximidad de la Cordillera Cantábrica. Esta costa también se caracteriza por la presencia de numerosas rías y por la formación de puntales y barreras arenosas debido a la existencia de corrientes encontradas.

La Bahía de Santander está dentro del mayor estuario de Cantabria, con una superficie de 2.346 ha y un perímetro de 97 Km. Su morfología y funcionalidad están condicionadas por los rellenos en la margen oeste de la ciudad y por las obras de dragado para el acondicionamiento de la canal de navegación. Su espacio intermareal representa el 67% del área total de la bahía (1.573 ha) y se concentra principalmente en los páramos de la margen derecha.



Figura 6. Carta náutica del Puerto de Santander

En la figura 6 se muestra una carta náutica del Puerto de Santander, donde puede observarse por dónde discurre su canal de navegación principal, que se compone de una sección de aproximadamente 200 metros de ancho y 10-11.5 metros de profundidad media, llegando en ocasiones a calados de 15 metros. El acceso al canal de navegación del puerto está ubicado entre la Península de la Magdalena, al norte, y El Puntal, al sur, cerrando parcialmente este último la Bahía en la parte de la bocana.

La zona del canal posee profundidades mayores debido a la forma natural que tiene y a los dragados producidos artificialmente por el hombre para asegurar el calado para el paso de grandes barcos. Estos dragados se deben de realizar al sur, en la zona del Puntal, debido a que al norte, en la zona de la Península de la Magdalena, el fondo está compuesto por rocas.

La ría Cubas es una de las que desemboca en la Bahía de Santander, siendo poco relevantes tanto las aportaciones fluviales en la morfodinámica, como de los aportes de material a la Bahía, ya que ésta es de al menos un orden menos de magnitud que el dragado producido por el hombre. La Bahía de Santander recibe también los aportes de otros ríos de menor entidad, a través de las rías de Boo, Solía y Tijero, localizadas en su zona más interna, que carecen de importancia significativa en las aportaciones tanto fluviales como de materiales.

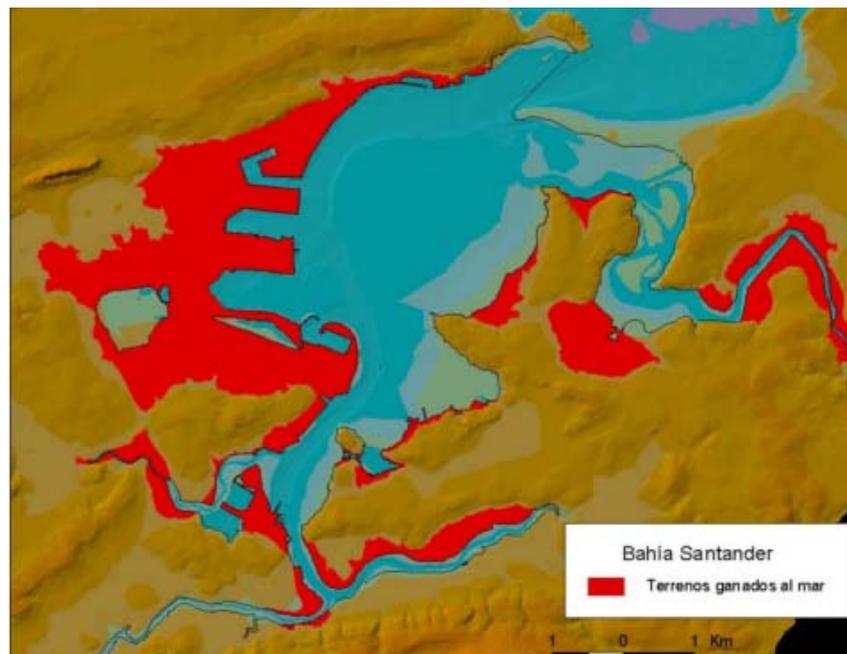


Figura 7. Terrenos ganados al mar en la Bahía

La Bahía de Santander ha sufrido numerosas e importantes presiones hidromorfológicas que han alterado por completo su morfología original, perdiendo entre el 37% y el 50% de su superficie original, según diferentes estimaciones, debido a los rellenos que se llevaron a cabo el siglo pasado (véase figura 7). De éstos, se estima que, aproximadamente, 400 ha son recuperables.

Un elemento típico de este tipo de estuarios es la presencia de un gran bajo exterior de arena, situado frente a la desembocadura y parcialmente unido a la playa. En el caso de la bahía de Santander este gran bajo, conocido en la antigüedad como “Las Quebrantas” (véase figura 8), ha desaparecido por las transformaciones morfológicas de la bahía y los dragados de la canal de navegación y en la actualidad sólo existe un pequeño bajo unido a la playa del Puntal. La desaparición de Las Quebrantas hace que la playa tenga menor protección frente al oleaje (Vidal, 1990).



Figura 8. Posición del antiguo bajo "Las Quebrantas"

2.3.- Canal de navegación

Como se ha descrito anteriormente, el acceso al canal de navegación del Puerto de Santander se encuentra ubicado entre la Península de la Magdalena y Punta Rabiosa (el Puntal). Se han realizado históricamente una serie de dragados, tanto en la zona del Puntal como en la del canal exterior. Estos dragados tienen como objetivo mantener o incrementar el calado del muelle necesario para permitir el acceso de los grandes barcos al Puerto de Santander.

Desde el año 1993 se ha dragado un promedio de unos 140 000 m³ al año en los últimos 25 años, siendo el mayor dragado, en 1994, de 406 000 m³. En la figura 9 se puede observar cuáles han sido los dragados anuales desde el año 1993, proporcionados por la Autoridad Portuaria de Santander.

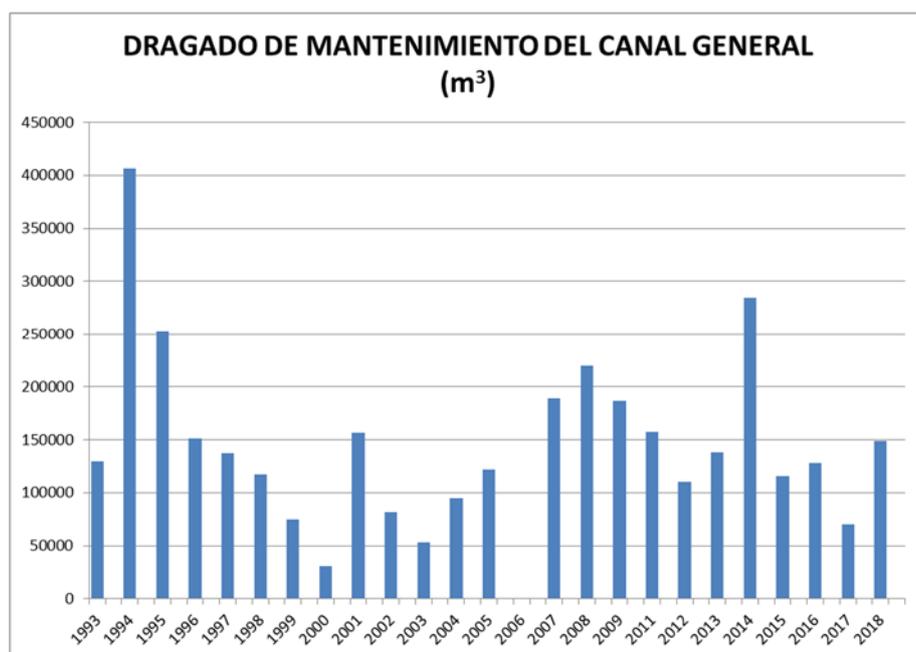


Figura 9. Dragado de mantenimiento del canal general

Por otro lado, como se observa en la figura 10, los dragados que se realizan son notablemente mayores en el Puntal que en el Canal exterior, habiendo años incluso que no ha sido necesario realizarlos en el canal. Con esto se puede concluir que es mucho mayor el problema del crecimiento del Puntal hacia el interior de la Bahía, invadiendo la Canal de navegación.

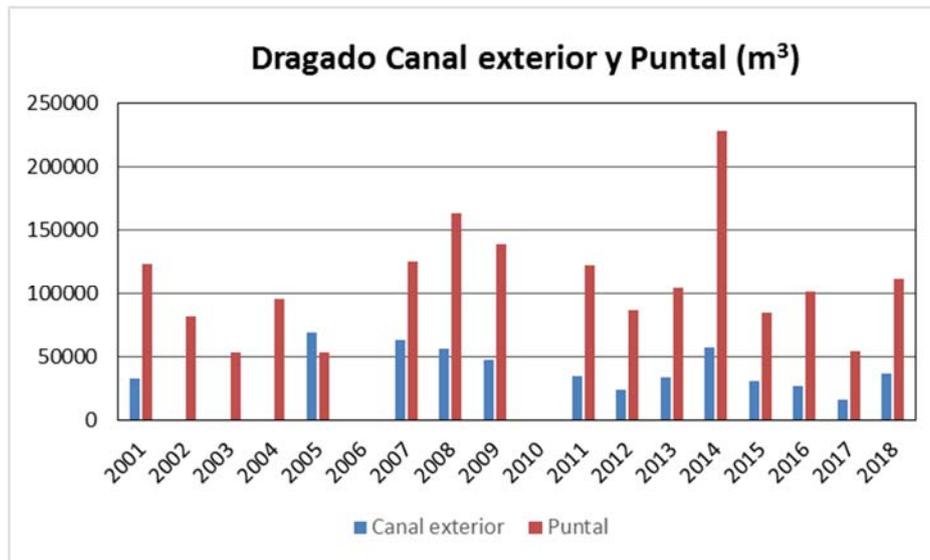


Figura 10. Comparación de dragado en el Canal y el Puntal

2.4.- Dinámica marina

Como ocurre normalmente en los estuarios, su morfodinámica está condicionada fundamentalmente por factores naturales, como son el oleaje, la marea astronómica, el viento y las aportaciones fluviales que, en el caso de estudio, tienen importancia prácticamente nula. En el presente apartado se analizarán dichos factores.

Es importante destacar, además, que en el estuario de la zona de estudio tiene especial importancia la presencia de dragados que se realizan con objetivo de mantener el calado necesario del canal de navegación de acceso al Puerto de Santander, tal y como se ha mostrado en el apartado anterior.

Para la caracterización del oleaje en profundidades indefinidas se ha tomado un punto “Downscaling Ocean Waves (DOW)” en el exterior de la Bahía, cuya ubicación se muestra en la figura 11, mientras que para la marea astronómica y meteorológica se ha utilizado un punto GOT y GOS respectivamente, ubicados ese mismo lugar.

Se puede observar que la mayor parte de oleajes (alrededor del 58%) provienen del sector NW (véase figuras 12 y 13), siendo estos oleajes los dominantes y reinantes, con unas alturas de ola significativa medias de unos 1.5 metros, alcanzando incluso los 7.5 metros en temporales, y unos periodos de pico medios de 10 segundos y máximos de 18 segundos.

*Análisis de la evolución de las playas de Somo y
del Puntal de Santander.*

Máster universitario en ingeniería Costera y Portuaria.

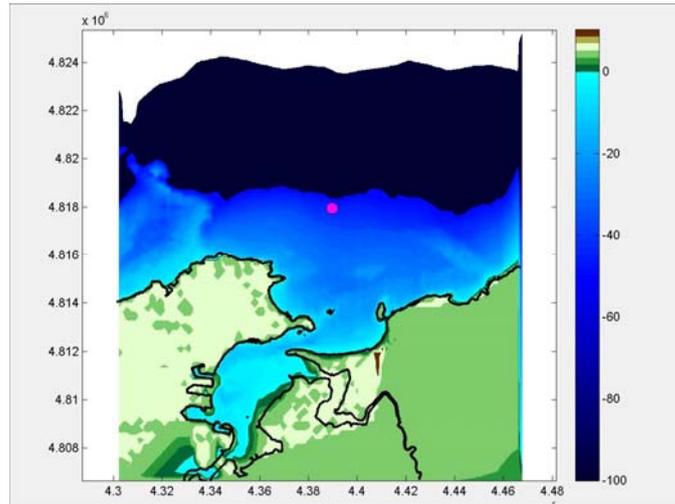


Figura 11. Situación del punto DOW

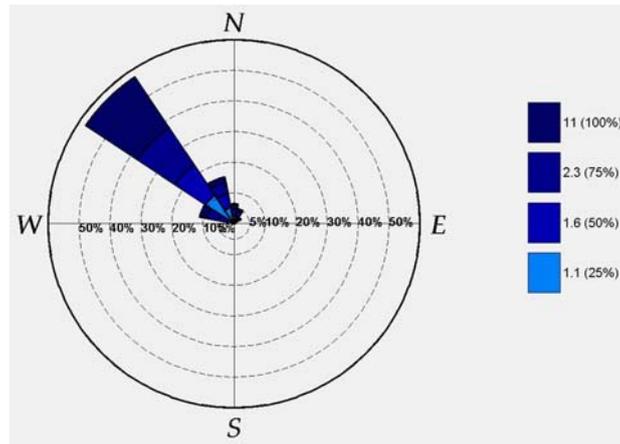


Figura 12. Rosa de alturas de ola significante en indefinidas

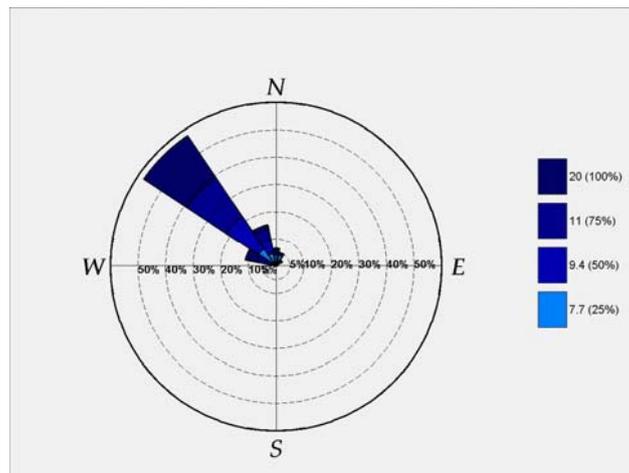


Figura 13. Rosa de periodos en indefinidas

También puede observarse en la figura 14 que las olas son más pequeñas en los meses de verano, habiendo un pico en el mes de julio, en el que se encuentran oleajes más fuertes, de hasta 6 metros de altura de ola.

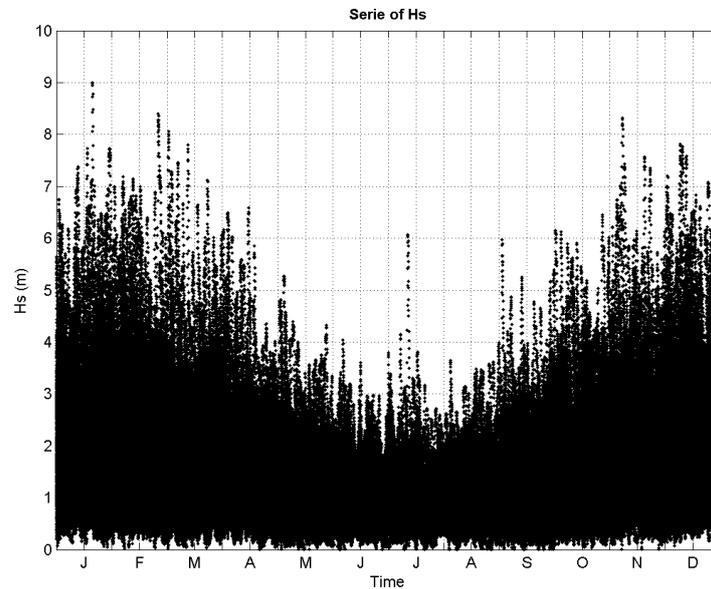


Figura 14. Serie de altura de ola significativa por meses

En cuanto a la marea, compuesta de la astronómica (figura 15) y la meteorológica (figura 16), se obtiene un valor para el rango de marea de aproximadamente 4,5 metros, clasificando el estuario como un estuario macromareal, con una marea semidiurna, con dos pleamares y bajamares.

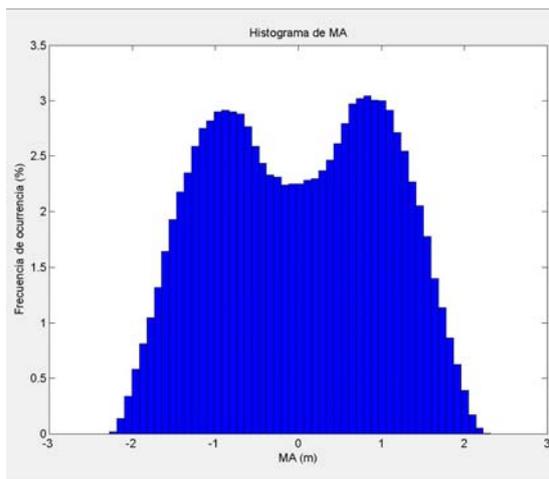


Figura 15. Marea astronómica

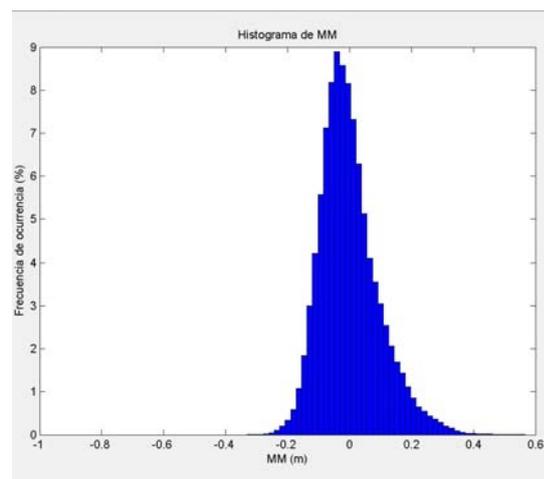


Figura 16. Marea meteorológica

Se puede observar que la componente astronómica tiene un rango de alrededor de 4 metros, mientras que la marea meteorológica lo tiene de 0.5 metros.

3.-MODELO MORFODINÁMICO DE FUNCIONAMIENTO PROPUESTO EN 1990

Durante los años 1989 y 1990 se llevó a cabo un estudio titulado “*Diseño óptimo de la Canal de navegación de acceso al Puerto de Santander*” (IH-90), llevado a cabo por IHCantabria. En este estudio se analizó la evolución histórica de la Bahía, especialmente en su bocana; se determinaron las necesidades de anchura y calado de la canal y se realizaron una serie de recomendaciones y propuestas de soluciones.

Posteriormente, durante los años 1990-1992, se hizo un seguimiento de la evolución de las playas y la canal para verificar y contrastar el modelo de funcionamiento propuesto en el anterior informe y analizar y obtener nuevos datos. Todo esto se plasmó en un informe titulado “*Seguimiento y análisis de la evolución del sistema de playas Loredo-el Puntal y de la Canal de Navegación del Puerto de Santander, 1990-1992*”. (IH-92)

En este capítulo se muestra un resumen de algunos de los aspectos más relevantes de los citados documentos para, posteriormente, hacer una validación o ratificación de lo expuesto en ellos.

3.1.- Modelo morfodinámico de funcionamiento

En este apartado se describe el modelo morfodinámico de funcionamiento expuesto en el documento denominado anteriormente IH-90.

En el documento se toma como primera referencia un plano de 1730, donde la superficie inundable era un 230% mayor que en la fecha de redacción del escrito. Dicho plano se muestra en la figura 17, donde se observa que la prolongación del Puntal crecía hacia el interior de la Bahía, cambiando de orientación del extremo según el oleaje e incluso rompiéndose. Un elemento muy importante a tener en cuenta es un bajo de arena denominado “Las Quebrantas”, que modificaba en gran medida la propagación del oleaje y hacía que se separasen las playas en dos unidades según sus dinámicas marinas: de las Quebrantas hacia Loredo y de las Quebrantas hacia el Puntal.

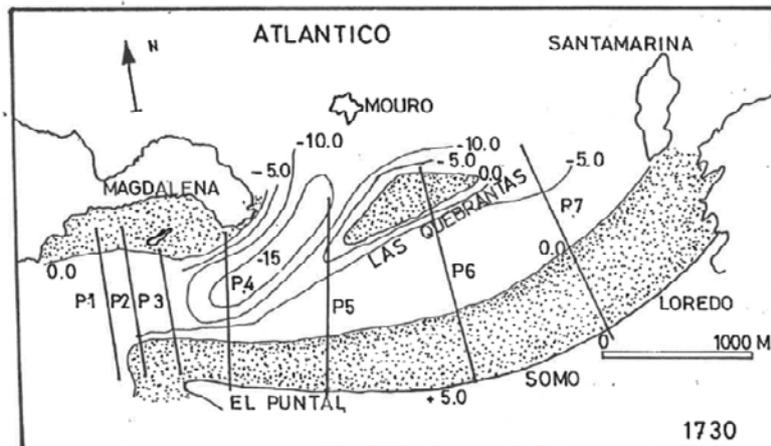


Figura 17. Plano de 1730

Para poder entender cómo funciona el sistema se debe de explicar el modelo morfodinámico que se establece en la zona de estudio. Como en todos los estuarios, la marea saliente del mismo tiende a dejar un bajo en la zona de frente al canal de salida del mismo. Este bajo es el que se denominaba bajo de Las Quebrantas. La siguiente fase que se produce en los estuarios es dejar la arena del bajo en la playa y después volverlo a trasladar a la canal, estableciendo un recorrido circular en el que la arena se desplazaba y así se establecía un sistema de equilibrio entre Quebrantas-playa-Puntal-Canal-Quebrantas (véase figura 18).



Figura 18. Modelo morfodinámico de 1990

A mediados del siglo XIX se redujo la superficie inundable un 30-40% (véase figura 19) para crear asentamientos en la Bahía, reduciendo el prisma de marea. También se comenzaron obras de dragado del interior de la Bahía. El bajo de las Quebrantas desapareció casi totalmente entre 1730 y 1875 (véase figura 20).

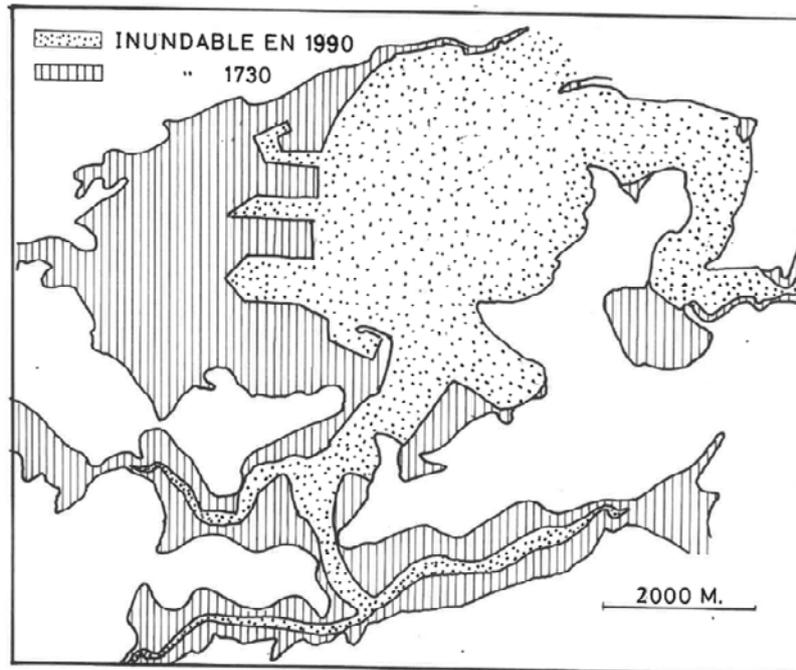


Figura 19. Superficie inundable de la Bahía en 1990 y 1730

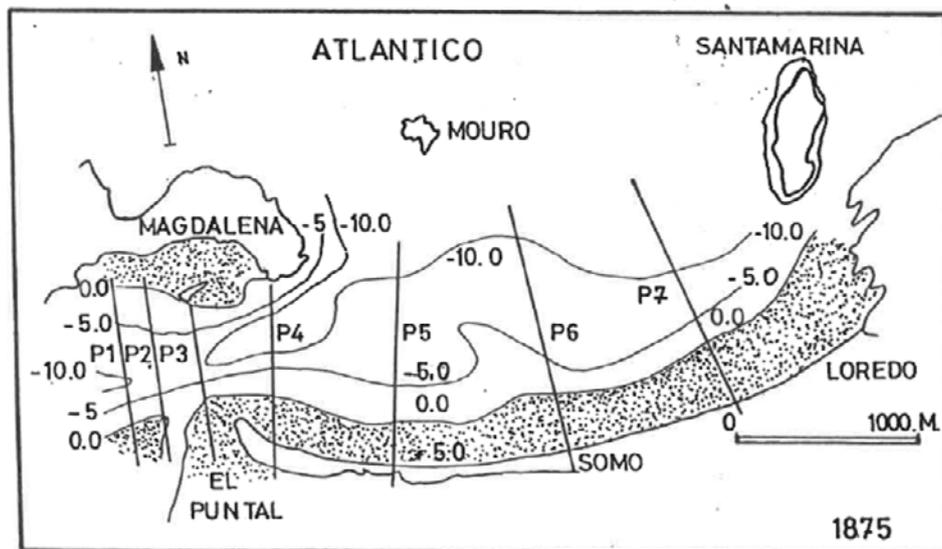


Figura 20. Plano de 1875

Al no haber arena en el bajo, no se deposita la arena proveniente del mismo en la playa, pero sí que se traslada arena de la playa al Puntal, por lo que se producen dos efectos, de acuerdo con el informe IH-90:

- La zona del Puntal tiende a acumular arena cerrando el canal de navegación y teniendo que realizarse dragados para el mantenimiento del mismo;
- La zona de las playas tiende a erosionarse por aportar arena al canal pero no recibir esta arena del bajo.

A su vez, los dragados efectuados en la zona del Puntal modifican el sistema natural de oleaje y corrientes y, al efectuarse por encima de la capacidad de equilibrio del sistema, se ha provocado un aumento del transporte de sedimentos hacia Punta Rabiosa y, por tanto, una mayor erosión del sistema de playas. Debido a esta erosión en la parte de las playas y a la acumulación en la zona del Puntal se produjo un giro de la playa Somo-Loredo, así como el retroceso de la línea de costa.

Estos dragados, al realizarse fuera del sistema de las playas, producían una gran cantidad de pérdida de arena, habiéndose evaluado que entre 1850 y 1870 se perdieron alrededor de 3,5 millones de m³ de arena. Esta variación del volumen total de sedimentos se muestra en la figura 21

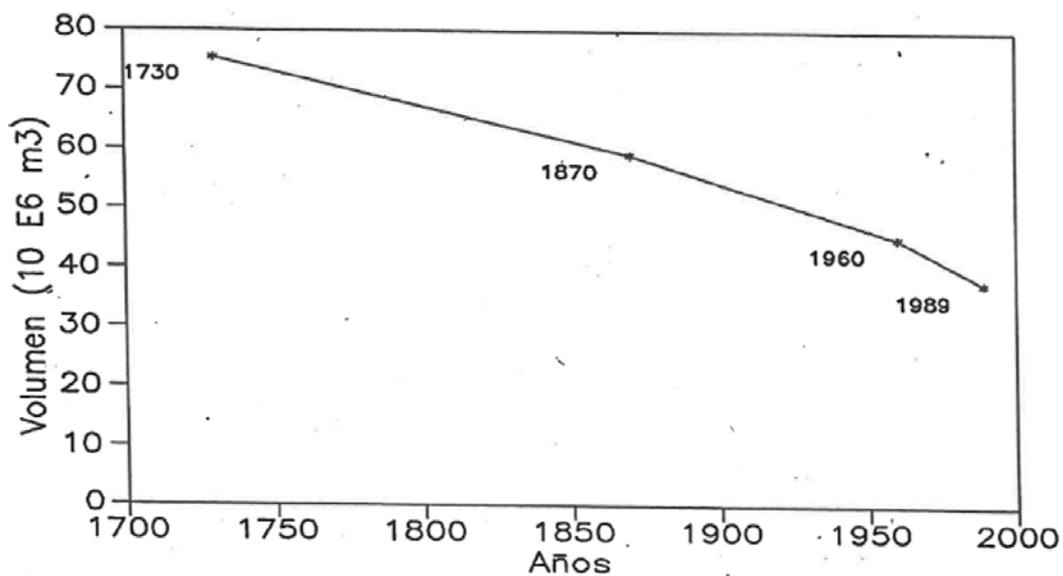


Figura 21. Volumen total de sedimentos

Crecimiento del Puntal

En la figura 22 se muestra un plano de comparación de las líneas de costa de 1960 y 1985, observando un claro crecimiento del Puntal hacia el oeste, en concreto, creció 325 metros durante ese periodo.

Por otro lado, durante el periodo de 1870 a 1926 éste se había introducido en la Bahía unos 200 m, avanzando hacia el oeste a unos 3,7 m por año y reduciendo la anchura de la sección.

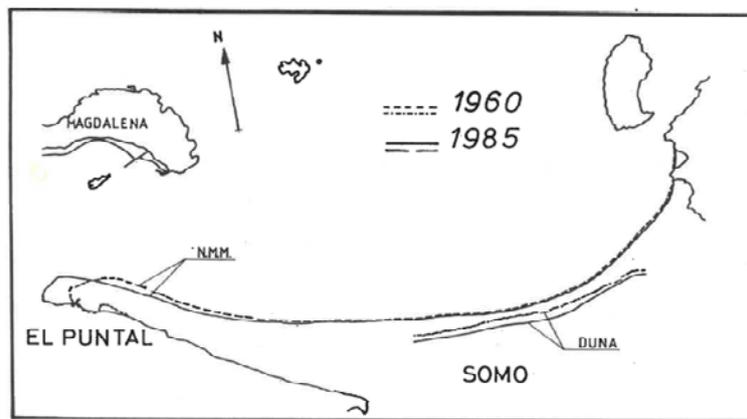


Figura 22. Comparación líneas de costa 1960 y 1985

En la figura 23 puede observarse cómo ha avanzado el Puntal desde 1870 hasta 1989, observándose tres claros tramos:

- De 1870 a 1960 el avance fue de alrededor de 3-4 m/año
- De 1960 a 1895 el avance fue de 10 m/año
- De 1895 a 1989 el avance fue de 15 m/año

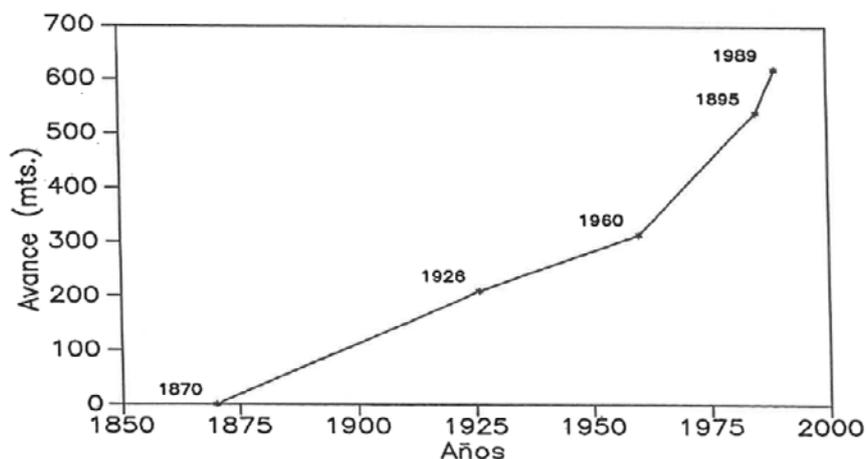


Figura 23. Avance del Puntal hacia el oeste

Retroceso de Somo y Loredo

En cuanto a la recesión en Somo y Loredo, se puede observar en la figura 24 que hay cuatro tramos con distintas tendencias. El primer periodo, que corresponde a los años 1730 hasta 1870, es la respuesta a la política de cierres del interior de la bahía y al desmantelamiento de Las Quebrantas, por lo que presenta un gran retroceso.

- De 1730 a 1870 se mantiene una tendencia de 2 m/año en Somo y 3.6 m/año en Loredo
- De 1870 a 1960 se sigue una tendencia de 1.5 m/año en Somo y 1 m/año en Loredo
- De 1960 a 1985 fue de 1.5 m/año en Somo, sin haber variado respecto al periodo anterior, mientras que en Loredo fue de 2 m/año
- En el último periodo, de 1985 a 1989 la tendencia en Somo disminuyó a 1 m/año, mientras que en Loredo aumentó a 4 m/año

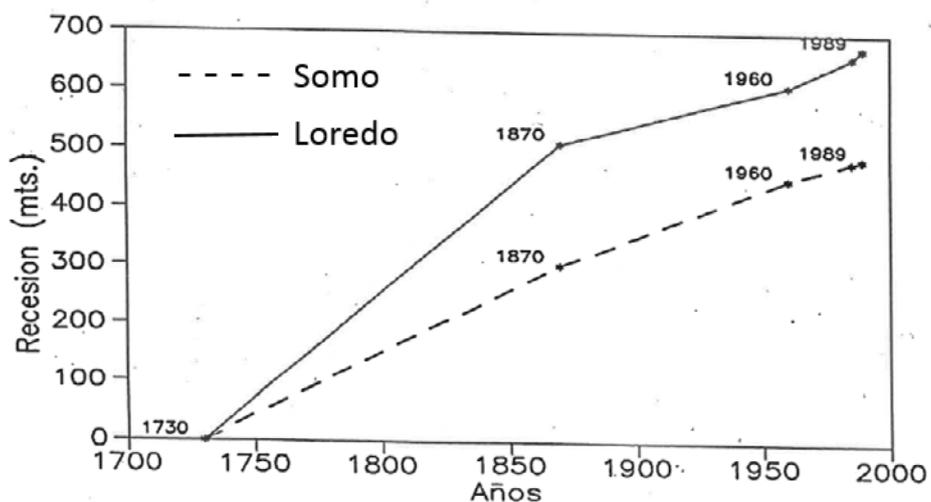


Figura 24. Recesión de la línea de pleamar

Se destaca que los últimos 25 años las tasas de avance del Puntal, recesión de la línea de pleamar y volumen acumulado de sedimentos aumentaron ligeramente

En este documento se predijo también que de seguir manteniendo la política actual de dragados que se llevaban a cabo se perderían el Puntal y el sistema dunar que da protección al núcleo urbano.

3.2.- Validación 1990-1992

Posteriormente al documento de 1990, se realizó una campaña de vigilancia que se plasmó en el informe “*Seguimiento y análisis de la evolución del sistema de playas Loredo-el Puntal y de la Canal de Navegación del Puerto de Santander, 1990-1992*” (IH-92). Este informe fue elaborado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas del departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y Medio Ambiente, dirigido por D. Miguel Ángel Losada. En este informe se verificó y contrastó el modelo propuesto anteriormente, obteniendo nuevos resultados.

En el periodo estudiado en el citado estudio IH-92, no se produjeron dragados, comprobando que el Puntal no avanzó hacia la Canal, por lo que se concluye que lo que se draga es lo que demanda el oleaje, estando el crecimiento hacia el oeste del Puntal motivado por este dragado, al igual que la posición de la barra. Esto es debido a que el sistema de equilibrio entre oleaje y marea es alterado con los dragados. El crecimiento del Puntal se realiza con el material de arena extraído de la zona intermareal de la playa sistema dunar.

La capacidad de limpieza de la marea genera una barra a cota -10, lo que obliga a realizar mantenimiento si se desea mantener calados mayores a esta profundidad.

A partir de las campañas de campo que se realizaron en esta época, se obtuvo que:

- El avance del puntal hacia el oeste supuso una media igual a la del periodo anterior, de 1985-1989, de 15 m/año.
- La velocidad de recesión de la línea de pleamar en Loredo fue 2 m/año menor que el estimado en 1985-1989, coincidiendo con el del periodo de 1960-1985, es decir, de 2 metros anuales; mientras que la producida en Somo no pudo obtenerse una tendencia clara debido a las propias oscilaciones estacionales.
- El proceso de acumulación-erosión del Puntal provoca en la Canal de Navegación oscilaciones de anchura de unos 10 metros, según el estudio “*Diseño óptimo de la Canal*”. Este valor no se ha podido contrastar como límite de oscilación de la Canal, debido a las labores de dragado, que impiden hablar de “oscilaciones naturales”.

3.3.- Análisis de las tasas de 1990

Como ya se ha descrito anteriormente, de acuerdo con los informes IH-90 e IH-92, las actuaciones en la Bahía de Santander han generado un desequilibrio en el sistema de Somo-Loredo-El Puntal, por lo que ha sufrido distintas variaciones en cuanto a la línea de costa. Por un lado, se tiene la recesión de la línea de pleamar de Somo y de Loredo, mientras que, por otro lado, se tiene el avance de la zona del Puntal hacia el oeste, como puede observarse en las imágenes 25, 26 y 27, donde se compara una del año 1946, primera ortofoto de la que se dispone, con otra de 1985 y 1989. En las fotografías puede verse que el Puntal ha sufrido un adelgazamiento y un avance hacia el interior de la Bahía.

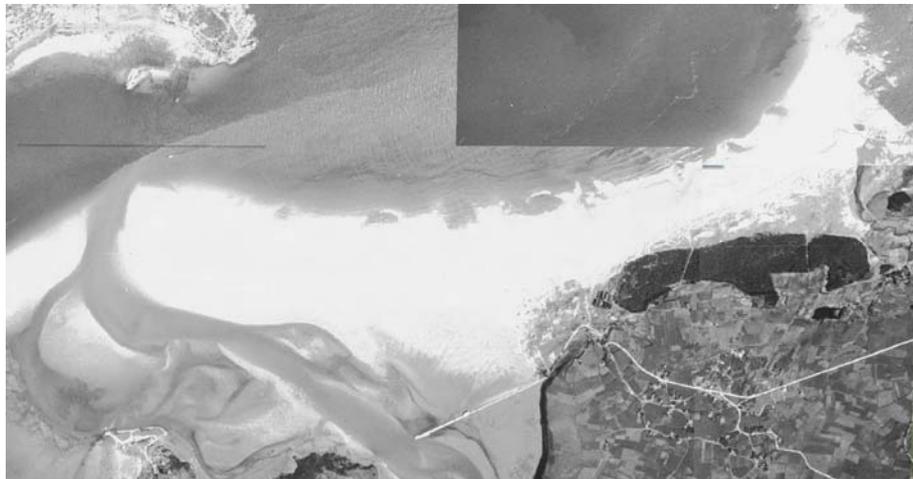


Figura 25. Imagen de 1946



Figura 26. Imagen de 1985



Figura 27. Imagen de 1989

En el presente capítulo se estudia con más detalle las evoluciones de avance del Puntal y de la recesión de la línea de pleamar de manera separada, hasta este último año (1989), fecha en la que se escribió el modelo IH-90.

A partir de ahora, en este documento se referirá a la línea de pleamar como línea de costa.

3.3.1.- Recesión de la línea de costa en Loredó

Desde 1730 hasta el año 1989 se tenía una tendencia media de 2.4 m/año aproximadamente. En las próximas gráficas se mostrará la recesión con pendiente positiva, mientras que el avance de la pleamar tendrá pendiente negativa.

Por otro lado, en la figura 28 se observa que, a partir del año 1870, se produce un cambio claro en la tendencia del retroceso de la línea de pleamar, disminuyendo la velocidad de recesión de 3.6 m/año, antes de 1870, a 1.1 m/año aproximadamente después de esta fecha.

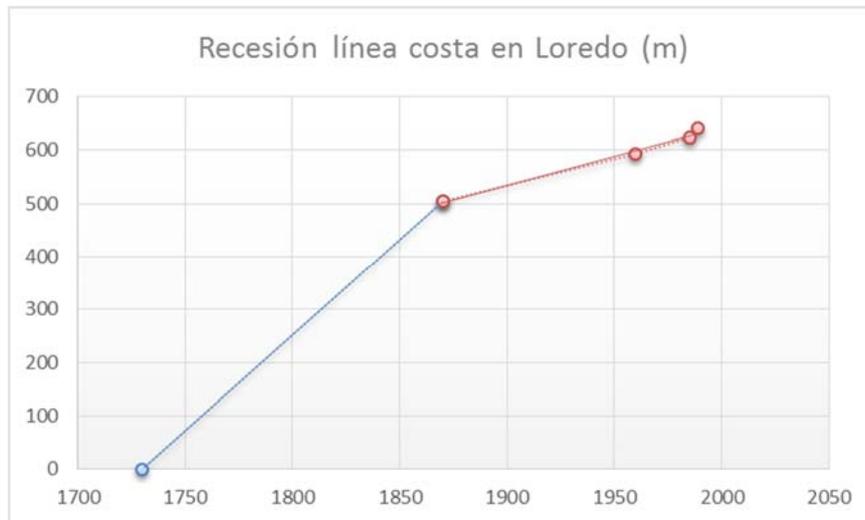


Figura 28. Recesión de la línea de costa en Loredo (1730 a 1989) y líneas de tendencia antes y después de 1870

Entre los años 1730 a 1870 no se midieron datos intermedios, teniendo tan sólo dos medidas de la línea de costa en 140 años. Además, el plano de 1730 que se utilizó para analizar los datos pudiera ser no muy preciso, por lo que la tendencia de estos años se considera que puede no ser muy fiable. A parte de esto, en el año 1870 se ejecuta la mayor parte de la concesión Wissoq, por lo que la tendencia a la erosión no debería disminuir, concluyendo que podría haber puntos intermedios esos años que no siguiesen la primera tendencia.

Por estos motivos, para las posteriores comparaciones con la época a partir de 1989 se comparará con la tendencia de 1.1 m/año.

3.3.2.- Recesión de la línea de costa en Somo

Analizando la recesión de la línea de costa desde 1730 hasta el año 1989 se tiene un retroceso medio de la misma de 2.68 m/año.

Se puede observar en la figura 29 que, al igual que en la recesión de la línea de costa en Loredo, hay un cambio significativo en la tendencia anterior y posterior al año 1870, pasando de unos 3.6 m/año antes a 1.7 m/año después de este año. Al igual que en Loredo, tampoco existen puntos intermedios entre los años 1730 y 1870.

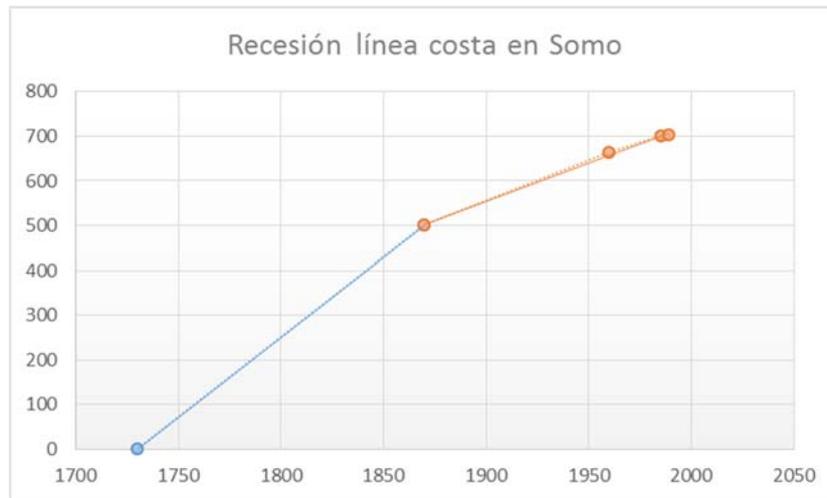


Figura 29. Recesión de la línea de pleamar en Somo (1730 a 1989) y líneas de tendencia antes y después de 1870

Por los mismos motivos que los expuestos en el apartado anterior acerca de las tendencias, se utilizará para cálculos posteriores y comparaciones con los siguientes años la tendencia de 1.7 m/año.

3.3.3.- Avance del Puntal hacia el oeste

En el modelo morfodinámico de 1990 se observa una tendencia clara del Puntal a avanzar hacia el oeste, siendo la última tendencia, de 1985 a 1989, de en torno a 15 metros al año.

Se observa un cambio claro en la línea de tendencia a partir del año 1960, como puede observarse en la figura 30, aumentando de unos 3.7 m/año (1870-1960) a 10.5 m/año de media (1960-1989). Esta fecha de cambio en las tendencias coincide con la profundización del canal de navegación hasta la cota -15 y con la finalización de los rellenos en la mayoría de concesiones, por lo que se concluye que el avance del Puntal hacia el oeste, como ya se dijo en el documento, ha aumentado debido a la disminución del área inundable de la bahía, por lo que el Puntal tiende a avanzar para disminuir así la sección del canal y hacerla proporcional al prisma de marea.

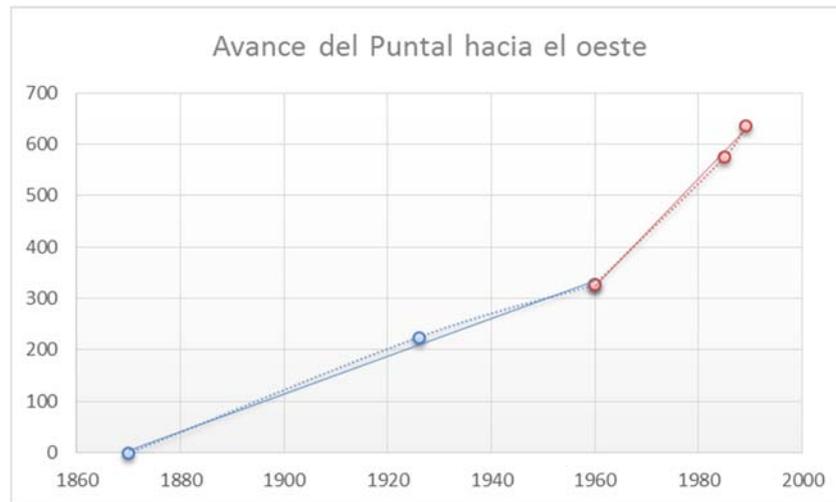


Figura 30. Avance del Puntal hacia el oeste (1870-1989) y líneas de tendencia antes y después de 1960

3.4.- Funcionamiento a futuro del sistema establecido en 1992

Como conclusión, el estudio IH-92 estableció que el mar alcanzaría en un periodo de pocos años la excavación que se efectuó en el Pinar de Latas. Así mismo, las dunas de Loredó desaparecerían a ritmo de 2-4 m/año, hasta alcanzar el mar al acantilado rocoso.

En cuanto al Puntal se estimó lo siguiente:

- Su proceso de adelgazamiento continuaría, produciéndose nuevos cortes en éste o aumentando los existentes.
- El Puntal avanzaría hacia el interior de la Bahía, desviando así la salida del río Cubas, apareciendo nuevos canales de desagües y cortes en el Puntal en avenidas.
- El avance del Puntal también dificultaría la entrada de marea de sotavento, disminuyéndose las corrientes de marea y, por tanto, favoreciendo la sedimentación y relleno de material fino y fangos.

La previsión a futuro se efectuó con base a las tendencias evolutivas desde 1870, concluyendo lo siguiente:

- La velocidad de evolución ha ido cambiando, pero siempre se ha mantenido la misma tendencia a retroceder la línea de costa y avanzar el puntal
- Por tanto, de no cambiar nada, las previsiones ocurrirán pero no se tiene certeza del periodo en el que se producirán.



- Sólo se pueden realizar afirmaciones a corto y medio plazo, como la velocidad de erosión en Loredo o de avance del Puntal, aunque elementos, como bajos rocosos, pueden modificar sustancialmente las condiciones.

Se tuvo en cuenta para la evolución futura un dragado en roca, en la zona del oeste de la Canal. Este dragado supondría:

- Un gran aumento en la anchura de la Canal, pero también una pequeña variación en el área total del desagüe de marea,
- La no necesidad de dragar la zona del Puntal, con lo que se conseguiría un aumento en la estabilidad de éste.
- Se podrían modificar las tendencias erosivas del sistema y la velocidad de avance del Puntal hacia el interior de la Bahía.

Después del documento de 1990 se estableció que el dragado debía de hacerse en las playas de Somo y Loredo, en lugar de fuera del sistema como se hacía anteriormente para soportar esa demanda de arena de las playas que se traslada al canal.

4.- EVALUACIÓN DEL MODELO MORFODINÁMICO PROPUESTO EN 1992

A DÍA DE HOY

Han pasado más de 25 años desde la fecha de publicación del documento de 1992. En estos años se han recopilado diversos datos y existe la necesidad de comprobar cómo han evolucionado las playas de Somo y Loredó así como el Puntal.

En este apartado se hace un análisis de lo que ha ocurrido desde 1990 en estas playas y se evalúa cómo ha podido cambiar la tendencia de recesión de la costa en Somo y Loredó y la del avance del Puntal hacia el oeste.

4.1-Metodología

Para la consecución de los objetivos propuestos anteriormente, se propone la siguiente metodología:

Se efectuará un análisis de las líneas de costa históricas de la zona de estudio y se hará una descripción de la situación actual, desde el año 1989, evaluando la tendencia que sigue la línea de costa de las playas de estudio. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

1. Recopilación de fotografías aéreas históricas
2. Georreferenciación y análisis de las fotografías obtenidas
 - a. Digitalización de las líneas de pleamar en base a las fotografías de vuelos aéreos disponibles.
 - b. Comparación de las líneas de costa utilizando el programa “Digital Shoreline Analysis System” (DSAS).
 - c. Obtención de gráficos representativos de la recesión de la línea de pleamar de Somo y Loredó y del avance del Puntal hacia el oeste

4.1.1.-Recopilación de fotografías aéreas históricas

Se ha observado la evolución de la línea de costa mediante fotografías de vuelos aéreos realizados a lo largo de la historia, desde el año 1945 hasta la actualidad:

- Vuelo fotogramétrico realizado en los años 1945-1946 (Americano serie A) por el “Armi Map Service” de EEUU.
- Vuelo fotogramétrico realizado en los años 1956-1957 (Americano serie B) por



- el “Armi Map Service” de EEUU.
- Vuelo fotogramétrico encargado por el Ministerio de Agricultura, Defensa y Hacienda y del Instituto Geográfico Nacional en los años 1973 a 1986 (Interministerial).
 - Vuelos fotogramétricos encargados por el Instituto Geográfico Nacional en 1980-1986 (Nacional), en 1989-1991 (Costas) y en 1998-2003 (Quinquenal).
 - Vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de los años 2001, 2005, 2007, 2010, 2014 y 2017.
 - Ortofotografías de Google Earth de los años 2014, 2011, 2010, 2007, 2006 y 2002.

Se han obtenido las fotografías de dos fuentes; por un lado, se dispone de las fotografías publicadas en Google Earth y, por otro, de las fotografías obtenidas del Pan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), que dispone de una fototeca digital del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Las fotografías procedentes del PNOA se han realizado a partir de un conjunto de fotogramas realizados en distintas fechas cercanas y juntados posteriormente. De esta fuente se dispone de fotografías de los años 1989, 2001, 2005, 2010 y 2014. De algunas de ellas se conoce las fechas exactas de los fotogramas mientras que de otras no, pero ha sido comprobado que todas se han realizado en época de verano.

Algunas fotografías han sido reconstruidas completamente por el PNOA a partir de los fotogramas realizado, como la de 2014, mientras que otras han debido de ser montadas ya que se disponía de los fotogramas por separado, como es el caso de la imagen del año 1989.

Todas estas fotografías se han georreferenciado correctamente y se muestran a través del servidor web del programa ArcGis, programa que ha sido utilizado para la comparación de dichas fotografías y la georreferenciación de las demás.

En cuanto a las fotografías de Google Earth, se ha hecho un trabajo previo de georreferenciación manual, como se ha mencionado anteriormente, con ayuda del programa ArcGis, comparando edificaciones que no han cambiado a lo largo de los años como puntos de referencia y utilizando numerosos puntos; aun así puede haber cierto debido a la precisión humana debido a la digitalización.

Una vez recopiladas todas las fotografías se ha digitalizado la línea de costa de cada una de ellas manualmente, siguiendo la línea de la arena mojada, que se asume que se corresponde con la pleamar, a lo que se ha denominado línea de costa.

Tal y como se ha explicado en 3.3, este método se considera válido al haber realizado una validación de las últimas tasas de evolución que se presentaron en el documento IH-90.

La fotografía del año 1989 es la más próxima al 1990, por lo que para los cálculos se tomara su correspondiente línea de costa como referencia para la comparación del resto de imágenes, ya que, además, es el último punto de las gráficas del documento de 1990, por lo que se continuará la tendencia.

A continuación se muestran las fotografías del PNOA junto con las líneas de costa digitalizadas en las figuras 31 a 36



Figura 31. Línea de costa y fotografía de 2014

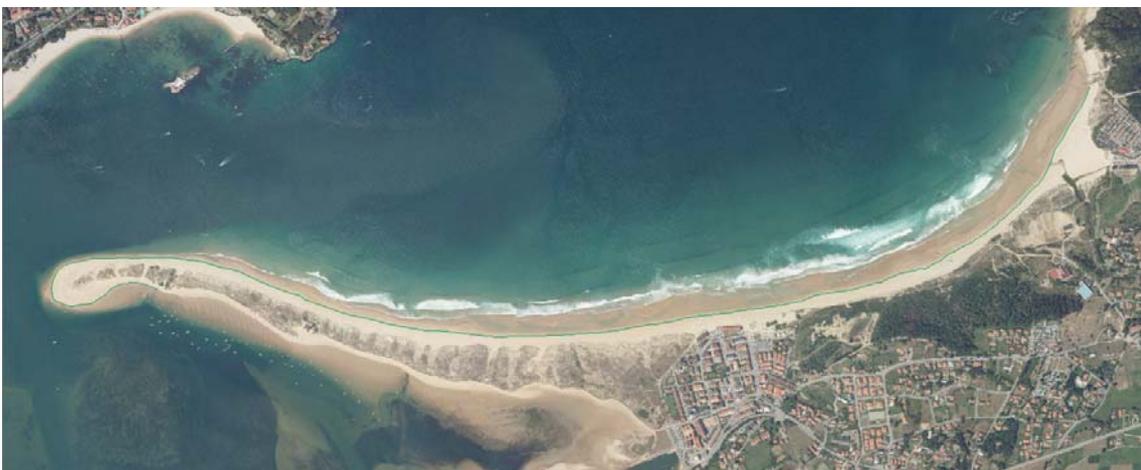


Figura 32. Línea de costa y fotografía de 2010

*Análisis de la evolución de las playas de Somo y
del Puntal de Santander.
Máster universitario en ingeniería Costera y Portuaria.*



Figura 33. Línea de costa y fotografía de 2007



Figura 34. Línea de costa y fotografía de 2005



Figura 35. Línea de costa y fotografía de 2001

*Análisis de la evolución de las playas de Somo y
del Puntal de Santander.
Máster universitario en ingeniería Costera y Portuaria.*



Figura 36. Línea de costa y fotografía de 1989

Por otro lado, se pueden observar las imágenes de Google Earth en las figuras 37 a 39.



Figura 37. Línea de costa y fotografía de 2002

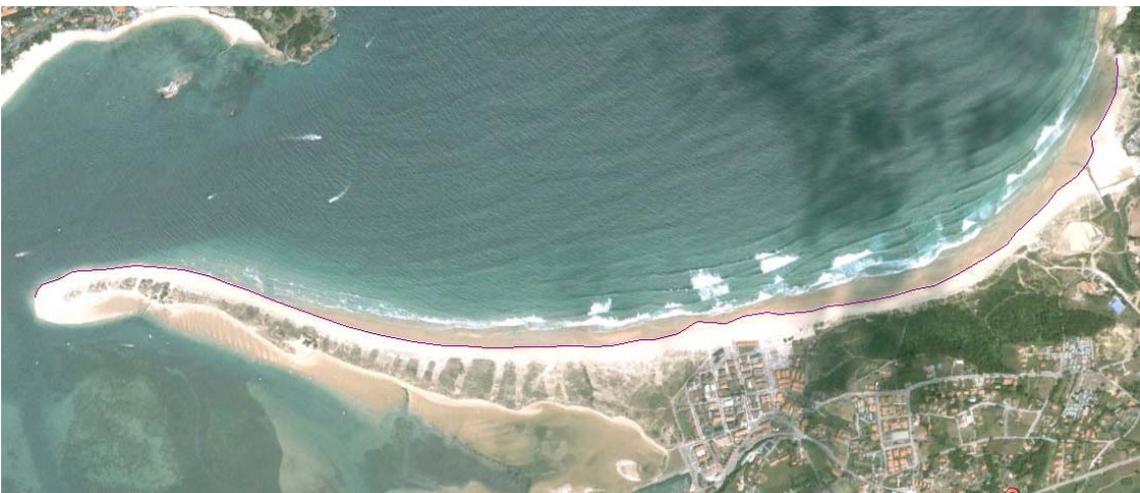


Figura 38. Línea de costa y fotografía de 2006



Figura 39. Línea de costa y fotografía de 2011

De la observación de las fotografías anteriormente descritas y, por tanto, de sus líneas de costa, se puede concluir que existe una tendencia clara de retroceso de la línea de pleamar en las zonas de Somo y Loredo, así como un avance del Puntal hacia el oeste que se justificará a continuación mostrando las gráficas obtenidas fruto de la comparación de las líneas de costa que, como ya se ha descrito antes, son las líneas de la máxima pleamar.

La zona del Puntal es una zona muy variable debido a que cambia de dirección constantemente con una tendencia clara a avanzar hacia el oeste aunque, de acuerdo con lo que se dijo en el documento IH-90, las labores de dragado no nos permiten hablar de “oscilaciones naturales”. Si se observa la última línea de costa digitalizada, de 2014, junto con la de referencia, de 1989, se puede ver claramente este avance del Puntal junto con la erosión de las playas (véase figura 40).



Figura 40. Comparación líneas de costa de 2014 y 1989. Fotografía de 2014

4.1.2.- Análisis de los datos

Posteriormente a digitalizar estas líneas de costa, se han medido, con la ayuda de la extensión del programa ArcGis, denominada DSAS, una serie de perfiles espaciados cada 10 metros a lo largo de las playas de Somo y Loredo, como puede observarse en la figura 41, donde se pueden ver las líneas de costa digitalizadas también.



Figura 41. Perfiles medidos en Somo y Loredo junto con las líneas de costa digitalizadas. Fotografía de 2014

Mediante estos perfiles se han medido de manera separada la evolución de la línea de costa en Somo y en Loredo para poder analizar la evolución de la línea de costa de la misma forma que se ha hecho en el documento y así poder seguir la tendencia anterior a 1989 descrita en el mismo para compararla, con la diferencia de que en el presente documento se han medido numerosos perfiles en cada tramo, mientras que en documento IH-90 se midieron 6 perfiles en Somo y 4 en Loredo, por lo que se obtendrá una mayor precisión en los resultados obtenidos a continuación.

También, por el mismo método, se ha medido el avance hacia el oeste del Puntal utilizando las mismas líneas de costa digitalizadas.

Por último, hay que añadir que para la evaluación de las tendencias se han utilizado finalmente las fotografías procedentes del PNOA, descartando las de Google Earth, debido a la baja resolución de estas últimas, que no permite encontrar resultados tan fiables.

4.2.- Reconstrucción de la tasa de IH-90

Previamente a analizar los datos obtenidos para el periodo de después de 1990 se ha efectuado un cálculo para el último periodo calculado en el documento IH-90 (1985-1989), para tener la certeza de que se pueden comparar las evoluciones que se obtendrán a continuación con las que se calcularon.

Para ello, se han analizado las líneas de pleamar digitalizadas de las fotografías aéreas de 1985 y 1989, en los perfiles que se analizaron para su obtención en dicho documento, obteniendo el siguiente gráfico de comparación:

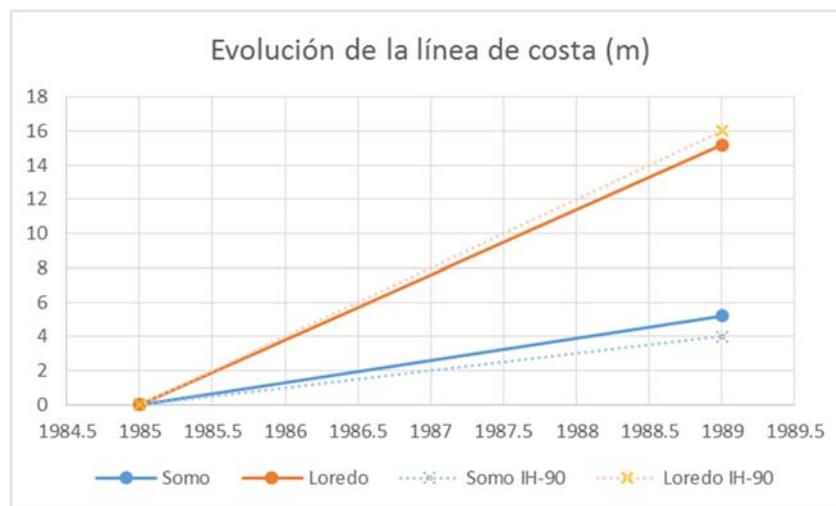


Figura 42. Comparación de las líneas de pleamar obtenidas con las del documento IH-90

Se puede observar en la figura 42 que las tendencias son prácticamente idénticas, por lo que se verifica que el método utilizado de comparación de las líneas de pleamar observadas en fotografías aéreas es adecuado.

En el caso del avance del Puntal pasa exactamente lo mismo, sabiendo que la tendencia que establecía el documento fue de 15 metros anuales en este periodo. El avance obtenido por medio de la comparación de ortofotografías fue de 57 metros anuales, lo que corresponde con prácticamente con una velocidad de 15 m/año también.

4.3.- Evolución de la línea de costa después de 1990

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos de comparar las líneas de costa que se han digitalizado a partir de las imágenes aéreas descritas anteriormente a partir del año 1989.

Se mostrarán en distintos apartados los resultados obtenidos en cuanto a la recesión de la línea de costa de Loredo, la de Somo y la evolución del Puntal en cuanto a su crecimiento hacia el oeste.

4.3.1.- Recesión de la línea de costa en Loredo

En primer lugar, en la figura 43 se muestra una fotografía para ubicar la zona que corresponde a Loredo. Esta zona corresponde con los perfiles 15 a 18 descritos en el documento de 1990, habiendo cogido la misma zona para el análisis de los años posteriores y consiguiendo así una correcta comparación de la evolución antes y después de ese año.

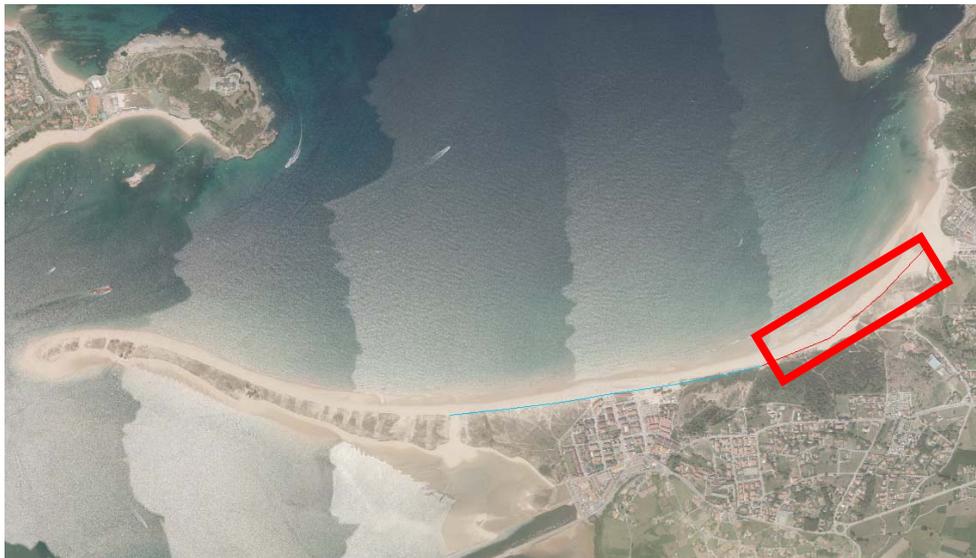


Figura 43. Localización de Loredo

Durante los años se pueden encontrar evidencias de que la línea de costa está retrocediendo. Un ejemplo de ello es la figura 44, donde se toman como referencia unos afloramientos rocosos que surgen en la zona de frente al pinar de Latas, observando que la línea de costa está unos 25 metros separada de estos afloramientos rocosos en el año 2003, mientras que, 11 años más tarde, esta línea ha alcanzado la roca más cercana.



Figura 44. Pinar de Latas en 2003 y 2014

De la digitalización de la línea de costa procedente de las ortofotos históricas disponibles del PNOA desde el año 1989 y su comparación se obtiene la gráfica 45. En la gráfica los puntos indican la localización de la línea de pleamar obtenida a partir de las imágenes y la línea representa el ajuste lineal para el cálculo de la tendencia.

Dado que el gráfico representa una recesión, la tendencia tendrá pendiente positiva cuando se observe un retroceso de la línea de costa, mientras que una tendencia con pendiente negativa indicará un avance de la misma.

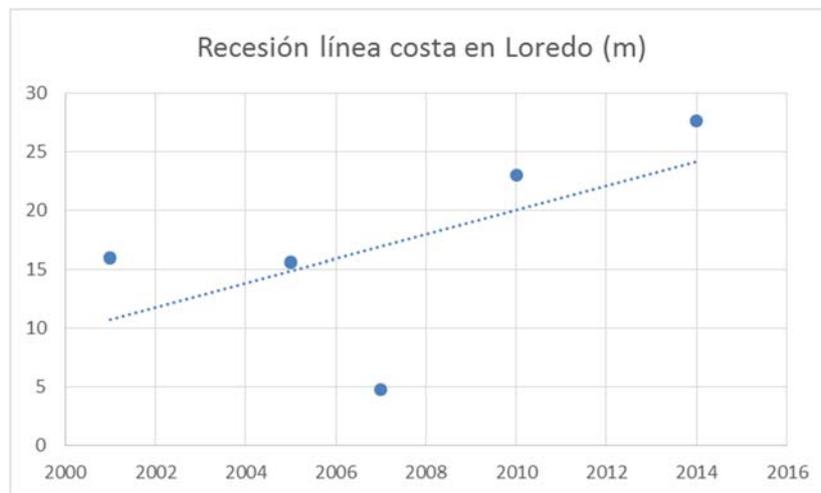


Figura 45. Recesión de la línea de costa en Loredo (1989-2014) y línea de tendencia

De esta última gráfica se obtiene que la tendencia media de la recesión de la línea de pleamar en Loredo es de aproximadamente 1 m/año.

A continuación, se representan las gráficas anteriores a 1989 con las obtenidas después de este periodo para poder analizar la evolución de la tendencia a largo plazo (véase figura 46).

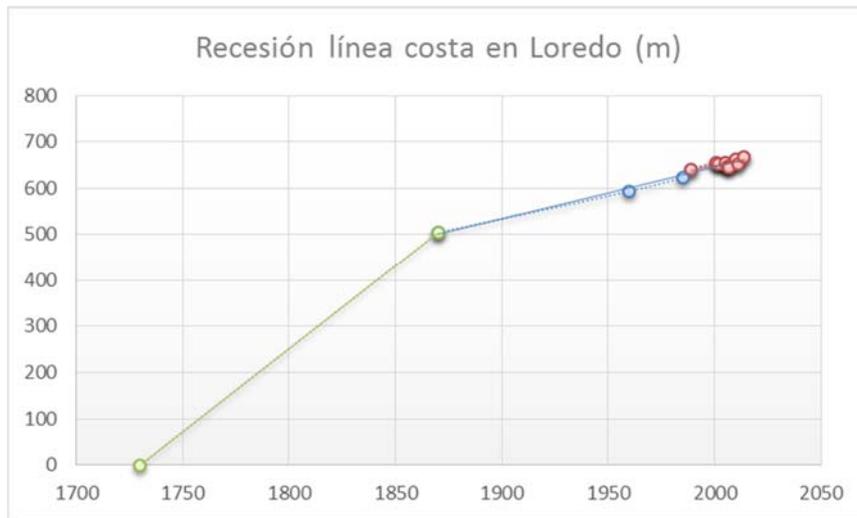


Figura 46. Recesión de la línea de pleamar en Loredo (1730-2014) y líneas de tendencia

Tal y como se aprecia en la figura, la tendencia desde 1870 hasta la actualidad es prácticamente la misma. Este año es el que cambió la tendencia, como se ha mencionado en apartados anteriores. Se observa que el periodo actual (1989-2014) es mucho más pequeño que el analizado previamente, por lo que, para visualizar mejor la tendencia en los últimos años, se aplica la escala representando los datos desde 1960.

Si se analizan las tendencias desde 1989 hasta 2014 por un lado y, por otro, la de 1870 a 1989 se obtiene la figura 47:

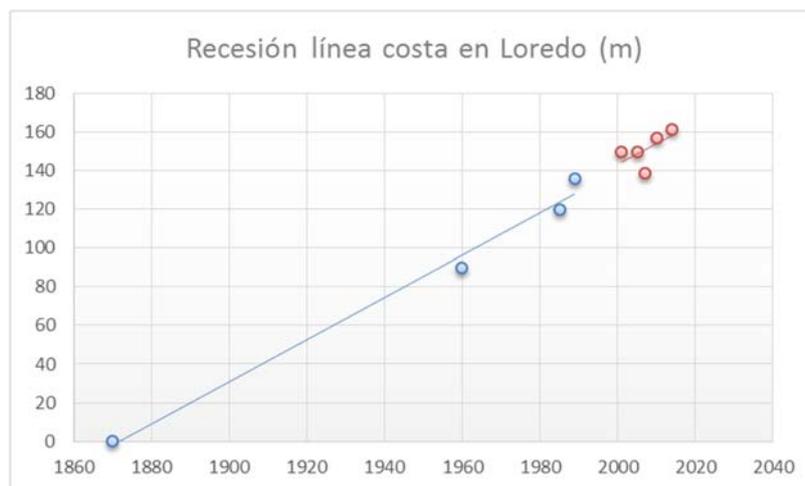


Figura 47. Recesión de la línea de pleamar en Loredo (1870-2014) y líneas de tendencia

Ambas tendencias son de aproximadamente 1 m/año, siendo ligeramente menor después del año 1989, no habiendo variado apenas desde el año 1960 hasta la actualidad.

Si se comparan las tendencias de 1960 a 1989 con la calculada en conjunto desde 1960

hasta 2014 puede observarse que sigue siendo prácticamente la misma, como se puede observar en la figura 48:

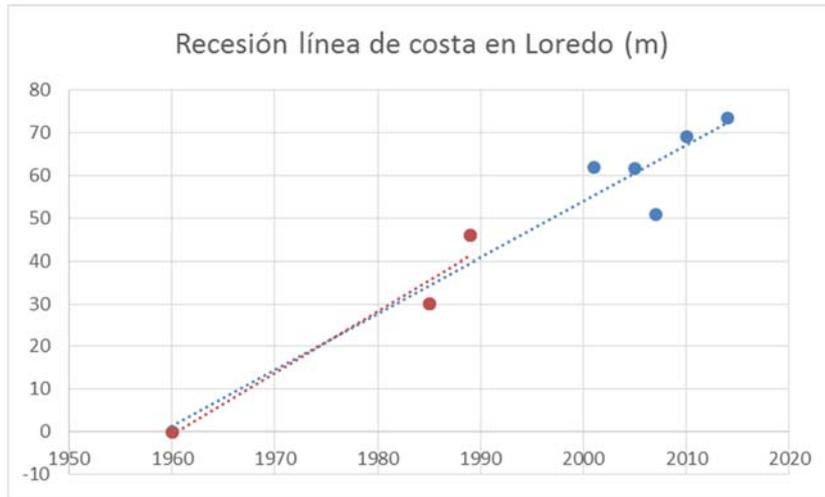


Figura 48. Recesión de la línea de costa en Loredo (1970-2014) y línea de tendencia

En cuanto a la evolución a futuro, de seguir con esta tendencia de erosión de costa, en aproximadamente 30 años desde 2014, es decir, en 2044, la línea de pleamar habrá llegado hasta el Pinar de Latas, desapareciendo la playa en esta parte por completo en pleamar.

4.3.2.- Recesión de la línea de pleamar en Somo

A continuación, se estudiará la evolución de la línea de pleamar en Somo. La zona de Somo corresponde a los perfiles 9 a 14 del documento de 1990, correspondiéndose esa zona con la que se muestra en la figura 49:



Figura 49. Localización de Somo

La figura 50 corresponde a la comparación de las líneas de costa digitalizadas de las ortofotos históricas disponibles desde el año 1989, se obtiene la tendencia media de 0.4 m/año si se considera el tramo de 1989 a 2001 en Somo. Los puntos rojos representas las fotografías procedentes de Google Earth, mientras que los azules representan las del PNOA.

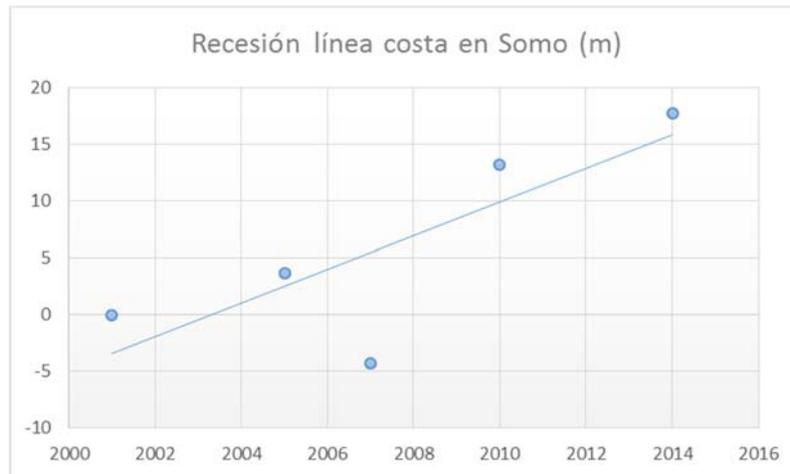


Figura 50. Recesión de la línea de pleamar en Somo (1989-2014) y línea de tendencia

En la figura 51 se observa la tendencia desde 1870 a 1989 y desde 2001 a 2014, observando que esta es de alrededor de 1.5 m/año en ambos casos, considerando los periodos por separado, disminuyendo muy ligeramente, al igual que en la zona de Loredo, la erosión de la línea de costa:

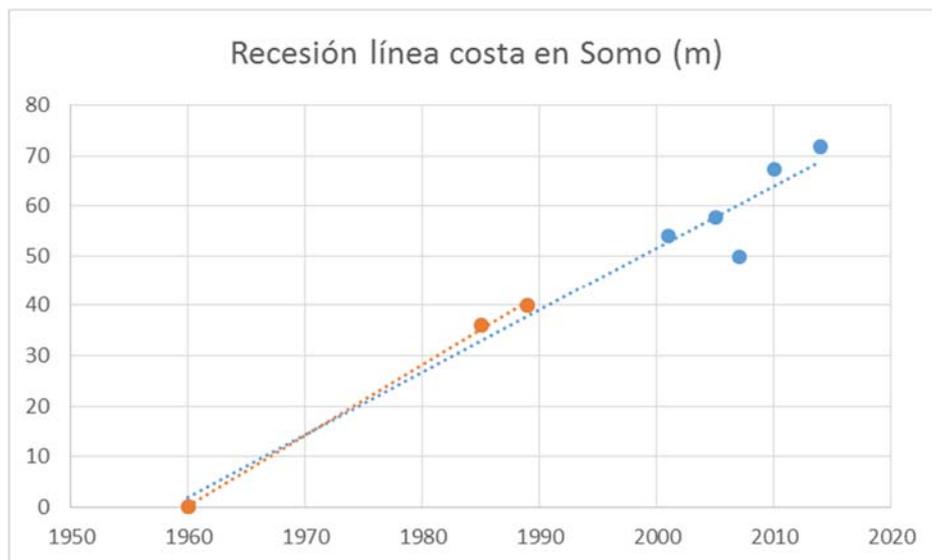


Figura 51. Recesión de la línea de pleamar en Somo (1870-2014) y líneas de tendencia

Si se mantiene la situación de los últimos años, en un periodo aproximado de unos 25 años desde 2014 la línea de pleamar alcanzaría las casas en primera línea de playa de Somo, es decir, en alrededor del año 2039.

4.3.3.- Avance del Puntal hacia el oeste

Además de la recesión de la línea de costa en las zonas de Somo y Loredo, también se ha podido comprobar que la zona del Puntal está sufriendo un proceso de crecimiento hacia el oeste, penetrando en el interior de la Bahía. Esto entra en conflicto con el funcionamiento correcto del Puerto de Santander, siendo un grave problema debido a que tiende a reducir el canal de navegación principal.

Comparando las líneas de pleamar de las fotografías de 1989 a 2014 se obtiene la figura 52. Dado que la figura representa el avance del Puntal, una tendencia positiva corresponde con un desplazamiento hacia el oeste del mismo. Se obtiene una tendencia de avance del Puntal de unos 7 m/año en este periodo (1989-2014):

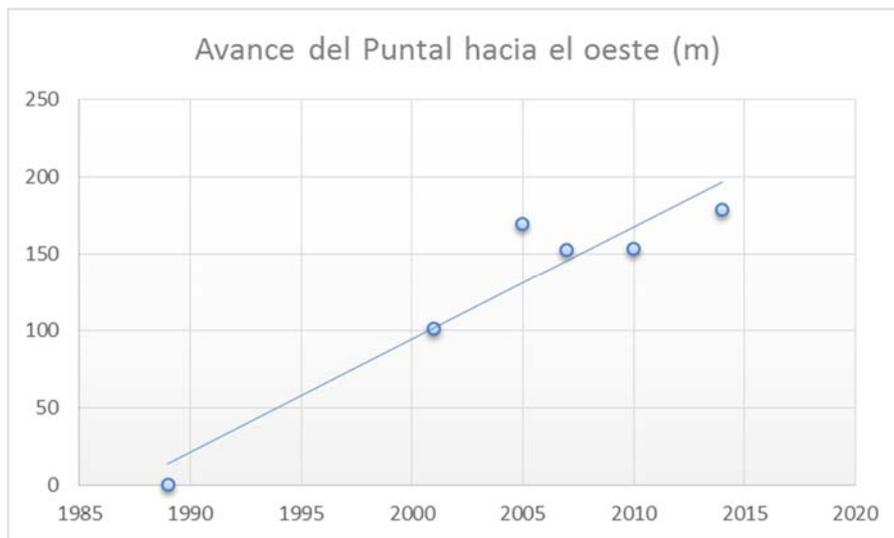


Figura 52. Avance del Puntal hacia el oeste (1989-2014) y línea de tendencia

Si esta evolución se compara con la anterior a este año (véase figura 53), desde 1960, año en que cambió la tendencia, se observa que ésta disminuye de avanzar 10 m anuales hacia el oeste en el primer periodo (1960-1989) a hacerlo con un ritmo aproximado de 7 m/año.

*Análisis de la evolución de las playas de Somo y
del Puntal de Santander.
Máster universitario en ingeniería Costera y Portuaria.*

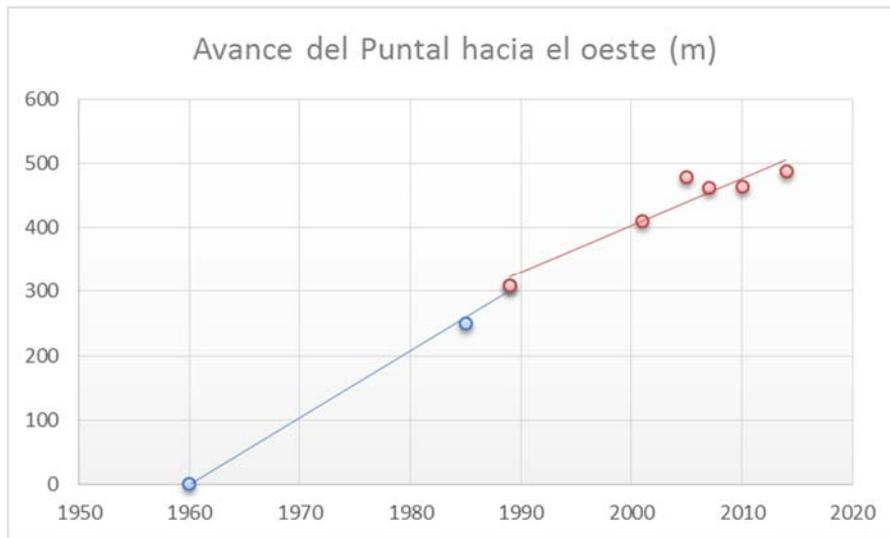


Figura 53. Avance del Puntal hacia el oeste (1960-2014) y líneas de tendencia

5.- APLICACIÓN DEL MODELO CHRONOS

En este apartado se hace una calibración de un modelo de evolución a largo plazo llamado Chronos, utilizándolo para la zona de estudio de Somo y Loredo.

En 1990 se establecieron unas tasas de retrocesos de las líneas de costa de Loredo y Somo, así como unas tasas de avance del Puntal hacia el oeste. A lo largo del presente documento se ha comprobado que dichas tasas coinciden con las de la actualidad, dando validez al modelo morfodinámico que se propuso en el documento IH-90

Desde el año 1990 han evolucionado mucho los modelos de propagación y de evolución de la línea de costa, pudiéndose utilizar en la actualidad nuevos modelos que simulan lo que ha sucedido años atrás. Este es el caso del modelo Chronos, que se ha utilizado para la validación de los resultados obtenidos previamente, y que se describirá en puntos posteriores.

5.1.- Objetivo

Estos modelos de evolución pueden utilizarse para entender procesos que han ocurrido hace años e incluso podrían llegarse a utilizar para predecir comportamientos futuros o para evaluar qué habría pasado en épocas anteriores si algo hubiese cambiado, alterando, por ejemplo, la dinámica marina.

El objetivo de utilizar dicho modelo en el presente trabajo es el de obtener la evolución de la línea de costa de Somo y Loredo, para verificar y validar en base a los resultados obtenido con el método descrito en los apartados anteriores de comparación de líneas de costa digitalizadas observadas de fotografías aéreas. Así se podrá establecer la capacidad que tienen los modelos modernos para reproducir la evolución de la línea de costa.

5.2.- Descripción del modelo

El Chronos es un modelo numérico de evolución de la línea de costa, basado en la ecuación de conservación de sedimentos de los modelos One-line.

El modelo es capaz de calcular la evolución de la costa debida al transporte longitudinal

producido por la rotura del oleaje y gradientes de altura de ola, teniendo también en cuenta la batimetría de la zona.

La diferencia fundamental con el resto de modelos es que, mientras los demás utilizan la ley de Snell, éste tiene la opción de utilizar Oluca, que tiene en cuenta más procesos como son la difracción o la interacción ola-corriente, además de simular correctamente el oleaje en batimetrías complejas. La formulación usada para el transporte de sedimentos es la formulación del Cerc:

$$Q = K_1 \frac{\rho \sqrt{g}}{16 \sqrt{\frac{H_{bs}}{h_b}} (\rho_s - \rho)(1 - p)} H_{brms}^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

Donde:

- K1 es un coeficiente empírico de calibración.
- Hbs es la altura de ola significativa en rotura.
- Hbrms es la raíz media cuadrática de la altura de ola en rotura.
- hb es la profundidad de rotura.
- P es la densidad del agua (1025 kg=m3).
- ρ_w es la densidad del sedimento (2650 kg=m3).
- p es la porosidad del sedimento.
- g es la aceleración de la gravedad.
- α_b es el ángulo entre el frente de la ola en rotura y la línea de costa.

Dada una batimetría inicial y una serie temporal de oleaje, el modelo puede calcular la evolución de la costa debida al transporte costero que se produce por la ruptura del oleaje así como por los gradientes de altura de ola. La batimetría se actualiza periódicamente, para dar cuenta de los cambios cerca de la costa en la propagación de las olas.

Las estructuras, si están presentes, son consideradas para la propagación de las ondas (incluida la difracción) y para el bloqueo del transporte de sedimentos, pudiendo ser este bloqueo de sedimentos total o parcialmente, dependiendo de la longitud y profundidad de las estructuras.

5.3.- Malla de cálculo

En el presente apartado se describen las condiciones utilizadas para la ejecución del modelo.

En primer lugar, se ha utilizado una batimetría del año 2016 proporcionada por IHCantabria de la zona de estudio, que se ha juntado con datos de la batimetría general de la zona proporcionados por el programa SMC (véase figura 54).

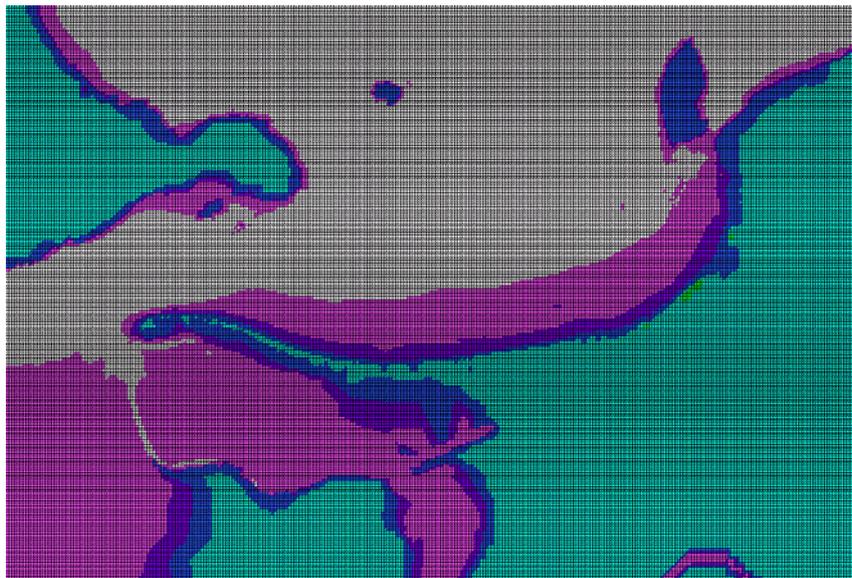


Figura 54. Batimetría de la zona de estudio

Se ha utilizado una serie de datos horarios de oleaje proporcionada por IHdata, con datos desde 1949 a 2015.

5.4.- Dominio

Hay que tener en cuenta que el modelo debe de llevar un punto inicial y final de la costa para calcular la evolución de la misma en ese tramo, teniendo que ser un tramo más o menos recto. Por ejemplo, la zona de la derecha de Loredó, frente a la Isla de Santa Marina no lo ejecuta correctamente debido a la curvatura y a la sombra que hace la isla. En la figura 55 se muestra el tramo que se ha utilizado para la validación y calibración del modelo.



Figura 55. Tramo analizado con el modelo.

5.5.- Condiciones de contorno y parámetros utilizados

El modelo utilizado utiliza una serie de parámetros iniciales que hay que establecer previamente así como condiciones de contorno. En este apartado se definen las condiciones y parámetros que han sido utilizados.

Se ha ejecutado utilizando el modelo Oluca, que como se ha dicho anteriormente, simula el oleaje en batimetrías complejas, como es el caso de la de la zona de estudio.

También es necesario establecer cómo son las condiciones de entrada y salida del tramo de costa seleccionado. Esta condición se ha establecido que es “Open2”, condición que indica que se cumple la formulación del Cerc en ambos extremos, pudiendo salir y entrar sedimento al dominio establecido.

Por último como D_{50} se ha considerado un tamaño de 0.0002 m y densidad del agua, la del mar, 2650 kg/m^3

5.6.- Calibración

Previamente a la aplicación del modelo Chronos a las playas de Somo y Loredó se ha realizado una calibración y validación exhaustiva del modelo en casos teóricos durante tres meses, lo que ha permitido corregir errores del modelo.

Uno de los factores de vital importancia a la hora de ejecutar un caso es el coeficiente $K1$ que se muestra en el apartado anterior de descripción del modelo. Este coeficiente debe ser validado en casos reales para la poderlo comparar con resultados obtenidos de otros

métodos. En el caso de este proyecto, se utilizan los resultados de las tasas de recesión de la línea de costa obtenidos en los apartados anteriores por el método de análisis de las fotografías aéreas para compararlos con la evolución obtenida con el modelo.

El resultado de haber ejecutado el periodo de junio de 2007 hasta septiembre de 2010 es de un retroceso de la línea de costa de 1.8 m/año de media en todo el tramo. Esta fecha ha servido de calibración para el modelo.

De dicha calibración se ha obtenido una constante K1 de 0.002, al igual que el coeficiente K2, coeficiente que se refiere al transporte por gradiente de altura de ola.

5.7.- Resultados obtenidos-Validación

En este apartado, se presentarán los resultados obtenidos respecto a la aplicación del modelo a las playas de estudio de este proyecto.

Se han ejecutado tres casos en distintas fechas.

- El resultado de haber ejecutado el periodo de agosto de 2010 hasta julio de 2014 se corresponde con un retroceso medio de la línea de costa de 1.7 m/año.
- Por último, una ejecución que abarca los dos periodos anteriores, de junio de 2007 a julio de 2014, da como resultado un retroceso de 1.7 metros anuales (véase figura 56).

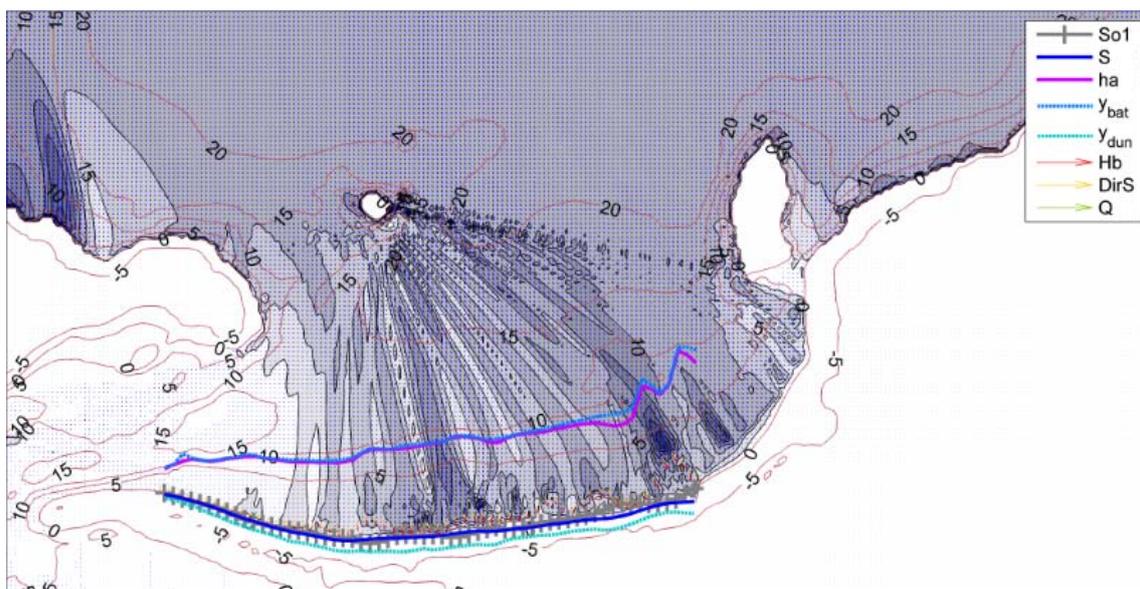


Figura 56. Ejecución de 2007 a 2014 (situación final)

Debido a la escala de la fotografía no se observa correctamente la variación de la línea de costa, ya que se representa una variación del orden de las decenas de metros, frente a un tramo de unos kilómetros, por lo que en la figura 57 se muestra una ampliación del tramo con la evolución de la línea de costa a lo largo de esos 3 años.

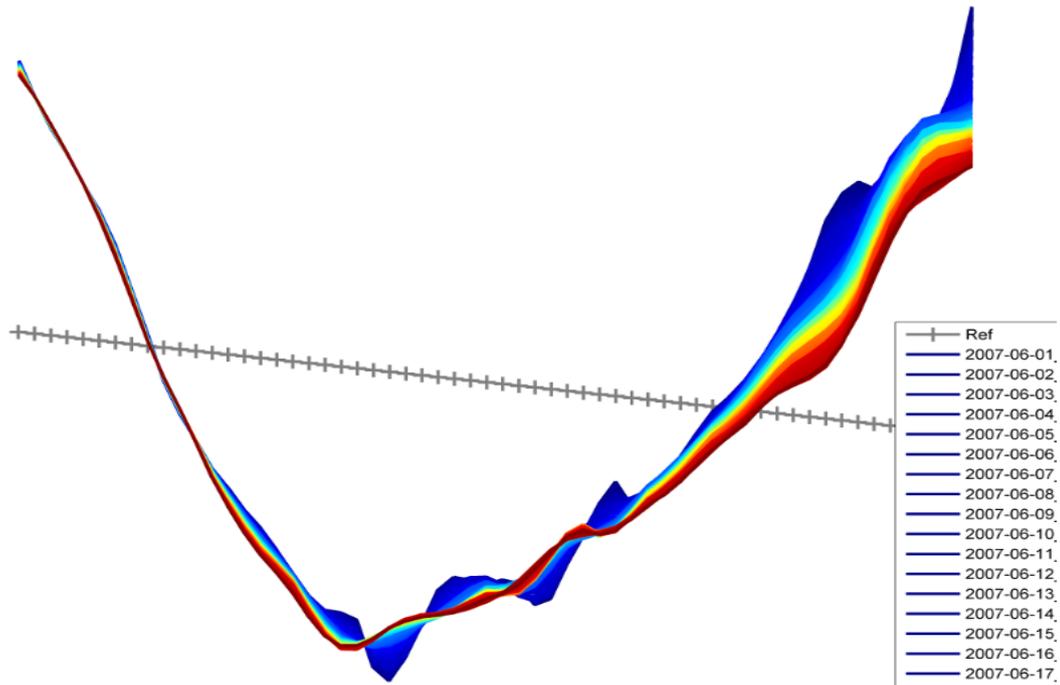


Figura 57. Evolución de la línea de costa de 2007 a 2010

Si se ampliasse la escala de la línea de costa se puede observar la figura 58 para la correcta visualización de la evolución de la misma.



Figura 58. Visualización ampliada de la evolución de la línea de costa sobre imagen del Puntal de 2014



Se puede observar que el retroceso de la línea de costa es mayor en las playas de Somo y Loredo, mientras que en la zona más cercana al Puntal va tendiendo a sedimentar, tal y como se ha concluido en los resultados mostrados con las fotografías, representando de manera muy aproximada la realidad.



6.- CONCLUSIONES/DISCUSIÓN

En el presente apartado se muestran las conclusiones obtenidas de acuerdo con los análisis realizados a lo largo del presente documento.

En el año 1990 se redactó el documento IH-90, el cual estableció un modelo morfodinámico de funcionamiento y presentó unas tasas de evolución de la línea de costa, centrándose en el crecimiento del Puntal hacia el oeste y el retroceso de las playas de Somo y Loredó.

Evalutando una serie de datos desde el año 1990, se ha obtenido a lo largo del presente documento que las tasas establecidas por el documento IH-90 se han mantenido en los años posteriores, por lo que se puede confirmar la validez del modelo morfodinámico que se estableció.

Por otro lado, actualmente se disponen de nuevos modelos de evolución de la línea de costa, que son muy eficaces en cuanto a la obtención de resultados. En el presente Trabajo de Fin de Máster se ha podido comprobar que el modelo Chronos hace una estimación de la realidad con mucha exactitud.

Si se hubiesen tenido estos modelos modernos en el pasado, se hubiese podido predecir con más exactitud qué ocurriría los años siguientes. También es una futura línea de investigación ejecutar dicho modelo modificando los dragados para comprobar cómo hubiesen sido entonces las tasas de evolución de la línea de costa, así como establecer una predicción a futuro de las mismas.

7.- BIBLIOGRAFÍA

Informe del medio biológico de Santander elaborado por el PGOU

Informe de sostenibilidad ambiental del plan director de infraestructuras del puerto de Santander de Diciembre de 2001, realizado por el IH Cantabria y el Puerto de Santander

Losada, I., Izaguirre, C. & Díaz, P. 2014. “Cambio climático en la costa española”. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. Pág. 1-24.

Yepes, V. (1995). “Gestión integral de las playas como factor productivo de la industria turística. El caso de la Comunidad Valenciana”, Actas III Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, vol III. Pág. 958-976.

Yepes, V. (2014). “La importancia de las playas y su gestión turística”.

Moreno-Casasola, P & Travieso-Bello, A. 2006. “Playas y Dunas”. Revista Entornos veracruzanos: la costa de La Mancha. Pág. 121-126.

Medina, R. (noviembre, 2015). “Causas de la erosión en nuestras playas”. IX Jornadas Nacionales y IX Internacionales sobre Naturaleza y Medio Ambiente. Santander.