



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MÁSTER EN TÉCNICAS DE ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y GESTIÓN SOSTENIBLE
DE PROCESOS Y RIESGOS NATURALES

CARTOGRAFÍA DE MOVIMIENTOS DEL TERRENO Y ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD EN ACANTILADOS DE LA COSTA DE CANTABRIA

Autora: Gema Cárcoba Fernández

Director: Jaime Bonachea Pico

Mayo, 2013

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este proyecto fin de máster sólo ha sido posible gracias a la colaboración, a la comprensión y a las palabras oportunas de muchas personas que me rodean.

Debo agradecer de manera especial y sincera a mi director, Jaime Bonachea Pico. Su apoyo y confianza en mi trabajo, así como su capacidad para guiar mis ideas, han sido un aporte invaluable. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de este proyecto. Debo destacar, por encima de todo, su gran disponibilidad en todo momento para resolver todas mis dudas.

Quiero agradecer a mis Padres, por la compañía y el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento.

Quiero agradecer a mi hermana, Isabel Cárcoba, y a mi cuñado, Pablo Chico, por su cariño y aprecio, por valorarme. Por sus conversaciones y compañía. Por preguntar cada día cómo iba mi proyecto.

A todos los profesores que han participado en el máster, por su dedicación y su esfuerzo, quienes me han aportado todos los conocimientos profesionales para llegar a finalizar con éxito esta gran meta.

A todos mis compañeros de máster por la ayuda, el apoyo y ánimos que me han dado, durante todo este tiempo.

Finalmente, y no por ello menos importante, a mis grandes amigas Estela, Yohanna y Katia por tanto apoyo, motivación, ánimo, comprensión y paciencia que me han transmitido durante todo este tiempo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 La franja costera del litoral cantábrico	1
1.2 Procesos de erosión costera en los acantilados	6
1.3 Problemática de los deslizamientos en los acantilados	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. OBJETIVOS	14
4. METODOLOGÍA	15
4.1 Descripción y selección del área de estudio.....	15
4.1.1 Características generales	16
4.1.2 Recogida, tratamiento y análisis de datos.....	21
5. RESULTADOS	23
5.1 Descripción y Cartografía de los procesos geomorfológicos que afectan al tramo de costa del área de estudio	23
5.2 Evaluación de la peligrosidad del acantilado (y riesgo si es posible)	38
5.3 Análisis del grado de retroceso de la línea de costa como consecuencia de los movimientos del terreno o de la erosión costera	40
6. CONCLUSIONES	43
7. LÍNEAS FUTURAS	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. Introducción

El litoral cantábrico es la zona del norte de España que se encuentra limitada al norte por el Mar Cantábrico y al sur por tierra firme. Además de por su interés paisajístico y turístico, tiene especial relevancia, en determinadas zonas, la presencia de procesos geomorfológicos así como los procesos de retroceso de la línea de costa. Esas zonas sufren la acción de agentes dinámicos diversos y son sensibles a sus variaciones además de las propias producidas por el asentamiento de actividades humanas, en torno a las cuales se desarrollan importantes actividades económicas.

1.1. La franja costera del litoral cantábrico

La morfología rectilínea y acantilada de la costa cantábrica es resultado del ascenso continuado de la plataforma cantábrica; la subducción del talud continental cantábrico provocó la elevación y plegamiento de la cadena cantábrica provocando la estrechez de la plataforma de abrasión actual. El gradual ascenso isostático iniciado a finales del Terciario, después de finalizada la subducción, ha originado los diferentes niveles de rasa que aparecen a lo largo de todo el litoral (*Gil Olcina y Gomez Mendoza, 2002*).

La disposición estructural de los materiales litológicos sigue la orientación este-oeste, de modo que, tanto los pliegues como las fallas son, en general, paralelos o subparalelos a la costa. Estas estructuras, junto con las morfologías diapíricas que aparecen a lo largo del litoral han contribuido a la configuración de la costa cantábrica actual.

Los acantilados constituyen una parte importante de la costa cantábrica. Su desarrollo está en relación con todo un conjunto de factores; unos relacionados directamente con el medio marino, otros con el medio terrestre, sin olvidarnos de los factores climáticos o antrópicos. Los principales factores que intervienen en la morfodinámica de los acantilados son: el oleaje y las mareas, las condiciones climáticas y la vegetación afectada a su vez por el grado de salinidad, las diferencias en cuanto a la litología (tipos de rocas y estructuras geológicas) y la evolución general del relieve. (*Lopez-Bedoya y Pérez-Alberti, 2009*).

Las mareas en el cantábrico juegan también un papel importante. El rango mareal presenta grandes diferencias con el sur de la península, donde se puede apreciar una tendencia de aumento del rango hacia el norte (**Fig. 1.1**).

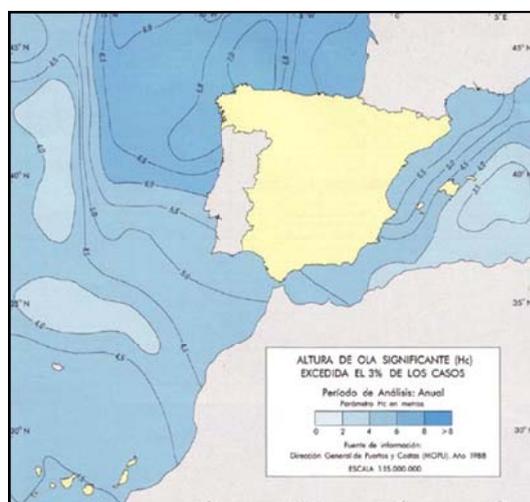
El oleaje, muestra diferencias entre el norte y los sectores atlánticos, noroeste y suroeste. Según la Red de Boyas de Puertos del Estado el oleaje o altura de la ola es más significativa en las costas atlánticas que en el resto costero español, destacando las de 4 a 8 metros (**Fig. 1.2**).

En lo que se refiere a la dirección de oleaje, se observa que en el período de análisis anual, el oleaje se aproxima por el norte hacia la franja cantábrica, al igual que los estudios realizados para el primer trimestre. Sin embargo, el período de análisis del tercer trimestre presenta una inclinación hacia el este. En los dos primeros casos, la altura de la ola es elevada ya que las flechas muestran una gran longitud, en cambio, esta longitud disminuye en el periodo de análisis del tercer trimestre, donde el oleaje incide en el golfo de Vizcaya de forma más inclinada hacia el E.

Figura 1.1. Variaciones del rango mareal para diferentes localidades costeras. Fuente: Red de Mareógrafos, Puertos del Estado.

MAREÓGRAFO	CARRERA (CM)			PERÍODO DE DATOS
	Mínima	Media	Máxima	
Bilbao	99	286	503	1993-2003
Santander	99	286	501	1993-2003
Gijón	99	282	496	1996-2003
A Coruña	86	259	458	1993-2003
Vilagarcía	79	244	423	1997-2003
Vigo	82	242	421	1993-2003
Huelva	75	227	400	1997-2003
Sevilla (Bonanza)	66	204	347	1997-2003

Figura 1.2. Altura de ola significativa excedida el 3% de los casos. La figura muestra la altura significativa anual en metros en las costas españolas, según el Atlas Nacional de España, a partir de datos de la Dirección general de Costas, 1988.



El estudio de las corrientes está muy ligado a la meteorología debido a que los regímenes de circulación superficial oceánica son un fiel reflejo de los modelos de circulación atmosférica (Ibañez Artica, 1985). Las primeras observaciones sobre las corrientes superficiales del Golfo de Vizcaya datan de finales del siglo XIX y comienzos del XX, utilizando botellas de cristal con un mensaje en su interior se observó una deriva hacia el SE y SW con velocidades comprendidas entre las 8 y 30 millas diarias.

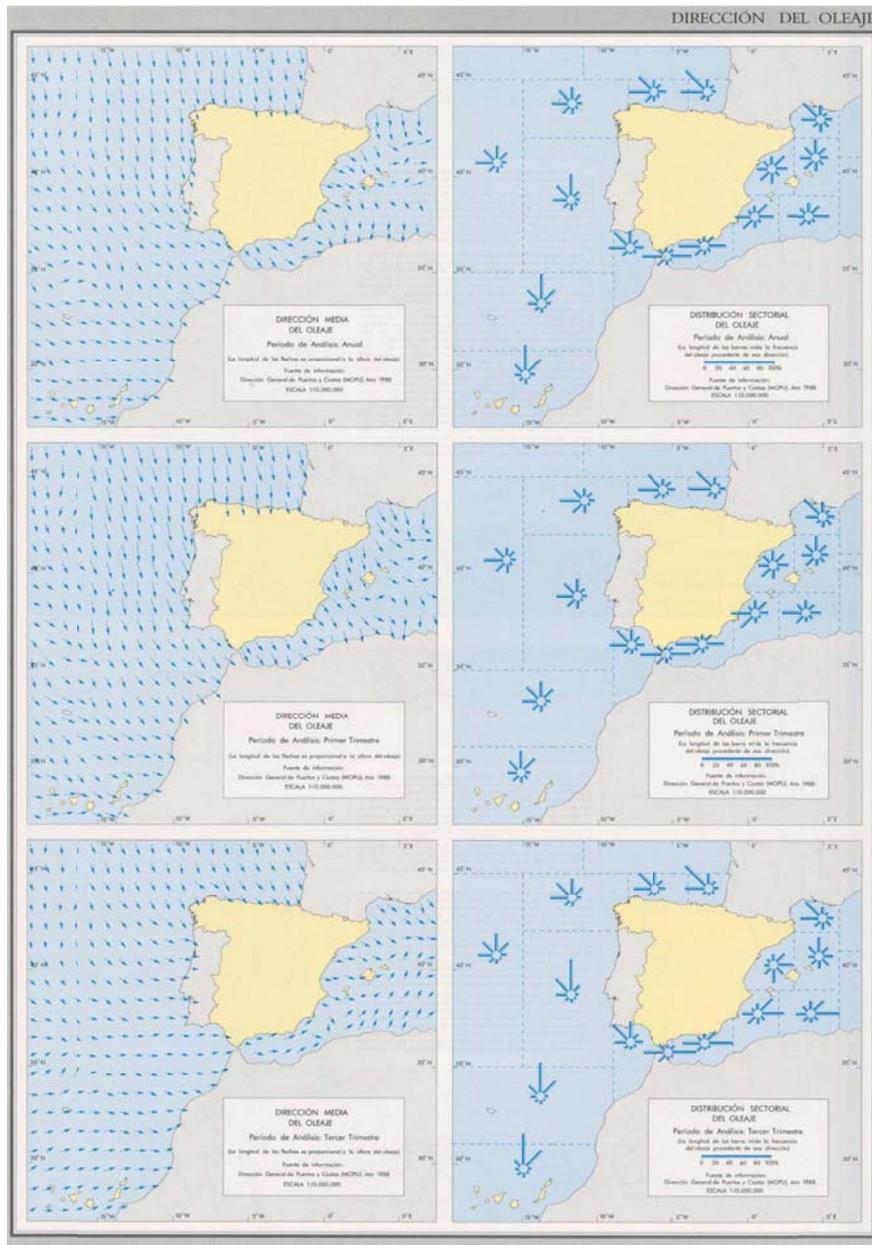


Figura 1.3. Dirección media del oleaje y dirección sectorial del oleaje. Fuente: Dirección General de Puertos y Costas (MOPU), 1988.

La corriente del Golfo cruza el Atlántico dirigiéndose hacia el NE; mientras la rama principal asciende hacia el norte de Europa, otra rama gira al sur de las Islas Británicas para dirigirse al SE y luego al SW recorriendo el Golfo de Vizcaya en el sentido de las agujas del reloj. Las corrientes superficiales en el Golfo de Vizcaya se puede decir que son variables, tanto en intensidad como en dirección, dependiendo básicamente de los vientos que hayan soplado en el Atlántico Occidental los días precedentes (*Ibañez Artica, 1985*).

Otro de los factores que afectan a la configuración de la costa es el clima. Éste, influye directamente en la vegetación que, a su vez, se verá afectada por el grado de salinidad. La salinidad media oscila entre el 33 y 36‰ en el litoral y en la superficie marina es muy variable debido a la influencia de factores meteorológicos y topográficos junto con los aportes fluviales. Así pues, en la línea de costa las precipitaciones rebajan ese valor y en los estuarios y desembocaduras de ríos caudalosos esa salinidad baja aún más (*Hellín Medina, 2009*). El clima oceánico o atlántico se extiende por todo el norte y noroeste de la Península, desde los Pirineos hasta Galicia. Se caracteriza por la abundancia de lluvias, repartidas de manera regular a lo largo del año. En el Cantábrico el promedio que se registra de precipitaciones comprende entre 150 y 200 días con cantidades anuales entre 1040 y 1510 litros por metro cuadrado. Las temperaturas suelen ser suaves debido a la cercanía del mar, por lo que presentan unas temperaturas medias en invierno que oscilan entre los 12°C y 15°C, mientras que en verano se rondan los 20-25°C (**Fig. 1.4**).

Los vientos dominantes son de componente NW, obligando a la vegetación costera a desarrollar un poderoso aparato reticular importante que penetra en el subsuelo, favoreciendo la fisuración de las rocas. También circulan vientos de componente Norte, que predominan en verano, mientras que los de componente Sur son más frecuentes en invierno. El viento suaviza las temperaturas dando lugar a veranos frescos e inviernos suaves y templados. Estas características no son siempre así, en ocasiones, el viento del Norte sopla en invierno y el Sur en verano. Un agente climático importante en nuestra región es el *Efecto Foehn*. Este efecto consiste en que el viento Norte que viene directamente del mar, muy húmedo, es obstaculizado por la Cordillera Cantábrica, generando precipitaciones en la franja cantábrica, mientras, los vientos

procedentes del Sur han de salvar dicha cordillera, obligando a la masa de aire a ascender, condensando el vapor de agua y dando lugar a lluvias orográficas (efecto barrera). A sotavento el aire ya seco desciende rápidamente aumentando la presión atmosférica y la temperatura.

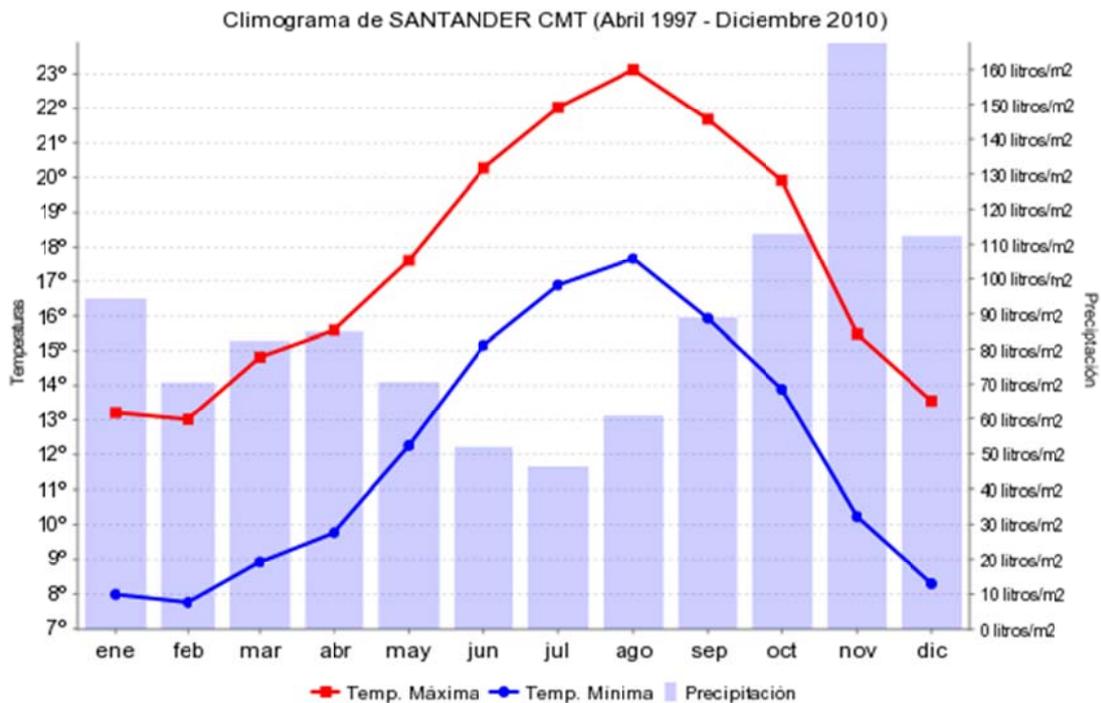


Figura 1.4. Datos de temperatura y precipitación registrados en el Centro Meteorológico de Santander entre 1997 y 2010. Fuente: AEMET, 2013.

La costa de Cantabria está caracterizada por sus materiales mesozoicos y cenozoicos, principalmente calizas, dolomías, margas y conglomerados. La diversidad litológica se traduce en la existencia de perfiles muy variados, y sobre todo, en un escalonamiento topográfico causado por el levantamiento de antiguas superficies erosivas marinas, las denominadas “rasas”. En los cantiles rocosos se refugia una flora muy peculiar, compuesta por especies aerohalófilas (vegetales rociados regularmente por las salpicaduras del oleaje sobre sus órganos aéreos) y por halófilas terrestres (aquellas que se sitúan en sustratos lavados por el agua salada), adaptadas a la elevada salinidad atmosférica del ambiente litoral (Cendrero et al., 1986).

Todo este conjunto de factores, actuando de forma simultánea, van a influir en los diferentes procesos de erosión costera y, por tanto, en la modificación de la franja costera y de los acantilados que la conforman.

1.2. Procesos de erosión costera en los acantilados

Los acantilados se forman esencialmente en costas levantadas por fracturas o después de bajadas eustáticas del nivel del mar. La elevada pendiente de la plataforma adyacente y la resistencia de la litología, permite al oleaje atacar fácilmente los afloramientos rocosos. La principal acción que se produce es la erosión, que hace retroceder al acantilado generando sedimento de tamaño muy diverso, el cual puede acumularse cerca del mismo o ser arrastrado por la deriva litoral o la resaca (*Dabrio González y Zazo Cardeña, 1988*). En la erosión marina intervienen procesos de abrasión, alteración, ataque mecánico y actividad biológica, pero a su vez, los efectos de la erosión marina determinan la puesta en marcha de otros tipos de procesos, como los movimientos en masa, rápidos o lentos que también pueden ser consecuencia directa de procesos continentales (*Blanco-Chao y Pérez-Alberti, 1996*). Los movimientos más frecuentes son los desprendimientos rocosos y los deslizamientos rotacionales, de dimensiones muy diversas (**Fig. 1.5**). Tanto los movimientos como la erosión se ven favorecidos por la inclinación y dirección de los estratos o los planos de fractura.



Figura 1.5. Gran deslizamiento localizado al Este de la Punta Ballota (Suances).

El oleaje es un agente fundamental en el retroceso de los acantilados y su acción está fuertemente controlada por los elementos estructurales y por el grado de meteorización de las formas y materiales sobre los que actúa. Así pues, el oleaje realiza un trabajo de arranque de material y de abrasión de la superficie de la roca. La mayoría de los acantilados de la costa cantábrica presentan un escarpe basal (**Figs. 1.6 y 1.7**) y una vertiente superior. Esta última se verá afectada por la acción marina en periodos de fuerte oleaje.

Otro de los rasgos más destacados del litoral cántabro es la presencia de grandes macizos karstificados (**Figs. 1.8 y 1.9**). En estos paisajes kársticos, constituidos principalmente por materiales carbonatados y que son afectados por las condiciones climáticas del litoral (pluviosidad, temperatura, acción marina, etc.), se producen principalmente dos procesos que pueden ocasionar daños importantes y favorecer la inestabilidad del acantilado: la subsidencia o hundimientos del terreno más o menos lentos y, los colapsos, que son movimientos rápidos. Además, aparecen una serie de formas asociadas a este tipo de modelado, como son las pequeñas depresiones o dolinas, redes de diaclasas o fracturas, que constituyen múltiples zonas de debilidad contribuyendo a generar desprendimientos en estas zonas acantiladas y movilizandograndes volúmenes de material.

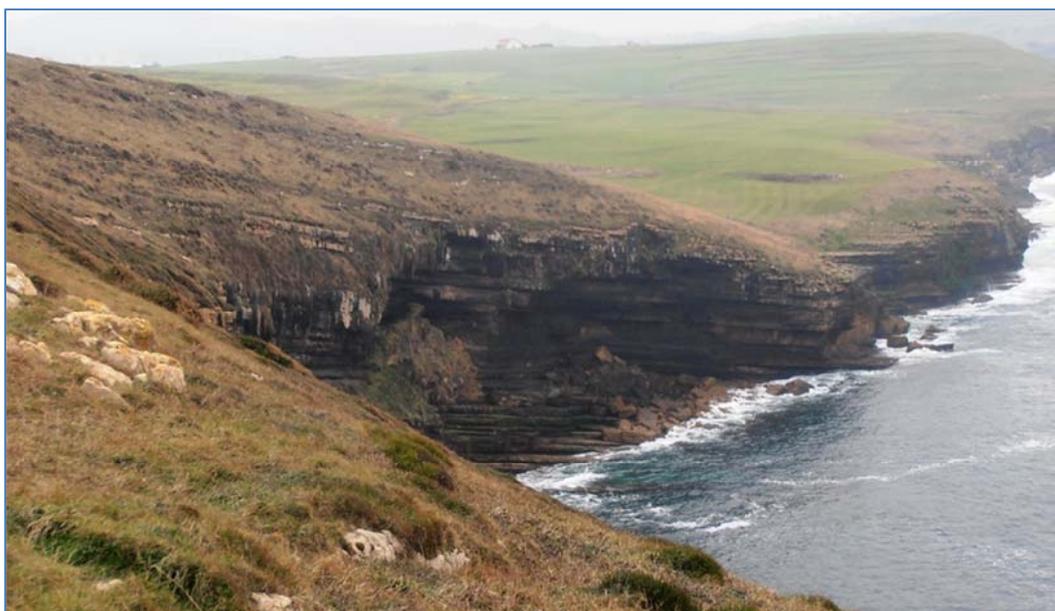


Figura 1.6. Erosión Basal localizada a la altura de la Punta de Carrastrada.

Este tipo de proceso se puede observar en diferentes zonas a lo largo de la costa cántabra, como por ejemplo en “La Punta de Dichoso” en Suances, en el tramo que va desde la Playa de Santa Justa a la Ensenada de Puerto Calderón, y desde Puerto Calderón hasta la altura de Carrastrada.



Figura 1.7. Acantilado cerca de la playa de la Tablia. Se observan al pie bloques desprendidos por socavamiento basal, la parte llana en la zona superior es una “rasa” o antigua plataforma de abrasión por el oleaje.



Figura 1.8. Gran macizo kárstico. Punta de El Dichoso (Suances).

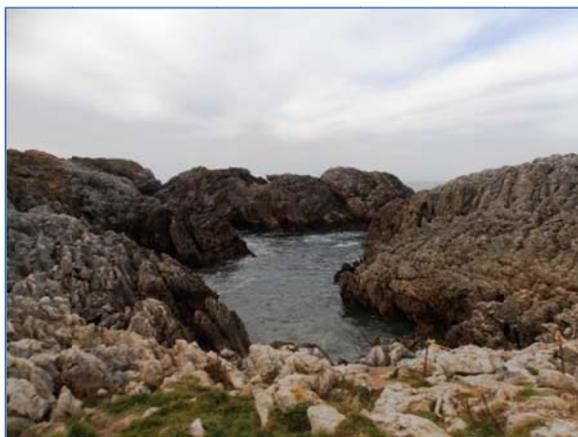


Figura 1.9. Zona Kárstica en Entrante de Zapera (Santillana del Mar).

1.3. Problemática de los movimientos en masa en los acantilados

Como ya se ha comentado anteriormente, existen varios factores que influyen en la aparición de los movimientos en masa, como son el relieve y la existencia de litologías inestables, además de las propias condiciones climáticas de la zona. En menor medida, también influyen la vegetación y los usos del suelo. Por otra parte, los principales mecanismos desencadenantes de estos movimientos en España son las lluvias, la erosión y los terremotos (Corominas, 2005). Además, a estos procesos se suman otros ligados a subsidencias en materiales calcáreos, inundaciones costeras, temporales, etc. que producen el retroceso o gradación de la línea de costa. En la **Figura 1.10** se observan zonas costeras europeas en las cuales la costa está retrocediendo, avanzando o por el contrario, no sufre cambios, debido a procesos diferentes (Yates y Le Cozannet, 2012).

En las costas de Estados Unidos son frecuentes los procesos de erosión costera, alcanzando las pérdidas económicas anuales en propiedades los 500 millones de dólares. En Europa, el Reino Unido es uno de los países más afectados ya que el 53% de la costa de Gales e Inglaterra está afectada por procesos de inestabilidad. Stavrou et al. (2011) proponen un método para representar el riesgo en acantilados en base a observaciones geotécnicas, tasas de erosión históricas o bien como consecuencia de la acción humana.

La franja costera española, tiene aproximadamente una longitud de unos 7.000 km, de los cuales, el 58% corresponde a costas acantiladas, el 30% lo constituyen playas y, el resto son costas bajas. En España, alrededor del 44% de la población vive en zonas

costeras y, en torno a un 35% viven en una franja de menos de 5 km desde la línea de costa (Díaz de Terán y Cendrero, 1992), por lo que los daños, tanto en propiedades como en vidas humanas, que se pueden llegar a producir, son importantes.

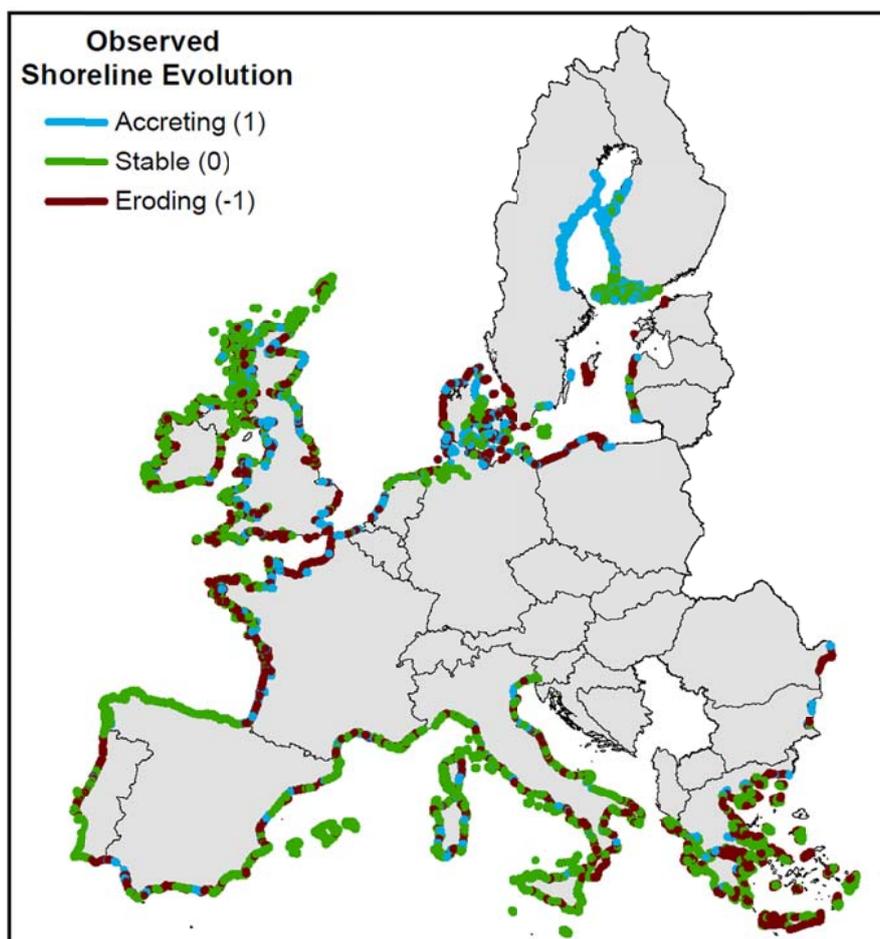


Figura 1.10. Evolución de la línea de costa en algunos países de Europa a partir de observaciones de campo (Yates y Le Cozannet, 2012).

A lo largo de la costa cantábrica, entre el País Vasco y Asturias, se producen frecuentemente procesos de deslizamiento bien por erosión, bien por descalce de los acantilados. Un claro ejemplo de este proceso son los continuos deslizamientos que se producen en la carretera entre Zumaia y Getaria (Guipúzcoa) (**Fig. 1.11**). En diciembre de 1998 un gran deslizamiento destruyó completamente la carretera. El coste de la reconstrucción del tramo de 115 metros de esta carretera que bordea la costa, ascendió a 250 millones de pesetas de la época. Un informe realizado en 1994

concluyó que sólo para estabilizar la ladera sobre la que se sitúa la carretera, sería necesario realizar una inversión de 1.230 millones de pesetas del momento.

También existen ejemplos de retroceso por deslizamientos en acantilados de la costa gaditana (*Del Rio, 2007*), en las facies Keuper de Asturias (*González-Villarías, 2001*), en la costa norte de Mallorca (*Mateos, 2001*), en la Costa Brava donde los macizos graníticos y de calizas fracturadas dan lugar a frecuentes desprendimientos de bloques, así como en las Islas Canarias donde la erosión y retroceso de los apilamientos de lava, genera imponentes acantilados con frecuentes desprendimientos (*Carracedo et al., 2001*).



Figura 1.11. Grandes deslizamientos afectando a la carretera Zumaia-Getaria (Guipúzcoa).

La problemática que causa este proceso, sobre todo en relación con la pérdida de propiedades o infraestructuras, debida principalmente a la ocupación humana de la franja costera, hace que sea necesario el realizar estudios de cartografías geomorfológicas que nos ayuden a evaluar la peligrosidad de los acantilados y zonas adyacentes, estableciendo una ordenación del territorio que salvaguarde la seguridad de las personas y de sus propiedades.

2. Planteamiento del problema

La regresión de la costa, tanto por erosión marina como por retroceso de los acantilados, es un problema al cual se le debe prestar especial atención por los daños que provocan, sobre todo en propiedades y, de forma puntual, en vidas humanas. Una buena ordenación del territorio a lo largo de las zonas costeras, medida en sí poco costosa, contribuiría a reducir esas pérdidas. Para llevar a cabo esa ordenación, se hace necesario en un primer lugar analizar y cartografiar los distintos procesos geomorfológicos que se producen a lo largo de la línea de costa y, principalmente, en los acantilados, con el fin de evitar situaciones de peligro en el futuro.

Aunque la actual ley de costas del estado español de 1988 establece una franja de protección de 100 metros desde la zona de mar hacia el interior terrestre, en la cual no se permite realizar actuaciones de ningún tipo, en muchos casos esto no se ha cumplido, y la presión urbanística ha afectado, incluso, a los acantilados. En Cantabria, en 2004 se aprobó el Plan de Ordenación del Litoral (POL), que establece los criterios de protección de las áreas costeras de carácter físico y de forma específica del paisaje litoral, así como los criterios globales de ordenación de usos y actividades en este ámbito costero. Se configura de esta manera una herramienta de ordenación territorial que establece los criterios generales de protección del medio litoral, al mismo tiempo que orienta las estrategias de crecimiento urbanístico y la implantación de infraestructuras, todo ello entendiendo la protección y la ordenación como dos aspectos complementarios de una misma estrategia de desarrollo sostenible. Desde el POL se proponen también actuaciones de conservación y en su caso de restauración del espacio costero (**Fig. 2.1**).

El desarrollo de zonificaciones de peligrosidad en base a los procesos observados y cartografiados en la zona costera, tanto por deslizamientos como por subsidencias, podría ayudar a una mejor ordenación de ese espacio litoral.

El análisis de la evolución de la línea de costa durante las últimas décadas, puede ser de utilidad a la hora de ayudarnos a entender cómo será la futura evolución de la costa, qué procesos la podrán afectar, etc. y así poder plantear medidas de mitigación o prevención de daños. Todo ello en base al análisis de lo que está ocurriendo actualmente y lo que ha ocurrido en el pasado más reciente.

Por todo ello, es necesario realizar cartografías, lo más completas posibles, de la franja costera, que identifiquen los diferentes procesos que la están afectando. Ello permitirá zonificar los distintos tramos costeros en base al grado de peligrosidad ocasionado por una serie de procesos geomorfológicos que contribuyen también al retroceso de la línea de costa. Aunque la costa retroceda por su evolución natural, una adecuada ordenación del espacio litoral ayudará a minimizar los daños en propiedades o vidas humanas que se puedan producir.

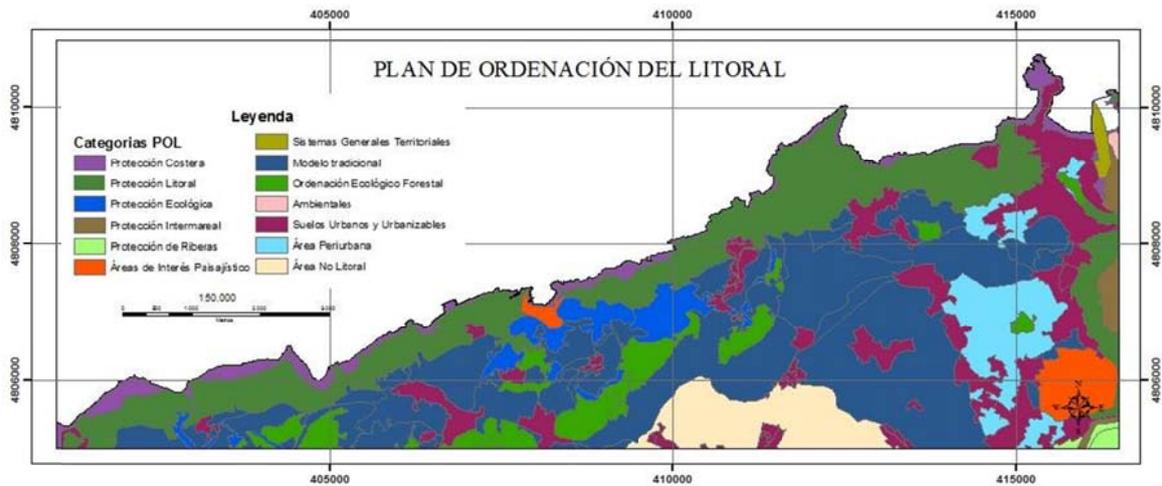


Figura 2.1. Mapa del Plan de Ordenación del Litoral en la zona a estudiar, con indicación de las zonas con restricción de uso.

3. Objetivos

Con este trabajo se pretende, como objetivo principal, identificar y cartografiar los diferentes procesos geomorfológicos que afectan a un tramo de la franja litoral de Cantabria, con el fin de proponer una zonificación de peligrosidad en base a los procesos identificados. En este estudio no se tiene en cuenta el efecto de los diferentes factores que intervienen en la morfodinámica costera como son las mareas, el oleaje, el clima, la salinidad, la vegetación, la litología o las estructuras geológicas. Ello es debido a las limitaciones de tiempo que impiden abordar todos los aspectos que influyen en el retroceso de la costa, aunque afecten directamente a los procesos que se producen en la zona.

Para lograr ese objetivo general, se pretenden alcanzar una serie de objetivos específicos:

- Cartografiar los procesos geomorfológicos que afectan a un tramo de costa cántabra. Para ello se identificarán y describirán todas las formas y procesos, así como también sus características.
- Evaluar el grado de peligrosidad existente a lo largo de la línea de costa estudiada que relación con la geología de la zona, con la influencia marina y con la influencia de la actividad humana. Se llevara a cabo una propuesta de zonificación cualitativa en el que se interpretará la peligrosidad existente en baja, media, alta y muy alta.
- Analizar, a partir de la foto aérea antigua, el grado de evolución-retroceso del acantilado que haya podido producirse como consecuencia de los movimientos del terreno o de la erosión costera.

4. Metodología

La metodología seguida en el presente estudio se basa principalmente en el trabajo de campo, el cual permite realizar una cartografía de los principales procesos geomorfológicos que afectan a la zona a analizar. Para aplicar la metodología, se ha seleccionado una zona en la cual existe una problemática importante en cuanto a procesos de movimientos del terreno (movimientos en masa y subsidencia) que están afectando a los acantilados y zonas aledañas.

La información cartográfica elaborada para este trabajo, así como la información geográfica obtenida a través de distintos servidores de información geográfica, ha sido reelaborada y tratada en gabinete mediante el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcgis 10.0.

El análisis de las formas identificadas y su posible evolución, servirá para hacer una zonificación de la peligrosidad del tramo costero, que pueda ser utilizada por las Administraciones con el fin de establecer posibles restricciones de uso.

Finalmente, y con ayuda de la fotografía aérea del vuelo americano del año 1956, tras su restitución al SIG, y de la ortofotografía de 2010, se analizará el grado de retroceso que ha sufrido esta franja costera durante el periodo 1956-2010.

4.1. Descripción y selección del área de estudio

La zona litoral en la que se centra el presente trabajo comprende la zona que discurre entre La ría de San Martín (municipio de Suances) y la Playa de Luaña (municipio de Alfoz de Lloredo), en la costa occidental de Cantabria (España), pertenecientes a los municipios de Alfoz de Lloredo, Santillana del Mar y Suances (**Fig. 4.1**). Con el fin de tener una visión más general de la zona se ha considerado analizar también la parte de tierra adentro dentro de las coordenadas UTM, X: 401000-416500 e Y: 4805000-4811000. La zona seleccionada abarca un tramo de costa de 25 km de longitud en el que se producen procesos de subsidencia y de movimientos en masa. Tierra adentro se localizan zonas urbanizadas y terrenos dedicados a pradería.

Se trata de una costa acantilada con pendientes que varían de 0 a 90 grados (**Fig. 4.2**); aproximadamente el 80% de la zona acantilada muestra pendientes superiores a 50°.

La acción del oleaje y las corrientes marinas han incidido sobre esta zona arrancado material rocoso de las paredes del acantilado, el cual incide posteriormente sobre el

mismo por acción del oleaje contribuyendo a su erosión y desestabilización. La acción de las mareas es igualmente importante, ya que durante un tiempo introduce agua entre las rocas, reblandeciéndolas, y durante el resto del día las deja a la intemperie para que actúen los agentes atmosféricos.

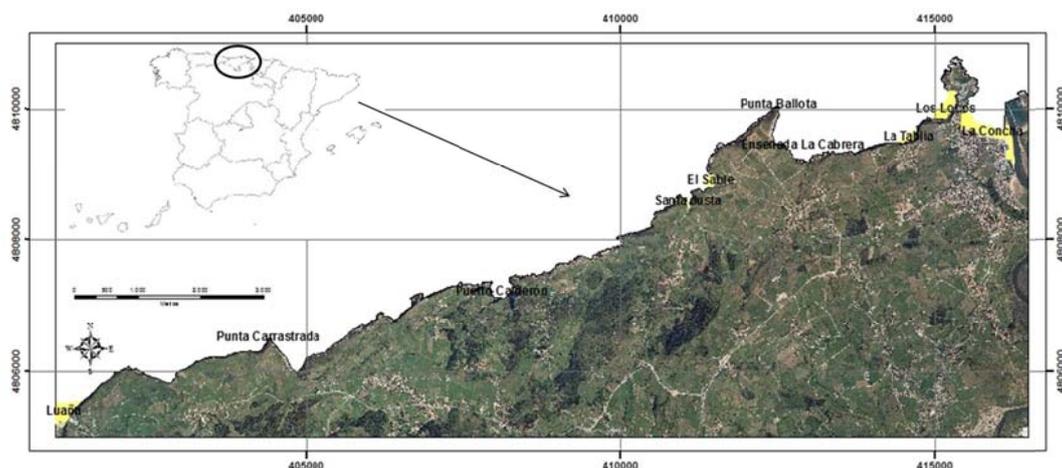


Figura. 4.1. Situación de la zona de estudio.

Diversas playas se han desarrollado a lo largo de la franja de estudio. En éstas, la acción del oleaje es mucho menor y por lo tanto se genera acumulación de material, principalmente arena, aunque en alguna pueden aparecer cantos rodados y restos de materiales más gruesos acumulados. Las principales playas que existen en la zona son: la Concha, la Tabla y los Locos, en Suances; el Sable, en Tagle; Santa Justa, en Ubiarco y Luaña, en Cóbreces.

4.1.1. Características generales

Es un sector de carácter uniforme caracterizado por una continua rasa litoral, solo interrumpida por el monte del Coterón, a la altura de Oreña, sobre la que se localizan, fundamentalmente, prados de siega. Los usos residenciales son menores, lo que implica que la costa esté aún bastante bien conservada, manteniendo su belleza, y constituyendo un atractivo importante para el futuro desarrollo turístico de la zona. Es de destacar la ensenada de Puerto Calderón, un antiguo puerto usado por los romanos y posteriormente utilizado como cargadero de mineral de zinc; en los alrededores existen varias minas, ya abandonadas. Hoy en día es una zona reconvertida en puerto

pesquero y deportivo en el que se desarrollan diversas actividades como la pesca (jargos y lubinas), el buceo o las actividades de baño.

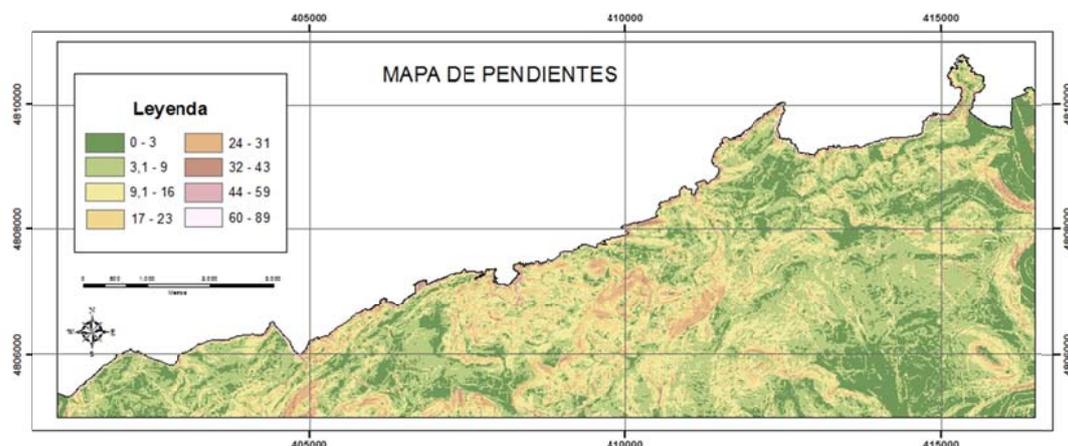


Figura. 4.2. Modelo digital de pendientes (en grados) elaborado para la zona de estudio. Hay que destacar las fuertes pendientes cerca de los 90°.

La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima atlántico húmedo, con abundantes y persistentes precipitaciones que alcanzan los 1.000-1.200mm anuales. Las temperaturas no suelen superar valores máximos de 30°C con medias que se mantienen por debajo de los 20°C y una amplitud térmica que se sitúa entre los 8 y los 15°C. La cercanía al mar actúa como un amortiguador térmico impidiendo el excesivo aumento de temperaturas durante el día y una caída exagerada durante las noches. Del mismo modo, la Corriente del Golfo contribuye a suavizar las temperaturas respecto a las que le correspondería realmente según la latitud.

Esta zona se ve influenciada por los vientos húmedos del noroeste que dejan lluvias y suelen ser fuertes en los meses de Abril-Mayo y Septiembre-Octubre, periodos en los que pueden alcanzar magnitudes de galerna. Los vientos del noreste, más frecuentes en invierno son conocidos como siberianos; se trata de masas de aire secas y muy frías que suelen dejar nieve a nivel del mar.

El tramo costero de la zona de estudio está constituido por rocas de edad Cretácico inferior y superior, a excepción de algunas zonas donde afloran materiales del Triásico y del Cuaternario (Fig. 4.3).

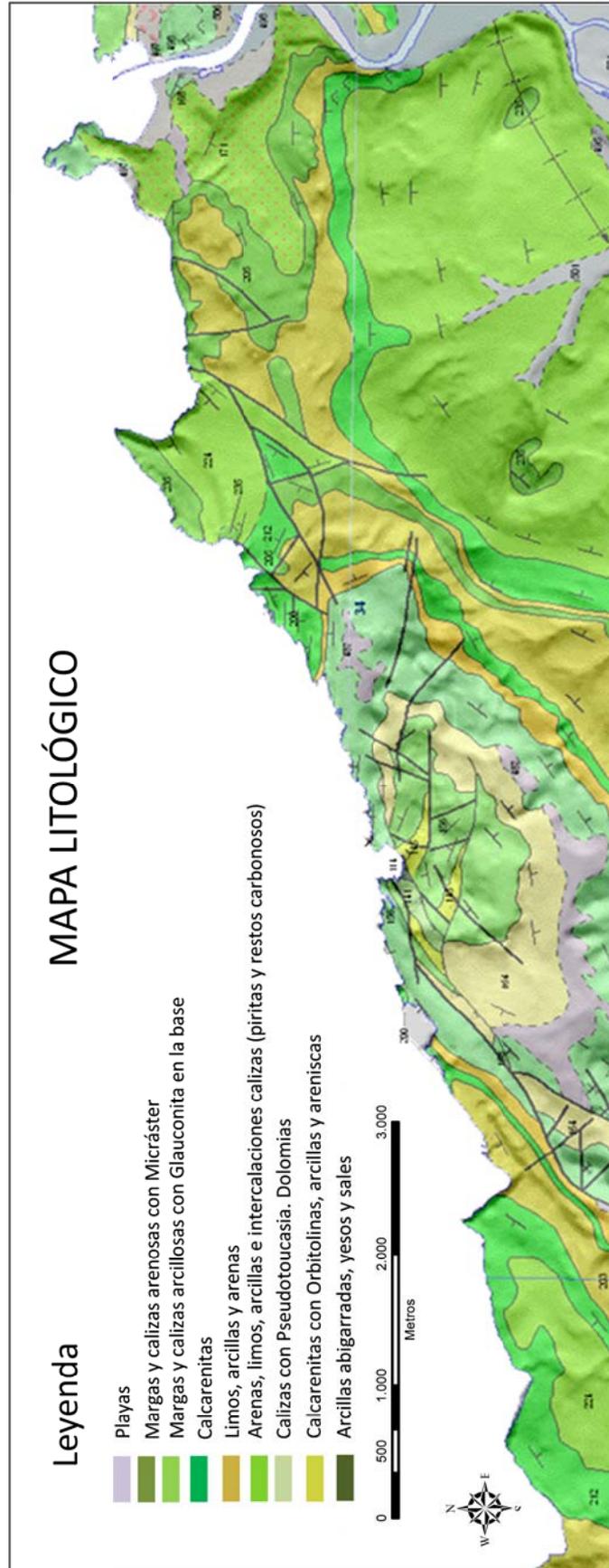


Figura 4.3. Mapa geológico de la zona de estudio (Fuente: IGME).

Los materiales más frecuentes en la zona de estudio son de edad Aptiense; se trata de *calizas con pseudotoucasia y dolomías* que forman acantilados verticales. Algunos ejemplos se localizan en La Punta de Dichoso en Suances, la zona acantilada de Ubiarco, el espacio comprendido entre la Ensenada de Puerto Calderón y la desembocadura del arroyo de la Cueva del Valle, en el Barrio de Caborredondo. En determinadas zonas afloran *calcarenitas* de edad Cenomaniense; ejemplos de estos materiales se encuentran en la Ensenada la Cabrera o en la Playa de Santa Justa; en la punta de Carrastrada, la zona del Bolao y la playa de Luaña, aparecen las calcarenitas mezcladas con orbitolinas, arcillas y areniscas (**Fig. 4.4**). En la Ensenada de Puerto Calderón afloran materiales Triásicos, en facies keuper, formados por yesos, arcillas y sales como consecuencia del diapirismo (**Fig. 4.5**).



Figura 4.4. Calizas y calcarenitas del Aptiense con glauconita (Carrastrada).

Subparalelo a la línea de costa (ENE-OSO) y en toda la zona de estudio desde Suances hasta la playa de Luaña, se encuentra el Anticlinal de Caborredondo, en cuyo núcleo afloran los materiales del keuper provocando la fracturación e inversión de capas. Las estructuras anticlinal-sinclinal se manifiestan a lo largo de la zona de estudio (**Fig. 4.6**), así como una densa red de fallas, asociadas a los procesos diapíricos y a los plegamientos que se han producido. En la Ensenada de Puerto Calderón encontramos una falla inversa de grandes dimensiones que discurre desde El Coronal en el Barrio de

Bárcena hasta el Barrio de Carrastrada. Estas estructuras podrían favorecer la presencia de distintos procesos geomorfológicos como los movimientos en masa en acantilados o los ligados a subsidencia.



Figura 4.5. Arcillas abigarradas, yesos y sales en el diapiro salino de la Ensenada de Puerto Caderón.



Figura 4.6. Estructuras de plegamiento y fracturación en la Playa de Santa Justa.

4.1.2 Recogida, tratamiento y análisis de datos

La primera fase del trabajo ha sido visitar la zona de estudio durante varias jornadas de campo en las cuales se han identificado y cartografiado los diferentes procesos geomorfológicos existentes. Para llevar a cabo dicha cartografía se ha utilizado como base el mapa topográfico nacional a escala 1:25.000. La zona de trabajo se encuadra dentro de las hojas 33-IV (Comillas), 34-I (Suances) y 34-III (Torrelavega). Por otro lado, también se ha utilizado la ortofotografía aérea del PNOA existente para la zona, con un tamaño de píxel de 0,25 metros. Esta información ha sido descargada del Centro Nacional de Información Geográfica (Cnig, <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>). De este servidor fue descargado también el mapa de puntos con cota, de la zona, a partir del cual se generó el modelo digital de elevaciones y los modelos derivados de pendientes y orientaciones.

A partir del mapa geológico nacional (Serie MAGNA, hoja 34 de Torrelavega y hoja 33 de Comillas) a escala 1:50.000 se han identificado las diferentes unidades y estructuras geológicas que aparecen en la zona de estudio. Esta información está disponible en la página del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, <http://www.igme.es>). La información referente a las unidades de vegetación fue obtenida a partir de la información existente en el Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada.

La finalidad de esta recogida de información es la de disponer de un banco de datos, lo más completo posible, para poder analizar los distintos procesos geomorfológicos existentes en trabajos posteriores, en relación con la geología de la zona, la influencia marina o la influencia de la actividad humana.

Las fotografías aéreas del vuelo americano del año 1956-57, a escala 1:33.000, existentes en el DCITIMAC, fueron escaneadas y georreferenciadas al entorno de trabajo.

Tanto la información generada, como la obtenida a través de distintos servidores cartográficos, es almacenada, recortada para el área de estudio y tratada dentro del SIG. La información existente en distintos sistemas de referencia es necesario unificarla dentro de un mismo sistema de referencia para poder trabajar con ella. Por ello, toda

la información generada en este trabajo está referida al Sistema de Referencia ETRS-89, de la zona N, huso 30, ampliamente utilizado en España.

De acuerdo con los conocimientos adquiridos durante la realización del Máster en Técnicas de análisis, evaluación y gestión sostenible de procesos y riesgos naturales, y que se culmina con la presentación este trabajo, se ha realizado la cartografía de los principales procesos geomorfológicos identificados a lo largo de la franja costera, objeto de este estudio. Los principales procesos identificados, aparte de los procesos propios de la erosión marina, han sido los movimientos en masa y la subsidencia.

Una vez cartografiados todos los procesos, se propone una clasificación de la peligrosidad existente en una franja costera de seguridad de 200 metros, a partir de la línea de costa, en la que mediante los colores rojo, naranja, amarillo y verde, se indica, de forma cualitativa, el grado de peligrosidad en la zona (**Fig. 4.6**).

PROCESOS	Deslizamientos- Subsidencia	Sólo deslizamientos	Sólo subsidencia	Sin procesos
PELIGROSIDAD	ALTO	ALTO-MEDIO	MEDIO	BAJO

Figura 4.6. Carta de colores para indicar el grado de peligrosidad en la zona de estudio de acuerdo a la presencia/ausencia de procesos geomorfológicos.

La simple comparación entre la fotografía aérea ya georreferenciada y la ortofotografía aérea permite identificar las zonas que han sufrido algún cambio en el periodo comprendido entre 1956 y 2010.

5. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en relación con los objetivos planteados en este trabajo de fin de máster.

5.1. Descripción y Cartografía de los procesos geomorfológicos que afectan al tramo de costa del área de estudio.

Al final de este apartado, se presenta la cartografía realizada para toda la zona de estudio en este trabajo, donde se pueden observar todos los procesos identificados (Fig. 5.25).

Para una mejor comprensión y descripción, se ha considerado necesario diferenciar el área de estudio en diferentes sectores, que de este a oeste son:

- **Sector Ría de San Martín-Playa de la Concha:**

El inicio del estudio se ha realizado desde la Ría de San Martín, situada en el pueblo de Suances, donde se encuentran las playas de la Ribera y la Concha, así como también la desembocadura del río Saja-Besaya. Se caracteriza esta zona por presentar una playa bien desarrollada, con sistemas dunares en la parte alta. Los edificios se sitúan muy próximos a la línea de costa, sobre el acantilado. En esta zona, como consecuencia de la erosión marina, se está produciendo el descalce del acantilado provocando la aparición de algunos deslizamientos, que ponen en peligro dichas edificaciones (Fig. 5.1).



Figura 5.1. Zona residencial en el borde del acantilado junto a la playa de La Concha.

- **Sector Faro-Playa de los Locos:**

En esta zona, los procesos geomorfológicos que tienen lugar son, principalmente, las caídas de bloques. En el extremo norte de este saliente se encuentra la Punta de Dichoso, constituida por roca caliza muy agrietada que da lugar a un gran lapiaz superficial. A la altura del faro, al sur de la Punta de Dichoso, en la base del acantilado se está produciendo un gran socavamiento, que origina la caída de bloques desde la parte alta (**Fig. 5.2**). Se observa, también, la aparición de un pequeño deslizamiento, afectando a las arcillas de descalcificación, producido tras las últimas lluvias.

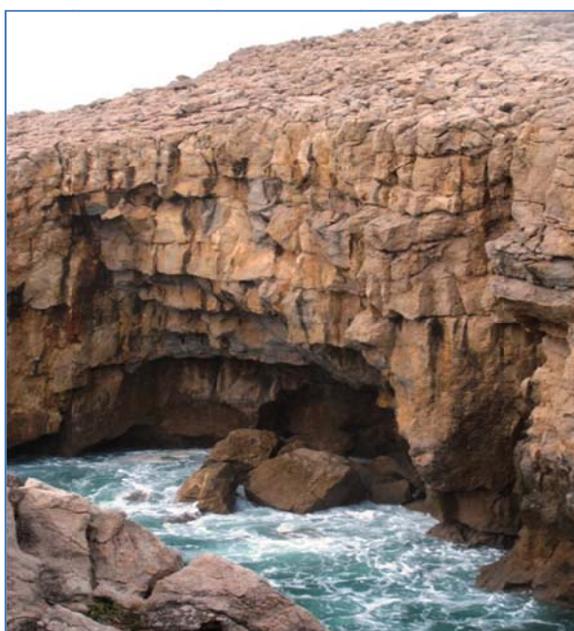


Figura 5.2. Caída de bloques calizos en Punta de Dichoso (Suances).

La playa de Los Locos es una ensenada en la que aparecen cantos rodados evacuados por las fuertes mareas, así como bloques que se han ido desprendiendo de las zonas altas. También existen evidencias de movimientos en masa que indican la inestabilidad de este sector. Al estar la parte superior muy urbanizada, representa este área una zona de alta peligrosidad (**Figs. 5.3 y 5.4**).

En este sector aparecen tres deslizamientos importantes. Concretamente, se han originado dos movimientos de tipo rotacional y otro de gran tamaño y tipología más compleja que se desarrollan, principalmente, sobre areniscas, lutitas y margas (**Fig. 5.5**).

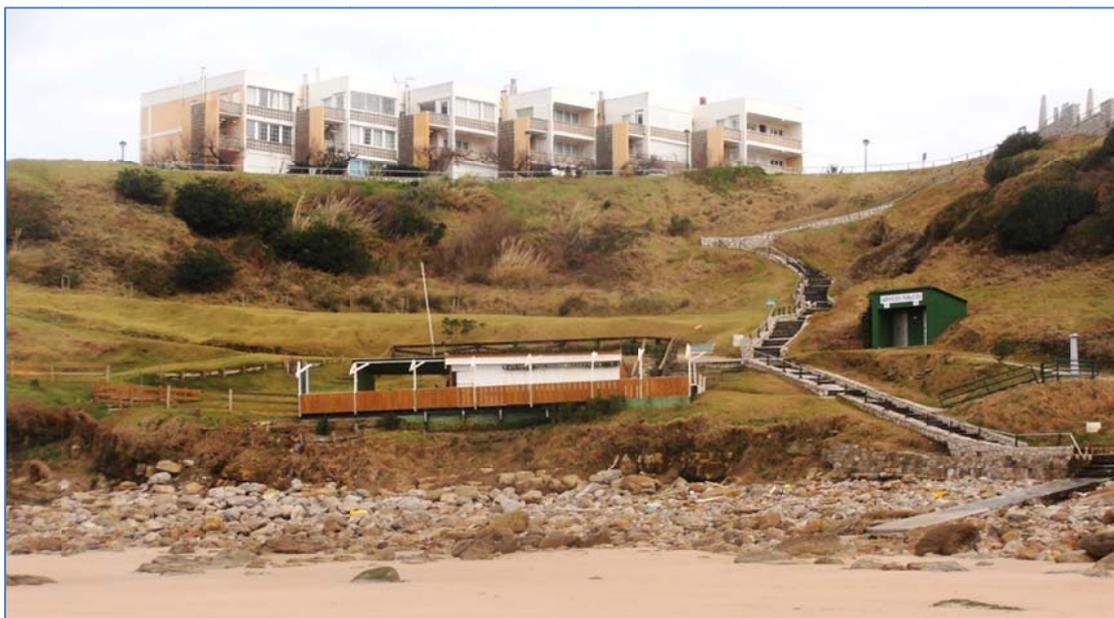


Figura 5.3. Acumulación de cantos en la parte baja del acantilado, y edificios residenciales en la parte alta.

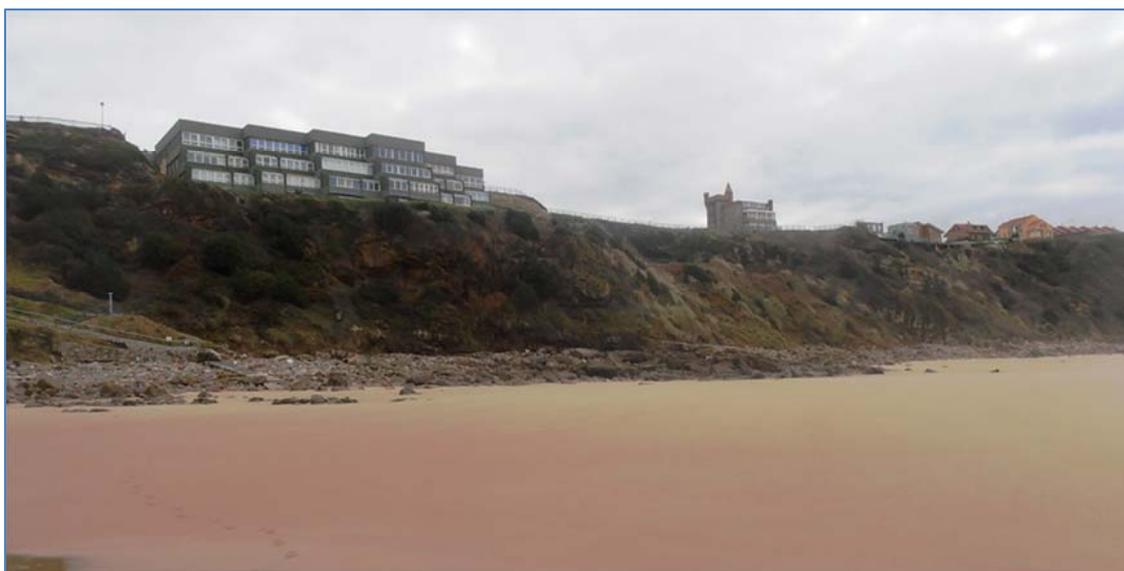


Figura 5.4. Playa de los Locos con edificios en el borde del acantilado, donde se observa la presencia de deslizamientos producidos recientemente.

- **Sector Playa de la Tablia-Punta Ballota (fachada este) “la Ensenada de Cabrera”:**

En este sector se desarrollan una serie de procesos geomorfológicos importantes y de grandes dimensiones.

En la playa de la Tablia, formada sobre calcarenitas en la franja acantilada y arenas, limos y arcillas en la zona de rasa, se observa una alineación de dolinas así como

procesos de reptación, movimientos extremadamente lentos, imperceptibles en períodos cortos de tiempo en los que no se observa ningún otro tipo de actividad (Fig. 5.6). En la zona acantilada, los procesos más significativos que se producen son los desprendimientos, acumulándose el material al pie del acantilado (Fig. 5.7).



Figura 5.5. Playa de Los Locos (Suances), donde se observan los deslizamientos rotacionales en toda la franja izquierda. Al fondo, de mayor tamaño, se observa otro movimiento de mayores dimensiones.



Figura 5.6. Reptación en la Finca Jota a la altura de la playa de la Tablia sobre materiales limosos, arcillas y areniscas.



Figura 5.7. Desprendimientos en Calcarenitas, en la playa de la Tablia.

Se han identificado seis pequeños deslizamientos rotacionales, algunos producidos recientemente (que afectan a las paredes que rodean la finca ganadera); otro movimiento se localiza en la misma finca y su aspecto indica una edad más antigua. Cabe destacar también la presencia de un gran deslizamiento complejo que, por su aspecto revegetado, debió de haberse producido hace mucho tiempo. Los materiales afectados son calcarenitas; en la actualidad se observan grandes bloques (**Fig.5.8**) además de fracturas con varios metros de profundidad.



Figura 5.8. Deslizamiento complejo en calcarenitas localizado entre la playa de la Tablia y la Punta Ballota.

Se trata de una zona de gran inestabilidad, con posibilidad de reactivación, debido al gran número de fracturas que recorren todo el lugar. El riesgo en la zona no es importante pero si la peligrosidad que afecta a terrenos dedicados al pastoreo (**Fig. 5.9A**). Otro tipo de movimiento que se observa en este sector son los movimientos de tipo flujo. El material más blando es arrastrado desde las partes altas del acantilado y se va depositando en sus paredes y en la parte baja (**Fig.5.9B**).



Figura 5.9. **A)** Finca ganadera situada sobre el gran deslizamiento. **B)** Derecha. Flujo de tierra sobre estratos en una disposición paralela de calcarenitas.

Llegando a Punta Ballota, se puede observar un pequeño deslizamiento rotacional desarrollado sobre margas y calizas arcillosas (**Fig. 5.10**), materiales que muestran una estratificación bien marcada (**Fig. 5.11**).



Figura 5.10. Pequeño deslizamiento rotacional que tiene lugar sobre margas y calizas arcillosas, localizado al sureste de Punta Ballota.



Figura 5.11. Ensenada de Cabrera y Punta Ballota donde se observa la estratificación de las capas.

- **Sector Punta Ballota (fachada noroeste)-Playa del Sable:**

En la fachada noroeste de Punta Ballota, los materiales blandos carbonatados del cretácico superior, margas y calizas arenosas con Micraster, presentan grandes fracturas y se ven afectados por deslizamientos rotacionales de cierta envergadura, pudiendo involucrar grandes volúmenes de material (**Fig. 5.12A**). En la Playa del Sable, se aprecia el efecto de la erosión diferencial que actúa sobre las margas, más blandas, y sobre las calizas margosas, algo más resistentes (**Fig. 5.12B**).

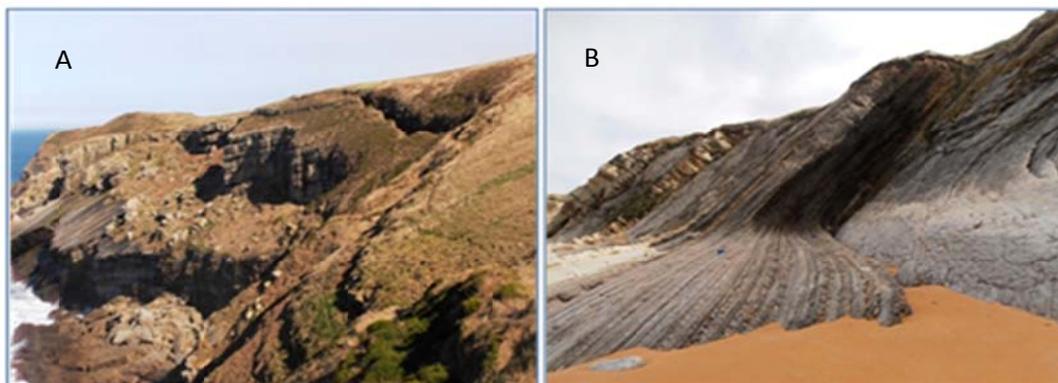


Figura 5.12. A) Deslizamiento rotacional con presencia de grandes fracturas en la cara noroeste de la Punta Ballota. **B)** En la imagen se aprecia la dirección y buzamiento de las capas, y el grado de erosión que ha provocado el oleaje en la Playa del Sable.

Cabe destacar en este área la presencia de un campo de dolinas (**Fig. 5.13A**), muy próximas a la línea de costa, cuyo desarrollo da lugar a la aparición de simas. Se trata de una zona peligrosa y bastante activa dado que el camino, que discurre paralelo a la costa, está viéndose afectado por este proceso siendo necesaria la colocación de paneles que indican las zonas de peligro (**Fig. 5.13B**).



Figura 5.13. A) Dolinas paralelas a la línea de costa en Punta Ballota. B) Cartel anunciador de la presencia de simas, en Punta Ballota.

- **Sector Playa Santa Justa-Punta de Poyo (Ensenada de Puerto Calderón):**

Además de los depósitos típicos de playa, a lo largo de este sector aparece un entramado de fracturas que constituyen zonas de debilidad frente a la erosión, así como estructuras de plegamiento como los pliegues que cobijan a la ermita de Santa Justa. Los materiales están formados por calcarenitas e intercalaciones de margas y arcillas y hacia el oeste calizas y calcarenitas con glauconita (Fig. 5.14). La caída de bloques es bastante frecuente.

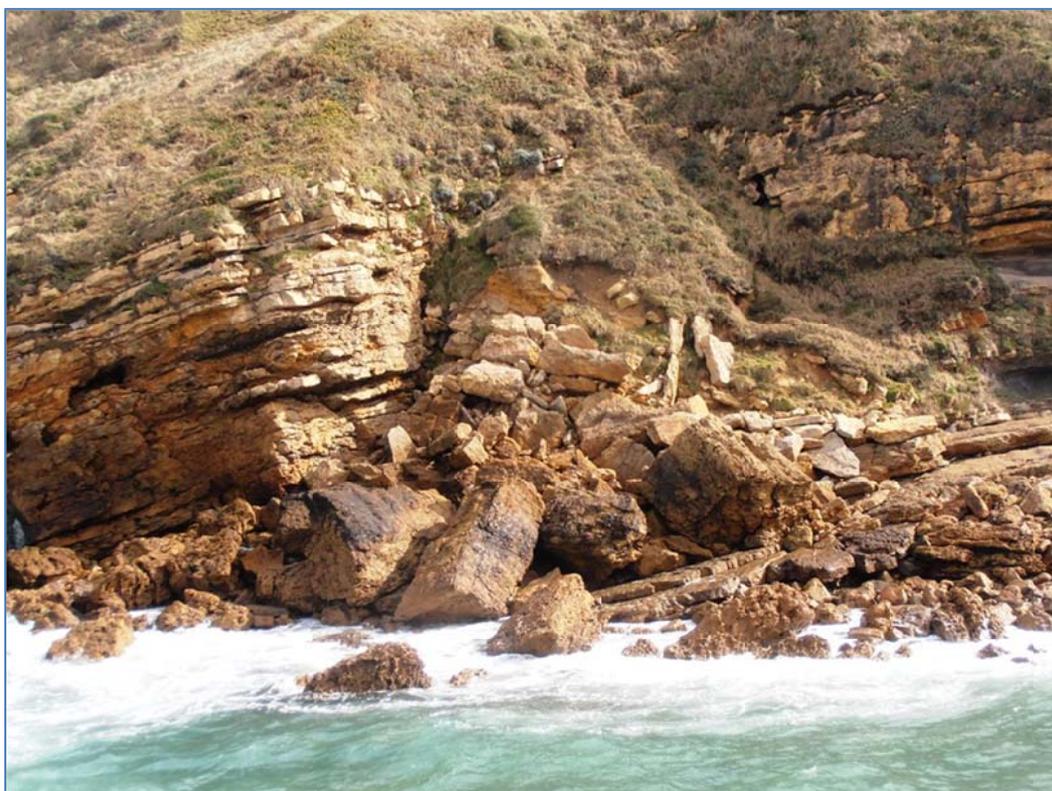


Figura 5.14. Desprendimientos al pie del cantil en la playa de Santa Justa.

Entre la Playa de Santa Justa y la ensenada de Zapera, donde aparecen materiales de tipo arena y limos, se ha producido un deslizamiento que está provocando el movimiento del edificio que se observa en la foto (**Fig. 5.15**).

Pasada la ensenada de Zapera y hasta la Punta de Poyo, el acantilado se caracteriza por su aspecto abrupto de grandes paredes verticales formadas por calizas con Pseudotoucasia y dolomías que son infranqueables durante la acción del fuerte oleaje.



Figura 5.15. Deslizamiento superficial muy activo y con cicatrices recientes

- **Sector Ensenada Puerto Calderón-La Canaleja:**

En la Ensenada de Puerto Calderón, constituida por limos, arcillas y areniscas, se desarrollan numerosos movimientos, la mayoría de carácter superficial, ligados a temporales y episodios intensos de lluvia (**Fig. 5.16**); también aparecen dos deslizamientos rotacionales, ya antiguos, desarrollados sobre las calcarenitas. En toda la ladera sur, sobre los materiales blandos del Keuper, se observan frecuentes procesos de reptación (**Fig. 5.17**). Aquí aflora un diapiro salino, formado por yesos y arcillas abigarradas, que ha favorecido la formación de la Ensenada de Puerto Calderón. Los desprendimientos de bloques de caliza y calcarenitas son frecuentes en el acantilado, debido a la fuerte acción del oleaje que penetra a través de las fracturas rompiendo las paredes de éste (**Fig. 5.18**).



Figura 5.16. Deslizamientos superficiales en la ensenada de Puerto Calderón.

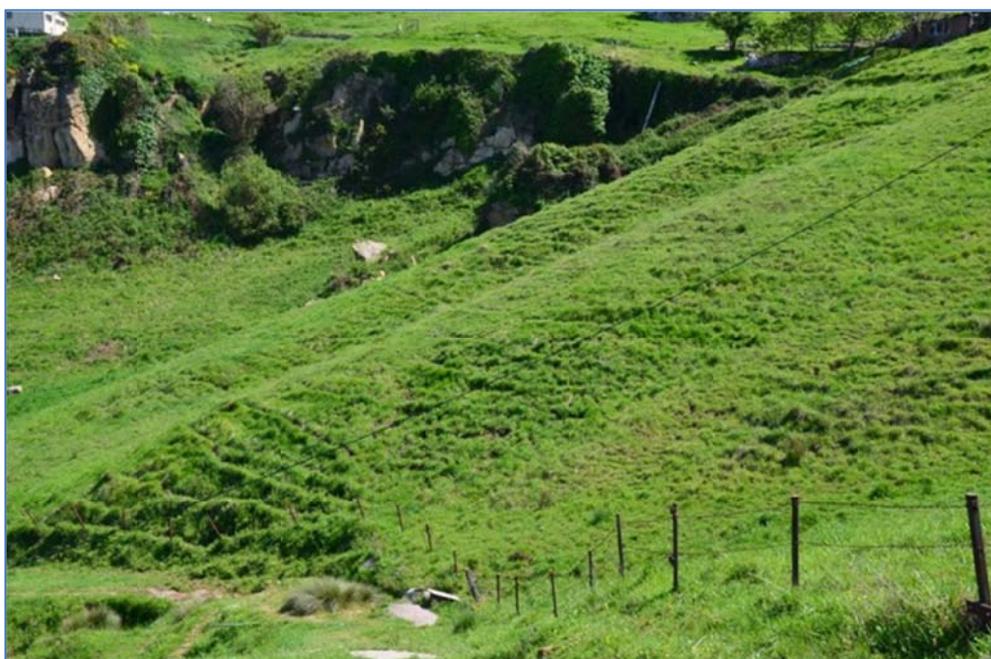


Figura 5.17. Procesos de reptación en limos, arcillas y areniscas, situados en la Ensenada de Puerto Calderón.

A continuación, se encuentra la Canaleja, una pequeña y estrecha ensenada, donde desemboca el regato de Rogería, tras formar una cascada (**Fig. 5.19**). Se trata éste de un pequeño arroyo colgado. Este arroyo hacía funcionar el molino que se encuentra antes de la cascada. En esta zona se produce la acumulación de cantos rodados, probablemente transportados por las corrientes marinas, además de un deslizamiento rotacional en la parte alta.



Figura 5.18. Desprendimientos provocados sobre la roca caliza y deslizamiento rotacional en la parte izquierda revegetado.

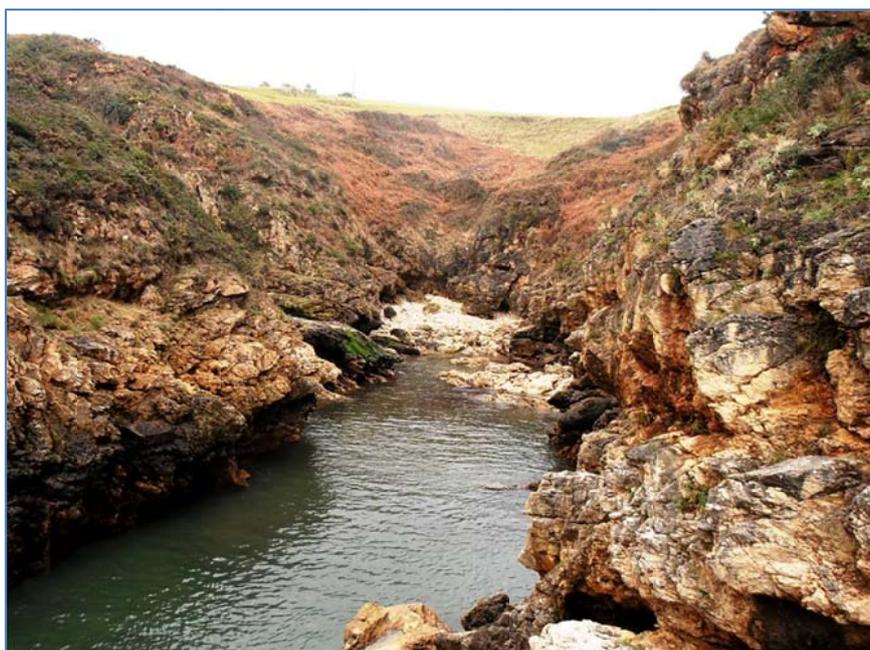


Figura 5.19. Ensenada de la Canaleja.

Los materiales que predominan son calizas y dolomías que dan lugar a un acantilado abrupto, con paredes de gran altura, en el que se forman a su vez bufones, grietas en la roca del acantilado conectadas con simas marinas, a través de las cuales el agua asciende por un estrecho canal provocando un silbido o bufido característico que es el que da nombre a la formación. Finalmente, mencionar la presencia de dolinas, algo más alejadas del acantilado, pero que también han sido cartografiadas.

- **Sector La Canaleja-Punta Carrastrada:**

A lo largo de todo este sector dominan las calizas con Pseudotoucasia y dolomías, con alternancias de materiales más blandos sobre los que la erosión marina incide mucho más cambiando la fisionomía litoral. A la altura del barrio de Torriente, aparecen calcarenitas y calizas con glauconita, sobre las que se desarrollan desprendimientos de bloques y un pequeño deslizamiento rotacional. En la desembocadura del arroyo de la Cueva del Valle encontramos arenas, limos e intercalaciones de calizas y calcarenitas en los que se han generado pequeños deslizamientos superficiales (**Fig. 5.20**) que han acabado en el cauce de este arroyo.



Figura 5.20. Deslizamientos superficiales y procesos de reptación en la desembocadura del arroyo de la Cueva del Valle.

Cerca de la Punta de Carrastrada aparecen deslizamientos de tipo rotacional de grandes espesores de material calcáreo con limos y arcillas, con aspecto revegetado, donde se reconocen numerosas cicatrices de rotura (**Fig. 5.21**). Sobre las calizas se han desarrollado abundantes dolinas en cuyos márgenes se producen procesos de reptación (**Fig. 5.22**).



Figura 5.21. Deslizamiento rotacional con aspecto revegetado en Punta Carrastrada.



Figura 5.22. Campo de dolinas sobre calizas, en las proximidades de Punta Carrastrada.

- **Punta Carrastrada-Playa de Luaña:**

Este sector presenta un acantilado abrupto con paredes verticales formado por calcarenitas. Representa el flanco de un sinclinal donde la disposición de los materiales buza hacia el sureste (**Fig. 5.23**). Se interrumpe por la incisión del Arroyo de la Presa, en Toñanes, donde está el molino del Bolao.



Figura 5.23. Desembocadura del Arroyo de la Presa (El Bolao), donde se observan los desprendimientos de bloques y la disposición de los estratos.

Al este de la playa de Luaña, el acantilado muestra en su base grandes bloques de calcarenita procedentes de la parte alta (**Fig. 5.24**). A la altura del pueblo de Cóbreces, en una zona dominada por los prados de siega, se ha desarrollado un campo de dolinas.



Figura 5.24. Desprendimientos de bloques en la Playa de Luaña

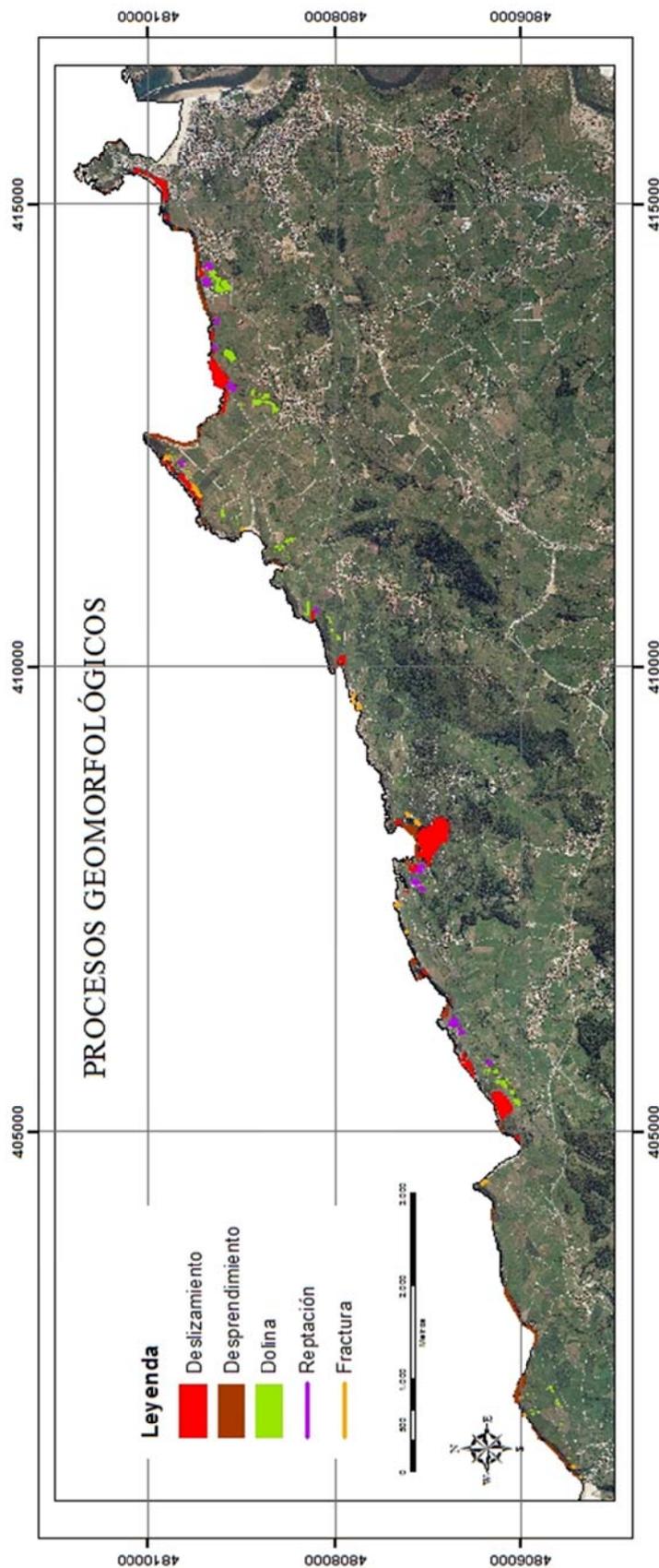


Figura 5.25. Mapa de los procesos geomorfológicos en la zona de estudio.

5.2. Evaluación de la peligrosidad del acantilado o línea de costa

El análisis de los movimientos del terreno, como los desprendimientos o las subsidencias, permite reducir o evitar los daños que pueden originar estos procesos. La presencia de edificaciones (**Figs. 5.26 y 5.27**) y terrenos en los bordes de acantilados, facilita el que se produzcan pérdidas económicas importantes en estas zonas. Las personas que a su vez disfrutaran de un entorno tan fantástico como es el litoral, también pueden verse gravemente afectadas por alguno de estos procesos.

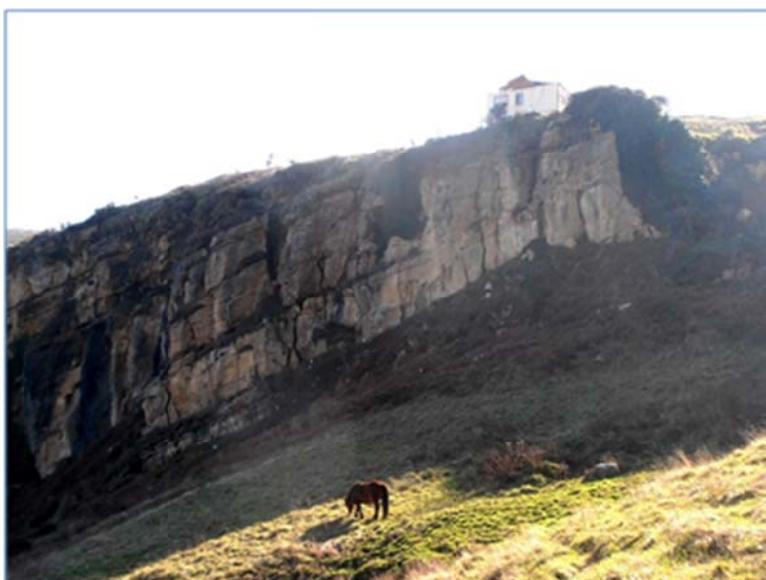


Figura 5.26. Edificación en el borde del acantilado tomada hace dos meses en Puerto Calderón, con alta probabilidad de ser afectado por un desprendimiento.



Figura 5.27. Edificación en el borde del acantilado en Puerto Calderón, afectada por desprendimiento y deslizamiento de tierra hace pocos días.

La cartografía de procesos, así como la consideración de una serie de factores, junto con la ayuda de las herramientas informáticas, han permitido proponer una clasificación, en cuanto al grado de peligrosidad, de la zona de estudio (**Fig. 5.28**). De esta forma, se ha clasificado una franja costera de 200 metros, a partir de la línea de costa tierra adentro, en los siguientes grados cualitativos de peligrosidad: Alto (**color rojo**), Alto-Medio (**color naranja**), Medio (**color amarillo**) y Bajo (**color verde**).

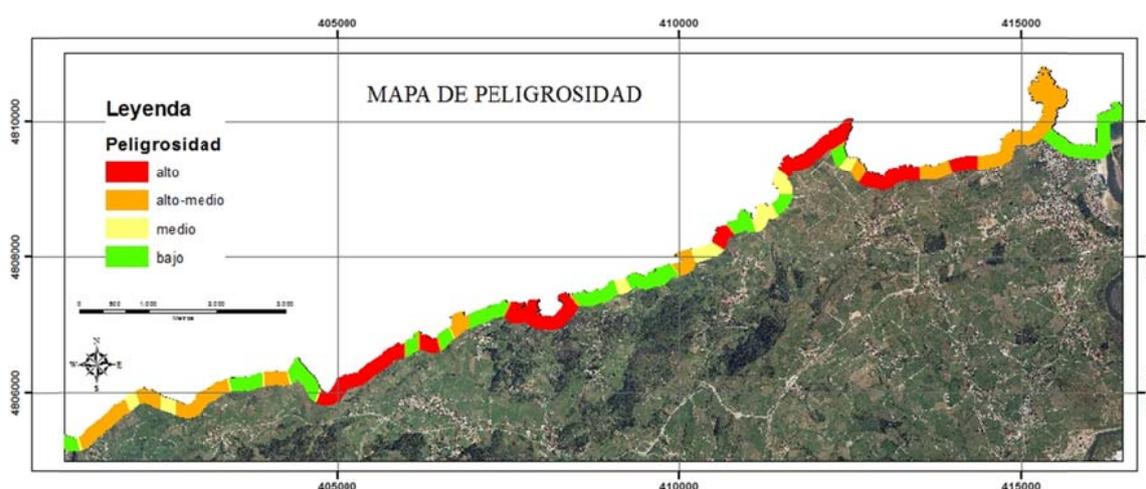


Figura 5.28. Mapa de peligrosidad de la zona de estudio.

En los 25 km de longitud que abarca la zona de estudio, se observa que:

- el 27,2% (6.800 m) se corresponde con una zona de Alta peligrosidad. Las zonas de mayor peligrosidad, según esta clasificación, aparecen en la zona de Carrastrada, la Ensenada de Puerto Calderón, la Punta Ballota, la Ensenada la Cabrera y Ubiarco.
- el 30,8% (7.700 m) ocupa una zona de peligrosidad Alta-Media. En este sector se incluyen pequeñas franjas de seguridad que se ha considerado importante situar a ambos lados de las zonas de alta peligrosidad. Estas zonas se sitúan próximas al núcleo de Suances, desde la Punta de Dichoso pasando por la Playa de los Locos hasta la Playa de la Tablia.
- un 13% (3.200 m) son zonas de peligrosidad media. Afectan únicamente a parcelas agrícolas.
- un 29,2% (7.300 m) lo ocupa la zona de baja peligrosidad o zona segura, que no presenta procesos geomorfológicos importantes. La Playa de la Concha y la Playa de Luaña, con amplio desarrollo urbanístico, se localizan en esta zona en

la que no se aprecian movimientos del terreno y, únicamente, la erosión costera puede modificar su fisionomía.

A raíz de esta zonificación, se podría proponer una ordenación del litoral en la que se limitasen los usos, sobre todo en las zonas de alta y alta-media peligrosidad, teniendo en cuenta criterios similares a los que se contemplan en este trabajo.

5.3. Análisis del grado de retroceso de la línea de costa como consecuencia de los movimientos del terreno o de la erosión costera.

La comparación de la fotografía aérea de 1956 (que ha sido georreferenciada para este trabajo) con la ortofotografía de 2010 (**Fig. 5.29**), parece indicar que no se han producido cambios importantes a lo largo de la línea de costa objeto de estudio durante el periodo de 54 años que abarcan las dos imágenes, a pesar de lo que habitualmente se piensa. Probablemente, un análisis de mayor detalle, sí permitiría mostrar aquellas zonas que si presentan procesos activos y que por lo tanto contribuyen al retroceso de la línea de costa.

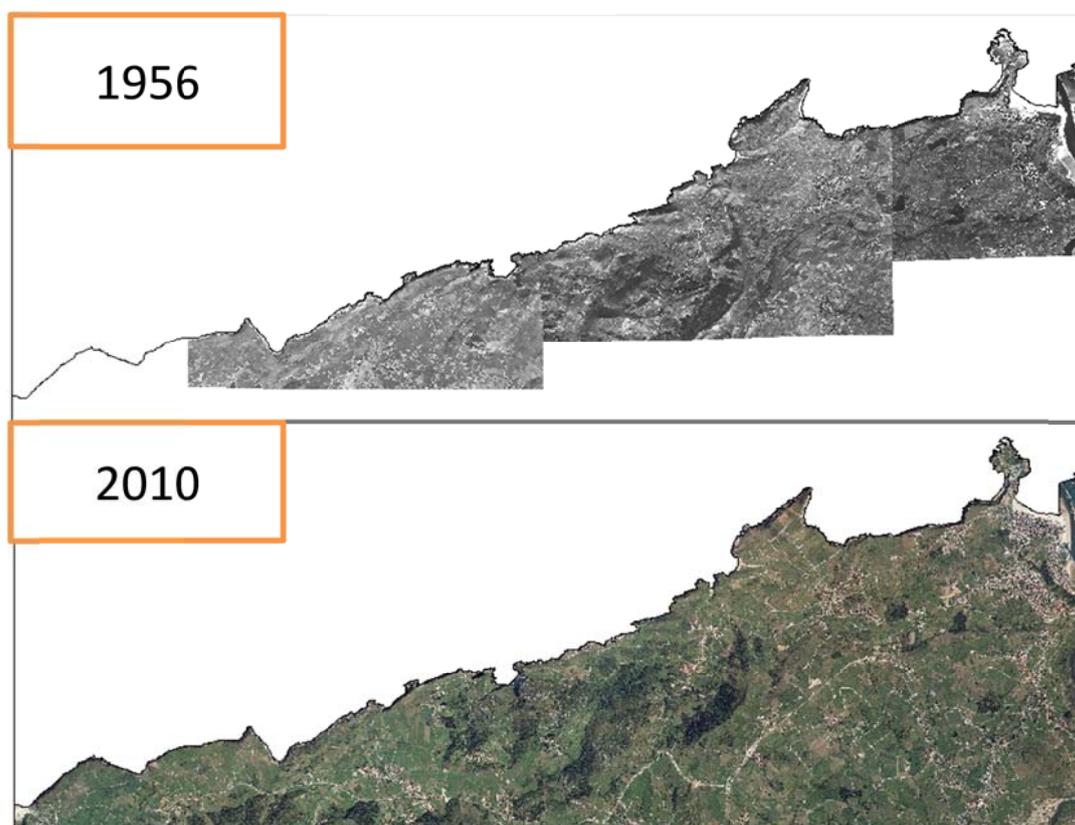


Figura 5.29. Imágenes utilizadas para el análisis comparativo del retroceso de la línea de costa desde 1956 a 2010.

Si se analizan aquellos sectores donde se han producido varios procesos geomorfológicos, es decir, zonas de alta peligrosidad, de acuerdo a la zonificación elaborada para este trabajo, se observa la existencia de movimientos ya existentes en la fotografía de 1956, los cuales no presentan cambios visibles en la actualidad; este es el caso del gran deslizamiento existente en la Ensenada de la Cabrera.

Sin embargo, en la zona de Punta Ballota aparecen fracturas recientes que en la fotografía de 1956 no se observan. El deslizamiento superficial localizado cerca de Ubiarco, sobre el que hay una edificación, tampoco aparece representado en la foto.

Otros ejemplos que se observan en la actualidad, y no en el pasado, se localizan en la Ensenada de Puerto Calderón, donde aparece un gran número de deslizamientos superficiales que se suceden cada año debido a períodos intensos de lluvias, y zonas donde el mar está erosionando constantemente (**Fig. 5.30**).



Figura 5.30. Pequeño entrante en Puerto Caderón afectado por la erosión marina. Detalle de la erosión en los materiales del Keuper.

En esta zona, existe un camino que baja hasta el acantilado que no existía en 1956, el cual se está viendo afectado, en la actualidad, por deslizamientos superficiales, haciéndolo inservible al tránsito humano desde hace unos meses.

Respecto a la fotografía antigua, se puede observar que han aparecido nuevas edificaciones, localizándose éstas en casi todas las zonas de alta peligrosidad; este es el caso de la estabulación ganadera existente a la altura de la Playa de la Tablia, donde también se ha llevado a cabo la construcción de una urbanización de chalets con sus consiguientes vías de comunicación. El núcleo urbano de Suances ha sufrido un desarrollo importante en las últimas décadas; sobre el acantilado de la Playa de Los

Locos ha proliferado un gran número de hoteles y restaurantes convirtiéndose en una de las zonas con un elevado riesgo. En la playa de la Concha se ha construido un importante número de viviendas a pie de playa.

En la ensenada de Puerto Calderón, aparecen dos estabulaciones nuevas y una casa prefabricada, esta última en el mismo borde del acantilado y que presenta un elevado riesgo.

En el resto de la zona de estudio se observan deslizamientos antiguos que no presentan actividad reciente y que no han generado cambios importantes.

6. Conclusiones

En relación con los objetivos planteados en este trabajo (ver apartado 3), se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha realizado una cartografía de los procesos geomorfológicos o movimientos del terreno que afectan a una franja de 25 kilómetros que se extiende desde La ría de San Martín (municipio de Suances) hasta la Playa de Luaña (municipio de Alfoz de Lloredo).
- Los principales procesos que afectan a la zona y que han sido cartografiados en este trabajo son: deslizamientos (42), desprendimientos o caída de bloques (54) y subsidencia o colapsos (94).
- Se ha desarrollado una metodología para clasificar la franja costera en diferentes grados de peligrosidad: alta, alta-media, media y baja.
- Más del 50% de la zona se clasifica en zonas de peligrosidad Alta y Alta-media.
- Se ha realizado un análisis comparativo de la evolución de la línea de costa a partir de la fotografía de 1956 y la ortofotografía de 2010.
- La franja costera, a grandes rasgos, no ha sufrido cambios importantes durante el período 1956-2010.
- Es necesario hacer estudios de mayor detalle para analizar el grado de retroceso de la línea de costa.

7. Líneas futuras

Este Trabajo Fin de Máster ha contribuido a ampliar los conocimientos sobre los procesos naturales en zonas costeras, así como a analizar los cambios que ha sufrido la línea de costa. No obstante, es necesario profundizar aún más y realizar estudios de mayor detalle, que se esperan realizar en el futuro. Algunas de las líneas futuras que se pretenden desarrollar, se resumen en:

- Ampliar el estudio al resto del litoral cántabro, e incluir otros procesos, como podrían ser las inundaciones.
- Aplicar otras técnicas para evaluar, de forma cuantitativa o semicuantitativa, la peligrosidad de deslizamientos o subsidencia.
- Establecer una metodología de zonificación de la peligrosidad por procesos geomorfológicos a lo largo de toda la franja costera que pueda servir de base para una mejor ordenación del territorio.

Referencias bibliográficas

- Blanco Chao R, Perez Alberti A** (1996) Formas litorales en la costa noroccidental gallega: los sectores acantilados entre cabo Prioriño (Ferrol) y Punta Frouxeira (Valdoviño). Departamento de Xeografía, Universidad de Santiago, Galicia, 26 p.
- Carracedo JC, Rodríguez Badiola E, Guillou H, De la Nuez J, Pérez Torrado FJ** (2001) Geology and Volcanology of La Palma and El Hierro (Canary Islands). *Estudios Geológicos* 57, 175-273.
- Cendrero A, Díaz de Terán JR, Flor E, Francés E, González-Lastra JR, Martínez JM** (1986) Guía de la Naturaleza de Cantabria. Librería Estudio, Santander, 288 p.
- Corominas J** (2005) Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático. B. Riesgos de inestabilidad de laderas. En: Moreno JM (coord) Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. pp. 549-579.
- Cruden DM, Varnes DJ** (1996) Landslides Types and Processes. En: Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 247: Landslides: investigation and mitigation. National Research Council, Washintong, D.C, 36-71.
- Dabrio González C, Zazo Cardeña C** (1988) Riesgos Geológicos en zonas litorales. En: IGME, Riesgos Geológicos. Madrid.
- Del Río L** (2007) Riesgos de erosión costera en el litoral atlántico gaditano. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz (inédita), 496 p.
- Devoto S, Biolchi S, Bruschi VM, Furlani S, Mantovani M, Piacentini D, Pasuto A, Soldati M** (2012) Geomorphological map of the NW Coast of the Island of Malta (Mediterranean Sea). *Journal of Maps* 8(1), 33-40.
- Díaz de Terán JR, Cendrero A** (1992) Riesgos geológicos en España. XXVI Curso de Geología Práctica. Universidad de verano, Teruel, 179-231.
- Gil Olcina A, Gómez Mendoza J** (coord.) (2002) Geografía de España. Ariel Geografía, Barcelona, 688 p.
- González-Villarías FJ** (2001) Estudio de estabilidad del acantilado de Rebolleres y Sequiro (Candas-Asturias). IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada 1:267-284.
- Gutiérrez Elorza M** (2008) Geomorfología. Pearson Education, S.A. Madrid, 897 p.
- Hellín Medina J** (2009) Análisis climatológico del Mar Cantábrico y su influencia en la Navegación. Trabajo de Fin de Carrera, UPC, 106 p.
- Ibañez Artica M** (1985) Oceanografía del Golfo de Vizcaya (en especial referida a la costa vasca), cuadernos de sección Historia-Geografía 5, 177-222.
- Lopez-Bedoya JL, Pérez-Alberti A** (2009) 1230 Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas. En: MAGRAMA (ed.) Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 144 p.
- Mateos RM** (2001) Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntana (Mallorca). Caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid (inédita), 299 p.

Stavrou A, Lawrence JA, Mortimore RN, Murphy W (2011) A geotechnical and GIS based method for evaluating risk exposition along coastal cliff environments: a case study of the chalk cliffs of southern England. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2997-3011.

Yates ML, Le Cozannet G (2012) Evaluating European Coastal Evolution using Bayesian Networks. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 1173-1177.

Varnes DJ (1978) Slope movements. Types and processes. Special Report 176. Landslides: Analysis and control. National Research Council, Washington D.C. 11-33.

Otras fuentes consultadas

- **Plan de Ordenación del Litoral** (2004) Memoria de Información, Memoria de Ordenación y Ley 2/2004, de 27 de Septiembre, 136 p.
- **Plan Especial de la Red de Sendas y Caminos del Litoral** (2010) Anexo III. Estudios complementarios, 187 p.
- **Plan General de Ordenación Urbana de Alfoz de Lloredo** (2012) Informe de Sostenibilidad Ambiental, 106 p.
- **Mapa Geológico de España**. E.1:50.000. Instituto Geológico y Minero de España.
- **Mapa Geológico de Cantabria**. E.1:100.000. Instituto Geológico y Minero de España.
- **Mapa Topográfico Nacional**. E.1:25.000. Instituto Geográfico Nacional. 2002.
- **Mapa de Carreteras de Cantabria**. E. 1:50.000. Gobierno de Cantabria. Consejería de Obras Públicas, Viviendas y Urbanismo. 2002.
- **Ortofotografía aérea del PNOA**. E. 1:50.000. 2010.
- **Fotografía aérea del vuelo americano del año 1956**.