

TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA



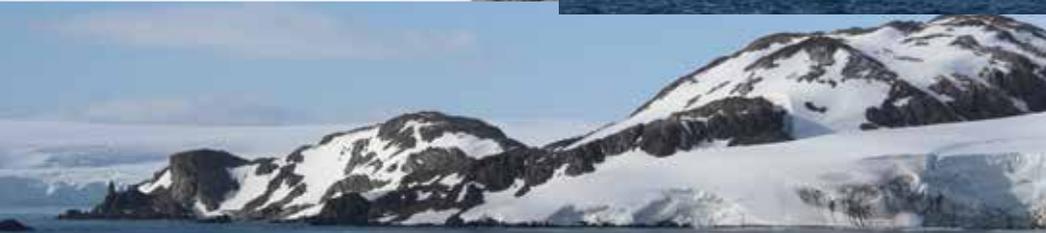
TOPCART REVISTA DEL COLEGIO OFICIAL DE
INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRÁFICA

TOPCART XI

CONGRESO INTERNACIONAL
DE GEOMÁTICA Y CIENCIAS
DE LA TIERRA.

Criosfera y Cambio Climático

Ponencias



Sólo válida como publicación electrónica. Prohibida su reproducción en papel.

1965-2015
50
ANIVERSARIO

Agradecimientos al Comité organizador: a la comisión de Criosfera y Cambio Climático del TOPCART :

Dr. Francisco José Navarro Valero (coordinador)

Profesor Titular de Universidad. Departamento de Matemática Aplicada. Universidad Politécnica de Madrid.

Dr. Enrique Serrano Cañadas

Catedrático de Universidad. Departamento de Geografía. Universidad de Valladolid.

Dr. Juan Ignacio López Moreno

Científico Titular. Instituto Pirenaico de Ecología. Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Dr. Marc Oliva i Franganillo

Research Scientist. Centre for Geographical Studies. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Univerisidade de Lisboa.

y a Adrián Muñoz González Colaborador.



33. EVOLUCIÓN DURANTE 141 AÑOS (1875-2016) DEL RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA PLAYA DEL PUNTAL-SOMO-LAS QUEBRANTAS (CANTABRIA).

**AUTORES:
JOSÉ JUAN DE SANJOSÉ BLASCO, MANUEL GÓMEZ LENDE, JORGE JUAN ROMO BERLANA,
ENRIQUE SERRANO CAÑADAS Y MANUEL SÁNCHEZ FERNÁNDEZ**

RESUMEN:

La barra de arena denominada El Puntal es el rompeolas “natural” de la bahía de la ciudad de Santander. Esta forma del relieve costero es dinámica, y por tanto tiene el inconveniente que en coincidencia de fuertes temporales marinos con grandes oleajes (mayores a 8 metros) y coeficientes elevados de pleamar (superiores a 100) pueden provocar su destrucción parcial, y por tanto debe reponerse con dunas artificiales de arena y vegetación.

La dinámica de la barra de arena debe controlarse, ya que la acumulación de arena submarina en la bocana de entrada a la bahía puede provocar que no exista suficiente calado para la envergadura de los barcos que acceden al puerto de Santander. Pero, en este artículo solo trataremos de la dinámica superficial de la playa del Puntal-Somo-Las Quebrantas, y no lo que ocurre por debajo del nivel de la lámina de agua.

Para la realización de la evolución del Puntal-Somo se ha utilizado cartografía histórica (1875, 1908, 1920, 1946, 1950, 1985), la cual se ha escaneado y georeferenciado en ETRS 89. Posteriormente, se han digitalizado las curvas de nivel de 0 m y 5 m (la curva de nivel de 5 m se encuentra entre la cabeza y el pie del talud del frente arenoso) para cada cartografía. Con los vuelos fotogramétricos de los años 2001, 2005, 2007, 2010, 2014 se han restituido las curvas de nivel de 0 m, la cabeza y pie del talud arenoso. También se han digitalizado los vuelos de 1985, 1988 y 2001, de los cuales no se dispone del certificado de calibración de la cámara.

Además, del estudio de la evolución cartográfica histórica de la playa del Puntal-Somo, se han realizado trabajos geomáticos (cartografía, topografía, fotogrametría, escáner láser terrestre) en la zona de Las Quebrantas. Los trabajos geomáticos en la zona de Las Quebrantas comenzaron en 1988 (proyecto CICYT, PB87-0800), siendo en el periodo 1988-1993 cuando se hicieron perfiles topográficos y batimétricos que mostraron ligeros cambios en la línea de costa. Para constatar estos cambios se ha estudiado la evolución de la zona de Las Quebrantas digitalizando cartografía histórica desde 1875 hasta 1985, también mediante técnicas fotogramétricas se ha analizado el periodo 1985-2014; y desde el año 2011 hasta la actualidad se están realizando dos mediciones anuales con escáner láser terrestre. Para este estudio comparativo, se ha seleccionado un área de la línea de costa de 400 metros.

ABSTRACT:

The sandbar known as El Puntal is the natural breakwater of the bay of the city of Santander. This coastal relief form is dynamic and is, as a result, subject to the inconvenience that when strong sea storms with large waves (greater than 8 m) coincide with high tide coefficients (greater than 100), they may lead to its partial destruction, in which case it would require restoration with artificial dunes using sand and vegetation.

The dynamic of the sand bank must be monitored, since the accumulation of sand underwater in the bay entrance may result in the waters becoming too shallow for ships to come into port. This article, however, only deals with the surface dynamic of the Puntal-Somo-Las Quebrantas beach and not what takes place below the surface of the water.

The evolution of el Puntal-Somo was tracked using historical maps (1875, 1908, 1920, 1946, 1950, 1985), which were scanned and geo-referenced in ETRS89. The curves of the level from 0 m and 5 m were then digitalized (the 5 m curve is found between the head and the foot of the slope of the sand front) for each map. The 0 m curves, the head and the foot of the sand slope were restored using the photogrammetric flights of the years 2001, 2005, 2007, 2010, 2014. The flights of 1985, 1988 and 2001 were also digitalized, though without any certificate of camera calibration.

From the study of the evolution of the historical maps of El Puntal-Somo beach, geomatic studies were carried out (cartography, topography, photogrammetry, terrestrial laser scanner) in the area of Quebrantas. The geomatic studies in the latter began in 1988 (project CICYT, PB87-0800) and it was in the 1988-1993 period when topographic and bathymetric profiles were made which revealed slight changes in the coastline. In order to confirm these changes the evolution of the area was studied by digitalizing the historical maps from 1875 to 1985, and the 1985-2014 period was analysed using photogrammetric techniques. Since 2011 two measurements are taken annually using terrestrial laser scan. For this comparative study, a 400 m stretch of the coast was selected.

MARCO GEOGRÁFICO Y OBJETIVOS.

La zona de estudio (playa del Puntal-Somo-Las Quebrantas) se localiza dentro de amplio complejo arenoso compuesto genéricamente por dos principales ámbitos morfosedimentarios: ámbito morfosedimentario de barrera estuarina del Puntal (~3 km de longitud), y la playa expuesta de Somo-Quebrantas-Loredo (~2 km de longitud). Todo ello, formando parte del cierre meridional de la Bahía de Santander y encajado dentro del subsistema estuario de la ría de Cubas (Dantín, 1917; Cendrero et al., 1981). En conjunto ambos morfosistemas conforman uno de los arenales más extensos del Cantábrico con un total de 1.047.190 m² (Puntal de Somo: 308.149 m² y complejo dunar Somo-Quebrantas-Loredo: 739.041 m²) (Flor et al., 2011), constituyéndose hidrológicamente bajo el soporte suministrador del río Miera, a través de su desembocadura en la ría de Cubas, y vientos dominantes de componente NO y SSO. Ambos sistemas, en disposición genérica O-E, son consecuencia de la divergencia que, por refracción en Las Quebrantas, sufre el oleaje dominante NO hacia la punta de la playa del Puntal, denominada Punta Rabiosa, y hacia la playa de Loredo (Díaz de Terán, 1976; Flor-Blanco et al., 2012) (Figura 1). La evolución de la punta de arena marca una tendencia hacia el Oeste (Saiz de Omeñaca, et al., 2013).



Figura 1. Cartografía (año 1726) de la playa del Puntal con el bancal arenoso. Cartografía (año 1860) de la zona de Las Quebrantas con la barra de arena. Ortofotografía (año 2010).



33. EVOLUCIÓN DURANTE 141 AÑOS (1875-2016) DEL RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA PLAYA DEL PUNTA-LAS QUEBRANTAS (CANTABRIA).

Todo el conjunto se encuentra bajo la declaración por la Red Natura 2000 como Lugar de Interés Comunitario (Dunas del Puntal y estuario del Miera), lo que ofrece una idea del alto valor ambiental del mismo y de la necesidad de conocer de forma concreta sus dinámicas y evoluciones. Esta zona está dentro de un ámbito fuertemente antropizado bajo una historia de fuertes agresiones urbanísticas y extractivas e intensivas labores de dragados y rellenos de la propia Bahía (Saiz de Omeñaca et al., 2013; Flor y FlorBlanco, 2014), y regeneración de las dunas con arena y con vegetación después de los temporales (MAGRAMA, 2016; GIOC, 2016).

Por ello, en la evolución de la cartografía histórica de la playa del Puntal-Somo-Las Quebrantas-Loredo puede comprobarse los continuos cambios geomorfológicos de la línea de costa. Así, en la cartografía de Santander y su entorno realizada por Isidro Próspero Verboom de 1726 (Servicio Geográfico del Ejército) se representa un bancal arenoso que emergía en las bajamares vivas, enfrente de Las Quebrantas (Figura 1). Esta zona coincide con la actual bocana de entrada a la bahía de Santander, con un calado en la actualidad de 16 m sobre el nivel medio del mar en Alicante.

Posteriormente, en la cartografía de 1860 realizada por Francisco de Coello (Instituto Geográfico Nacional), ya no existe el bancal arenoso, pero se aprecia una barra de arena perpendicular a la zona de Las Quebrantas, donde se indica que había un calado de 1 a 3 metros, mientras que la zona circundante tenía calados de 3 a 8 metros (Figura 1). Hay estimaciones que señalan que hubo retrocesos de 210 m en la zona de Las Quebrantas, entre los años 1870 y 1926 (Badia, 2003).

En las cartografías (a partir del año 1875) de la figura 2, ya no existía la barra de arena y posteriores batimetrías realizadas en el año 1988 señalaban que en esta zona los calados eran de 8 metros para una distancia de un kilómetro de la costa. Estas magnitudes de calado, ya las reflejaba Coello en su mapa de 1860, para las zonas circundantes a la barra de arena (Figura 1).

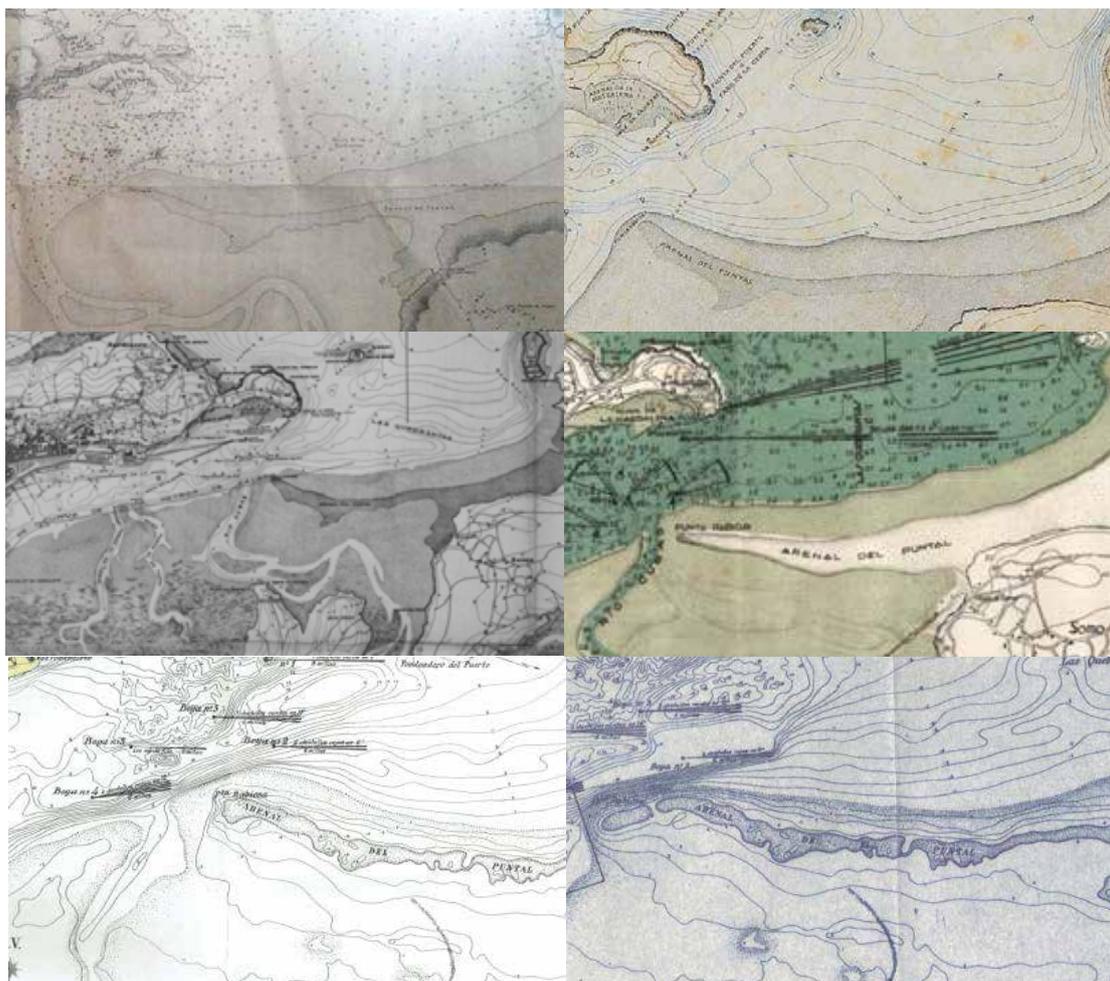


Figura 2. Cartografías de los años 1875, 1908, 1920, 1946, 1950 y 1985.

La cartografía histórica, nos ha llevado a recopilar información digitalizada para el periodo 1875-1985. Esta documentación se ha continuado con datos fotogramétricos (digitalización de fotografías aéreas de los años: 1985, 1988 y 2001 y restituciones fotogramétricas: 2001, 2005, 2007, 2010 y 2014). Todo ello, para un estudio en detalle de la evolución del Puntal-Somo-Las Quebrantas (Sanjosé et al., 2014).

Además, desde el año 2011, en la zona de Las Quebrantas se ha empleado el escáner láser terrestre, para ver el retroceso de la línea de costa en esta zona. Se hacen dos observaciones por año: una medida antes del invierno (octubre-noviembre) y otra después del invierno (abril-mayo) (Sanjosé et al., 2014).

ANÁLISIS DE LA PLAYA DEL PUNTAL-SOMO Y RESULTADOS.

Estudio cartográfico (Periodo 1875-1985).

Para el análisis cartográfico de la evolución de la playa del Puntal-Somo se ha cogido la cartografía de los años: 1875, 1908, 1920, 1946, 1950 y 1985 suministrada por la Autoridad Portuaria de Santander (Figura 2). Indicar que se disponía de cartografía anterior al año 1875, pero fue imposible una georeferenciación fiable, por ello se desechó y se tomó como origen de este estudio, el año 1875.

Cada mapa de la bahía tenía un sistema de coordenadas diferente, por ello para la georeferenciación, se ha utilizado el sistema de coordenadas ETRS 89. Se procedió, con GNSS a dar coordenadas a 31 elementos actuales (casas, iglesias, muros,...), distribuidos por la bahía de Santander, y que aparecían en los diversos mapas.

Para comprobar el ajuste de la georeferenciación, se muestra un ejemplo en la figura 3, donde aparece la digitalización de las diferentes cartografías en la zona de “Puerto Chico” en la ciudad de Santander. Como resultado de la calidad de la digitalización, si se selecciona como referencia la ortofotografía del año 2001, entonces el valor máximo de la diferencia de cualquier cartografía con la ortofotografía de 2010, es de 60 metros.

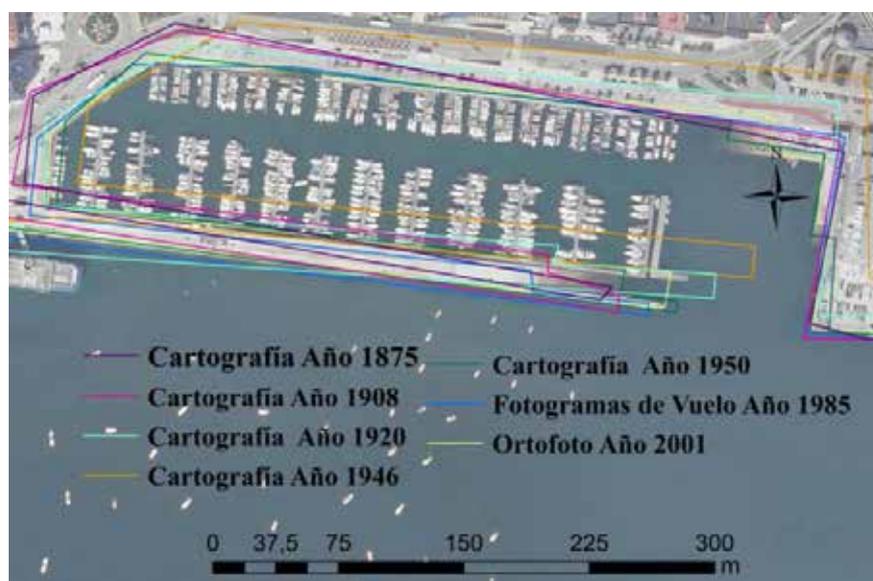


Figura 3. Diferencias cartográficas de las digitalizaciones sobre la ortofotografía de 2010.

En la zona de la playa del Puntal-Somo se han digitalizado las curvas de nivel de cota 0 m y 5 m, ya que estas dos curvas de nivel estaban representadas en todas las cartografías analizadas, pero en la figura 4 sólo se ha representado la curva de nivel de 5 m. La curva de nivel de 5 m, normalmente está situada entre el pie y la cabeza del talud arenoso de la playa del Puntal-Somo.

El análisis que se puede deducir de la representación cartográfica de la curva de nivel de 5 m (Figura 4) entre los años 1875 y 1920, señalan un giro del oeste al noroeste de la zona de la punta del Puntal, denominada “Punta Rabiosa” con respecto a 1875. Entre 1908 y 1920 se mantiene la dirección noroeste de Punta Rabiosa. La curva de nivel de 5 m en el



33. EVOLUCIÓN DURANTE 141 AÑOS (1875-2016) DEL RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA PLAYA DEL PUNTAL-SOMO-LAS QUEBRANTAS (CANTABRIA).

periodo 1875-1946 se mantiene aproximadamente, ya que hay que tener en cuenta los errores propios de la cartografía de aquella época y la digitalización.

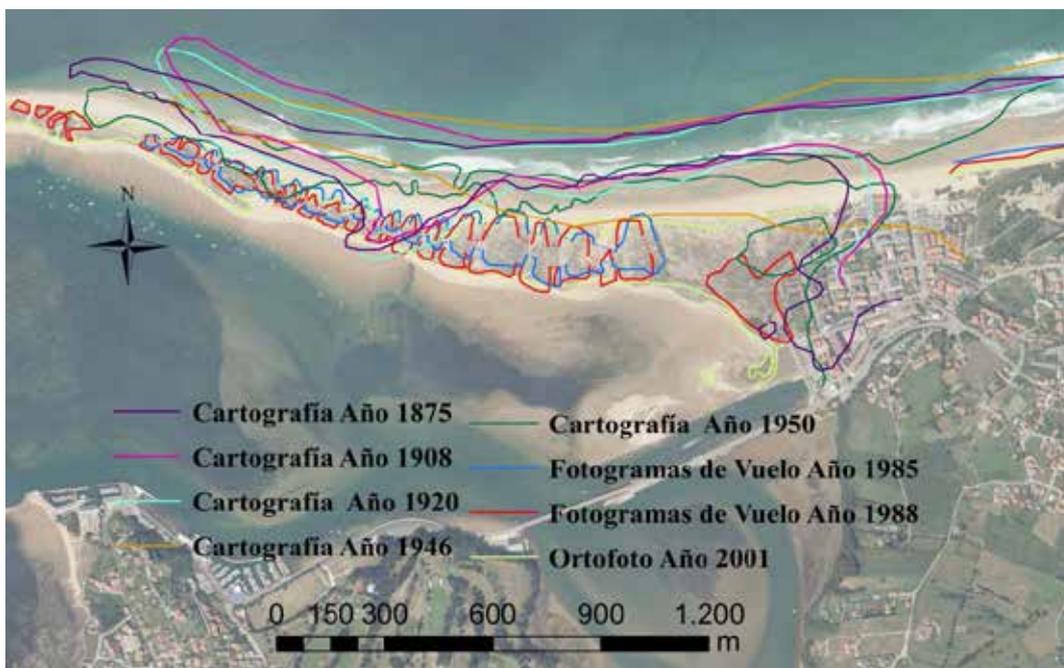


Figura 4. Representación de la curva de nivel de 5 m de las cartografías de 1875, 1908, 1920, 1946, 1950, los vuelos de 1985, 1988 y la ortofoto de 2001.

Si comparamos el periodo 1875-1946 con el periodo 1950-1985, comprobamos que hay un desplazamiento de toda la playa hacia el sur o interior de la bahía, debida a la erosión costera y es un proceso natural que continúa en la actualidad (año 2016). Hay artículos que estiman un retroceso de la línea de costa de 100 m en la zona de Somo y Las Quebrantas entre los años 1929 y 1960 (Losada et al., 1991) y otros estudios indican un retroceso de la línea de costa de 200 m entre los años 1920 y 1985 (Badia, 2003).

Punta Rabiosa en el periodo 1908-1920 seguía una trayectoria hacia la playa de la Magdalena o noroeste, y posteriormente (1946-1985) sufrió un desvío de su trayectoria hacia el oeste. Este cambio de dirección, continúa en la actualidad, y posiblemente se debe a los dragados de la bocana de entrada a la bahía de Santander. Hay estimaciones que indican que el crecimiento de Punta Rabiosa, desde 1926 hasta la actualidad, ha sido de 425 metros (Badia, 2003). Otros estudios indican que desde 1956 hasta la actualidad, el desplazamiento hacia el oeste de Punta Rabiosa ha sido de 530 m (Flor y Flor-Blanco, 2014).

Análisis fotogramétrico (Periodo 1985-2014).

A partir de las fotografías aéreas de los años (1985, 1988, 2001, 2005, 2007, 2010 y 2014) se ha procedido a dividir la fotogrametría en:

- Vuelos sin información (1985, 1988): No hay certificado de calibración de la cámara. Se ha rectificado la fotografía aérea con puntos a nivel del mar y posteriormente se ha digitalizado el frente del talud arenoso (donde está incluida la curva de nivel de 5 m). El vuelo fotogramétrico de 1953 no se ha utilizado por su mala calidad.
- Vuelos fotogramétricos con información fiable (2005, 2007, 2010, 2014): Tienen buena calidad fotogramétrica, con posibilidad de orientar los pares y generar estereoscopia, y disponibilidad de los certificados de calibración de las cámaras. Se hace la cartografía en el restituidor digital "Digi 3D".
- Vuelo sin estereoscopia (ortofotografía de 2001): No hay par estereoscópico en la zona de la playa del Puntal-Somo, y por tanto se ha digitalizado al igual que los vuelos de 1985 y 1988. La zona de Las Quebrantas tiene recubrimiento estereoscópico y se ha restituido al igual que los vuelos 2005, 2007, 2010 y 2014.

Digitalización de vuelos fotogramétricos (Periodo 1985-2001).

Los vuelos de los años: 1985, 1988 y 2001 se han rectificaron con puntos de control obtenidos en la orilla, y posteriormente se ha digitalizado la línea de costa (talud arenoso) para la playa del Puntal-Somo (Figura 5). Durante este periodo (1985-2001) se detecta en esta zona, un retroceso en la línea de costa.

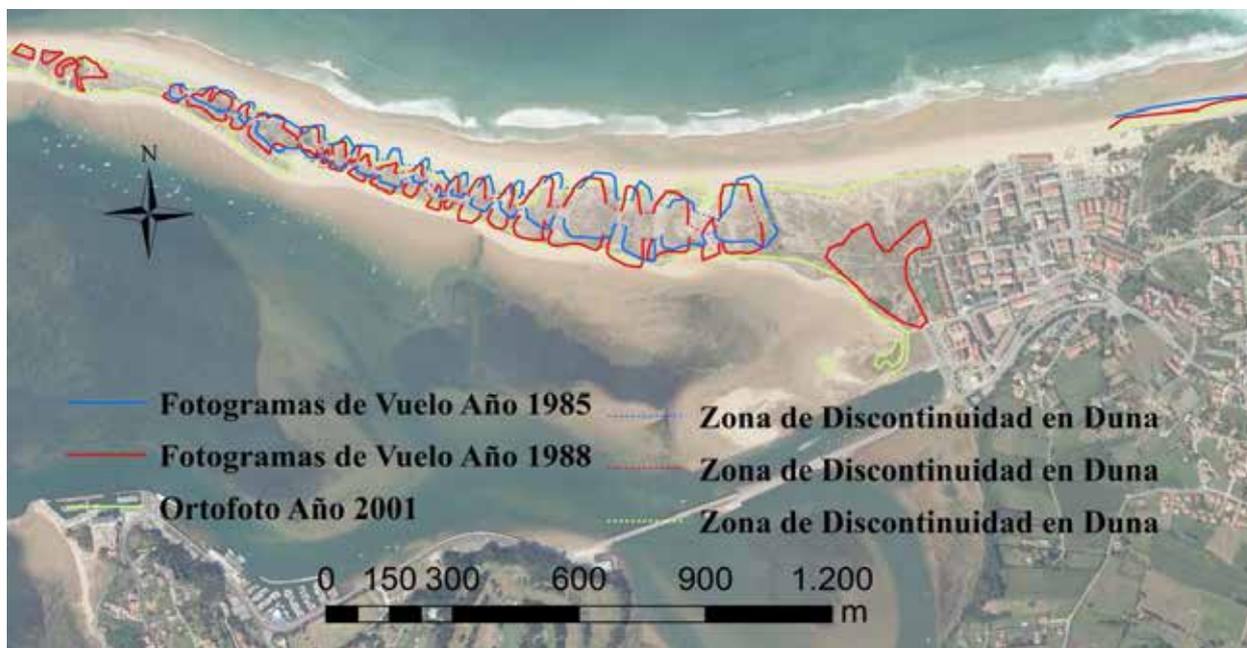


Figura 5. Digitalización de los vuelos (1985, 1988, 2001) de la playa del Puntal-Somo.

Restituciones fotogramétricas (Periodo 2005-2014).

En la zona de la playa del Puntal-Somo se ha restituido la curva de nivel de cota 0, el pie y cabeza de talud (la curva de 5 m está incluida entre la cabeza y el pie de talud), de los vuelos fotogramétricos de los años: 2005, 2007 y 2010 (Figura 6).

Tanto la cartografía (puntos de control), como la fotogrametría (puntos de apoyo) están referenciados en el mismo sistema de coordenadas: ETRS 89. Por tanto, se ha comprobado que los elementos que aparecen en la cartografía digitalizada deben coincidir con los objetos de la restitución fotogramétrica, por ejemplo: casas, carreteras, orilla de la costa,... Existen unas diferencias máximas de 60 m en algunos elementos, entre la cartografía y la fotogrametría, al igual que ocurría en la digitalización cartográfica (Figura 3).

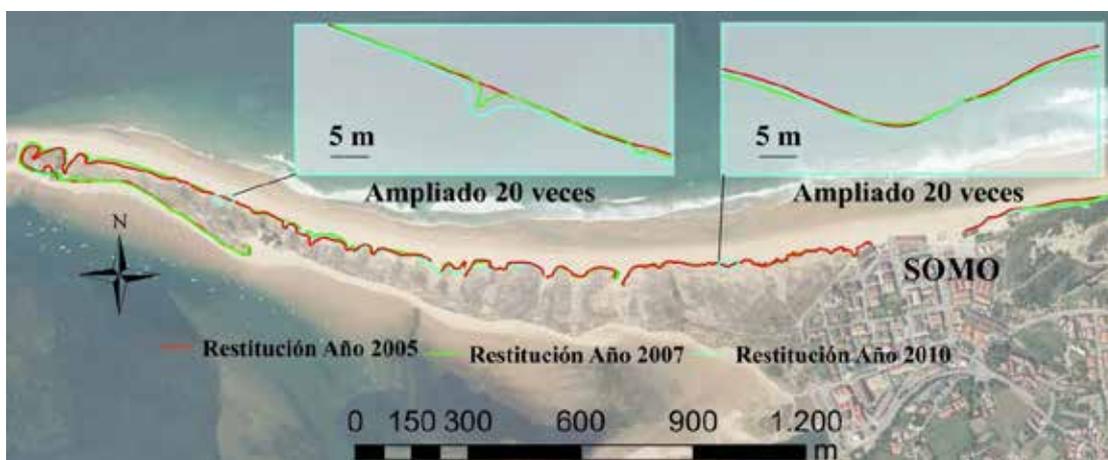


Figura 6. Restituciones de los vuelos aéreos (2005, 2007, 2010) de la playa del Puntal-Somo, donde solo se representa la cabeza del talud arenoso.



33. EVOLUCIÓN DURANTE 141 AÑOS (1875-2016) DEL RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA PLAYA DEL PUNTAL-SOMO-LAS QUEBRANTAS (CANTABRIA).

El problema aparece entre la cartografía de 1985 y el vuelo digitalizado de 1985, donde la representación de la curva de nivel de 5 m tiene diferencias superiores a los 200 metros (Figura 7). Una vez comprobada que la georeferenciación es correcta, nos queda interpretar que la cartografía del año 1985, de la Autoridad Portuaria de Santander, no refleja fielmente la situación de la playa. El motivo es que la Autoridad Portuaria de Santander ha empleado la misma cartografía desde 1950 hasta 1985 (Figura 2), y lo que modificaba durante estos años era la representación de la bocana de entrada a la bahía en la zona de Punta Rabiosa y la batimetría. Por ello, la cartografía digitalizada del año 1985 se ha desechado.

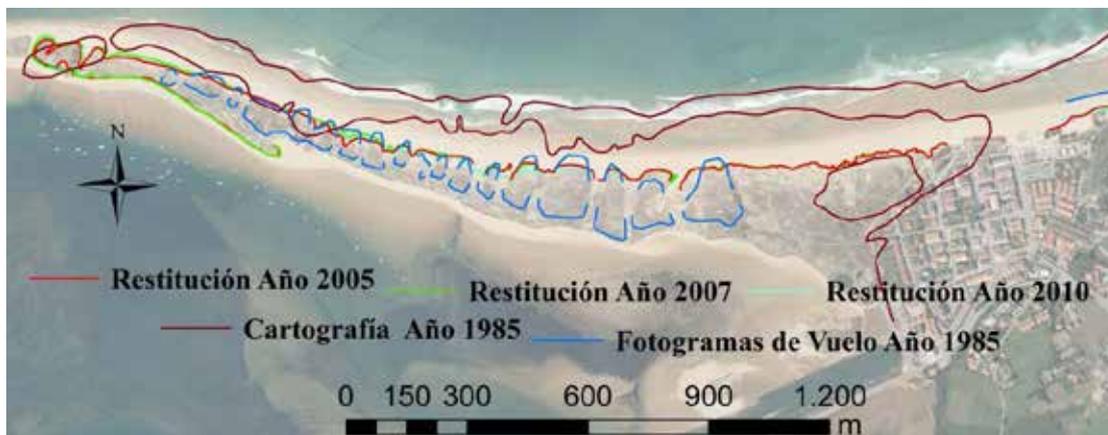


Figura 7. Restituciones de los vuelos aéreos (2005, 2007, 2010) de la playa del Puntal-Somo y situación de la cartografía y fotografía aérea del año 1985.

Resultados de la evolución de la línea de costa en la playa del Puntal-Somo.

Para explicar la evolución de la línea de costa de la zona del Puntal-Somo, para el periodo (1875-2014), se analizarán los resultados de la dinámica costera obtenidos en los apartados anteriores:

- Cartografía de 1875, 1908, 1920, 1946, 1950, vuelo de 1985: Retroceso de aproximadamente 350 m o 400 m en esta zona de la playa.
- Digitalizaciones de los vuelos 1985, 1988 y 2001 y restitución de 2005: Los resultados promedios del retroceso durante este periodo es de 25 m.
- Restituciones de los vuelos 2005, 2007, 2010 y 2014: En el periodo (2005-2010) se ha producido un ligero retroceso de la línea de costa, siendo su valor, dependiendo de las zonas, entre 2 m y 5 m (Figura 6). Entre 2010 y 2014 se produce un acentuado retroceso de la línea de costa, sobre todo en invierno de 2013-2014, provocado por grandes temporales que azotaron el Cantábrico. El retroceso estimado para la zona del Puntal-Somo, durante estos temporales, fue de 5 m, y posteriormente se ha estabilizado hasta la actualidad (2016). Por tanto, en el periodo 2005-2016 hubo un retroceso aproximado de 10 m.

En total, la dinámica entre 1875 y 2016 en la zona del Puntal y Somo ha sido de 435 m (con un margen de incertidumbre de 60 m). Señalar que estos resultados se aproximan a las realizadas en otras investigaciones científicas (Badia, 2003; Losada, et al., 1991).

ESTUDIO EN LA ZONA DE LAS QUEBRANTAS Y RESULTADOS.

Entre los años 1988-1993, mediante el proyecto de la CICYT, número PB87-0800 se analizó la evolución de la playa del Puntal-Somo-Las Quebrantas, mediante técnicas batimétricas y topográficas (Losada et al., 1991). Los datos obtenidos en la zona de Las Quebrantas durante este periodo mostraban ligeros cambios en la línea de costa. Pasados los años, se constató el gran retroceso de la costa en la zona de Las Quebrantas. Por tanto, para comprobar estos cambios se procedió a analizar esta evolución para el periodo 1985-2001 comenzando con la rectificación y digitalización de la fotografía aérea de 1985, en el periodo 2001-2014 se han realizado restituciones fotogramétricas, y a partir del año 2011 se hacen dos mediciones anuales (en otoño y en primavera) con escáner láser terrestre (Sanjosé et al., 2016). Se ha

seleccionado una porción de 400 metros en la zona de Las Quebrantas, para hacer coincidir las mediciones actuales con las realizadas en periodos anteriores. Todos los cálculos se han hecho en ETRS 89, por ser actualmente el sistema geodésico de referencia oficial en España.

Medición topográfica (Periodo 1988-1993).

El seguimiento topográfico-batimétrico (1988-1993) de la playa del Puntal-Somo-Las Quebrantas, se realizaba mediante la medición de 13 perfiles (P1, P1', P2, P3,...P8) (Figura 8), con una periodicidad de medición mensual (Sanjosé, 1989; Losada et al., 1991). En todas las observaciones se buscaba la posibilidad de existencia de solape intermareal entre las mediciones batimétricas y las terrestres (playa) para comprobar los resultados de la toma de datos. Por ello, la observación de la batimetría se hacía en pleamar y la medición topográfica terrestre en bajamar.

Técnica fotogramétrica (Periodo 1985-2014).

El Servicio IDE del Gobierno de Cantabria dispone de los vuelos fotogramétricos de los años 2001, 2005, 2007, 2010 y 2014 con los correspondientes certificados de calibración de las cámaras. Por tanto, estos son los vuelos que se han empleado, ya que sin la información de las cámaras no podríamos obtener la calidad suficiente para elaborar una cartografía a escala 1/2500, donde el error máximo en la orientación de los vuelos fue de 0,5 m (Tabla 1). Pero, para tener una continuidad con la información topográfica (1988-1993), se ha procedido a rectificar y digitalizar la línea del frente dunar de los vuelos de 1985 y 1988 (Figura 5).

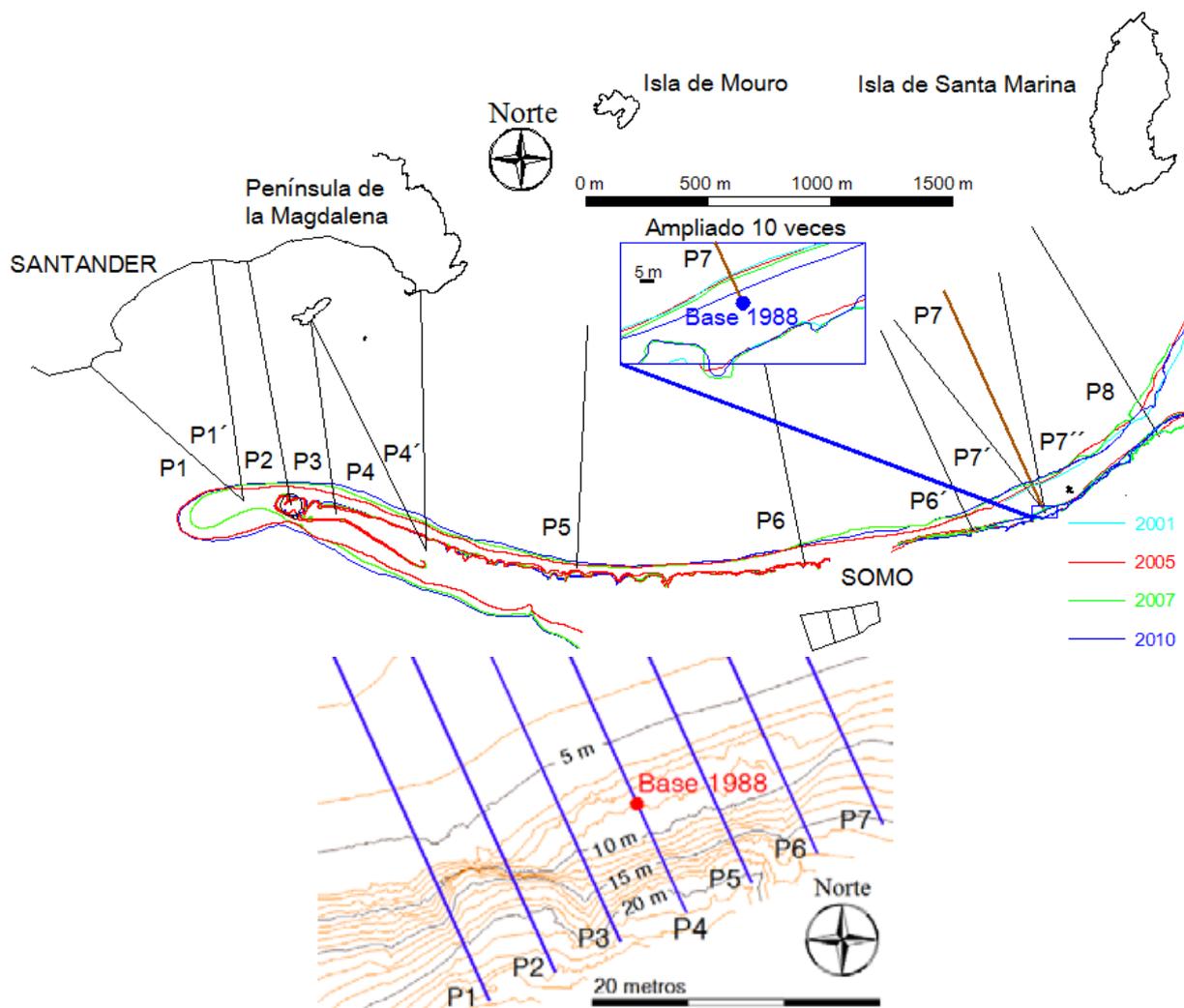


Figura 8. Imagen superior: Representación de los trece perfiles topográficos (1988-1993), sobre la cartografía fotogramétrica (2001, 2005, 2007, 2010 y 2014). Ampliación 10 veces de la zona de coincidencia de la topografía, fotogrametría y escáner láser. Imagen inferior: Sobre la cartografía realizada por el escáner láser del año 2011, se ubican los siete perfiles de la medición con fotogrametría y escáner láser. El perfil 4 (P4) coincide con la medición del perfil 7 (P7) en el periodo 1988-1993. Sobre esta cartografía se indica la posición de la base en el año 1988 (Figura 10).



33. EVOLUCIÓN DURANTE 141 AÑOS (1875-2016) DEL RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA PLAYA DEL PUNTAL-SOMO-LAS QUEBRANTAS (CANTABRIA).

Para los vuelos del periodo 2001-2014, se ha seguido el proceso de orientación fotogramétrico, y para ello se ha realizado la medición de los mismos puntos de apoyo para cada vuelo. De este modo, el mismo punto de apoyo medido sobre el terreno con GNSS, aparece expuesto en el par de fotografías estereoscópicas de cada vuelo fotogramétrico. Posteriormente, sobre cada una de las cartografías restituidas a escala 1/2500, se han medido los mismos puntos de control. Los puntos de control son diferentes a los puntos de apoyo fotogramétricos. Sobre los puntos de control se ha analizado la diferencia de sus coordenadas, las cuales no han superado el valor máximo de diferencia de coordenadas de 0,5 m (Tabla 1).

Punto	Coor.	Año 2001	Año 2005	Año 2007	Año 2010	Año 2014	Diferencias en X (m)	Diferencias en Y (m)	Diferencias en Z (m)
1	X	441240,972	441240,502	441240,947	441240,656	441240,911	2001 - 2005 : 0,470		
	Y	4812198,599	4812198,858	44812198,384	4812198,881	4812198,880		2010 - 2007 : 0,497	
	Z	6,125	6,034	6,491	6,303	6,197			2007 - 2005 : 0,457
2	X	440874,910	440874,853	440874,947	440874,986	440874,947	2010 - 2005 : 0,133		
	Y	4811762,438	4811762,369	4811762,654	4811762,260	4811762,758		2014 - 2010 : 0,498	
	Z	33,698	33,641	34,002	33,506	33,584			2007 - 2010 : 0,496
3	X	441367,827	441367,931	441367,949	441367,748	441367,481	2007 - 2014 : 0,468		
	Y	4812533,353	4812533,321	4812533,011	4812533,384	4812532,973		2010 - 2014 : 0,411	
	Z	12,227	12,253	12,287	11,788	11,884			2007 - 2010 : 0,499
4	X	441327,802	441327,687	441327,666	441327,509	441327,660	2001 - 2010 : 0,293		
	Y	4812791,099	4812791,151	48112791,116	4812791,273	4812790,938		2010 - 2014 : 0,335	
	Z	9,110	9,326	9,327	8,835	8,829			2007 - 2014 : 0,498
5	X	441270,686	441270,233	441270,542	441270,456	441270,193	2001 - 2014 : 0,493		
	Y	4812287,409	4812287,476	4812287,488	4812287,441	4812287,448		2007 - 2001 : 0,079	
	Z	2,311	2,676	2,465	2,217	2,359			2005 - 2010 : 0,459
6	X	440823,379	440823,517	440823,428	440823,290	440823,290	2005 - 2010 : 0,227		
	Y	4812064,093	4812064,215	4812064,070	4812064,470	4812064,470		2010 - 2007 : 0,400	
	Z	8,491	8,749	8,266	8,427	3,318			2005 - 2007 : 0,483
Para el proceso de orientación fotogramétrica, es la máxima diferencia en las coordenadas:							Punto 5 : 0,493 m	Punto 2 : 0,498 m	Punto 3 : 0,499 m

Tabla 1. Coordenadas (ETRS 89) y diferencia de coordenadas de los puntos de control para los distintos vuelos (2001, 2005, 2007, 2010 y 2014).

En la tabla 1, se indica la situación particular del punto 6, la cual es debida a su desaparición por los continuos temporales en el invierno de 2013-14 (Figura 9). Por tanto, en el año 2014 se le ha dado las mismas coordenadas planimétricas que tenía en el año 2010, y a partir de ahí se ha determinado su posición altimétrica (3,318 m). Donde la pérdida de cota de este punto para el año 2014, fue de 5,10 metros con respecto al año 2010.



Figura 9. Situación del punto de control 6, en las fotografías aéreas (2010 y 2014).

Una vez realizada la orientación se han cartografiado, para cada vuelo fotogramétrico: las curvas de nivel con una equidistancia de 1 metro (Figura 8). Posteriormente, se han realizado los mismos siete perfiles que actualmente se miden con TLS (Figura 8), siendo el perfil 4 (P4), el mismo perfil 7 (P7) que se medía por técnicas topográficas en el periodo 1988-1993. De esta manera, ha sido posible comparar los resultados del periodo 1985-2014 (fotogrametría) con el periodo 2011-2016 (TLS) y el perfil 4 (P4) del periodo 1988-1993 (topografía) (Figuras 10 y 11).

Aplicación del escáner láser terrestre (periodo 2011-2016).

En la actualidad, la posibilidad de utilizar el TLS para medir la zona de Las Quebrantas ha permitido realizar los siete perfiles representados en la figura 8. La cantidad de puntos medidos con TLS en cada campaña, es de aproximadamente 100 millones, y se han realizado dos mediciones por año (2011-2016), para evaluar la evolución de la playa durante el periodo invernal (octubre-marzo) y estival (abril-septiembre) (Figura 11).

Resultados de la evolución de la línea de costa en la zona de Las Quebrantas.

La digitalización fotogramétrica de los años 1985 y 1988, indican un retroceso de la línea de costa durante este periodo de 40 metros. Los resultados topográficos obtenidos para el perfil P4, en el periodo 1988-1993, muestran un retroceso inferior a 1 metro. La evolución fotogramétrica (2001-2010) ha generado un retroceso del frente de 2 metros. Por tanto, en ambos periodos el comportamiento ha sido similar (Figura 10).

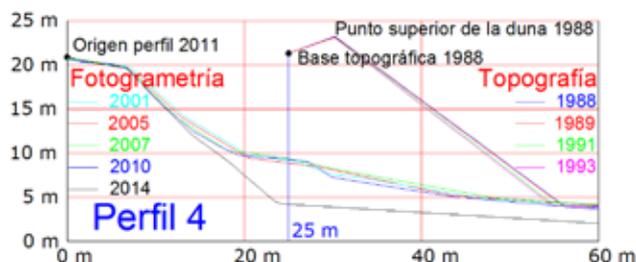


Figura 10. Evolución fotogramétrica del perfil 4 en el periodo 2001-2014, con respecto a las mediciones topográficas del perfil 4 entre 1988-1993.

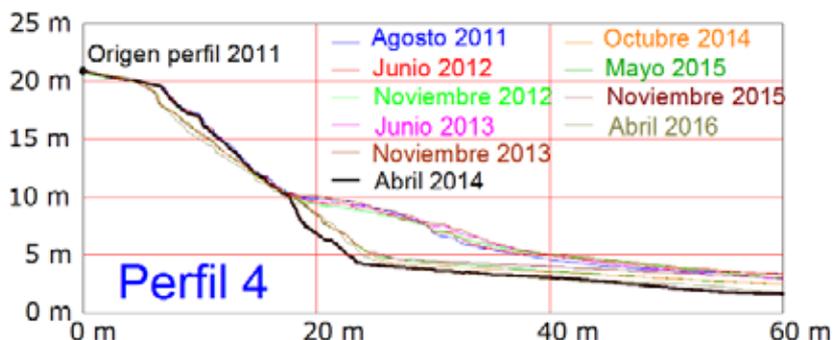
Lo que se constata entre 1993 y 2001, es un retroceso de la línea de costa de 25 metros, ya que la base P4 estaba ubicada en lo alto del frente dunar en 1988, y ahora se encuentra a 25 metros por delante de la actual cabeza del talud del frente dunar (Figura 10). Posiblemente, esto se debió a que en esta época (1993-2001) hubo una cantidad extraor-



33. EVOLUCIÓN DURANTE 141 AÑOS (1875-2016) DEL RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA PLAYA DEL PUNTA-SOMO-LAS QUEBRANTAS (CANTABRIA).

dinaria de fuertes temporales (Manero, 2014), similares a los ocurridos en el invierno de 2013-2014, que provocaron este retroceso (Figura 10).

Figura 11. Evolución del perfil 4 (Figura 8) con TLS, entre agosto de 2011 y abril de 2016.



Por otra parte, las mediciones realizadas con TLS en el periodo 2011-noviembre de 2013, muestran estabilidad con ligeras variaciones en la zona intermareal (Flor et al., 2014). En la medición con TLS de abril de 2014 se constataron grandes cambios con respecto a las medidas de noviembre de 2013 (Figura 11), y coincidente este retroceso con las mediciones fotogramétricas (Figura 10). El retroceso en el frente del talud arenoso del perfil 4 fue de 8 metros, y también fue significativo el descenso de la cota de toda la playa en más de 2 metros. Las variaciones de 2014 fueron causadas por los cuatro grandes temporales que azotaron la costa cantábrica, durante el invierno de 2013-2014: 15 de diciembre de 2013, 27 de diciembre de 2013, 4 de febrero de 2014 y 3 de marzo de 2014.

Aunque los temporales no fueron excepcionales por la altura de las olas, no superando el record de oleaje en el Cantábrico, su coincidencia con mareas vivas, bajas presiones atmosféricas y la sucesión de agrupaciones de olas incidentes, causaron un nivel del mar capaz de ejercer una constante labor erosiva sobre las playas, con exportación de gran cantidad de sedimento y produciendo un retroceso costero significativo.

Este retroceso ocurrido en cuatro meses es muy superior a lo estimado para los otros periodos analizados y, parece indicar que los fuertes retrocesos costeros de la zona se generan en periodos extraordinarios asociados a temporales extremos. Desde abril de 2014, se han hecho cuatro tomas de campo (hasta abril de 2016), y durante este periodo el talud del frente arenoso intenta volver a la estabilidad respecto a su pendiente y la playa intenta a recuperar su cota original, no habiendo retroceso de la línea de costa (Figura 11).

Por último, como ya se ha señalado en este artículo, hay estimaciones que muestran un retroceso entre 1870 y 1926 de 210 m, y entre 1920 y 1985 de 200 m (Badia, 2003) y con nuestras investigaciones estimamos que entre 1985 y 2016 el retroceso de la línea de costa ha sido de 75 m. Por tanto, esta zona de Las Quebrantas ha tenido un retroceso de 485 m desde 1870 hasta la actualidad (año 2016).

CONCLUSIONES.

La playa del Punta-Somo-Las Quebrantas hemos demostrado que está en continua dinámica, y para ver su evolución se ha empleado cartografía histórica, fotogrametría, topografía y escáner láser terrestre. Su comportamiento no es uniforme, sino que es diferente según las zonas:

- Punta Rabiosa: La trayectoria del extremo oeste de la playa en 1908, era hacia el noroeste y actualmente su dirección de desplazamiento es hacia el oeste. Hay estudios que estiman que el desplazamiento desde 1926 hasta la actualidad ha sido de 425 metros hacia el oeste. Y otras investigaciones indican que desde 1956 hasta la actualidad, el desplazamiento hacia el oeste ha sido de 530 m.
- Playa del Punta-Somo: Entre 1875 y 1985 el retroceso de la línea de costa ha sido hacia el sur, con un valor estimado de 350 m incluso 400 m. La diferencia entre la digitalización del vuelo fotogramétrico de 1985 y la restitución de 2005 indican un retroceso de la línea de costa 25 m. Entre 2005 y 2016 el valor del retroceso ha sido de aproximadamente 10 metros. Por tanto, entre 1875 y la actualidad el retroceso máximo estimado es de 435 metros.



- Zona de Las Quebrantas: Como se indicó en la introducción, en 1726 enfrente de Las Quebrantas había un bancal arenoso, y ya en 1860 había desaparecido el bancal y se había generado una barra de arena perpendicular a la playa. Hay estimaciones que indican que entre 1870 y 1926 hubo un retroceso de 210 metros. Entre 1920 y 1985 el retroceso fue de 200 metros. Y en el periodo 1985-2016 el retroceso ha sido de 75 metros. Por tanto, el retroceso total entre 1870 y 2016 en la zona de Las Quebrantas ha sido de 485 m.

En los próximos años, se continuará con las mediciones de precisión mediante técnicas geomáticas, complementándolas con otras fuentes (cartografía histórica y fotografías de satélite), para poder establecer con mayor precisión la evolución costera reciente y su dinámica actual. De esta manera, a medida que la serie de datos vaya siendo más extensa en el tiempo, podrá arrojar más luz sobre la respuesta del sistema natural de la franja de contacto marítimo-terrestre y sobre las tendencias y los ritmos de variación, constituyendo así, un indicador de los cambios del nivel del mar y del retroceso de la línea de costa, en el actual contexto de cambio global.

AGRADECIMIENTOS.

Nuestro agradecimiento a la Autoridad Portuaria de Santander, y en particular a Carmelo Rodríguez. También, nuestro agradecimiento al Servicio IDE del Gobierno de Cantabria, por la información gratuita de las fotografías aéreas.

BIBLIOGRAFÍA.

Badia, E. (2003). Long-term morphodynamic modelling of tidal basins with rivers. Tesina. Escuela técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en (3 de agosto de 2016): <http://hdl.handle.net/2099.1/3406>

Cendrero, A.; Díaz de Terán, J.R. y Salinas, J.M. (1981). Environmental economic evaluation of the filling and reclamation process in the Bay of Santander, Spain. *Environmental Geology* 3, 325-336.

Dantín, J. (1917). Evolución morfológica de la Bahía de Santander. Trabajos del MNCN, Serie Geológica nº 20. Madrid. 43 pp.

Díaz de Terán, J.R. (1976). Sedimentología y dinámica de las arenas de El Puntal (Santander). *Anal. Inst. Est. Ind. Econ. Ciencias, Institución Cultural de Cantabria*, 1, 229-329.

Flor, G.; Martínez Cedrún, P. y Flor Blanco, G. (2011). Campos dunares de Asturias, Cantabria y País Vasco. En E. Sanjaume y F.J. Gracia (eds.) *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 127-159.

Flor-Blanco, G.; Flor, G., Martínez-Cedrún, P. y Bruschi, V. (2012). La costa occidental de Cantabria (Santander-estuario de Tina Menor). En A. González-Díez, G. Flor Blanco y J.R. Díaz de Terán (eds.) *Guía de excursiones de campo. XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander 2010-2012*, Santander, 25-44.

Flor, G. y Flor-Blanco, G. (2014). Subsistemas estuarinos de la bahía de Santander (Cantabria, Norte de España). En S. Schnabel y A. Gómez (eds.) *XIII Reunión Nacional de Geomorfología, SEG-Universidad de Extremadura, Cáceres*, 568-571

Flor, G.; Flor-Blanco, G. y Flores-Soriano, C. (2014). Cambios ambientales por los temporales de invierno de 2014 en la costa asturiana (NO de España). *Revista de Trabajos de Geología*. Universidad de Oviedo, 34, 97-123.

GIOC (2016). Documento temático: Regeneración de playas. Ministerio de medio Ambiente, Universidad de Cantabria (Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas). 211 pp.

MAGRAMA (2016). Plantación de refuerzo de las dunas de Somo y Loredó. Disponible en (3 de agosto de 2016): <http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/actuaciones-proteccioncosta/cantabria/390489-plantacion-somo-loredo.aspx>

Losada, M.A.; Medina, R.; Vidal, C. y Roldán, A. (1991). Historical Evolution and Morphological Analysis of "El Puntal" Split, Santander (Spain). *Journal of Coastal Research*, 7 (3), 711-722.

Manero, G. (2014). Análisis de los temporales marino entre 2013-2014 y sus impactos en las costas de Cantabria. Master Universitario. Universidad de Cantabria. 46 pp.

Sanjosé, J.J. (1989). Perfiles dinámicos de la bahía de Santander. Proyecto Final de Carrera, Universidad de Extremadura, 400 pp.

Sanjosé, J.J.; Serrano, E.; Berenguer, F.; González, J.J.; Gómez, M.; González, M. y Guerrero, M. (2014). Evolución histórica y actual de la línea de costa en las playas de Somo y Gerra (Cantabria) mediante fotogrametría aérea y escáner láser. En S. Schnabel y A. Gómez (eds.) *XIII Reunión Nacional de Geomorfología, SEG-Universidad de Extremadura, Cáceres*, 560-563.

Sanjosé, J.J.; Serrano, E.; Berenguer, F.; González, J.J.; Gómez, M.; González, M. y Guerrero, M. (2016). Evolución histórica y actual de la línea de costa en la playa de Somo (Cantabria) mediante el empleo de fotogrametría aérea y escáner láser terrestre. *Cuaternario y Geomorfología*, 30 (1-2), 119-130.

Saiz de Omeñaca, J.; Flor-Blanco, G.; Flor, G.; Barba, F.J.; Francés, E. y Bruschi, V.M. (2013). La Península de la Magdalena. *Geología* 2013. 14 pag.