
ARTÍCULOS

GENERACIÓN DE UNA LÍNEA DE COSTA DIGITAL DE GALICIA (NW ESPAÑA) A GRAN ESCALA, UTILIZANDO FOTOINTERPRETACIÓN Y SEGMENTACIÓN DINÁMICA

Gema Casal, Noela Sánchez-Carnero y Juan Freire

Universidad de A Coruña

RESUMEN

La línea de costa, entendida como el límite de contacto entre la superficie emergida y la oceánica, constituye un elemento geográfico primordial para cualquier estudio desarrollado en la zona litoral. Aunque existe cierto consenso en su definición, ésta da lugar a multitud de criterios específicos para su delimitación en función del indicador empleado, de la fuente de información utilizada o del sistema de digitalización.

El objetivo principal de este estudio consistió en la digitalización de una línea de costa del litoral gallego (1:750) utilizando ortofotos como fuente de información espacial, definiendo en el proceso unos criterios de digitalización específicos. Además se han generado capas de información geográfica digital derivada de la línea original y se ha aplicado segmentación dinámica a toda la información digitalizada. Tanto la información cartográfica como la metodológica se encuentran accesibles de forma detallada en la dirección: <http://gis.recursosmarinos.net>.

Palabras clave: línea de costa, digitalización, SIG, ortofotos, criterios, Galicia.

ABSTRACT

The shoreline, defined as the contact limit between emerged and oceanic surface, is a key geographic limit for any study developed in the littoral zone. Although there is a certain degree of consensus in its definition, it gives rise to a multitude of specific criteria for its

Fecha de recepción: mayo 2008.

Fecha de aceptación: junio 2010.

delimitation depending on the indicator, the source of information used or the digitalization system.

The main objective of the present study was the digitization of a shoreline (1:750) of the Galician coast using orthophotographs as geographical base, defining specific digitalization criteria in the process. Moreover, digital layers of geographical information have been derived from the original line and dynamic segmentation has been applied to all digitalized information. Detailed digital and methodological information is available at the URL <http://gis.recursosmarinos.net>.

Key words: shoreline, digitizing, GIS, orthophotos, criteria, Galicia.

I. INTRODUCCIÓN

Cualquier estudio centrado en la zona costera, independientemente de cual sea su objetivo (gestión del territorio, conservación, construcción de infraestructuras, etc.), requiere el establecimiento de un límite claro entre la tierra y el mar. Únicamente en el ámbito jurídico existe una definición de la línea de costa clara y común a todo el territorio español establecida por la Ley de Costas 22/88, pero la ausencia de unos criterios comunes al resto de las disciplinas que estudian el litoral, provoca la existencia de líneas de costa muy diferentes, aunque no necesariamente excluyentes.

Históricamente, el trazado de la línea de costa ha sido una tarea ardua con importantes limitaciones metodológicas y técnicas, pero hoy en día los Sistemas de Información Geográfica, SIG, nos permiten manejar grandes volúmenes de datos procedentes de diferentes fuentes (fotografía aérea, imagen de satélite, etc.), con diferentes escalas, así como la superposición y actualización de estos datos.

A la hora de trazar una línea de costa utilizando software SIG es fundamental decidir cuál va a ser la definición a seguir. La definición más sencilla es la que entiende la línea de costa cómo la interfaz física entre tierra y agua (Dolan, 1980). No obstante, esta definición no es lo suficientemente precisa ni operativa para ser utilizada en un proceso de digitalización, ya que en ella no se establece qué indicador seguir ni cómo aplicarlo en cada caso, criterios imprescindibles en el trazado junto con la escala de digitalización. La elección de estos parámetros depende del tipo de datos con los que se vaya a trabajar (imágenes de satélite, fotografía aérea, imágenes de video,...), así como de su resolución espacial. La complejidad de este proceso queda patente en el trabajo de Boak y Turner (2005) donde afirman que la digitalización de una línea de costa supone un gran desafío, por lo que es necesario desarrollar una técnica sólida que permita la detección de las características elegidas dentro de las fuentes de datos utilizadas.

En este trabajo los autores publican una revisión de estudios de digitalización de líneas de costa, donde recogen las diferentes metodologías, y mencionan los indicadores más utilizados: i) la línea alta de marea o «high water line» (HWL) definida como la línea más alta de marea alcanzada en pleamar, ii) el promedio de marea alta o «mean high water» (MHW) determinado por la intersección del perfil de la costa con una elevación vertical específica, en este caso el promedio de marea alta en la zona de estudio, recogido durante un periodo de

tiempo normalmente de 19 años (Feedman y Higgins, 2003) y iii) más recientemente se ha introducido una nueva metodología basada en la aplicación de técnicas de procesado de imagen, que extraen aproximaciones de la línea de costa mediante la utilización de indicadores generados a partir de métodos estadísticos aplicados a imágenes digitales, y no necesariamente visibles para la persona que realiza el trabajo de digitalización.

La mayoría de los autores emplean en sus estudios el indicador HWL, pero en ausencia de una metodología común que defina la representación a seguir en el trazado, el modo de interpretar este indicador varía considerablemente de unos estudios a otros. Un numeroso grupo de investigadores (Anders & Byrnes, 1991; Crowell et al., 1991; Smith y Zarillo, 1990, Zhang et al., 2002) utilizando como fuente geográfica fotografías aéreas, interpretan visualmente el indicador HLW como la línea que representa el límite húmedo/seco que marca la línea de marea alta, en otros trabajos (Dolan et al., 1980; Overton et al., 1999) identifican el mismo indicador a través de la diferencia de coloración que marca el límite húmedo/seco producido por el recorrido máximo del flujo de agua procedente de la ruptura de las olas en marea alta, también conocido como límite superior instantáneo.

Teniendo en cuenta esta problemática se definen los siguientes objetivos:

1) Digitalización de una línea de costa detallada y precisa del litoral gallego, empleando un Sistema de Información Geográfica (SIG), que sirva de base cartográfica para estudios científicos realizados en la zona costera paliando la ausencia de una línea de costa detallada en esta comunidad.

2) Desarrollo y publicación de una metodología en la que se recoja el indicador empleado, su definición y los criterios seguidos durante el trazado, resultando útil para futuros trabajos de digitalización. Con el fin de compartir la información generada, la línea de costa digitalizada, las capas derivadas de esta y la memoria metodológica se pondrán a disposición de los usuarios, sentando las bases de una futura cartografía común y colaborativa que pueda ser constantemente actualizada.

3) División de la línea de costa digitalizada atendiendo al tipo de unidad fisiográfica litoral (costa arenosa, costa rocosa, marisma, estuario y estructuras artificiales), utilizando segmentación dinámica, lo que permite una caracterización costera útil para la gestión del litoral, así como mostrar la enorme potencialidad de esta herramienta para dinamizar la información digital.

II. METODOLOGÍA

1. Material

Para el trazado de la línea de costa se emplearon las ortofotos del Sistema de Información Xeográfica de Parcelas Agrícolas (SIXPAC) correspondientes a toda la zona costera de Galicia, cedidas por el *Fondo Galego de Garantía Agraria*, FOGGA en aplicación de lo establecido en la «Conferencia Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural» de 3 de Diciembre de 2003. Estas ortofotos han sido restituidas fotogramétricamente a partir de fotografías aéreas tomadas entre agosto y septiembre de 2002 y junio, julio, agosto y septiembre de 2003. La escala de los vuelos fue de 1:18000 y la resolución empleada en su escaneo fue de 14 μ m. Las ortofotos finales están corregidas con un modelo digital del terreno de 5 m y presentan

una resolución espacial de 0.5 m. Todo el trabajo de digitalización fue llevado a cabo utilizando el programa ArcGis 9.2.

2. Métodos

Una vez establecida la información espacial sobre la que digitalizar la línea de costa, se eligió el indicador a seguir para su trazado. En este estudio se optó por utilizar la línea de marea alta o «high water line» (HLW) definiéndola como el límite húmedo/seco e interpretándolo como la línea definida por la diferencia de coloración que marca el retroceso de la marea (la línea de última marea alta) (Fig. 1), siguiendo a autores como Dolan et al. (1978) que consideran este indicador estable y menos sensible al coeficiente de marea que el límite superior instantáneo, donde rompen las olas. Se descartó el uso de otros indicadores apropiados en estudios similares, como los límites entre la duna y la playa alta, habitualmente identificados por la presencia de vegetación (Ojeda, 2000), debido a las características de la costa gallega, donde más del 50% se han visto modificadas con estructuras artificiales y muchas otras se encuentran en zonas de acantilado (según datos del Ministerio de Medio Ambiente). Aunque se ha considerado como la mejor de las opciones disponibles, es necesario tener en cuenta que la línea de costa resultante de este criterio es una aproximación sujeta a variaciones de interpretación, especialmente cuando se digitaliza de forma manual en fotografías aéreas (Moore et al, 2006). Debido a esto, y con el fin de minimizar este error, toda la

Figura 1
DETALLE DE LA PLAYA DE LANGOSTEIRA (FISTERRA) DONDE SE OBSERVA EL TRAZADO DE LA LÍNEA DE COSTA SIGUIENDO EL CAMBIO DE COLORACIÓN QUE DEJA LA MAREA ALTA EN LA ARENA.



digitalización fue realizada por una única persona. Valorando la relación de tiempo invertido y precisión obtenida, se estableció la escala de digitalización en 1:750.

El amplio rango mareal de la costa gallega (entre 2 y 4 m) introduce una significativa variabilidad a la hora de obtener una línea de pleamar homogénea, puesto que cuanto mayor es el rango, mayores resultan las diferencias altimétricas (y por lo tanto, horizontales) de la pleamar en función del coeficiente de marea. Esto haría aconsejable la corrección de aquellas fotografías tomadas en momentos diferentes a la marea alta, pero este proceso fue descartado por tratarse de una zona de estudio muy amplia, aproximadamente 2200 km (según resultados obtenidos en este estudio), dado que el aumento de precisión que se obtendría sería mínimo en relación con el esfuerzo que sería necesario invertir.

En cuanto a los criterios de digitalización, a priori se establecieron cinco tipos principales de costa: estructuras artificiales, costa rocosa, costa arenosa, marisma y estuario, para las cuales se definieron criterios de trazado generales (Tabla 1). Sin embargo, a medida que se avanzaba en el trazado de la línea, la heterogeneidad geomorfológica de la costa gallega obligó a definir nuevos criterios, enmarcados dentro de la tipología inicial (Tabla 2). Todos estos casos fueron incluidos en una librería de criterios y aplicados a la totalidad de la línea, de tal forma que en cada punto del trazado se siguiese un patrón ya establecido, agilizando así el proceso y minimizando el error. En una sexta categoría se incluyeron casos particulares donde se engloban estructuras que no se clasificaban dentro de ninguno de los grupos anteriores y que aparecieron de forma puntual a lo largo del trazado.

Una vez digitalizada la línea de costa se realizó una división de la misma usando la herramienta de segmentación dinámica disponible en ArcGis 9.2. Esta herramienta permite la visualización y análisis de información lineal segmentada, siguiendo diferentes criterios y utilizando límites almacenados en forma de tablas sin la necesidad de dividir el elemento lineal. En este caso la línea de costa fue dividida siguiendo la tipología establecida para su trazado y ya recogida en la librería de criterios (estructuras artificiales, costa arenosa, costa rocosa, marisma y estuario).

Asimismo, para obtener una información más completa se incluyeron en el trazado las islas e islotes presentes en las aguas costeras. Debido a su elevado número en la zona de estudio se estableció un límite de tamaño (15 m en su diagonal mayor) por debajo del cual no fueron digitalizadas. Los criterios seguidos en su digitalización fueron los mismos que los utilizados para la zona terrestre y recogidos en la librería de criterios.

Finalmente se generaron líneas de costa derivadas a partir de la línea original (variando el detalle, eliminando áreas con determinadas características (zonas de aguas salobres), etc.), adecuadas para su utilización en estudios particulares.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado principal del proceso de digitalización fue la obtención de información geográfica digital referente a la costa gallega, compuesta por varias capas vectoriales y una librería de criterios. La línea de costa digitalizada a escala 1:750 comprende todo el litoral gallego (Fig. 3) desde el municipio de Tomiño (41°57.0'N, 8°44.9'W) hasta el municipio de Ribadeo (43°27.56'N, 7°5.0'W) con una longitud total de 2272.22 km incluyendo zonas de agua salobre. Además de esta línea de costa se obtuvo una capa vectorial con 1127 islas e

Tabla 1

TIPOLOGÍA COSTERA UTILIZADA PARA LA DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE DIGITALIZACIÓN. LAS EXPLICACIONES DETALLADAS SOBRE LOS CRITERIOS SE PUEDEN CONSULTAR EN LA TABLA 2 Y EN <http://gis.recursosmarinos.net>

TIPOLOGÍA	DEFINICIÓN	CRITERIO GENERAL
Estructuras artificiales	Estructuras que han sido creadas por el hombre (puertos, carreteras, diques, etc.)	Cuando existen estructuras artificiales, fijas y no flotantes, se continúa la línea de costa siguiendo las mismas
Costa rocosa	Sustrato rocoso: acantilados, escarpados rocosos, playas de cantos, etc.	En acantilados con alto grado de verticalidad el trazado se realiza siguiendo la línea de agua, en zonas rocosas se sigue la línea de la última marea alta
Costa arenosa	Sustrato arenoso	Se sigue la línea de última marea alta, marcado por la línea de transición entre la arena húmeda y la seca
Marisma	Terreno pantanoso inundado por el mar en marea alta	Se sigue el límite de vegetación permanente que marca la zona no inundable
Estuario	Desembocaduras de ríos o corriente de menor caudal susceptibles de ser afectadas por la marea	El trazado de la línea se extiende río arriba hasta donde la altitud de la ribera sea menor a 4 m

islotas, que representan a su vez un total de 347.7 km de costa (Fig. 4). En esta capa se puede observar la gran heterogeneidad en cuanto al tamaño de las islas presentes a lo largo del litoral gallego (Fig. 5). Entre ellas podemos encontrar desde islas con un perímetro de 26.85 km como la Illa de Ons, situada en la Ría de Pontevedra, a islotes de 18.50 m, si bien, el 44.45% se encuentran por debajo de 100 m de perímetro y el 96% por debajo de los 1000 m.

Aplicada la segmentación dinámica (Fig.6) se obtuvo una línea de costa dividida en 2565 fragmentos (en función de sus morfologías), con un total de 1365.50 km de zonas rocosas, 246.59 km de zonas arenosas, 389.58 km de estuario-marisma y 269.38 km de sustratos artificiales. Además esta línea presenta 625.5 m correspondientes a la línea de corte utilizada en las bocas de los ríos. Esta línea de costa, además de constituir una herramienta de gran utilidad en la gestión costera, ejemplifica la potencialidad de la herramienta segmentación dinámica en los estudios de ámbito costero.

A partir de la línea de costa digitalizada originalmente se obtuvo otra línea de costa que marca estrictamente el límite húmedo/seco dejando fuera lugares de agua salobre (frente costero) con una longitud de 1915.64 km. Por otra parte, se delimitaron las zonas de marisma

Tabla 2
CASOS RECOGIDOS EN LA LIBRERÍA DE CRITERIOS.

TIPOLOGÍA	CASOS DERIVADOS	TRAZADO
ESTRUCTURA ARTIFICIAL	Zona de relleno arenosa	Se siguen los criterios de zonas arenosas
	Zona de relleno arenosa donde el límite húmedo-seco no se aprecia con claridad	La línea discurre a lo largo de la estructura artificial
	Zona de relleno rocosa	Si se diferencia la línea de marea se emplea ésta para continuar el trazado. En caso contrario se sigue el contorno de la estructura artificial
	Estructuras artificiales que no afectan al recorrido de subida y bajada de la marea	El trazado continúa obviando estas estructuras
	Rampas de puertos	Si la situación es de marea alta se sigue la línea de agua. Si la marea es baja siguiendo el límite húmedo/seco
COSTA ROCOSA	Zonas rocosas no acantiladas	Se sigue la línea de última marea alta
	Línea de marea alta no visible	Se sigue la línea de agua
	Ni línea de agua ni de marea visibles	Se sigue el límite terrestre
	Existe alguna duda en el trazado de la línea de marea alta	Se sigue la línea de agua
	Zona rocosa separada del continente por un canal de agua	Se digitaliza como parte de la costa, siempre que este canal no supere una anchura de 5 m. En caso contrario este tramo se considera isla
COSTA ARENOSA	Cuando existen aportes de agua en la zona arenosa	Se sigue el límite húmedo/seco obviando el aporte de agua
	Existe alguna duda en el trazado de la línea de marea alta	Se sigue la línea de agua

Figura 2
TIPOLOGÍA COSTERA PRINCIPAL RECOGIDAS EN LA LIBRERÍA DE CRITERIOS. A) ESTRUCTURAS ARTIFICIALES. B) DETALLE DE UN PUERTO. C) ZONA ROCOSA. D) ZONA ARENOSA. E) MARISMA. F) ESTUARIO.

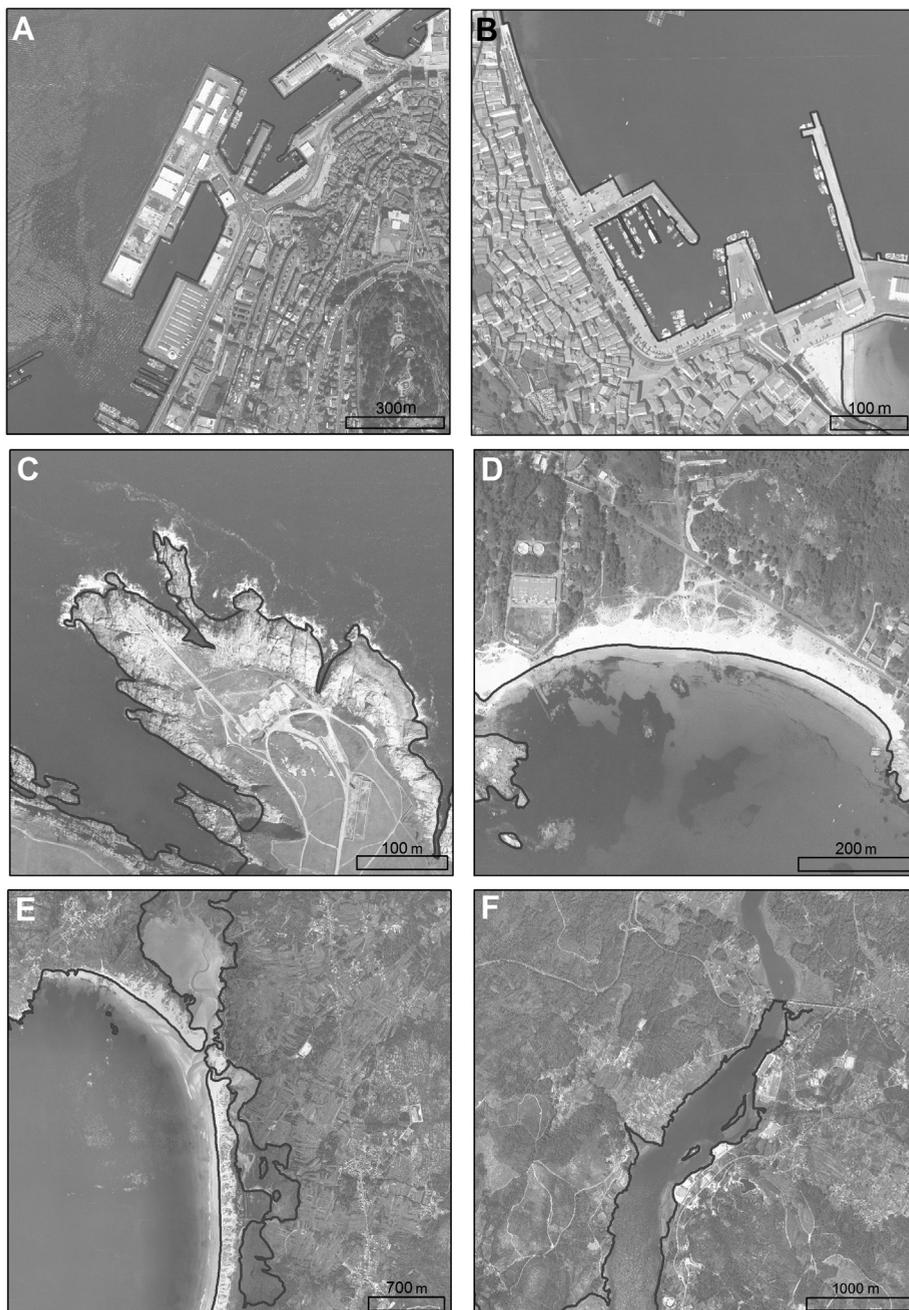


Figura 3
LÍNEA DE COSTA DIGITALIZADA PRESENTADA A DIFERENTES ESCALAS EN LA ZONA DE LA RÍA DE A CORUÑA. EN ESTE CASO SE REPRESENTA LA LÍNEA DE COSTA QUE INCLUYE ZONAS DE AGUA SALOBRE.

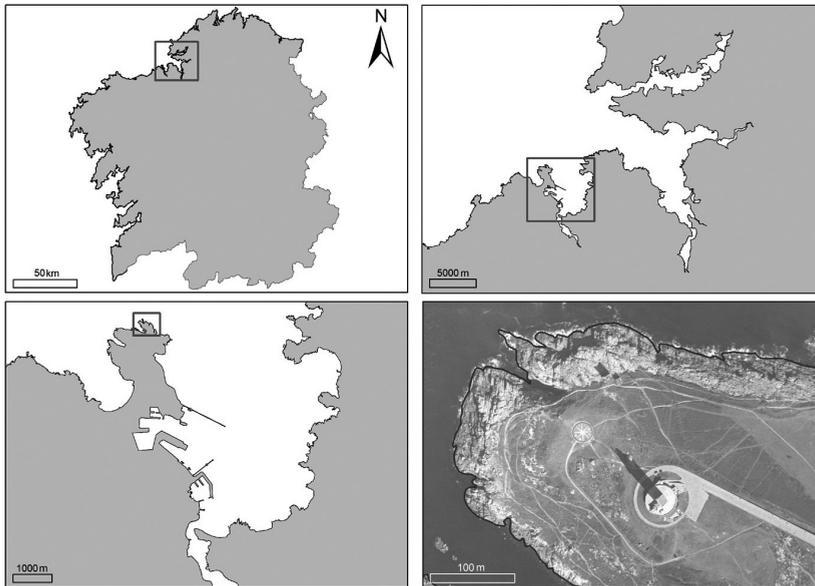


Figura 4
DETALLE DE LA RÍA DE AROUSA A DIFERENTES ESCALAS. EN LA FIGURA SE MUESTRAN ISLAS E ISLOTES, INDICANDO LA LONGITUD DE SU EJE MAYOR (M). SÓLO SE INCLUYERON EN EL TRAZADO LAS QUE PRESENTABAN UNA SUPERIOR A 15 M.

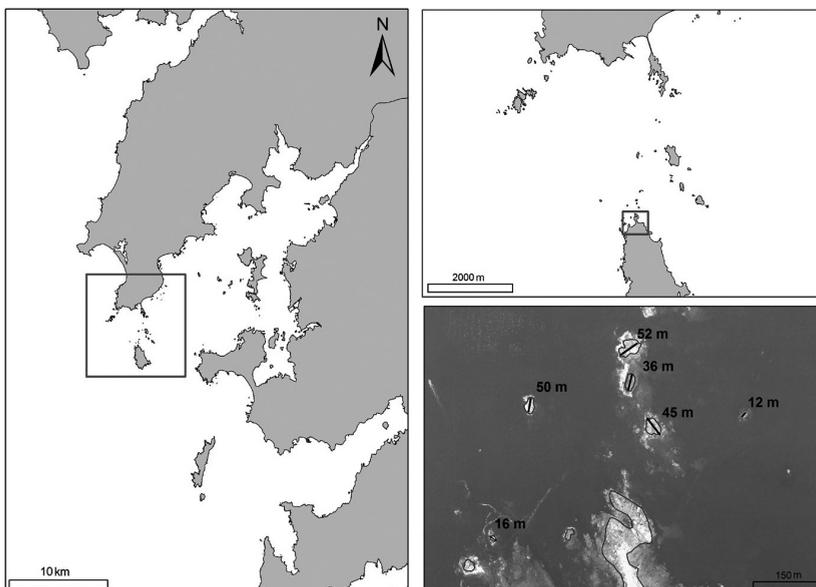
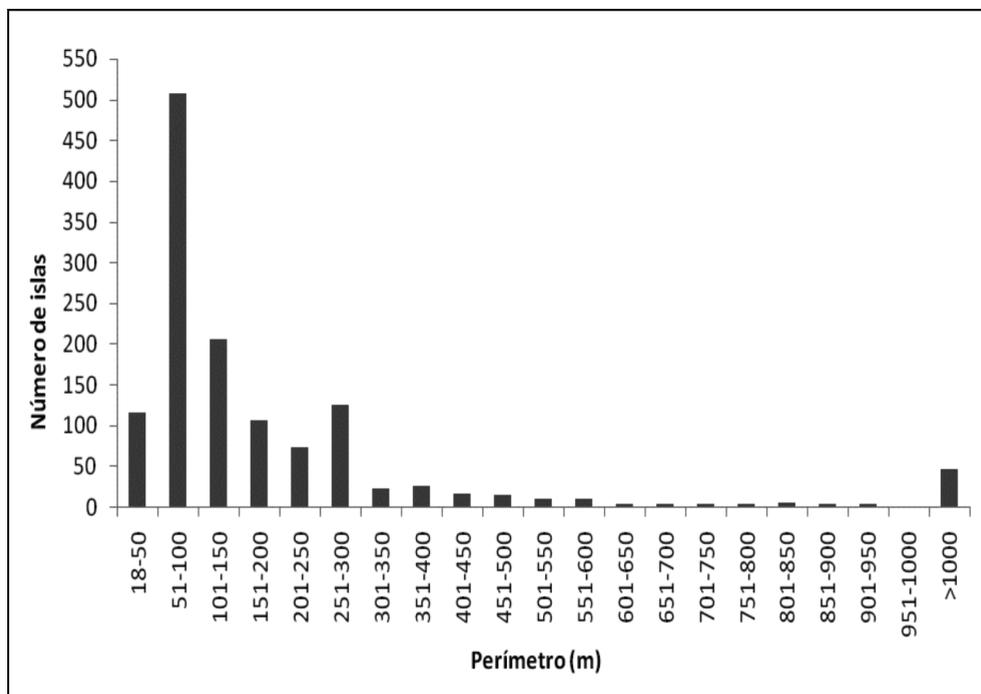


Figura 5
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TAMAÑO, SEGÚN SU PERÍMETRO EN M, DE LAS ISLAS E ISLOTES DIGITALIZADOS EN LA COSTA GALLEGA.



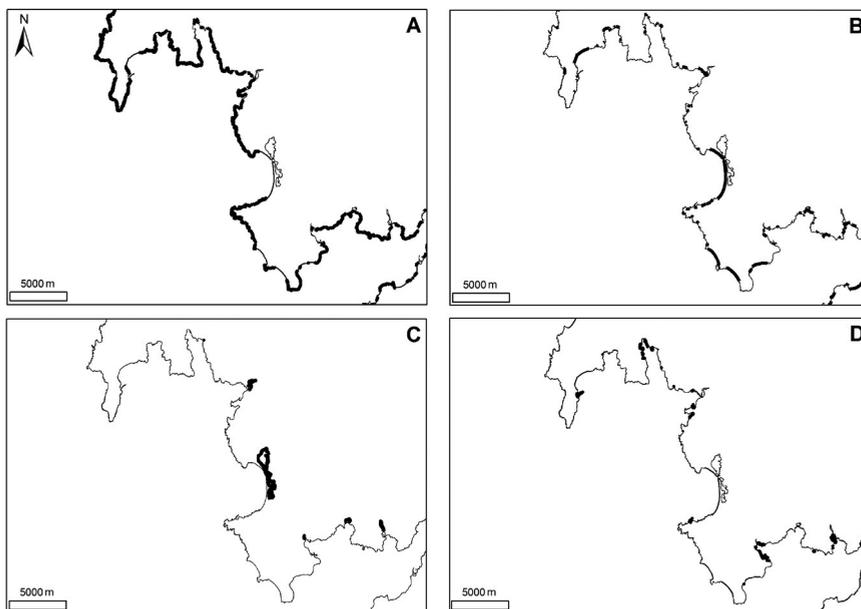
y estuario presentes a lo largo de la costa (Fig. 7). Estas zonas comprenden una superficie total de 5607 ha, entre las cuales se encuentran cinco zonas protegidas: Ría de Ortigueira e Ladrado, Ría de Ribadeo, Complejo intermareal Umia-Grove, Laguna de Corrubedo, Laguna y arenal de Valdoviño.

En este momento se siguen desarrollando los resultados obtenidos en este estudio realizando análisis de cara a definir el efecto de la escala de digitalización empleada en la longitud de la línea de costa resultante.

Durante la realización de este trabajo se generó una librería detallada, donde se recogen los criterios generales para cada categoría y las variaciones surgidas durante el trazado, así como el protocolo seguido en cada uno de los casos. Aunque es consecuencia del proceso metodológico, este documento constituye en sí mismo un resultado que puede ser el punto de partida para futuros trabajos de digitalización de líneas de costa. El uso de esta librería de criterios permite superar parcialmente la problemática ligada a este tipo de estudios. De ahí la importancia de documentar la metodología seguida y la resolución de los problemas específicos. Su publicación y acceso libre tienen como objetivo ampliar y mejorar los criterios desarrollados en este trabajo, de modo que la creación de nuevas líneas de costa sea coherente empleando criterios definidos y detallados en todo su trazado. Con este trabajo

Figura 6

LÍNEA DE COSTA CLASIFICADA UTILIZANDO SEGMENTACIÓN DINÁMICA. SE REPRESENTA LA ZONA DEL SENO DE CORCUBIÓN. EN CADA FIGURA SE RESALTA UN TIPO DE COSTA DIFERENTE: A) SUSTRATO ROCOSO. B) SUSTRATO ARENOSO. C) MARISMA Y ESTUARIO. D) ESTRUCTURAS ARTIFICIALES.



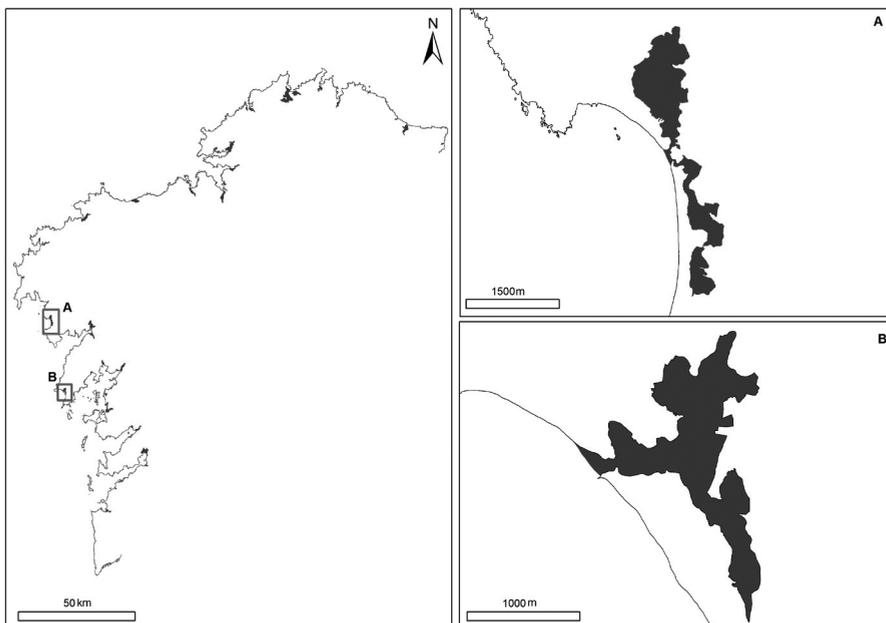
se intenta generar unos criterios unificados, eliminando los grandes errores de cálculo final cuando se trabaja con documentos que utilizan criterios diferentes (Ojeda, 2000) y propiciar la creación de nuevas líneas de costa con criterios ya establecidos, al tiempo que se pretende evitar el sobre esfuerzo de volver a crear lo ya existente, invitando a los usuarios a que modifiquen o mejoren esta información.

Todos los resultados de este trabajo, tanto la cartografía digital como la librería de criterios, se encuentran publicados en la página web <http://gis.recursosmarinos.net> bajo una licencia Creative Commons 2.5, en su opción Reconocimiento-Compartir Igual, con el fin de que los usuarios interesados puedan acceder a dicha información.

A la hora de utilizar estos resultados en futuros trabajos, es necesario tener en cuenta que la posición de la línea de costa varía continuamente a lo largo del tiempo como consecuencia del movimiento de los sedimentos en la zona litoral y especialmente, debido a la naturaleza dinámica del nivel del mar en los límites costeros (olas, mareas, tormentas, etc.) (Boak & Turner, 2005). Por esta razón, este límite debe ser considerado como una estructura dinámica y como tal, sería aconsejable continuar su revisión y actualización con el fin de mantener la precisión de la misma.

Figura 7

ZONAS DE MARISMA Y ESTUARIO. ESTAS ZONAS FUERON DELIMITADAS A PARTIR DE LA LÍNEA DE COSTA QUE INCLUÍA ZONAS DE AGUA SALOBRE Y CONSTITUYEN UNA SUPERFICIE DE 5607 HA, ENTRE ELLAS SE ENCUENTRAN CINCO ZONAS PROTEGIDAS. A) MARISMA DE CARNOTA. B) MARISMA DE CORRUBEDO.



III. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a Pablo Fraile Jurado (Departamento de Geografía Física y AGR de la Universidad de Sevilla) los comentarios al mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERS, F.J. y BYRNES, M.R. (1991): «Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs». *Shore and Beach*, nº 59 (1), 17–26.
- BOAK, E.H. y TURNER, I.L. (2005): «Shoreline Definition and Detection: A Review». *Journal of Coastal Research*, nº 21 (4), 688-703.
- CROWELL, M., LEATHERMAN, S.P. y BUCKLEY, M.K. (1991): «Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy». *Journal of Coastal Research*, nº7(3), 839–852
- DOLAN, R., HAYDEN B.P., MAY, P., y MAY S.K. (1980): «The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs». *Shore and Beach* nº48 (4), 22–29
- DOLAN, R., HAYDEN B.P. y HEYWOOD, J. (1978): «A new photo-grammetric method for determining shoreline erosion». *Coastal Engineering*, nº2 (1), 21–39.

- FREEDMAN, J. y HIGGINS, M. (2003): «What Do You Mean by High Tide? The Public Trust Doctrine in Rhode Island», proceedings of the 13th Biennial Coastal Zone Conference, Baltimore, MD. Disponible en <http://www.crmc.state.ri.us/presentations/presentations/wdymbht.pdf>
- MOORE, L.J., RUGGIERO, P. y LIST, J.H. (2006): «Comparing Mean High Water and High Water Line Shorelines: Should Proxy-Datum Offset be Incorporated into Shoreline Change Analysis?». *Journal of Coastal Research*, nº22 (4), 894-905.
- OJEDA, J. (2000): «Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta». *Boletín de la A.G.E.*, nº30, 103-118.
- OVERTON, M.F.; GRENIER, R.R.; JUDGE, E.K. y FISHER, J. S. (1999): «Identification and analysis of coastal erosion and hazard areas: Dare and Brunswick Counties, North Carolina». *Journal of Coastal Research*, Special Issue, nº 28, 69-84.
- SMITH, G.L. y ZARILLO, G.A. (1990): «Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques». *Journal of Coastal Research*, nº 18 (3), 502-513.
- ZHANG, K; HUANG, W.; DOUGLAS, B.C. y LEATHERMAN, S.P. (2002): «Shoreline position variability and long-term trend analysis». *Shore and Beach*, nº 70 (2), 31-35.

