



Bases metodológicas para la cartografía de riesgos naturales en zonas costeras

Methodological basis for natural hazards mapping in coastal zones

González de Vallejo, L. I. ¹⁻² ✉ - Seisdedos, J. ² - Mulas, J. ³ - Rodríguez Franco, J. A. ² - Gracia, F. J. ⁴ - Garrote, J. ¹ - Del Río, L. ⁴

Recibido: 17 de Abril de 2012 • Aceptado: 01 de Junio 2012

Resumen

A pesar de la importancia e implicaciones de los riesgos asociados a la dinámica litoral en las zonas costeras, son escasos los trabajos centrados en su estudio y cartografía a escala regional, de manera sistemática e integrada. En este trabajo se presentan los fundamentos de una metodología basada en el análisis detallado de los riesgos naturales que pueden afectar al litoral: inundaciones, erosión, subida del nivel del mar, tsunamis, movimientos de ladera, etc., y en el estudio y cartografía de los factores implicados en su ocurrencia (geomorfología litoral, procesos litorales, sucesos históricos, actuaciones humanas...). Estos factores y riesgos se evalúan e integran para la elaboración de mapas finales en los que se presenta la valoración tanto de cada riesgo de forma individual, como del conjunto de los mismos. Se emplea un sistema de representación cartográfica en franjas paralelas a la costa que facilita el reconocimiento e interpretación de las características del litoral estudiado y los riesgos asociados.

Palabras clave: *riesgos naturales, litoral, cartografía de riesgos.*

Abstract

Despite the importance and implications of coastal hazards, very few studies have been focused on their analysis and mapping on a regional scale, in a systematic and integrated way. This article presents a methodology based on the detailed analysis of natural hazards affecting coastal zones: floods, erosion, sea level rise, tsunamis, landslides, etc., and the study and mapping of the factors involved (coastal geomorphology, coastal processes, historical events, human activities...). These

1 Dpto. de Geodinámica, Fac. de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid (España).

✉ vallejo@geo.ucm.es

2 Prospección y Geotecnia S.L. (Madrid, España).

3 Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), (Madrid).

4 Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz (España).

factors and hazards are evaluated and integrated to prepare maps which include the assessments of each individual hazard and the overall ones. A mapping system in strips parallel to the coast is used, allowing the recognition and interpretation of the characteristics of the coast and the associated hazards.

Keywords: natural hazards, coastal zone, hazard maps.

INTRODUCCIÓN

Las áreas litorales han experimentado un considerable desarrollo en el último siglo y la tendencia parece que continuará en los próximos años. Se estima que el 23% de la población mundial vive a menos de 100 km de la costa, a una altura inferior a 100 m sobre el nivel del mar, y que la densidad de población en las áreas litorales es tres veces mayor a la media mundial (Small y Nicholls, 2003). El atractivo de la costa ha derivado en una rápida expansión de las actividades económicas, asentamientos urbanos y usos turísticos. Esta concentración de la población y de actividades en áreas litorales ha producido un incremento en la incidencia de los riesgos costeros. Las zonas litorales se encuentran seriamente expuestas a inundaciones y procesos de erosión costera, y son extremadamente vulnerables a eventos extremos, como temporales o tsunamis, que pueden causar importantes pérdidas (De Andrés y Gracia, 2002).

En el caso de España, con unos 8000 km de costa, repartidos entre la península (5100 km) y los archipiélagos (2900 km), la densidad media de población del conjunto nacional es de 77 hab/km², mientras que los municipios costeros tienen una densidad media de unos 350 hab/km², cifra que se eleva a 1000 hab/km² durante la época estival (Barragán, 2004). El litoral español es objeto de inversiones multimillonarias destinadas a labores de mantenimiento, restauración, ordenación de usos y obras de emergencia. Para el periodo 1986-2016, se han estimado pérdidas máximas por erosión costera superiores a 5 mil millones de dólares (González de Vallejo et al., 1988). Por otra parte, en España los temporales marinos ocupan el primer puesto en cuanto al número de víctimas mortales causadas por catástrofes naturales, con 511 fallecidos entre los años 1990 y 2000 (Ayala et al., 2004).

Por los motivos anteriores, el estudio y cartografía de los peligros asociados a la dinámica litoral resultan de especial importancia en la ordenación territorial y la prevención de riesgos. La zonificación basada en la posible afectación por peligros naturales con vistas al adecuado uso y aprovechamiento del suelo es un aspecto necesario que debe ser considerado en toda planificación territorial. El grado de fiabilidad de los límites de ocupación del terreno y de la intensidad estimada para los peligros que pueden constituir riesgos dependerá en muchos casos del grado de conocimiento de dichos peligros y de la metodología utilizada en su estudio. Esto hace fundamental la elección de una adecuada metodología de estudio y cartografía.

En el caso de la dinámica litoral no existe una metodología normalizada para la cartografía de los riesgos asociados (en este texto, el término "riesgo" se usa con el mismo significado que el de "peligro", en inglés "hazard"). Si bien abundan los estudios puntuales centrados en riesgos concretos, los estudios que analicen y evalúen de manera integrada y sistemática el conjunto posible de riesgos asociados a la dinámica litoral a escala regional, son muy escasos. En el contexto internacional cabe destacar, entre otros, los trabajos realizados en la costa sur del Reino Unido en el proyecto de la Comunidad Europea RESPONSE (2006), y también los llevados a cabo en las costas

hawaianas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2002). En España no se conocen trabajos similares. La Región de Murcia (Figura 1) es la primera comunidad autónoma de España en la que se realizan este tipo de estudios y cartografías a escala regional.

El principal objetivo de este trabajo es presentar las bases metodológicas para el estudio y cartografía de los riesgos asociados a la dinámica litoral a escala 1:25.000. Esta metodología se aplica en el litoral de Murcia. Asimismo, se exponen algunos aspectos básicos, considerados de especial relevancia para abordar este tipo de investigaciones.

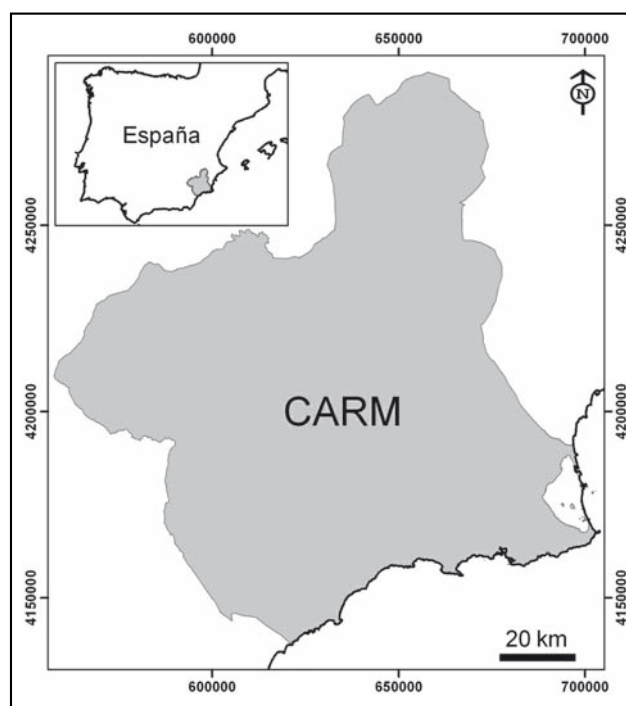


Figura 1. Localización de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM) al sureste de España.

ASPECTOS BÁSICOS

El litoral

Las características físico-naturales, y ciertos criterios derivados de los sistemas jurídico y administrativo de las áreas litorales (coastal zones), permiten realizar diferenciaciones espaciales que facilitan el análisis geográfico de las mismas. Existen varias clasificaciones en función de los diferentes programas o planes de gestión. En este sentido, el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas propone un perfil topográfico idealizado en el que se representan los ámbitos diferenciados del área litoral (Figura 2): aguas oceánicas (ocean waters), aguas litorales (coastal waters), espacio intermareal (intertidal area), borde litoral (coastline), frente litoral (oceanfront or shorelands area),

tierras litorales (*coastal uplands*) y tierras continentales (*inland*) (Barragán, 2004).

En este trabajo el término litoral se utilizará preferentemente para hacer referencia a la zona comprendida entre el nivel de marea más bajo (nivel inferior del espacio intermareal) y el nivel alcanzado por el oleaje de fuertes tormentas, en coinci-

dencia con mareas excepcionalmente altas, que afecta al frente litoral. En un perfil típico de playa esta zona (*shore* en inglés) comprende las subzonas denominadas *backshore* y *foreshore* (Carter, 1988). En la Figura 3 se muestran varios perfiles típicos del litoral correspondientes a playas, acantilados y zonas de desbordamiento con los principales términos en inglés.

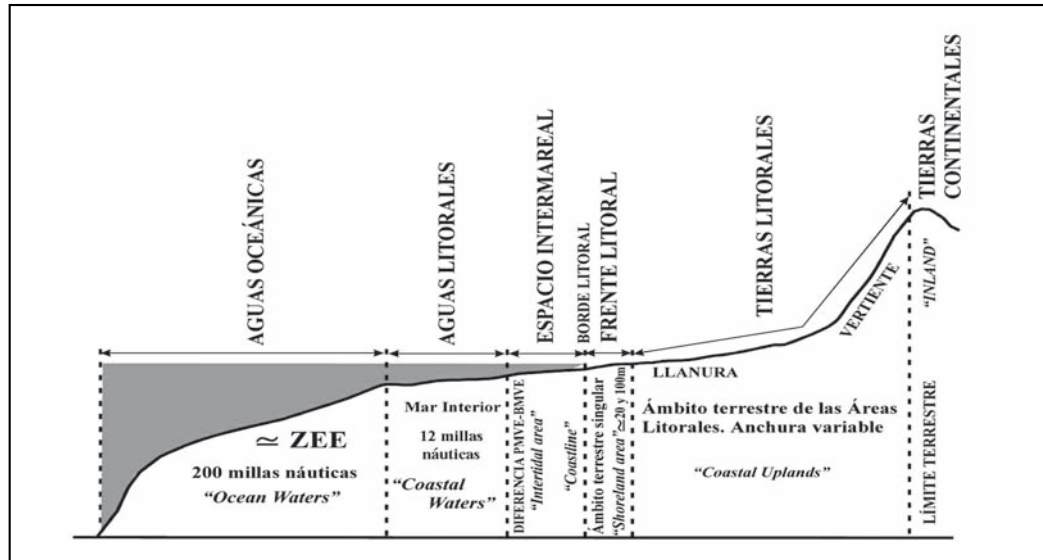


Figura 2. Ámbitos diferenciados del área litoral (Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas -UNEP, 1995-, tomado de Barragán, 2004).

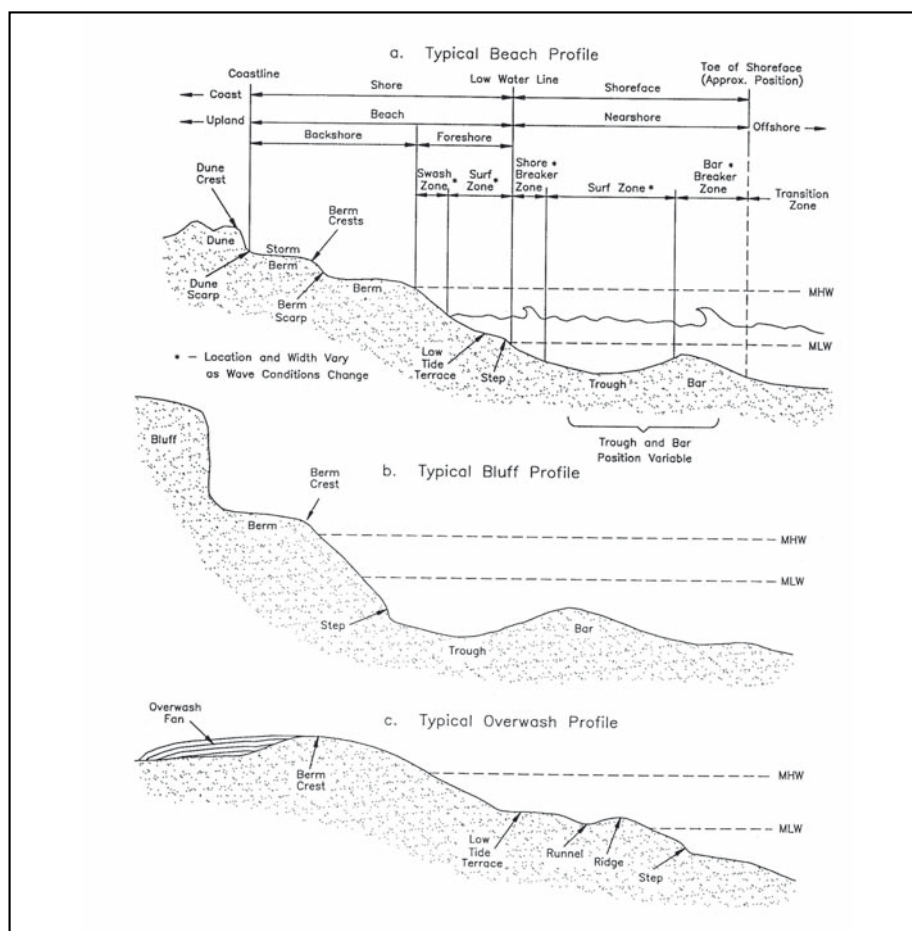


Figura 3. Perfiles típicos de playas (a), acantilados (b) y zonas de desbordamiento (c) con la terminología original (USACE, 2011).

Riesgos asociados a la dinámica litoral

Los riesgos asociados a la dinámica litoral son variados. Por un lado, las zonas emergidas pueden verse sometidas a peligros geológicos característicos de las áreas continentales (sismicidad, vulcanismo, movimientos de ladera, avenidas e inundaciones fluviales, etc.). Por otro lado, las zonas litorales también se ven afectadas por la acción de agentes marinos (viento, oleaje, mareas y corrientes), que se traducen en grandes olas asociadas a temporales, subidas y bajadas rítmicas de la marea, y variaciones del nivel del mar a diversas escalas. A toda esta problemática se superponen los posibles escenarios relacionados con el cambio climático, destacando su posible implicación en el ascenso del nivel del mar y el aumento de la frecuencia y/o severidad de temporales. Además, determinados riesgos, como es el caso de los movimientos de ladera (y más concretamente de los desprendimientos), pueden verse incrementados con la acción de los agentes marinos que erosionan el pie de los acantilados. Otros riesgos que pueden afectar al litoral son los tsunamis, grandes olas destructivas, generadas por terremotos en la mayoría de los casos (y en menor medida por deslizamientos, actividad volcánica, etc.). La ocurrencia de todos estos fenómenos puede derivar en dos riesgos fundamentales que afectan a la zona litoral: inundación costera y erosión/acreción costera (Figura 4).

Las características geológicas y geomorfológicas de la costa condicionarán la incidencia de los procesos en la zona litoral. Cada tipo de costa tendrá una posible respuesta ante los factores desencadenantes. Por ejemplo, las costas sedimentarias o deposicionales presentarán mayor susceptibilidad a sufrir inundaciones y erosión costera, mientras que las costas acantiladas presentarán mayor susceptibilidad a sufrir movimientos de

ladera. Por otra parte, la ocupación de la costa y los procesos de urbanización, desarrollo turístico e industrial implican modificaciones de la franja costera y también pueden influir de manera determinante en el funcionamiento del sistema litoral y en la incidencia de los riesgos.

Los diferentes factores y procesos que afectan al litoral actúan de manera simultánea. Sin embargo, su ritmo de actuación varía, así como el alcance geográfico de sus efectos. En general, se distingue entre cambios a corto plazo (escala hidrodinámica), cambios a medio plazo (escala ingenieril) y cambios a largo-muy largo plazo (escala geológica). En la Figura 5 se muestra el ámbito de actuación temporal y espacial de los factores involucrados en la erosión costera.

ZONA DE ESTUDIO

La Región de Murcia se encuentra al sureste de la Península Ibérica, formando parte de la costa mediterránea (Figura 1). Presenta unos 300 km de costa (incluyendo islas). Desde el punto de vista geomorfológico, el litoral murciano se puede dividir en dos grandes sectores. El sector meridional, con directrices NE-SO y E-O, se caracteriza por la presencia de playas extensas y abiertas al oleaje y la alternancia de sistemas de rambla-delta, reducidas calas y abruptos acantilados. Por otra parte, el sector oriental, de orientación N-S, está constituido por el sistema playa-lagoon-isla barrera de La Manga-Mar Menor, caracterizado por la presencia de playas arenosas continuas y anchas. El litoral se distribuye de la siguiente manera: el 22% son acantilados altos (>20 m), 11% acantilados medios (2-20 m), 7% costas bajas (<2 m), 29% playas naturales, 23% obras marítimas y 8% playas artificiales.

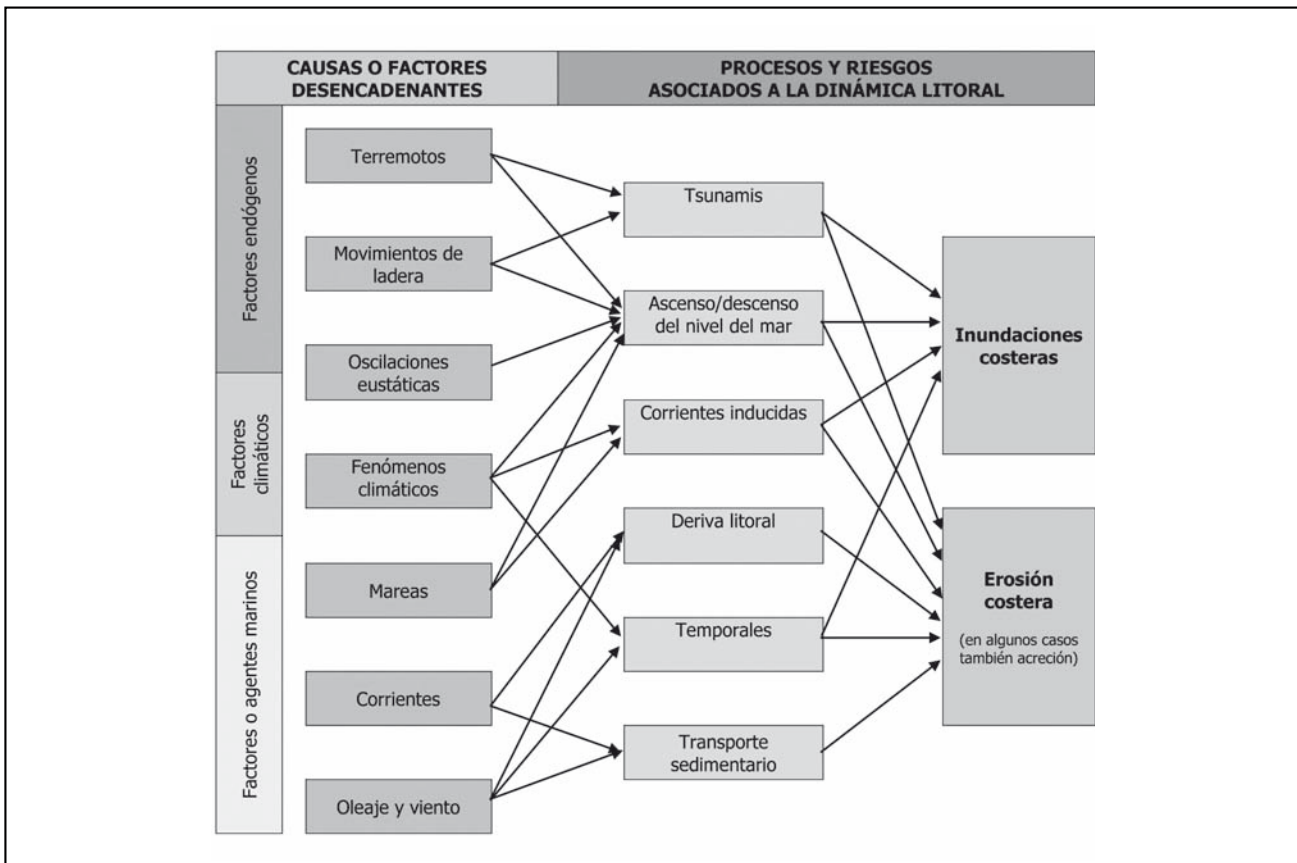


Figura 4. Riesgos asociados a la dinámica litoral y factores implicados (modificado de NZCCO, 2004).

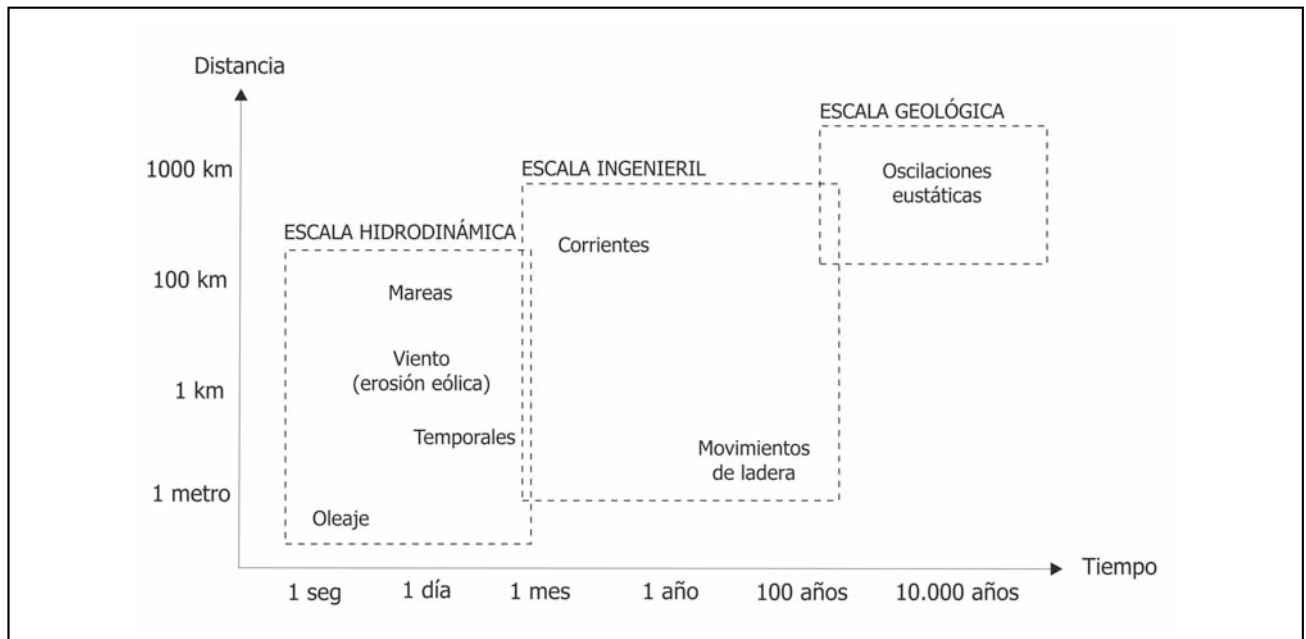


Figura 5. Modelo de la distribución espacial y temporal de la ocurrencia y los efectos de los agentes implicados en la erosión costera (modificado de EUROSION, 2004).

METODOLOGÍA

La metodología que se presenta en este trabajo, se basa en dos aspectos fundamentales: por un lado el estudio de los factores implicados y los riesgos asociados a la dinámica litoral; y por otro, la cartografía de los mismos (Seisdedos *et al.*, 2012). Ambas partes de la investigación (estudio y cartografía) están íntimamente relacionadas (Figura 6).

En la primera fase del estudio, tras el reconocimiento de campo, se analizan los siguientes aspectos: geomorfología litoral, procesos litorales, sucesos históricos y actuaciones humanas. Estos aspectos se representan en sus correspondientes cartografías:

mapa geomorfológico, mapa de procesos litorales, mapa de sucesos históricos, etc.

En una segunda fase, el estudio se centra en el análisis de los riesgos asociados a la dinámica litoral. En esta etapa se ha prestado especial atención al análisis de inundaciones costeras, erosión costera, ascenso del nivel del mar, tsunamis, y riesgos propios de zonas continentales que pueden afectar especialmente al litoral, como los movimientos de ladera y las inundaciones o avenidas fluviales. El estudio de estos riesgos se realiza a partir del análisis de la información disponible y la aplicación de metodologías específicas para tales fines (ver apartado siguiente).

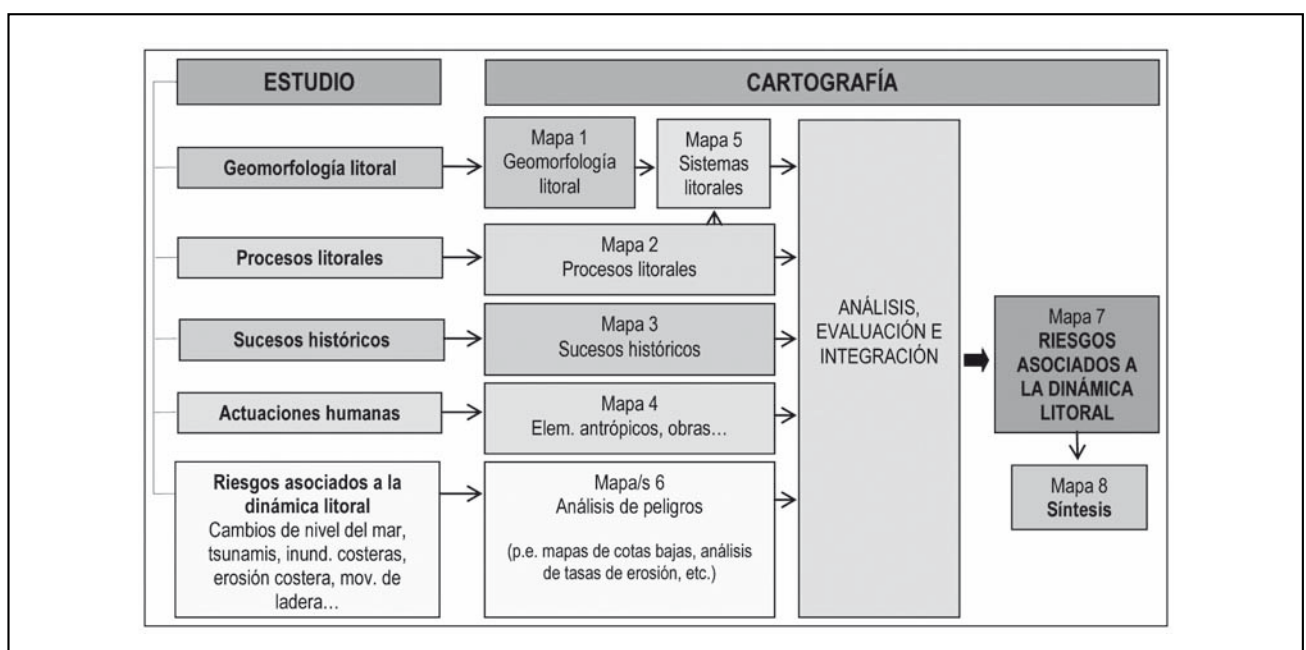


Figura 6. Esquema de la metodología de estudio y cartografía de los riesgos asociados a la dinámica litoral.

Posteriormente se analizan e integran los resultados obtenidos, realizando una evaluación de los aspectos anteriores, y se obtienen los mapas de peligrosidad. Para estos mapas se ha propuesto un sistema de representación cartográfica en franjas paralelas, basado en el empleado por el *USGS (2002)*, que facilita el reconocimiento e interpretación de las características del litoral estudiado y los peligros que le pueden afectar. Finalmente, en la última fase del estudio, se elaboran los mapas de síntesis de los resultados y se establecen las conclusiones. La utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de estos mapas facilita en gran medida las tareas de edición, análisis, evaluación y publicación de las cartografías resultantes. Asimismo disponer de estos datos y resultados en formato SIG puede ser de utilidad en la elaboración de planes de ordenación u otras investigaciones.

FACTORES Y RIESGOS ANALIZADOS

Geomorfología litoral

El reconocimiento de campo de las características geomorfológicas costeras es fundamental para el estudio de los riesgos asociados a la dinámica litoral (Figura 7). Los mapas geomorfológicos proporcionan información relevante sobre las formaciones superficiales, entre las que destacan las asociadas a la dinámica litoral (playas, acantilados, terrazas marinas, plataformas rocosas, cordones litorales, marismas, abanicos deltaicos, dunas fósiles, etc.). Teniendo en cuenta las características geomorfológicas del litoral, y los datos del reconocimiento de campo, se realizan los mapas de “sistemas litorales”. En estos mapas se agrupan los elementos geomorfológicos de acuerdo con su posible respuesta a los factores desencadenantes.

Procesos litorales

Para el estudio de los procesos litorales se ha de realizar un análisis del clima marítimo. Bajo esta denominación se incluyen los principales agentes dinámicos modeladores de la costa: viento, oleaje, mareas y corrientes (Figura 8). Las redes de boyas oceanográficas (aguas profundas y aguas someras) proporcionan valiosa información sobre estos agentes. También puede obtenerse información sobre viento, corrientes, oleaje, etc. en diversos organismos públicos (Puertos del Estado, Instituto Español de Oceanografía, Agencia Estatal de Meteorología, entre otros). Por otra parte, las características del fondo oceánico son un factor primordial en la incidencia de los procesos litorales, ya que inciden en el proceso de asomeramiento del oleaje, provocando una rápida disipación, o bien una acen-

tuación del aumento de su altura. Por este motivo también hay que analizar la batimetría de la plataforma continental.

Actuaciones humanas

La influencia antrópica es determinante en el funcionamiento del sistema litoral. La ocupación de la costa y los procesos de urbanización y desarrollo turístico implican modificaciones de la franja costera mediante la construcción de diversos tipos de obras (espigones, diques, muros de contención, etc.). Asimismo, resulta de utilidad estudiar la ocupación de la costa a partir de datos demográficos, urbanísticos y turísticos y examinar las zonas que han sufrido mayor modificación. La comparación de ortofotografías de distintos años proporciona información de interés en este sentido (Figura 9). Por otra parte, conviene considerar otros elementos, como los usos industriales en la costa y los posibles efectos derivados de la construcción de embalses en las cuencas fluviales que vierten a la zona de estudio.

Sucesos históricos

Los registros de eventos históricos proporcionan información muy valiosa sobre la incidencia de los procesos litorales. Es importante realizar un trabajo de búsqueda y recopilación de los temporales, avenidas, inundaciones, tsunamis, etc. que hayan tenido lugar en la zona estudiada, ya que proporciona una visión general de los principales peligros que pueden afectar al litoral (Figura 10). No obstante, hay que tener en cuenta que toda recopilación de sucesos históricos está sujeta a ciertas limitaciones, ya que el registro de eventos se produce casi exclusivamente en lugares poblados en los que la exposición a los riesgos es importante, y además los registros pueden ser inaccesibles, imprecisos o haberse perdido.

Ascenso del nivel del mar

En este caso se considera el ascenso del nivel del mar relacionado directamente con el actual calentamiento del sistema climático. En este sentido, conviene conocer las posibles tendencias futuras de cara a una planificación efectiva de los usos del territorio. Existe numerosa bibliografía sobre el cambio climático, con estudios que reconstruyen los niveles del mar de las últimas décadas en zonas específicas (Figura 11) y calculan las tasas de ascenso o descenso que se han registrado, permitiendo estimar su posible evolución. Destaca, en ese sentido, el *Permanent Service for Mean Sea Level* (www.psmsl.org), un servicio de acceso libre que recopila series temporales de registro del nivel del mar procedentes de mareógrafos repartidos por los principales puertos del mundo.

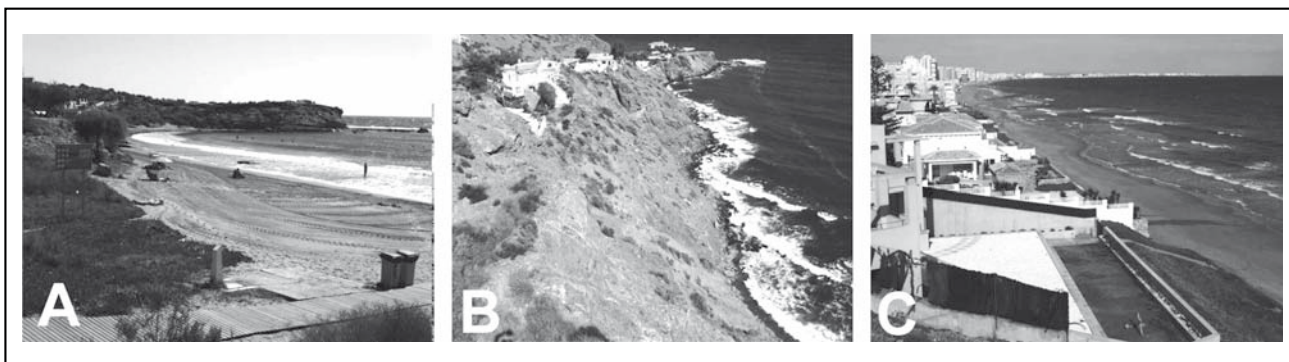


Figura 7. Fotografías del reconocimiento de campo que muestran distintos sistemas litorales de la Región de Murcia (España): A) alternancia de playas y acantilados medios, B) acantilados altos y C) playas largas y rectilíneas.

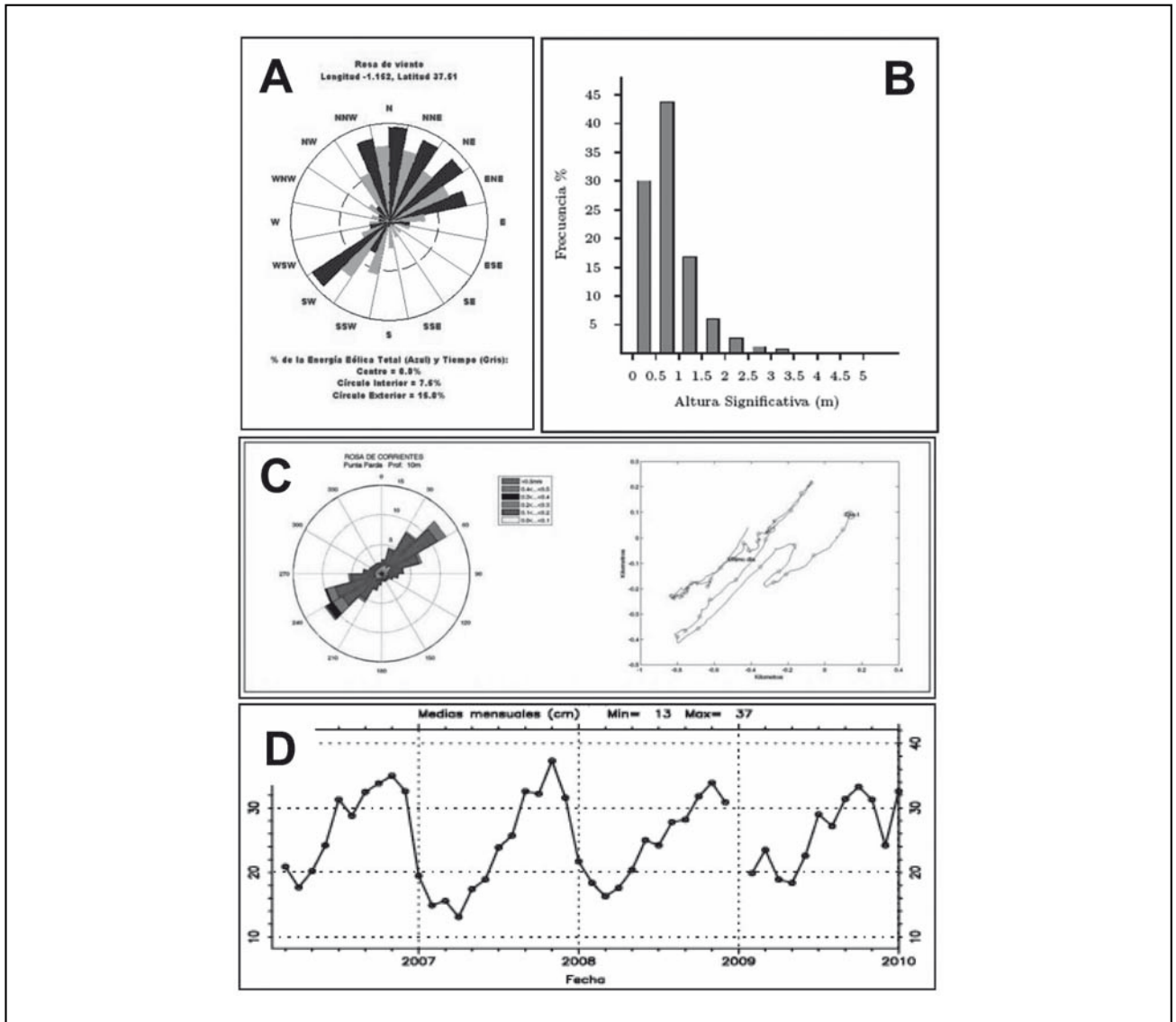


Figura 8. Ejemplos de: rosa de vientos (A), histograma de altura de olas (B), rosa y hodógrafo de corrientes (C) y registro de un mareógrafo (D) que caracterizan el clima marítimo de la Región de Murcia (España) (www.atlaseolico.idae.es, www.puertosdeestado.es).

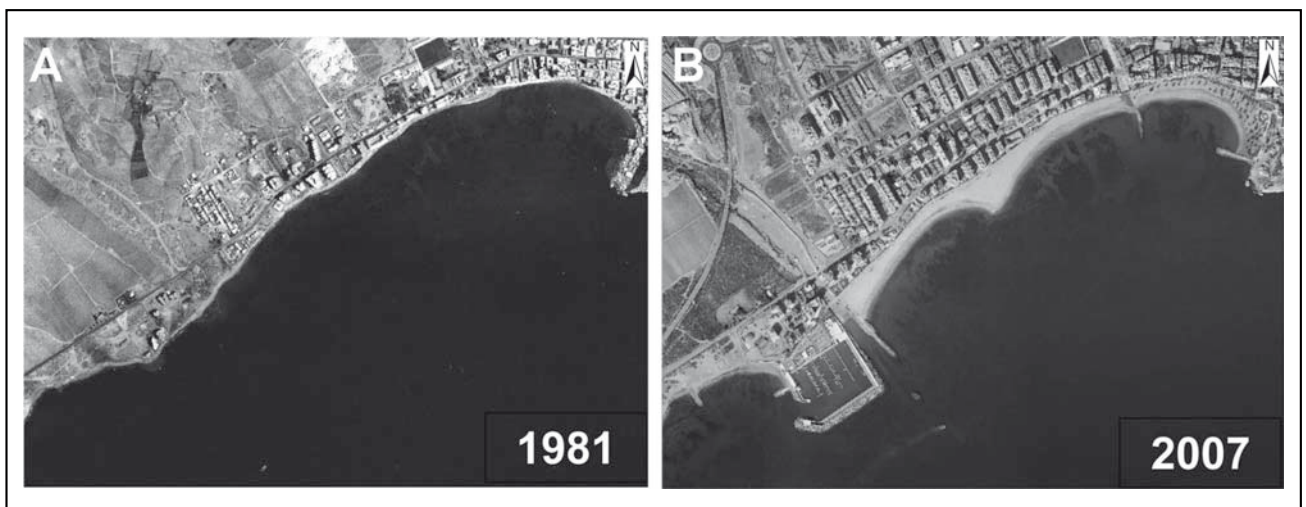


Figura 9. Comparación de fotografías aéreas de dos años de una de las localidades costeras de la Región de Murcia (España) (www.cartomur.com).

Tsunamis

Es necesario realizar una búsqueda de información existente sobre tsunamis históricos que hayan afectado el litoral estudiado (Tabla 1). La peligrosidad por tsunamis se evalúa partiendo del análisis de las posibles fuentes de generación de

tsunamis (terremotos, en la mayoría de los casos) y la simulación numérica de posibles eventos; así se obtienen estimaciones del grado de amenaza en las costas (Murty *et al.*, 2005).

Inundaciones costeras

Las inundaciones costeras se producen por la ocupación de zonas emergidas por agua del mar (las producidas por ríos que se desbordan cerca de su desembocadura se incluyen en el apartado de inundaciones fluviales). La causa más frecuente de las inundaciones costeras son los temporales marítimos, en los que se superponen grandes olas con niveles del mar excepcionalmente altos asociados a bajas presiones atmosféricas y



Figura 10. Daños producidos tras un temporal ocurrido en 2010 en la Región de Murcia (España) (www.larazon.es, www.laverdad.es).

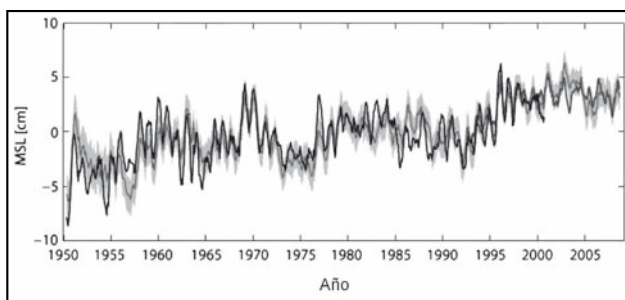


Figura 11. Reconstrucción del nivel medio del mar (MSL, mean sea level) en el Mediterráneo occidental durante el periodo 1950-2008 (Calafat y Jordà, 2011).

Tabla 1: Tsunamis registrados en el Mediterráneo occidental y en España recogidos en el catálogo de tsunamis del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es).

Fecha	Localización	Descripción
-218	Cádiz	Tsunami en Cádiz
-210	Cádiz	Inundación en Cádiz
-60	Portugal	Costas inundadas
10/06/881	Cádiz	Retirada del mar en S España
05/05/1706	Islas Canarias	Retirada/inundación en Garachico
01/11/1755	SW Portugal	Tsunami catastrófico en el sur de la península Ibérica
02/11/1755	SW Portugal	Gran flujo y reflujo en Gibraltar
16/11/1755	Coruña	Flujo/reflujo del mar en La Coruña
31/01/1756	Baleares	Costas inundadas
09/10/1790	Mar Alborán	Inundación de Costas españolas y africanas
13/01/1804	Mar Alborán	Retirada del mar en la provincia de Almería
21/08/1856	Argelia	Retirada/inundación del mar en Jijel
22/08/1856	Argelia	Inundación en Jijel y Bougie
29/01/1885	Argelia	Cambio del nivel del mar en las costas de Argelia
15/01/1891	Argelia	Retirada del mar
09/09/1954	Mar Alborán	Registrado por mareógrafos
28/02/1969	Banco Gorringe	Registrado por mareógrafos
26/05/1975	AGFZ	Registrado por mareógrafos
14/08/1978	Cádiz	Registrado por un mareógrafo
10/10/1980	Argelia	Registrado por mareógrafos
21/05/2003	Argelia	Daños en embarcaciones en Baleares y costa peninsular
27/05/2003	Argelia	Variación nivel mar 10-15 cm en Mahón y Palma

vientos soplando hacia la costa (*storm surge*). No obstante, como se mencionó anteriormente, las causas de las inundaciones costeras pueden ser variadas y estar asociadas a diversos fenómenos (Figura 4). Los mapas de cotas bajas son de gran utilidad para determinar las zonas potencialmente inundables (Figura 12). El estudio y cartografía de las inundaciones costeras se basa también en el análisis de la geomorfología, los procesos litorales y los sucesos históricos (Benavente et al., 2006).

Erosión costera

La pérdida de sedimentos, característica de la erosión costera, se debe a la incidencia de los procesos litorales (corrientes, oleaje, viento, mareas, etc.) en determinados sistemas, especialmente costas arenosas. La erosión costera a medio plazo se puede analizar mediante la comparación de ortofotografías y la aplicación informática DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Esta aplicación, desarrollada por el USGS para el software ArcGIS, proporciona las tasas de erosión o acreción costera a partir de la posición de las líneas de costa de diversos años (Thieler et al., 2009) (Figura 13).

Movimientos de ladera

Se trata de un riesgo relacionado con los relieves costeros y que se ve acentuado por la acción de los procesos litorales (Figura 14). La metodología para la elaboración de los mapas de susceptibilidad por movimientos de ladera, ampliamente aceptada (Remondo et al., 2003), se basa en el estudio de los movimientos observados en el terreno, el análisis de los factores condicionantes (litología, pendiente, etc.) y la tipología de los

movimientos (desprendimientos, deslizamientos, etc.). No obstante, en las zonas litorales también hay que considerar los factores relacionados con la dinámica litoral.

Inundaciones fluviales

Las avenidas e inundaciones fluviales suponen un peligro para la zona litoral, aunque también se trata de fenómenos más terrestres que costeros. La metodología de estudio de inundaciones fluviales, también ampliamente aceptada (Díez-Herrero et al., 2008), se basa en el análisis de inundaciones históricas, datos geomorfológicos, precipitaciones y caudales para la elaboración del mapa de peligrosidad. Los efectos de las inundaciones fluviales, producidas por intensas precipitaciones, pueden superponerse a los producidos por inundaciones costeras por temporales marítimos, suponiendo un mayor peligro para el litoral.

CARTOGRAFÍA

A diferencia de lo que ocurre en las cartografías deismicidad, inundaciones o movimientos de ladera, en el caso de los riesgos costeros no existen criterios de representación consensuados. Una de las representaciones cartográficas más completas de los riesgos asociados a la dinámica litoral es la empleada por el USGS (2002). En sus mapas, los rangos de peligrosidad se representan en una serie de franjas adosadas paralelas a la costa para cada peligro. En este trabajo se ha considerado un sistema de representación similar, con algunas variaciones dadas las características de la zona de estudio. En la Figura 15 se muestra el sistema de representación propuesto.

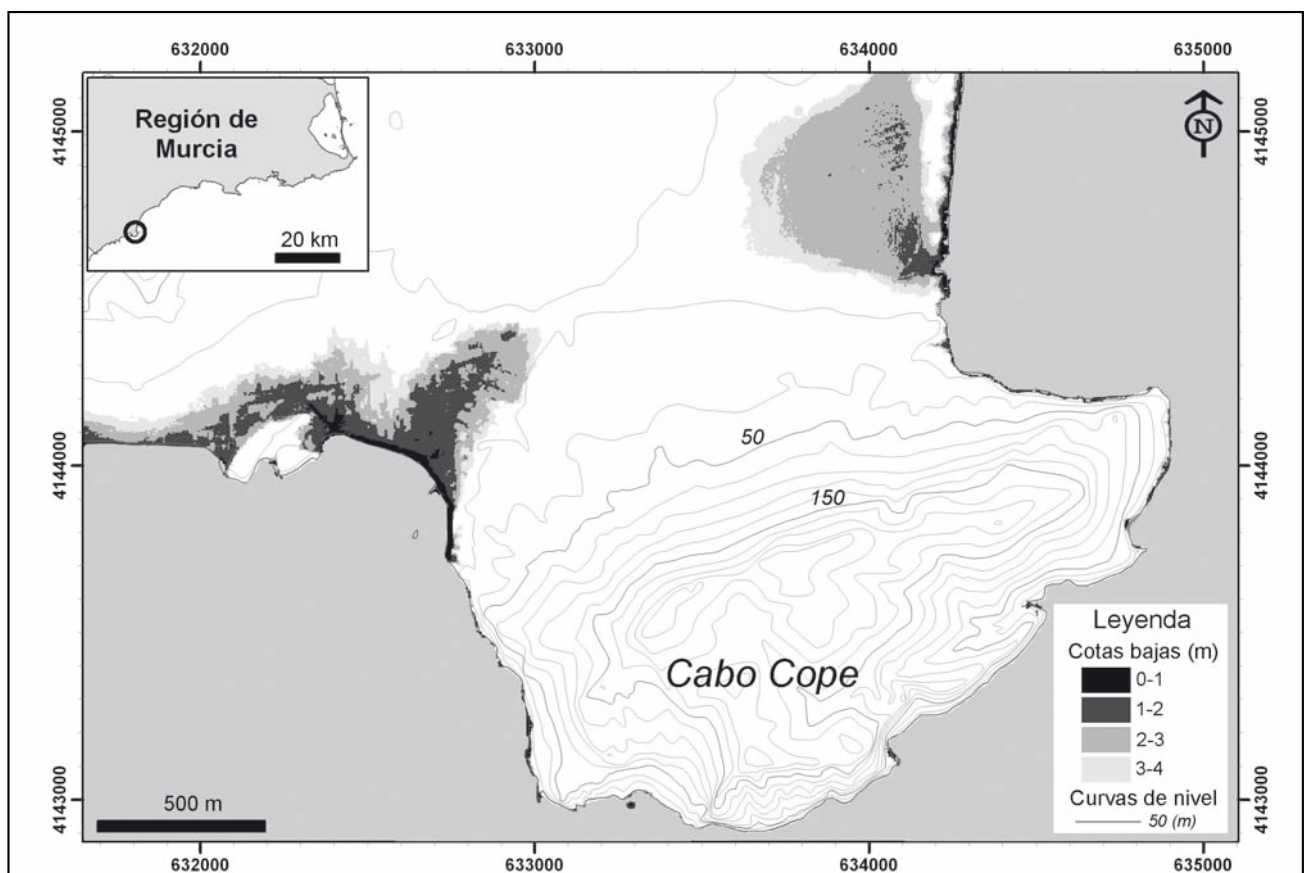


Figura 12. Mapa de cotas bajas de una zona de la Región de Murcia (España) obtenido a partir de los datos de un vuelo fotogramétrico digital y el correspondiente levantamiento LIDAR. Se observan las zonas más vulnerables ante inundaciones costeras (zonas más oscuras).

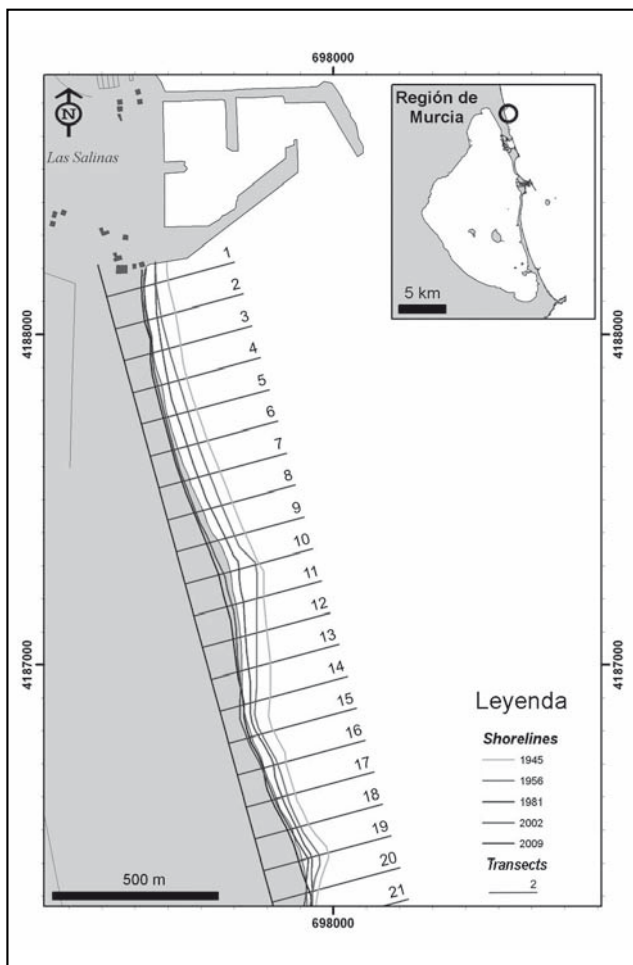


Figura 13. Análisis mediante la aplicación DSAS de una zona de la Región de Murcia (España). Se observan las líneas de costa (shorelines) de diversos años (entre 1945 y 2009), la línea base y los transeptos de análisis numerados.

En las dos primeras franjas se representan las características geomorfológicas de la costa: sistema litoral (acantilado alto, acantilado medio, costa baja, playas, obras marítimas y playas artificiales) y la pendiente (<math><10^\circ</math>, $10-25^\circ$, $>25^\circ$). Por otra parte, en las siguientes franjas se presenta una valoración de los riesgos que pueden afectar al litoral. En este caso: inundaciones costeras, inundaciones fluviales, movimientos de ladera y erosión costera. Los riesgos se han evaluado teniendo en cuenta los factores involucrados, empleando árboles de decisión y criterio de expertos. Se han considerado 4 intervalos de intensidad relativa para la valoración de cada riesgo (nulo-muy bajo, bajo, medio y alto). Finalmente, en la última franja se presenta una valoración global de los riesgos, clasificada en 5 intervalos (nula-muy baja, baja, media, alta y muy alta). En los mapas de síntesis, sólo se representaría esta franja sobre la línea de costa.

CONSIDERACIONES FINALES

En este artículo se presentan las bases metodológicas para el estudio y cartografía de riesgos costeros a escala 1:25.000. Esta metodología se fundamenta en el análisis de los riesgos asociados a la dinámica litoral: inundaciones, erosión, ascenso del nivel del mar, tsunamis y otros riesgos procedentes de tierra, y de los factores implicados: geomorfología litoral, procesos litorales, sucesos históricos y actuaciones humanas. A partir del análisis y cartografía de los citados riesgos y factores, y su posterior evaluación e integración, se obtienen los mapas de riesgos. Para su representación se utiliza un sistema en franjas paralelas a la costa para cada riesgo. En estas franjas también se representan las principales características geomorfológicas del litoral y la valoración conjunta del riesgo, resultando un sistema muy adecuado para el reconocimiento de los riesgos que pudieran darse en el litoral. La metodología y representación cartográfica desarrolladas proporcionan datos fundamentales para la planificación territorial y la prevención de riesgos en zonas costeras.

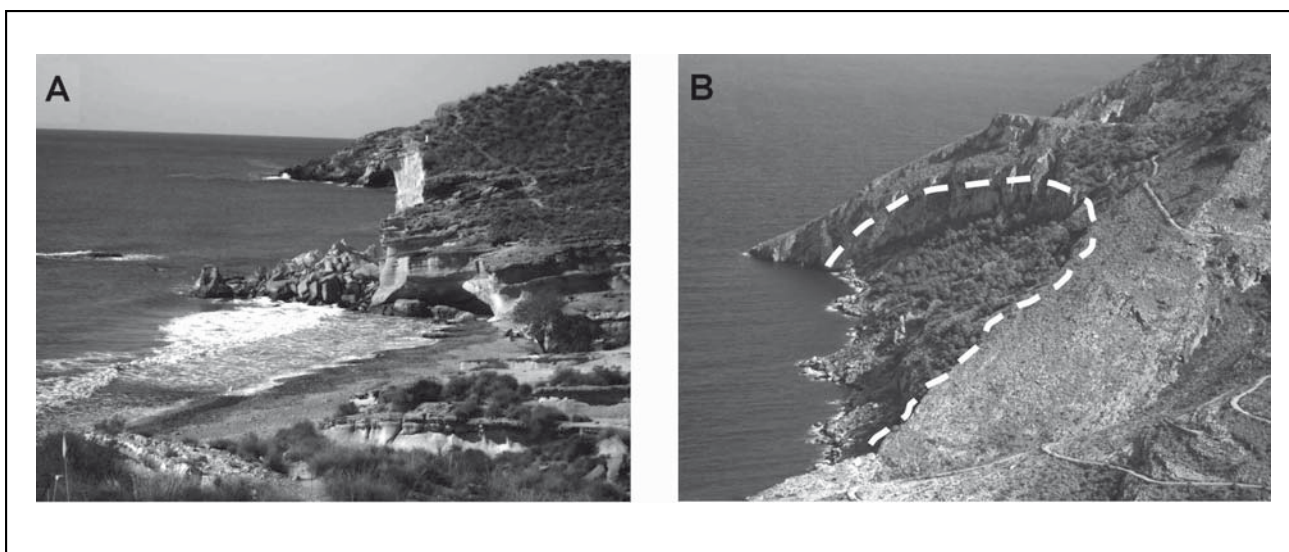


Figura 14. Distintos movimientos de ladera observados en el litoral de la Región de Murcia (España): A) desprendimiento, B) deslizamiento.

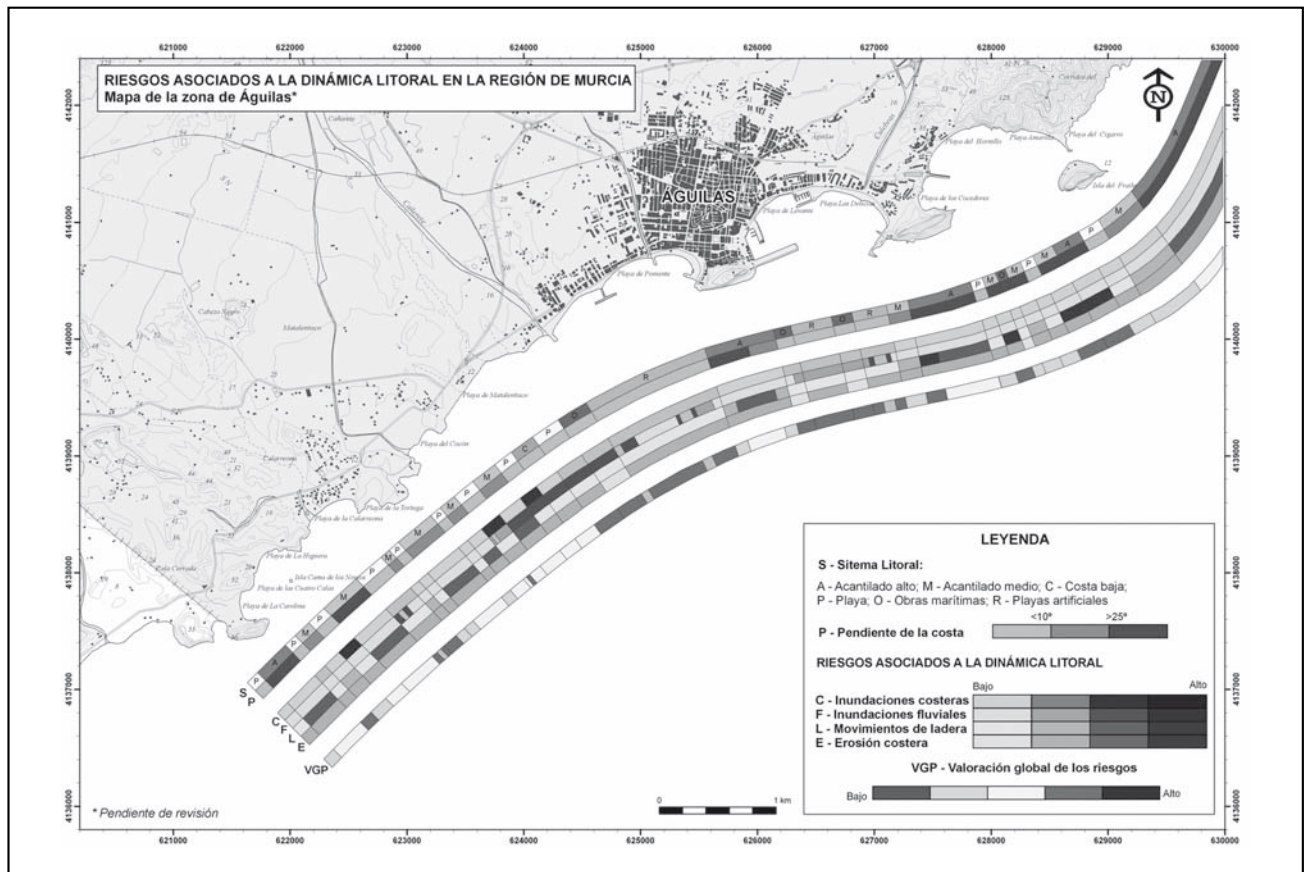


Figura 15. Representación cartográfica de los riesgos asociados a la dinámica litoral. Las franjas muestran la información referente a la geomorfología de la costa y la valoración de los riesgos asociados a la dinámica litoral.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto “Estudio y cartografía de los peligros geológicos en la Zona Litoral de la Región de Murcia”, realizado, bajo la dirección del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en convenio con la Consejería

de Obras Públicas y Ordenación del Territorio (COPOT) de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM). Los autores agradecen a la COPOT y al IGME las facilidades proporcionadas y su implicación en el estudio de los riesgos geológicos en la Región de Murcia.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AYALA, F.J., OLCINA, J., VILAPLANA, J.M., 2004.
Impacto social y económico de los riesgos naturales en España en el periodo 1990-2000.
En: Gerencia de riesgos y seguros. Fundación Mapfre Estudios, 85: 17-29. Disponible en: www.mapfre.com
- BARRAGÁN, J.M., 2004.
Las áreas litorales de España: del análisis geográfico a la gestión integrada.
Ariel, 214 pp. Barcelona. Disponible en: www.uca.es
- BENAVENTE, J., DEL RÍO, L., GRACIA, F.J., MARTÍNEZ, J.A., 2006.
Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cádiz Bay Natural Park, SW Spain).
Continental Shelf Research, 26: 1061-1076.
- CALAFAT, F.M., JORDÀ, G., 2011.
A Mediterranean sea level reconstruction (1950-2008) with error budget estimates.
Global and Planetary Change, 79: 118-133.
- CARTER, R.W.G., 1988.
Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines.
Academic Press, 617 pp. Londres.
- DABRIO, C.J., ZAZO, C., 1987.
Riesgos geológicos en zonas litorales.
En F.J. Ayala; J.J. Durán y T. Peinado (coords.): Riesgos geológicos, IGME, 227-250 pp. Madrid.

- DE ANDRÉS, J.R., GRACIA, F.J., 2002.
La franja litoral: riesgos y protección.
En F.J. Ayala y J. Olcina (Coords.), *Riesgos naturales. Ariel*, 1023-1057 pp. Barcelona.
- DÍEZ-HERRERO, A., LAÍN-HUERTA, L., LLORENTE-ISIDRO, M., 2008.
Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones.
Guía metodológica para su elaboración. IGME, 190 pp. Madrid.
- EUROSION, 2004.
Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability.
Directorate General Environment. European Commission. Reports-online 4. Disponible en: www.euroSION.org
- FLOR, G., 2004.
Geología Marina.
Servitec, 644 pp. Oviedo.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., AYALA, F., ELIZAGA, M., 1988.
Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España.
IGME, 111 pp. Madrid.
- MURTY, T.S., RAO, A.D., NIRUPAMA, N., NISTOR, I., 2005.
Numerical modelling concepts for the tsunami warning systems.
Current Science, 90(8): 1073-1081.
- NZCCO, 2004.
Coastal hazards and climate change. A guidance manual for local government in New Zealand.
New Zealand Climate Change Office, Ministry for the Environment. Disponible en: www.mfe.govt.nz
- REMONDO, J., GONZÁLEZ, A., DÍAZ DE TERÁN, J.R., FABBRI, A., CENDRERO, A., CHUNG, C.F., 2003.
Validation of landslide susceptibility maps: examples and applications from a case study in northern Spain, pp 437-449
In CHACÓN, J.; COROMINAS, J. Editores. "Landslides and GIS" Special Issue. *Natural Hazards*, 30:3 pp 263-512.
- RESPONSE 2006.
The experiences of the five European Coastal Study Areas and their full sets of coastal evolution and risk maps
(Case Study: Central-Southern Coast, England, UK). En: RESPONSE project CD-ROM.
Disponible en: www.coastalwight.gov.uk/response.htm
- SEISDEDOS, J., MULAS, J., GRACIA, F.J., DEL RÍO, L., RODRÍGUEZ, J.A., PARDO, J.M., GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I., 2012.
Metodología de estudio y cartografía de los peligros naturales asociados a la dinámica litoral.
Aplicación a la Zona Litoral de la Región de Murcia.
VIII Congreso Geológico de España, Oviedo.
- SMALL, C., NICHOLLS, R.J., 2003.
A global analysis of human settlement in coastal zones.
Journal of Coastal Research, 19: 584-599.
- THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., ERGUL, A., 2009.
Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S.
Geological Survey Open-File Report 2008-1278. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>
- USACE (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS), 2011.
Coastal Engineering Manual (CEM).
Engineer Manual - EM 1110-2-1100. Disponible en: <http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>
- USGS (U.S. GEOLOGICAL SURVEY), 2002.
Atlas of Natural Hazards in the Hawaiian Coastal Zone.
Geologic Investigations Series I-2761. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/imapi/i2761/i2761.pdf>