

Estudio y cartografía de los peligros naturales costeros de la región de Murcia

J. Seisdedos⁽¹⁾, J. Mulas⁽²⁾, L. I. González de Vallejo^(1, 3), J. A. Rodríguez Franco⁽¹⁾, F. J. Gracia⁽⁴⁾, L. del Río⁽⁴⁾ y J. Garrote⁽³⁾

(1) Prospección y Geotecnia S.L., Pedro Muguruza 1, 28036 Madrid

(2) Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid

(3) Dpto. de Geodinámica, Fac. de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Antonio Novais 2, 28040 Madrid

(4) Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real (Cádiz)

j.seisdedos@gmail.com; j.mulas@igme.es; vallejo@geo.ucm.es; angel@prospeccionygeotecnia.com
javier.gracia@uca.es; laura.delrio@uca.es; juliog@geo.ucm.es

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 presenta una metodología basada en el análisis detallado de los peligros naturales que pueden afectar al litoral: inundaciones, erosión costera, 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 peligros se evalúan e integran para la elaboración de un mapa final de susceptibilidad en el que se presenta la valoración tanto de cada peligro de forma individual, como del conjunto de los mismos. El sistema de representación cartográfica empleado, en franjas paralelas a la costa, facilita el reconocimiento e interpretación de las características del litoral estudiado y los peligros asociados. La metodología que se presenta ha sido aplicada a la zona litoral de la Región de Murcia, mostrándose de forma práctica su utilidad para el caso analizado y su posible aplicabilidad a otras regiones.

Palabras clave: cartografía, costa, geodinámica, Murcia, riesgo geológico

Study and mapping of natural hazards in the coastal zone of Murcia

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 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. This methodology is applied to the coastal zone of Murcia, showing its usefulness for studying and mapping coastal hazards and its applicability to other regions.

Key words: coast, geodynamics, geohazards, mapping, Murcia

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Introduction

In the last century the coastal zones have undergone a considerable development and the coastal hazards incidence has significantly increased. The coastal zones are exposed to flooding and coastal erosion processes,

and are highly vulnerable to extreme events, such as storms or tsunamis, that can cause significant losses. For these reasons, the study and mapping of coastal hazards are particularly important in territorial planning and risk prevention. However, despite the consequences and implications of coastal hazards, very few researches have been focused on their study and mapping, in a regional scale, and there is no standard methodology for this. On this point, Murcia is the first region of Spain in which this kind of analysis has been carried out, presenting a systematic mapping of the coastal hazards along the coastline.

Study area

The Murcia Region is located in the southeast of the Iberian Peninsula, as part of the Mediterranean coast (Fig. 1A). It presents a total of 315 km of coastline. From a geomorphological point of view, two major sectors can be distinguished in the coast of Murcia (Fig. 1B). The southern sector, from Punta Parida to Cabo de Palos, has extensive beaches open to the waves, and steep cliffs alternating with small coves. The eastern sector, from Cabo de Palos to El Mojón consists of the coastal lagoon of La Manga del Mar Menor, characterized by wide sandy beaches.

Methodology

The methodology applied in this research is based on two fundamental aspects: the analysis of the coastal hazards and the factors involved, and their mapping. Both parts of the research (study and mapping) are closely related (Fig. 2). Coastal geomorphology, coastal processes, historical events and human activities have been the factors analyzed and mapped in first place. Secondly, detailed analysis of the hazards affecting the coastal zone: floods, erosion, sea level rise, tsunamis and mass movements, has been carried out. A mapping system in strips parallel to the coast has been used. This system facilitates the recognition and interpretation of the coastal characteristics and the associated hazards.

Factors analyzed

Coastal geomorphology

The coastal landforms are a key element describing the natural system operating along a stretch of coastline. Considering the coastal landforms, geomorphological and coastal system maps has been prepared. In the coastal systems maps, the coastal landforms are grouped according to their potential to respond to the forcing factors. In the study area, the following coastal systems have been differentiated: rocky coast (high cliffs: >20 m, low cliffs: 2-20 m, low coasts: <2 m), natural and artificial beaches (regenerated) and coastal constructions (Fig. 3).

Coastal processes

For the study of the coastal processes, it is necessary to analyze the dynamic agents affecting the coast: wind, waves, tides and currents. Information of these factors has been obtained from different national agencies. It has been also considered the characteristics of the sea-floor. Taking into account these aspects, it has been established a relative classification of the coastal processes intensity in five levels: low, low-medium, medium, medium-high and high (Table 1).

Historical events

Records of historic and contemporary coastal hazards (storms, floods, tsunamis, etc.) are a good indicator of potential future hazards. Information of historical events in the study area has been collected (since 1800). There are records of 27 storms affecting the coast, the most important in November 1869. It has been also identified the problematic streams in their mouths and the mass movements observed in the coast.

Human activities

The human influence is an important factor in the operation of the coastal systems. The occupation of the coast involves modifications of the coastline (breakwaters, seawalls, groins, etc.). Several zones of the coast of Murcia have suffered major modifications. The comparison of aerial photographs from different years provides useful information about this (Fig. 4). It has been also analyzed demographical, urbanistical and touristical data.

Hazards analyzed

Coastal erosion

The coastal erosion has been analyzed through the comparison of orthophotos and the DSAS application (Digital Shoreline Analysis System), developed by the USGS for ArcGIS (Fig. 5). The shoreline variation rates have been classified as follows (negative values correspond to erosion and positive to accretion): high erosion (-2.1 to -1.2 m/year), low erosion (-1.2 to -0.4 m/year), stability (-0.4 to 0.5 m/year) and accretion (0.5 to 1.4 m/year).

Coastal flooding

Coastal flooding is caused by the episodic invasion of the emerged areas by sea water, mainly caused by storms. Maps of lower heights (<4 m) has been done from LIDAR data (Fig. 6). The coastal flooding assessment has been carried out, taking into account the geomorphological characteristics of the coast, the intensity of the coastal processes and the historical events, by means of a decision tree (Fig. 7).

Mass movements

This hazard, associated with the coastal relief, is accentuated by the action of the coastal processes, mainly waves. For the coastal mass movements assessment the following factors have been considered in a decision tree (Fig. 8): susceptibility to landslides, intensity of the coastal processes and historical events (slope movements identified).

Stream flooding

Although stream floods are continental origin phenomena, they represent an important hazard to the coast, being relatively common in the coast of Murcia. This hazard has been studied by means of stream flooding hazards maps. It has been considered four levels depending on the corresponding return period (T): high: $T \leq 100$ years; medium $100 < T \leq 500$ years; low $T > 500$ years, very low: no flood areas.

Tsunamis

For the evaluation of this hazard it is necessary to collect the information of historical tsunamis affecting the coastline. No tsunami has affected the coast of Murcia, although some numerical simulation researches show that it could be affected by tsunamis generated by seismic events in the north of Algeria. However, their probability is remote.

Sea level rise

This hazard considers the recent sea level rise, related to the current global warming. In this way, the future trends have been analyzed. The Mediterranean rise rates are lower than the world average. For the period 1950-2008, the western Mediterranean where the coast of Murcia is located, showed values between 0.5 and 0.7 mm/year.

Hazard map

It has been considered a coastal hazard representation system similar to that used by the USGS (2002), with some variations due to the nature of the study area. In these maps, hazard ranges are represented in strips parallel to the coast for each hazard.

Figure 9 shows the proposed system representation. The geomorphology of the coast (coastal system) and the slopes ($<10^\circ$, $10-25^\circ$, $>25^\circ$) are represented in the first two bands. The following strips include the assessment of the hazards affecting the coast: coastal flooding, stream flooding, mass movements and coastal erosion (tsunamis and sea level rise have not been included because of their low hazard level along the coast). Each hazard has been classified into 4 intervals (high, medium, low and very low-none), taking into account the factors involved, previously mentioned. Finally, the last strip shows the Overall Hazard Assessment (OHA), classified into 4 intervals: very high, high, medium and low. This assessment corresponds to the highest level obtained, being very high if two or more hazards are high. In the synthesis hazard maps only the OHA is represented over the coastline.

Results, discussion and conclusions

The results of the analysis are included in Table 2. Only 1% of the coast has very high Overall Hazard Assessment (OHA). The total length of the coast with high, medium and low OHA are relatively similar (33%, 34% and 30%), however differently distributed among the coastal systems (Table 2).

There are several limitations associated with this kind of research. The first one is related to the variety of information to be analyzed. The second one concerns to the difficulty to elaborate coastal hazard maps in which several processes, with different dynamics and temporal frequencies have to be considered. This makes that the obtained maps represent susceptibility rather than hazard. However, despite these limitations, the study and mapping carried out in this research is relevant and representative for several reasons. First, several data of the factors involved in coastal hazard have been considered. Moreover, each possible hazard has been particularly analyzed. Finally, the decision criteria applied have provided the relative hazard rates in an integrated and systematic way. Thus, the Overall Hazard Assessment (OHA) has been obtained, establishing four levels of susceptibility for the Murcia coastal zone. On the other hand, the representation system used for mapping facilitates the recognition of coastal features and the potential hazards that could affect it. Thus, this methodology provides the fundamental data for territorial planning and risk prevention in coastal areas.

Introducción

Las áreas litorales han experimentado un considerable desarrollo en el último siglo y la tendencia parece que continuará en los próximos años. El atractivo de la costa ha derivado en una rápida expansión de las actividades económicas, asentamientos urbanos y usos turísticos que han 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, la densidad media de población de los municipios costeros es de 350 hab/km², 4,5 veces superior a la media del conjunto nacional, 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, obras de emergencia, etc., y para el periodo 1986-2016, se han estimado pérdidas máximas por erosión costera superiores a 4000 millones de euros (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 la cartografía de los peligros asociados a la dinámica litoral resultan de especial importancia en la ordenación territorial y la prevención de riesgos. Sin embargo, a pesar de las consecuencias e implicaciones de los riesgos costeros, son escasos los trabajos centrados en su estudio y cartografía a escala regional, y no existe una metodología normalizada para abordar estos

aspectos. Si bien los estudios puntuales centrados en peligros concretos son frecuentes, los estudios en los que se analice y evalúe de manera integrada y sistemática el conjunto posible de peligros asociados a la dinámica litoral, son muy escasos. En el contexto internacional cabe destacar, entre otros, los trabajos llevados a cabo en las costas hawaianas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2002), y también los realizados en la costa sur del Reino Unido en el proyecto de la Comunidad Europea RESPONSE (2006). En España se han abordado aproximaciones parciales al problema, como el análisis de la vulnerabilidad costera de Andalucía ante la potencial subida del nivel del mar, plasmada en forma de diversas cartografías temáticas y que incluye las tendencias recientes de la línea de costa, así como una clasificación de sus costas rocosas en función de su vulnerabilidad, entre otros aspectos (Méndez, 2011). Otro ejemplo es el estudio sobre el estado de las costas de Cataluña llevado a cabo por la Universidad Politécnica de Cataluña, que incluye aspectos geomorfológicos, morfodinámicos, evolución reciente de la línea de costa, actuación de temporales marinos, etc. (Jiménez *et al.*, 2008). No obstante, aunque existen diversas iniciativas regionales encaminadas al estudio combinado de los riesgos costeros, hasta el momento no se conocen trabajos publicados similares al que aquí se presenta. En ese sentido, la Región de Murcia es la primera comunidad autónoma de España en la que se ha completado un análisis de este tipo, así como una cartografía temática sistemática para todo su litoral.

Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es el estudio y cartografía de los peligros asociados a la dinámica litoral

en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM) a escala 1:25 000 (para ser representados a escala 1:50 000). La finalidad de este trabajo es la zonificación de la costa a partir de la posible afectación por los peligros asociados a la dinámica litoral. Para ello se ha desarrollado y aplicado una metodología basada en el estudio y análisis pormenorizado de los diversos factores y peligros asociados a la dinámica litoral (erosión costera, inundaciones costeras, tsunamis, ascenso del nivel del mar, movimientos de ladera e inundaciones fluviales). Los resultados de la valoración de los mismos serán incluidos en la cartografía resultante, empleando un sistema de representación específicamente desarrollado para ello.

Zona de estudio

La Región de Murcia se encuentra al sureste de la Península Ibérica, formando parte de la costa mediterránea (Fig. 1A). El litoral se extiende desde Punta Parda (al suroeste, en el límite con la provincia de Almería), hasta el Mojón (al norte, en el límite con la provincia de Alicante), presentando 315 km de costa (incluyendo obras marítimas). Desde el punto de vista geológico, la Región de Murcia se incluye en el dominio litológico-estructural de las Cordilleras Béticas. En la zona litoral afloran tres complejos tectónicos pertenecientes a las Zonas Internas de esta cordillera, diferenciados fundamentalmente por el grado de metamorfismo regional alpino que han experimentado (Martín-Algarra, 2004): *Maláguide*

de (formado por calizas, dolomías y areniscas), *Alpujárride* (calizas, dolomías, micaesquistos y rocas volcánicas) y *Nevado-Filábride* (esquistos, pizarras y cuarcitas). Entre los relieves montañosos asociados a estas unidades aparecen una serie de depresiones y llanuras costeras, donde se acumulan materiales neógenos (margas, arcillas, areniscas y conglomerados) y mantos aluviales cuaternarios (limos, arcillas y gravas) (Fig. 1B).

Desde el punto de vista geomorfológico, en el litoral murciano se pueden diferenciar dos grandes sectores. El sector meridional, desde Punta Parda hasta Cabo de Palos, puede ser dividido en dos partes; la primera, desde Punta Parda hasta Cabo Tiñoso, con directriz NE-SO, presenta playas extensas y abiertas al oleaje de levante. La segunda parte, entre Cabo Tiñoso y Cabo de Palos, con directriz E-O, se caracteriza por una alternancia de sistemas de rambla-delta y reducidas calas, separadas por abruptos acantilados. Por otra parte, el sector oriental, desde el Cabo de Palos hasta El Mojón, de orientación N-S, está constituido por el sistema isla barrera-lagoon de La Manga del Mar Menor, caracterizado por la presencia de playas arenosas continuas y anchas, así como el complejo dunar del Parque Regional de San Pedro del Pinatar (Cavero, 1988; Bardají et al., 2011).

Metodología

La metodología aplicada para alcanzar los objetivos propuestos se basa en dos aspectos fundamentales:

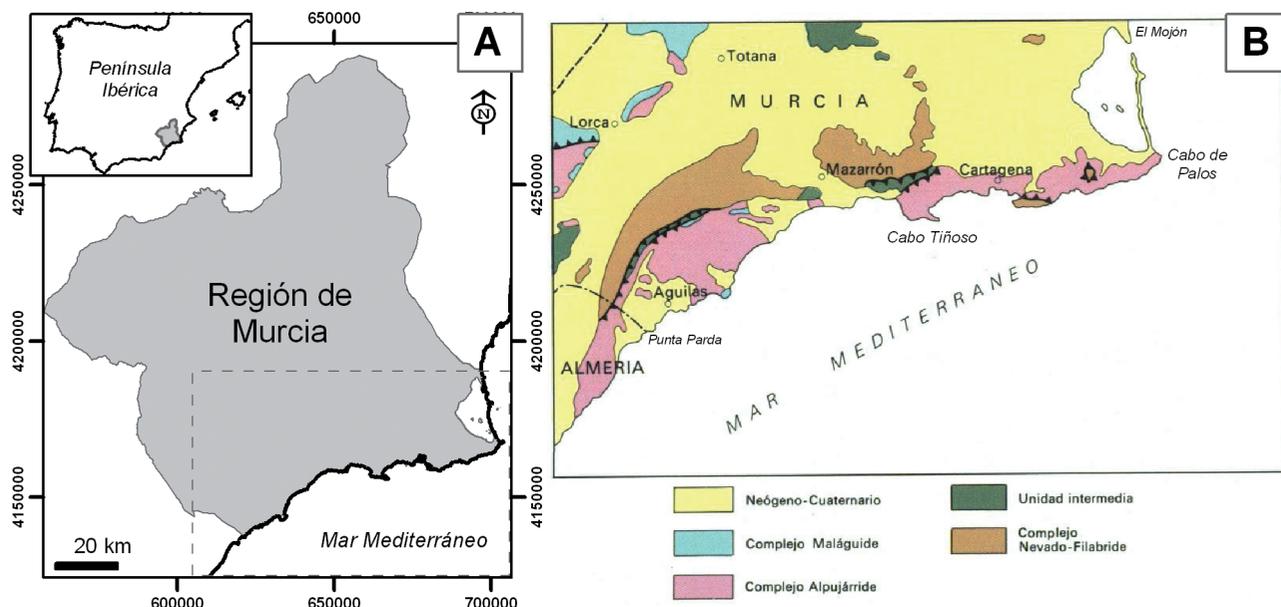


Figura 1. (A) Localización de la Región de Murcia. (B) Esquema geológico de la zona litoral de Murcia (Espinosa-Godoy et al., 1972).
Figure 1. (A) Región de Murcia location. (B) Schematic geological map of the Murcia coastal zone (Espinosa-Godoy et al., 1972).

por un lado, el estudio de los factores implicados y los peligros 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 (Fig. 2).

Inicialmente realizó un reconocimiento de campo que permitió un primer análisis de la zona. Posteriormente se abordaron los estudios temáticos sobre geomorfología litoral, procesos litorales, sucesos históricos y actuaciones humanas. Estos aspectos se representaron en sus correspondientes cartografías: mapa geomorfológico, mapa de sistemas litorales, mapa de procesos litorales, mapa de sucesos históricos y mapa de elementos antrópicos.

A continuación el estudio se centró en el análisis de los peligros asociados a la dinámica litoral. En esta etapa se analizaron: inundaciones costeras de origen marino, ascenso del nivel del mar, erosión costera, tsunamis y otros peligros propios de zonas continentales que pueden afectar especialmente al litoral, como los movimientos de ladera y las inundaciones o avenidas de origen fluvial. El estudio de estos peligros se realizó a partir del análisis de la información disponible y la aplicación de metodologías específicas para tales fines, como se detallará más adelante.

Posteriormente se analizaron e integraron los resultados obtenidos, realizando una evaluación de los aspectos anteriores que permitió la elaboración del mapa de peligros, en el que se representa la suscep-

tibilidad, o posibilidad de que una zona se vea afectada por los peligros mencionados. Para este mapa se eligió un sistema de representación cartográfica en franjas paralelas, basado en el empleado por el USGS (2002). Este sistema de representación facilita el reconocimiento e interpretación de las características del litoral estudiado y los peligros que le pueden afectar. Sistemas relativamente similares han sido usados en estudios de vulnerabilidad costera, como los realizados por Domínguez *et al.* (2005), Del Río y Gracia (2009) o Méndez (2011), entre otros.

Finalmente, en la última fase del estudio, se elaboraron los mapas de síntesis de los resultados obtenidos. La utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de estos mapas facilitó en gran medida las tareas de edición, análisis, evaluación y publicación de las cartografías resultantes.

A continuación se describen los factores y peligros analizados, presentando algunos de los resultados obtenidos en la Región de Murcia.

Factores analizados

Geomorfología litoral

El reconocimiento de campo de las características geomorfológicas costeras es fundamental para el es-

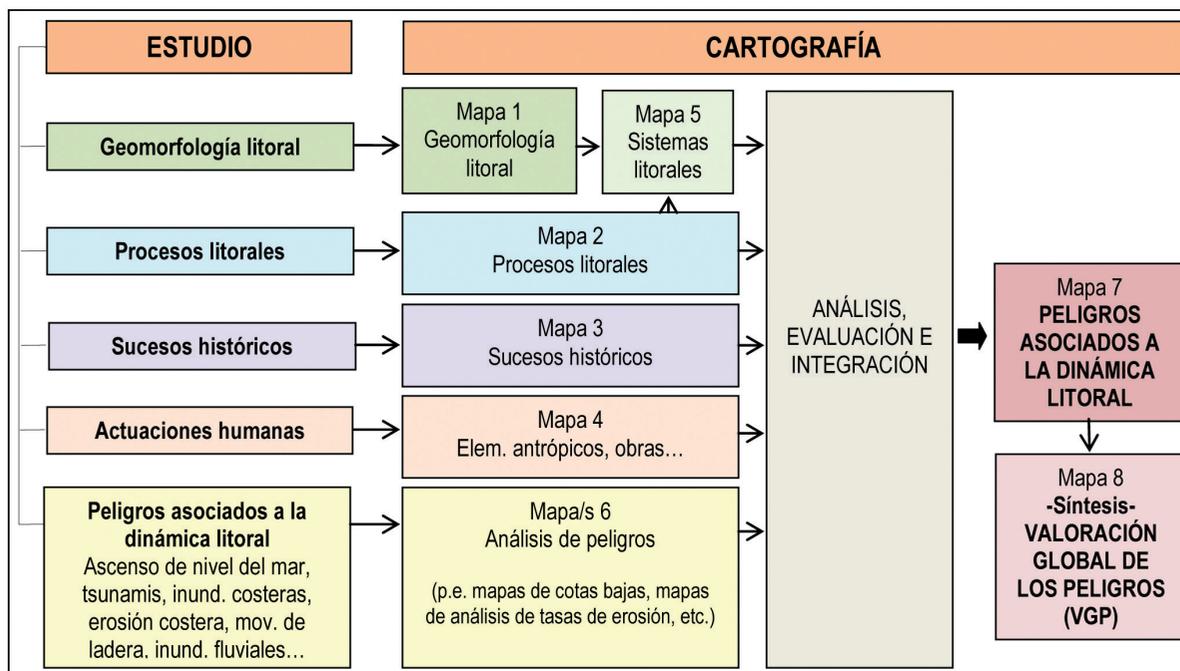


Figura 2. Esquema de la metodología de estudio y mapas temáticos elaborados en el presente trabajo.
Figure 2. Methodology and thematic maps of the present research.

tudio de los peligros asociados a la dinámica litoral. Los mapas geomorfológicos proporcionan información sobre las formas y depósitos recientes y actuales, entre los que destacan los asociados a la dinámica litoral (playas, dunas, acantilados, terrazas marinas, plataformas rocosas, cordones litorales, marismas, abanicos deltaicos, etc.). Teniendo en cuenta las características geomorfológicas del litoral, se elaboraron los mapas de "sistemas litorales". En estos mapas se agrupan los elementos geomorfológicos de acuerdo con su dinámica y posible respuesta ante los factores desencadenantes. Así, de acuerdo con las formas costeras dominantes en la región, se han diferenciado los siguientes sistemas litorales: costas rocosas (acantilados altos > 20 m de desnivel, acantilados bajos 2-20 m y costas bajas < 2 m), playas naturales y artificiales (regeneradas), y obras artificiales (Fig. 3).

Tras el reconocimiento del litoral murciano se han diferenciado los tramos correspondientes a los distintos sistemas litorales que lo componen, de tal modo que el 22% corresponde a acantilados altos, 11% a acantilados bajos, 7% a costas bajas, 29% a playas naturales, 8% a playas artificiales y el 23% a obras artificiales.

Procesos litorales

Los procesos litorales dominantes se asocian fundamentalmente al clima marítimo, que incluye los principales agentes dinámicos modeladores de la costa:

viento, oleaje, mareas y corrientes. Las redes de boyas de Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) proporcionan valiosa información sobre la dinámica del oleaje, vientos y niveles del mar. También se obtuvieron datos sobre vientos y corrientes en el Atlas Eólico de España (Ministerio de Innovación, Ciencia y Tecnología), así como en el Servicio de Información Oceanográfica de la Región de Murcia (SIOM). Este último organismo también proporciona datos sobre el fondo marino y batimetrías de la plataforma continental interna, datos fundamentales en el proceso de asomeramiento del oleaje.

A partir de las fuentes mencionadas, se realizó una valoración relativa de la intensidad de los procesos litorales, estableciéndose cinco niveles de intensidad para todo el litoral: baja, baja-media, media, media-alta y alta (Tabla 1) (no se incluyen las mareas porque el régimen es micromareal en toda la zona).

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. No obstante, toda recopilación de sucesos históricos está sujeta a limitaciones, ya que apenas existe regis-

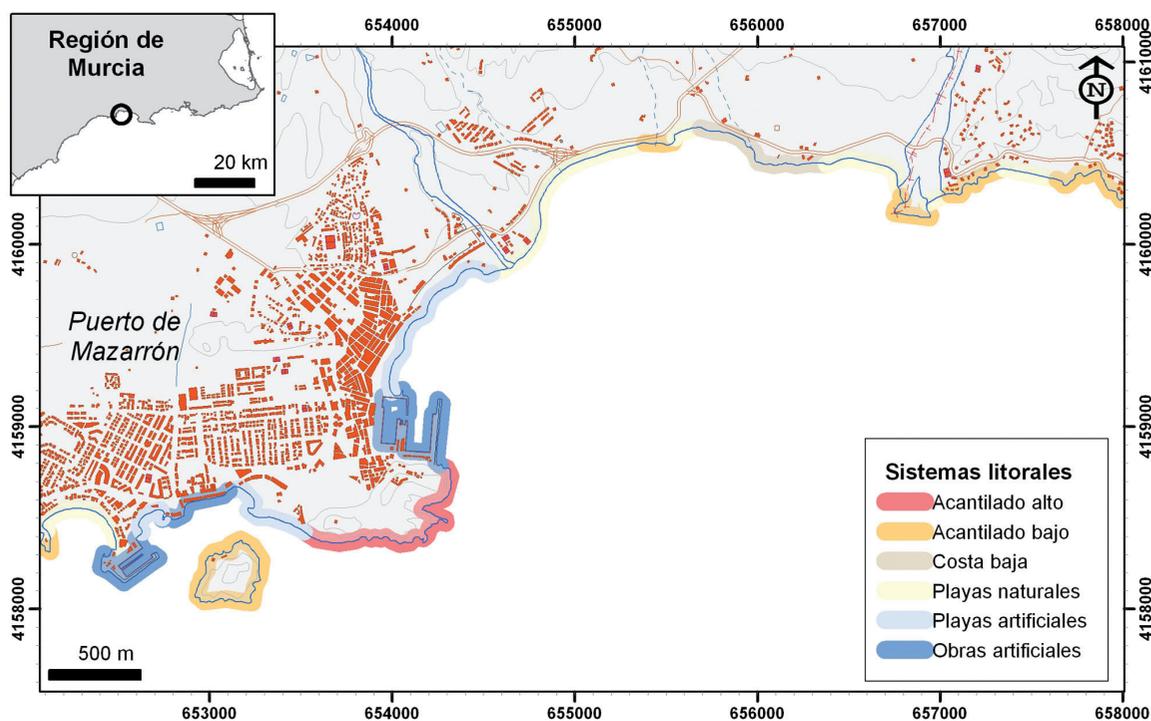


Figura 3. Ejemplo de un mapa de sistemas litorales, correspondiente a la zona del Puerto de Mazarrón.
 Figure 3. Example of a coastal systems map, corresponding to the Puerto de Mazarrón area.

Agente o factor	Valoración relativa de la intensidad de los procesos litorales				
	Baja	Baja-media	Media	Media-alta	Alta
Viento (m/s)	<8.5	<8.5	<8.8	<8.9	<9.3
Oleaje (Hs más frec., m)	0-0.5	0-0.5	0.5-1	0.5-1	0.5-1
Corrientes (m/s)	<0.2	<0.5	<0.4	<0.8	<0.7
Caract. fondo marino*	A	B	B	C	B

* Características del fondo marino: A) Mar Menor, profundidad <7 m, B) Sector meridional, plataforma continental muy estrecha y angosta, C) Sector oriental, talud irregular, plataformas y altos estructurales.

Tabla 1. Valoración relativa de la intensidad de los procesos en el litoral estudiado.
Table 1. Relative assessment of the coastal processes intensity in the studied area.

tro de los fenómenos históricos que han afectado a zonas despobladas. Además, los registros pueden ser inaccesibles, imprecisos, incompletos, etc.

En este estudio se ha obtenido información referente a 27 sucesos históricos relacionados con temporales marinos desde el año 1800, el más importante tuvo lugar en noviembre de 1869, entre Cabo de Palos y Torrevieja, aunque también afectó a las costas de Cartagena, La Unión y el Mar Menor (Montes, 2010). Por otra parte, también se ha recopilado la información referente a episodios de avenidas en algunas ramblas, en sus zonas de desembocadura. Los sucesos históricos se han representado en los correspondientes mapas, en los que también se han señalado los movimientos de ladera observados en las fotografías aéreas y en el reconocimiento de campo a lo largo de la costa.

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 fotografías aéreas de distintos años proporciona información de interés en este sentido (Fig. 4). Por otra parte, conviene considerar otros elementos, como los usos industriales en la costa y los posibles efectos derivados de la construcción de embalses.

Son varias las zonas del litoral murciano que han sufrido una modificación antrópica importante, como el entorno del Mar Menor y La Manga (Fig. 4), o los núcleos urbanos de Águilas y el Puerto de Mazarrón. Igualmente, cabe destacar las modificaciones costeras derivadas de usos industriales en Cartagena o en la región minera de Cartagena - La Unión.

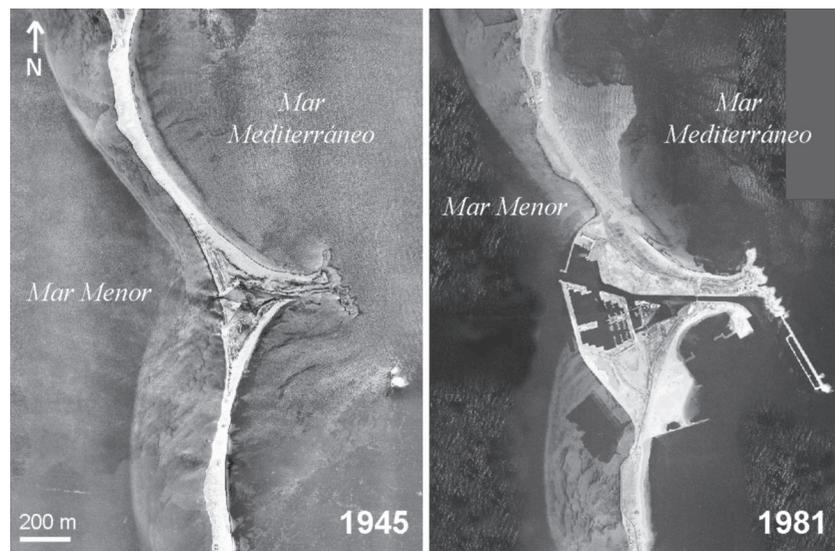


Figura 4. Comparación de fotografías aéreas de 1945 y 1981 de La Manga del Mar Menor, en la zona del Estacio (www.cartomur.com).
Figure 4. Aerial photographs of La Manga del Mar Menor, in the Estacio area (www.cartomur.com).

Los elementos antrópicos y obras de protección se han representado en los correspondientes mapas. Su influencia se ha valorado en función de su representación en la morfología del terreno y su posible implicación en la reducción de la intensidad de los procesos litorales en la costa.

Peligros analizados

Erosión costera

La pérdida de sedimentos, característica de la erosión costera, se debe al déficit sedimentario provocado por una disminución de los aportes a la costa y/o a una mayor incidencia de procesos litorales capaces de erosionar sedimentos y afloramientos rocosos, como oleaje y corrientes (Paskoff y Clus-Auby, 2007). La erosión costera a medio plazo se puede analizar mediante la comparación de ortofotografías y la aplicación informática DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), desarrollada por el USGS para el software ArcGIS (Thieler et al., 2009). Esta aplicación proporciona las tasas de erosión o acreción costera a partir de la posición de las líneas de costa de diversos años, con respecto a una línea base, en una serie de transeptos de análisis (Del Río y Gracia, 2008). En este caso se han empleado las ortofotos disponibles en el visor *cartomur* de la Región de Murcia correspondientes a los años 1945, 1956, 1981, 2002 y 2009 y se ha considerado la línea de agua como principal indicador de la línea de costa (Fig. 5).

Los resultados obtenidos tras la aplicación de este método muestran que la línea de costa es estable, desde el punto de vista del balance sedimentario erosión-acreción, en la mayor parte del litoral murciano. Únicamente hay dos tramos marcados por tasas de erosión y acreción importantes en las proximidades del puerto de San Pedro del Pinatar, por el bloqueo de la corriente de deriva litoral asociado a las estructuras portuarias. Dado que la deriva litoral dominante en la zona se dirige hacia el S y SW, las costas arenosas a barlofluo registran acreción, mientras que las playas a sotafujo de puertos y espigones sufren erosión (Fig. 5). Por otra parte, con vistas a la representación cartográfica de este peligro, se ha establecido una clasificación relativa de las tendencias, diferenciando cuatro intervalos entre las tasas máximas de erosión y acreción. De este modo, en el litoral estudiado las variaciones de la línea de costa se han valorado de la siguiente manera (los valores negativos corresponden a erosión y los positivos a acreción): erosión alta (-2.1 a -1.2 m/año), erosión baja (-1.2 a -0.4 m/año), estabilidad (-0.4 a 0.5 m/año) y acreción (0.5 a 1.4 m/año).

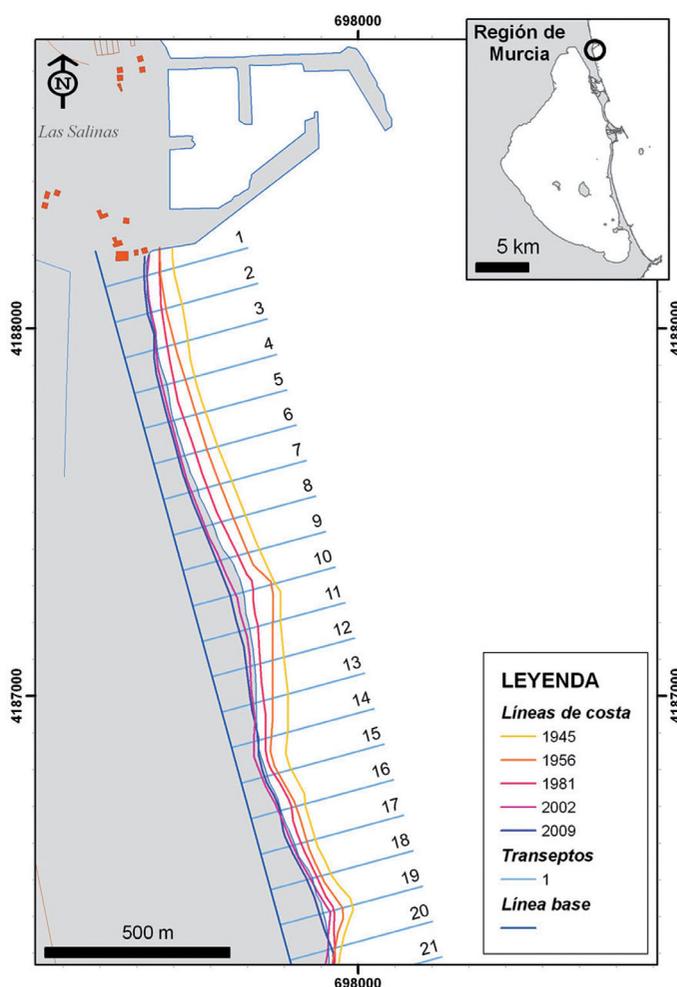


Figura 5. Análisis de la erosión costera mediante la aplicación DSAS de la zona sur del Puerto de San Pedro del Pinatar.

Figure 5. Coastal erosion analysis in the south of the Puerto de San Pedro del Pinatar.

Inundaciones costeras

Las inundaciones costeras se producen por la invasión episódica de zonas emergidas por agua del mar (las inundaciones fluviales en desembocaduras se incluyen en un apartado posterior). La causa más frecuente de las inundaciones costeras es la actuación de temporales marítimos, donde se superponen grandes olas con niveles del mar excepcionalmente altos asociados a bajas presiones atmosféricas y vientos soplando hacia la costa (*storm surge*). No obstante, las causas de las inundaciones costeras pueden ser variadas y estar asociadas a diversos fenómenos (además de temporales, ascenso del nivel del mar por causas climáticas, tsunamis, etc.). Los mapas de cotas bajas son de gran utilidad para determinar las zonas potencialmente inundables. El estudio y cartografía de las inundaciones costeras se basa también en el

análisis de la geomorfología, los procesos litorales y los sucesos históricos.

Según los datos del Atlas de Inundación del Litoral Peninsular Español (GIOC-UC, 1998), las cotas de inundación en playas abiertas del litoral murciano pueden ser de hasta 3.5 m en el sector meridional y 3 m en el oriental, para periodos de retorno de 100 años. Por ello, en este estudio se han elaborado mapas de cotas bajas (< 4 m sobre el nivel del mar) a partir los modelos digitales de elevaciones generados con datos LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*), obtenidos de un vuelo fotogramétrico digital llevado a cabo en la Región de Murcia (proyecto Natmur-08, Consejería de Agricultura y Agua de la CARM). Estos mapas suponen una herramienta de gran utilidad, ya que facilitan la identificación de las zonas con mayor susceptibilidad a sufrir inundaciones costeras (Fig. 6). La mayor o menor inundabilidad de una zona se ha establecido a partir de la anchura (perpendicular a la costa) de las zonas con cotas bajas.

Para evaluar la importancia de las inundaciones costeras se ha realizado una valoración relativa mediante un árbol de decisión. El árbol de decisión constituye una herramienta para valorar, de una manera ponderada y sistemática, los factores que intervienen en determinado suceso. Las ramas representan diversas opciones para los factores considerados, atribuyéndose a cada una de ellas una valoración estimada (de 0 a 1) de su influencia en el suceso, siendo 1 el valor en los nodos, y la valoración final el producto de las mismas.

Los factores considerados en el caso de las inundaciones costeras han sido las características geomorfológicas y topográficas del litoral (que definen los sistemas litorales y la inundabilidad de cada zona),

la intensidad de los procesos litorales y los sucesos históricos registrados. Estos factores se han valorado de manera relativa en el árbol de decisión y, como resultado, se han definido cuatro niveles de susceptibilidad (Fig. 7). Por ejemplo, una playa con una inundabilidad media, en la que los procesos litorales actúen con una intensidad media, y que haya sufrido sucesos históricos de inundación, presentará una valoración relativa o susceptibilidad alta. Cada tramo del litoral ha sido evaluado de este modo y el resultado de la clasificación de los mismos, en los cuatro niveles mencionados, se ha incluido en el mapa final de susceptibilidad.

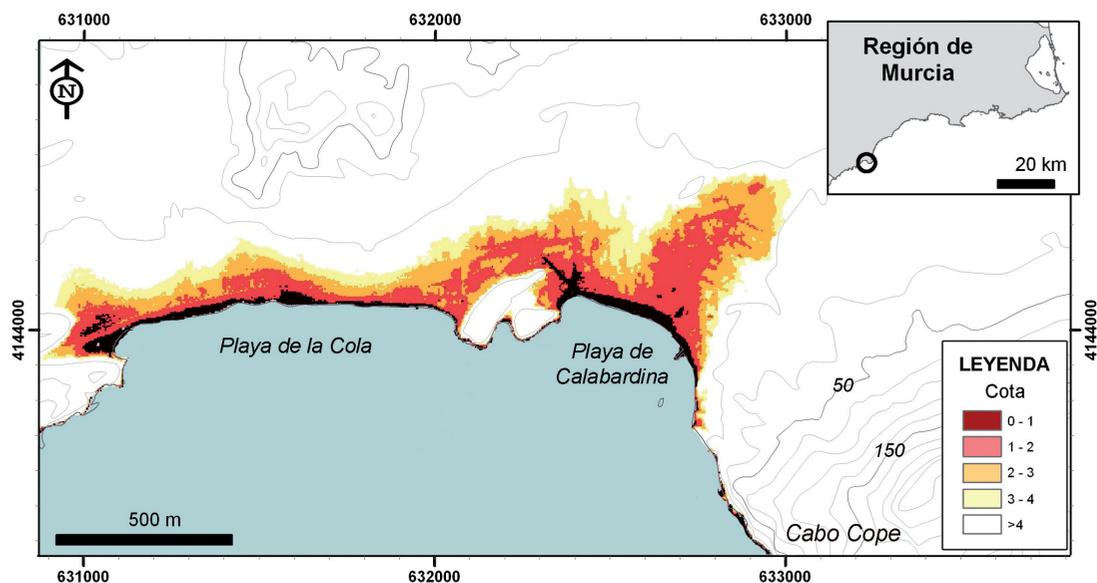
Movimientos de ladera

Se trata de un peligro relacionado con los relieves costeros y que se ve acentuado por la acción de los procesos litorales, fundamentalmente el oleaje (Del Río y Gracia, 2009). La metodología utilizada para la elaboración de los mapas de susceptibilidad por movimientos de ladera sigue la propuesta de Fell *et al.* (2008), basada en el estudio e inventario de los movimientos observados en el terreno, la tipología de los movimientos (desprendimientos, deslizamientos, etc.), y el análisis de los factores condicionantes (litología, pendiente, etc.). No obstante, en las zonas costeras también hay que considerar la influencia de factores relacionados con la dinámica litoral.

Para evaluar el peligro de movimientos de ladera en el litoral, al igual que en caso anterior, se ha realizado una valoración relativa mediante un árbol de decisión. Los factores considerados han sido la susceptibilidad por movimientos de ladera definida en el

Figura 6. Mapa de cotas bajas de las inmediaciones del Cabo Cope en el que se observan las zonas con mayor susceptibilidad a sufrir inundaciones costeras.

Figure 6: Map of lower heights in the vicinity of Cabo Cope showing the areas with higher susceptibility to coastal flooding.



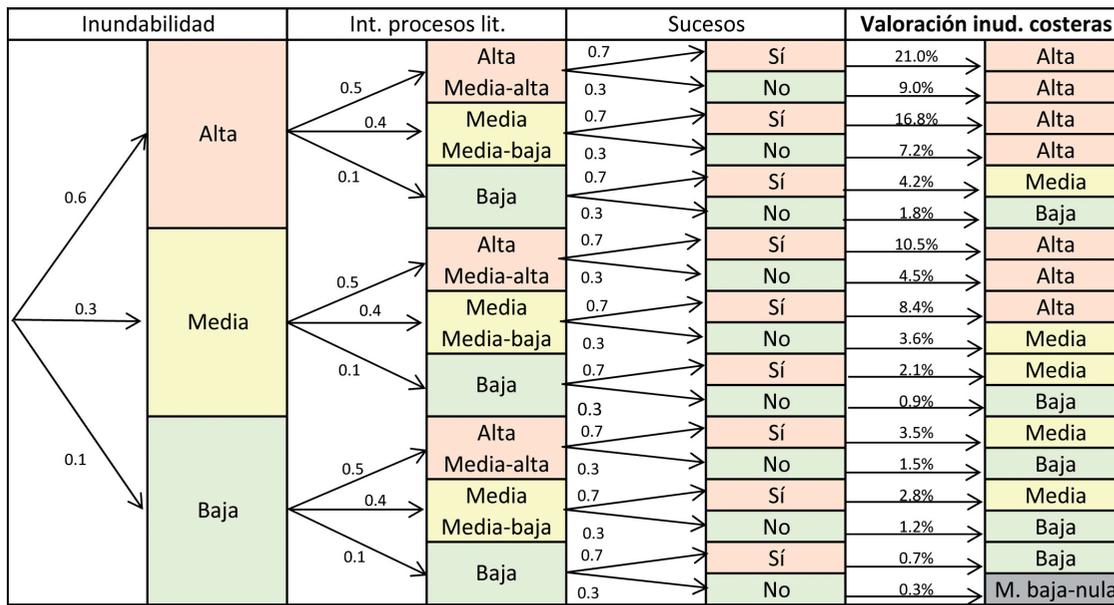


Figura 7. Árbol de decisión para la valoración del peligro por inundaciones costeras en playas y costas bajas (intervalos de clasificación de los resultados: susceptibilidad alta 21.0-4.3%, media 4.3-2.0%, baja 2.0-0.5% y muy baja-nula <0.5%).

Figure 7. Decision tree for the coastal flooding hazard assessment in beaches and low coasts (classifying intervals: high 21.0-4.3%, medium 4.3-2.0%, low 2.0-0.5% and very low-null <0.5% susceptibility).

marco de este proyecto (en función de los procesos identificados, y la clasificación de pendientes y litologías; IGME 2012), la intensidad de los procesos litorales, y los sucesos registrados, considerando como tales los movimientos de ladera identificados en campo y en las fotografías aéreas. Estos factores se han valorado de manera relativa en el árbol de decisión y, como resultado, se han definido cuatro niveles de susceptibilidad (Fig. 8). Por ejemplo, un acantilado con una susceptibilidad media por movimientos de ladera, en el que los procesos litorales actúen con una intensidad media, y que haya sufrido movimientos de ladera previos, presentará una valoración relativa o susceptibilidad alta. Cada tramo del litoral estudiado ha sido evaluado de este modo y el resultado de la clasificación, en los cuatro niveles mencionados, se ha incluido en el mapa final de susceptibilidad.

Inundaciones fluviales

Las avenidas e inundaciones fluviales suponen un peligro para la zona litoral, aunque se trata de fenómenos de origen fundamentalmente continental, relativamente comunes en el litoral murciano (Conesa y García, 2003; López Bermúdez y Gomáriz, 2005). Se ha aplicado la metodología de estudio propuesta por Díez Herro *et al.* (2008), basada en el análisis de inundaciones históricas, datos geomorfológicos, precipitaciones y caudales para la elaboración de los mapas de peligrosidad. Por otra parte, los efectos de las inundaciones fluviales, producidas por intensas precipitaciones, podrían superponerse a los producidos por inundaciones costeras asociadas a temporales marítimos, suponiendo un mayor peligro para el litoral.

Con el objetivo de tener en cuenta este peligro, se han considerado cuatro niveles de peligrosidad, establecidos a partir de los resultados del estudio de inundaciones realizado en el marco de este proyecto (IGME, 2012): peligrosidad alta: zonas inundables con un periodo de retorno (T) ≤ 100 años; media: zonas inundables con 100<T≤500 años; baja: zonas inundables con T>500 años; muy baja-nula: zonas no inundables. El resultado de la clasificación del litoral en función de estos niveles también se ha incluido en el mapa final.

Tsunamis

Para la evaluación de este fenómeno es necesario realizar una búsqueda de la información existente sobre los tsunamis históricos que hayan afectado al litoral estudiado. La peligrosidad por tsunamis se evalúa partiendo del análisis de las posibles fuentes de generación de tsunamis (fallas sismogénicas submarinas, en la mayoría de los casos) y la simulación numérica de posibles eventos; así se obtienen estimaciones del grado de amenaza en las costas.

De los 22 tsunamis registrados en España desde el año 218 AC (IGN, 2012), ninguno ha afectado al litoral murciano de manera importante, aunque varios han sido registrados por boyas cercanas. Algunos modelos de simulación de eventos muestran que el litoral estudiado podría verse afectado, en algún caso, por tsunamis asociados a episodios sísmicos con epicentro localizado al norte de Argelia (Álvarez-Gómez *et al.*, 2011). Sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de terremotos con las características necesarias para producir tsunamis de dichas características podría considerarse remota, motivo

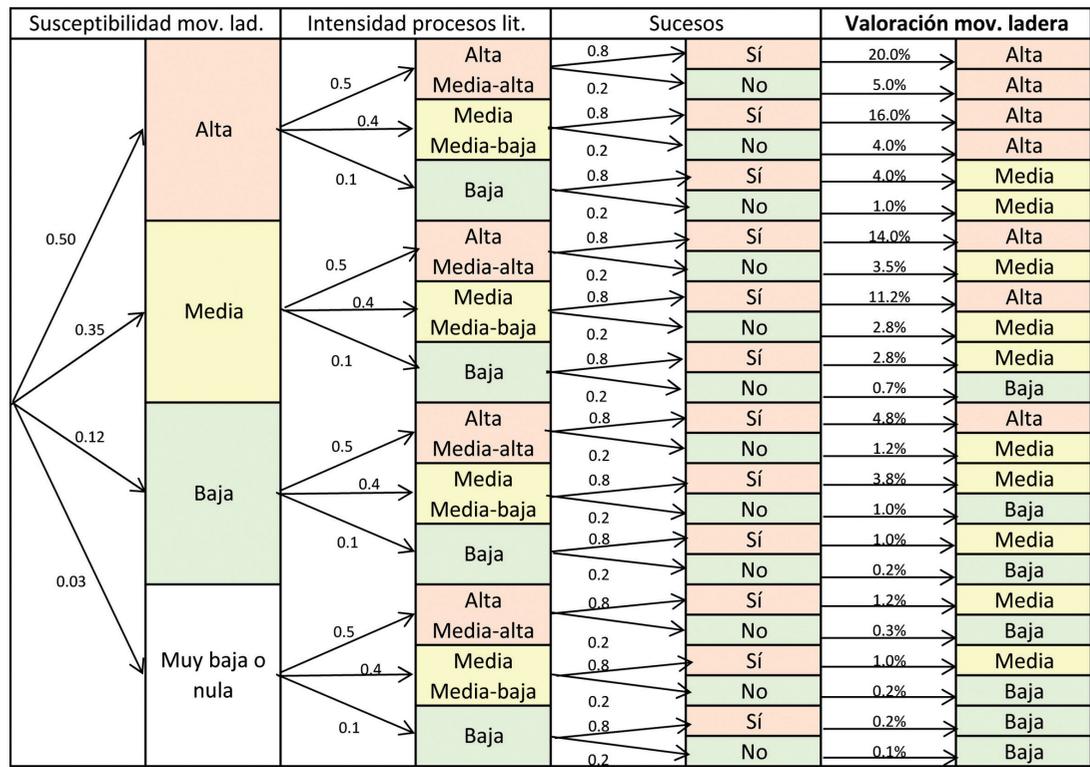


Figura 8. Árbol de decisión para la valoración del peligro por movimientos de ladera en los acantilados costeros (intervalos de clasificación de los resultados: susceptibilidad alta 20-4%, media 4-1% y baja <1%).
Figure 8. Decision tree for the slope movements hazard assessment in coastal cliffs (classifying intervals: high 20-4%, medium 4-1% and low <1% susceptibility).

por el cual no se ha incluido este peligro en el mapa final.

Ascenso del nivel del mar

En este caso se considera el ascenso del nivel del mar reciente, presumiblemente relacionado con el actual calentamiento climático. En este sentido, conviene estimar las posibles tendencias futuras de cara a una planificación efectiva de los usos del territorio. Existen numerosos estudios que reconstruyen los niveles del mar de las últimas décadas y calculan las tasas de ascenso o descenso que se han registrado, permitiendo estimar su posible evolución para el próximo siglo.

A escala global, el nivel del mar está ascendiendo actualmente a mayor ritmo que a comienzos del siglo XX (IPCC, 2007). Las tasas de ascenso no son uniformes, y en el caso del Mediterráneo las tasas son inferiores a la media mundial (Calafat y Gomis, 2009). Para el periodo 1950-2008, la zona del Mediterráneo occidental correspondiente al litoral murciano presentó una tasa media de ascenso de entre 0.5 y 0.7 mm/año (Calafat y Jordà, 2011).

Mapa de susceptibilidad

Una de las representaciones cartográficas más completas de los peligros asociados a la dinámica litoral

es la empleada por el USGS (2002). En sus mapas, los rangos de peligrosidad (o susceptibilidad) 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 y los peligros que en ella pueden darse.

En la Figura 9 se muestra el sistema de representación propuesto. En las dos primeras franjas se incluyen las características geomorfológicas de la costa: sistema litoral (acantilado alto, acantilado bajo, costa baja, playas, obras marítimas y playas artificiales) y pendiente (<10°, 10-25°, >25°). Por otra parte, en las siguientes franjas se presenta la valoración de los peligros que pueden afectar al litoral. En este caso se incluyen: inundaciones costeras, inundaciones fluviales, movimientos de ladera y erosión costera (no se incluyen tsunamis y ascenso del nivel del mar al considerarse bajo su peligro a lo largo de toda la costa). Como se ha explicado en los apartados anteriores, cada peligro se ha evaluado teniendo en cuenta los factores involucrados, y su valoración relativa ha sido clasificada en 4 intervalos (alta, media, baja y muy baja-nula). Finalmente, en la última franja se presenta la Valoración Global de los Peligros (VGP) (*Overall Hazard Assessment - OHA*; USGS, 2002), clasificada en 4 intervalos: muy alta, alta, media y baja. Esta valoración corresponde al nivel más elevado obtenido en

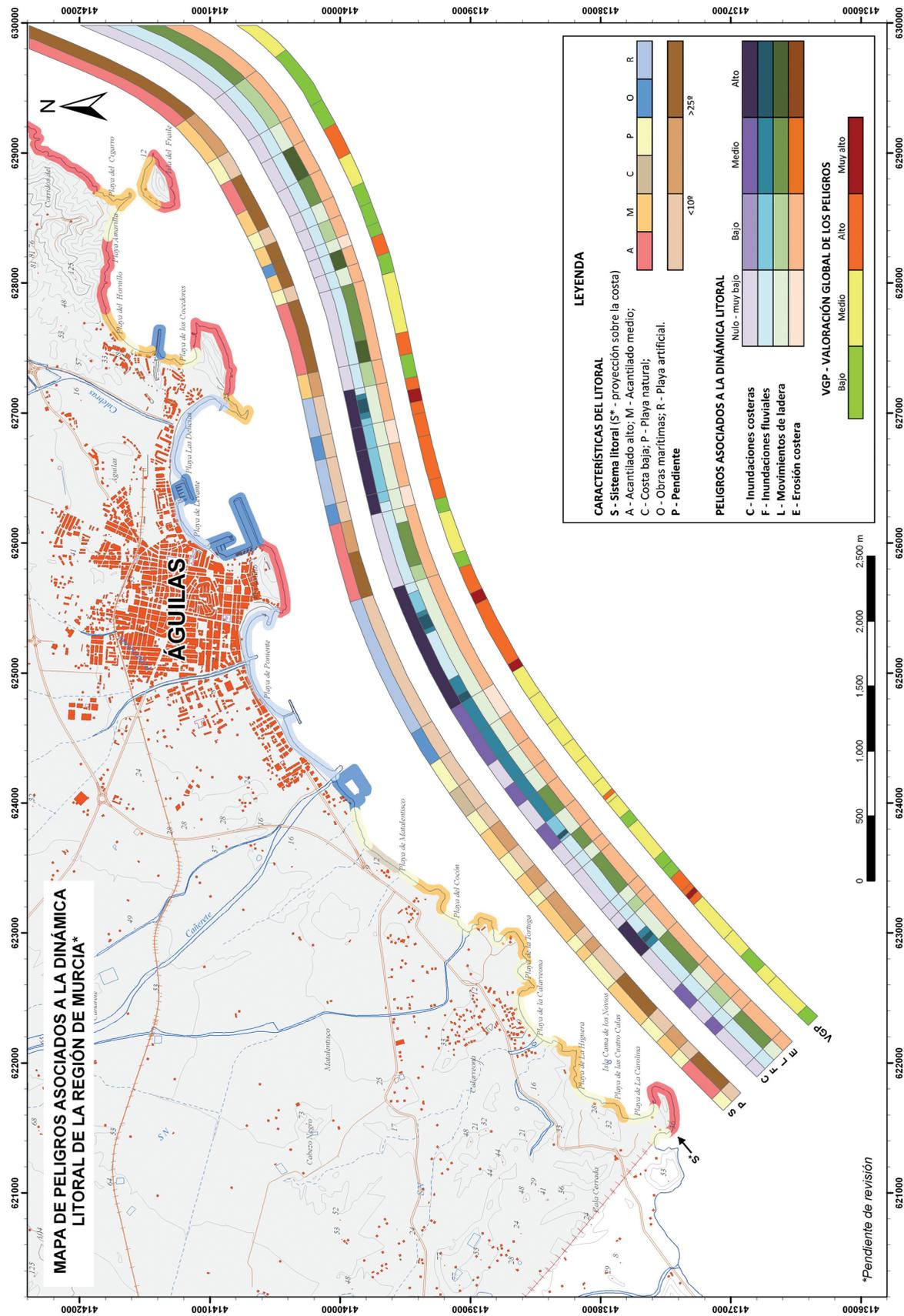


Figura 9. Ejemplo de representación cartográfica de los peligros asociados a la dinámica litoral en un tramo del litoral murciano. Las franjas muestran las características de la costa y la valoración de los peligros asociados a la dinámica litoral.
Figure 9. Example of a coastal hazard map of the Murcia coastal zone. The strips show the characteristics of the coast and the coastal hazards assessment.

cada tramo de costa para el conjunto de los peligros mencionados, siendo muy alta si coinciden dos o más peligros con valoración alta. A partir del mapa de peligros se realiza el mapa de síntesis, en el que sólo se representa la franja de la VGP sobre la línea de costa.

Resultados y discusión

Tras la evaluación realizada del litoral murciano se han obtenido los resultados referentes a la Valoración Global de los Peligros (VGP), que se recogen en la Tabla 2, en forma de porcentajes sobre la longitud total del litoral estudiado.

Son escasos los tramos con VGP muy alta, únicamente el 1% de la longitud total del litoral. Estos tramos corresponden a playas en las que desembocan ramblas que presentan una valoración alta, tanto del peligro por inundaciones fluviales como por inundaciones costeras. También existe una playa, al sur del puerto de San Pedro del Pinatar (Fig. 5), con VGP muy alta en la que confluyen peligro alto por erosión e inundaciones costeras.

Las longitudes totales de los tramos con VGP alta, media y baja son relativamente similares (33%, 34% y 30% respectivamente), distribuyéndose de manera diversa entre los distintos sistemas litorales.

Las zonas con VGP alta (33%) corresponden principalmente a acantilados altos con peligro por movimientos de ladera elevado (14%) o playas naturales con peligro de inundaciones alto (10%); en el resto de sistemas litorales se presenta en menor medida, con porcentajes individuales entre 1 y 4%.

Las zonas con VGP media (34%) se distribuyen de manera relativamente equilibrada entre la variedad de sistemas que presenta el litoral, viéndose afectados

cada uno de ellos por peligros propios de su tipología (movimientos de ladera en el caso de acantilados e inundaciones en el caso de playas).

También existe una extensión importante del litoral con VGP baja (30%), correspondiente fundamentalmente a playas y obras marítimas.

En lo referente a la fiabilidad de los resultados obtenidos, son varias las limitaciones que se encuentran a la hora de realizar este tipo de estudios. La primera es la variabilidad de los datos que han de ser considerados y las limitaciones asociadas a su recopilación, interpretación, análisis, valoración y clasificación. Una limitación relativamente importante es la escasez e imprecisión de la información referente a sucesos históricos. Lo ideal sería poseer un registro detallado y extenso (temporalmente) de los sucesos ocurridos en el litoral, en el que se recogieran p.e. los datos de temporales (cotas de inundación, altura de olas, daños, etc.) y que se relacionaran con datos de boyas, datos meteorológicos, etc. También resultaría de interés poseer registros detallados de las actuaciones llevadas a cabo en el litoral, p.e. cantidad de arena repuesta en playas artificiales, frecuencia de reposición, etc.

Por otro lado, existe gran dificultad para realizar mapas de peligrosidad que hagan referencia a la probabilidad o frecuencia temporal de ocurrencia de un suceso en una zona concreta. Esto viene determinado tanto por la escasez de datos sobre los sucesos históricos como por la dificultad de unificar en una misma escala la posible frecuencia de peligros de distinta tipología. Por este motivo, las cartografías realizadas representan susceptibilidad o posibilidad de que un proceso potencialmente peligroso afecte a una zona.

No obstante, a pesar de las limitaciones mencionadas, el estudio y la cartografía realizados en el pre-

Sistema litoral	Valoración Global de los Peligros (VGP)				
	Muy alta	Alta	Media	Baja	TOTAL
Acantilados altos	0	14.46%	7.43%	0.39%	22.28%
Acantilados bajos	0	2.18%	6.36%	2.28%	10.81%
Costa baja	0	1.11%	1.64%	4.30%	7.06%
Playas naturales	1.09%	10.32%	9.25%	8.76%	29.43%
Obras artificiales	0.02%	3.95%	6.70%	12.13%	22.80%
Playas artificiales	0.10%	1.53%	2.90%	3.09%	7.63%
TOTAL	1.21%	33.54%	34.29%	30.96%	100.00%

Tabla 2. Resultados correspondientes a la Valoración Global de los Peligros (VGP) en forma de porcentaje sobre la longitud total del litoral murciano.

Table 2. Results for the Overall Hazards Assessment (OHA) given as a percentage of the total length of the Murcia coastline.

sente trabajo se consideran de gran validez y representatividad por varios motivos. En primer lugar, para su elaboración se han considerado numerosos datos relativos a los factores involucrados en la ocurrencia e incidencia de los peligros asociados a la dinámica litoral. Por otra parte, se han analizado los posibles peligros de manera particular y específica. Finalmente, se han aplicado criterios de decisión que han permitido establecer una clasificación relativa de manera integrada y sistemática. De este modo, se ha definido la Valoración Global de los Peligros (VGP), estableciendo cuatro niveles de susceptibilidad, para realizar la zonificación del litoral murciano en función de la posible afectación de la costa. Por otra parte, para la representación cartográfica se ha empleado un sistema que facilita el reconocimiento de las características del litoral y los peligros que podrían afectarle.

Conclusiones

En este artículo se presenta una metodología de estudio y cartografía de peligros naturales costeros a escala 1:25 000, basada en el análisis de los peligros asociados a la dinámica litoral (inundaciones, erosión, ascenso del nivel del mar, tsunamis y otros peligros procedentes de tierra), y de los factores implicados en los mismos (geomorfología litoral, procesos litorales, actuaciones humanas...). A partir del análisis y cartografía de estos aspectos, así como de la recopilación e inventario de sucesos históricos relacionados, se evalúa e integra la información obtenida, permitiendo la elaboración de un mapa de susceptibilidad del litoral estudiado. Para su representación cartográfica se utiliza un sistema en franjas paralelas a la costa para cada peligro. En estas franjas también se representan las principales características geomorfológicas del litoral y la Valoración Global de los Peligros (VGP), resultando un sistema adecuado para el reconocimiento de los peligros que podrían afectar la costa. La metodología y representación cartográfica desarrolladas proporcionan datos fundamentales para la planificación territorial y la prevención de riesgos en zonas litorales, pudiendo ser aplicadas en otras regiones que estén afectadas por peligros naturales costeros similares, especialmente en el ámbito mediterráneo.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto "Estudio y cartografía de los peligros geológicos en la Zona Litoral de la Región de Murcia" (2012), 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 ambos organismos las facilidades proporcionadas y su implicación en el estudio de los riesgos geológicos en la Región de Murcia.

Referencias bibliográficas

- Álvarez-Gómez, J.A., Aniel-Quiroga, I., González, M. and Otero, L. 2011. Tsunami hazard at the Western Mediterranean Spanish coast from seismic sources. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 227-240.
- Ayala, F.J., Olcina, J. and Vilaplana, J.M. 2004. Impacto social y económico de los riesgos naturales en España en el periodo 1990-2000. *Revista Gerencia de Riesgos y Seguros (Fundación Mapfre)*, 85, 17-29. Disponible en: <http://www.mapfre.com> (08/05/2012).
- Bardají, T., Zazo, C., Lario, J., Goy, J.L., Cabero, A., Dabrio, C.J. and Silva, P.G. 2011. Las dunas costeras del Presente y Último Interglaciario en Málaga, Almería y Murcia. En: Sanjaume, E. y Gracia, F.J. (eds.), *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Cádiz, 331-357.
- Barragán, J.M. 2004. *Las áreas litorales de España: del análisis geográfico a la gestión integrada*. Ariel, Barcelona, 214 pp. Disponible en: www.uca.es (08/05/2012).
- Calafat, F.M. and Gomis, D. 2009. Reconstruction of Mediterranean sea level fields for the period 1945-2000. *Global and Planetary Change*, 66, 225-234.
- Calafat, F.M. and Jordà, G. 2011. A Mediterranean sea level reconstruction (1950-2008) with error budget estimates. *Global and Planetary Change*, 79, 118-133.
- Cavero, L. 1988. *El Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Comunidad de Murcia. Murcia, 125 pp.
- Conesa García, C. and García, E. 2003. Historical evolution of the flood areas in Cartagena (SE Spain). En: Thorndy-craft, V.R., Benito, G., Barriandos, M. y Llasat M.C. (eds.), *Palaeofloods, historical data and climatic vulnerability: applications in flood risk assessment*. Proc. PHEFRA Intern. workshop, Barcelona. CSIC, Madrid, 149-154.
- De Andrés, J.R. and Gracia, F.J., 2002. La franja litoral: riesgos y protección. En: Ayala, F.J. y Olcina, J. (Coords.), *Riesgos naturales*. Ariel, Barcelona, 1023-1057.
- Del Río, L. and Gracia, F.J. 2008. Fotointerpretación aplicada al análisis de la línea de costa. En: Pardo, J.E. and Ruiz, L.A. (Eds.), *Las nuevas técnicas de información geográfica al servicio de la gestión de zonas costeras: Análisis de la evolución de playas y dunas*. Serv. Publ. Universidad Politécnica de Valencia. Edición en CD (<http://cgat.webs.upv>).
- Del Río, L. and Gracia, F.J. 2009. Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112, 82 – 95.
- Díez Herrero, A., Laín-Huerta, L. and Llorente-Isidro, M. 2008. *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. IGME, Madrid, 190 pp.

- Domínguez, L., Anfuso, G. and Gracia, F.J. 2005. Vulnerability assessment of a retreating coast in SW Spain. *Environmental Geology*, 47, 1037-1044.
- Espinosa-Godoy, J., Martín Vivaldi, J.M., Martín Alafont, J.M., Pereda, M., Pérez Rojas, A., López García M.J. and González Donoso, J.M. 1972. *Mapa geológico de España, E. 1:50 000, hoja n° 978 (Llano del Beal)*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. and Savage, W.Z. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 83-111.
- GIOC-UC (Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas - Universidad de Cantabria) 1998. *Atlas de inundación del litoral peninsular español*. Ministerio de Medio Ambiente. 59 pp. Disponible en: www.smc.inucan.es (08/05/12).
- González de Vallejo, L.I., Ayala, F. and Elizaga, M. 1988. *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*. IGME, Madrid, 111 pp.
- IGME, 2012. *Estudio y cartografía de los peligros geológicos en la Zona Litoral de la Región de Murcia*. Sin editar.
- IGN, 2012. Catálogo de tsunamis de las costas españolas. IGN, Ministerio de Fomento. Disponible en: <http://www.ign.es/ign/resources/sismologia/tsunami/catalogoTsunamis.pdf> (08/05/12).
- IPCC 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp. Disponible en: www.ipcc.ch (08/05/12).
- Jiménez, J.A., Valdemoro, H.I., Gracia, V., Solé, F., Ariza, E., Mendoza, T. and Sánchez-Arcilla, A. 2008. *Estat de la zona costanera a Catalunya. Vol. I, Aspectes metodològics*. Generalitat de Catalunya, Barcelona. Disponible en: http://www.igc.cat/web/es/costa_lvzcc_acces.php (08/05/12).
- López Bermúdez, F. and Gomáriz, F. 2005. Las ramblas, agentes reguladores del litoral mediterráneo ibérico. El ejemplo de la rambla de Las Moreras, Murcia. En: Sanjaume, E. y Mateu, J. F. (Eds.), *Geomorfología litoral i Quaternari*. Homenatge al prof. Vicenç M. Rosselló i Verger. Univ. de Valencia, 245-257.
- Martín-Algarra, A. (coord.) 2004. Zonas Internas Béticas. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 395-437.
- Méndez, M. (dir.) 2011. *Análisis preliminar de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía a la potencial subida del nivel del mar asociada al cambio climático*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, 151 pp.
- Montes, R. 2010. Desastres naturales en la Región de Murcia 1800-1930. *Revista Murgetana*, 122, 26 pp. Disponible en: www.regmurcia.com (08/05/12).
- Paskoff, R. and Clus-Auby, C. 2007. *L'érosion des plages. Les causes, les remèdes*. Institut Océanographique Ed., Paris, 184 pp.
- 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)*. RESPONSE project, 26/04/2012, <http://www.coastalwight.gov.uk/response.htm>
- Seisdedos, J., Mulas, J., Gracia, F.J., del Río, L., Rodríguez, J.A., Pardo, J.M. and 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. Geo-Temas 13, 440 (4 pp).
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. and 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/> (08/05/12).
- 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/imap/i2761/i2761.pdf> (08/05/12).

Recibido: julio 2012
Revisado: octubre 2012
Aceptado: abril 2013
Publicado: julio 2013