
**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

Peligrosidad natural y patrimonio histórico en la costa andaluza

I. Vallejo Villalta^{a*} y J. Márquez Pérez^a

^a*Departamento de Geografía Física y AGR. Universidad de Sevilla*

Resumen

La consideración del patrimonio histórico y cultural en los estudios y evaluaciones de daños por fenómenos extremos de la naturaleza constituye una aproximación de gran interés tanto en el terreno científico, como en el de la política de gestión y conservación patrimonial. Sin ser nuevo, este tipo de enfoque ha ido ganando atención en los últimos tiempos, probablemente impulsado por las previsiones del cambio climático, así como por diferentes episodios catastróficos de gran impacto internacional. Indicio de este creciente interés es la publicación anual por ICOMOS (UNESCO) del informe *Patrimonio en Riesgo*, en el que se recogen los casos de lugares y monumentos sometidos a diferentes tipos de amenazas, entre las que destacan los conflictos armados, los procesos de urbanización o los riesgos antrópicos y naturales; a estos últimos, precisamente, dedica este organismo publicaciones monográficas en las que se recogen cuestiones generales y casos de estudio sobre un gran número de fenómenos a lo largo de todo el mundo.

En el caso de las zonas costeras este planteamiento resulta del máximo interés, por cuanto sobre las mismas confluyen, por un lado, una importante gama de procesos naturales altamente dinámicos que suelen conllevar apreciables niveles de peligrosidad y, por otro lado, una alta densidad de elementos históricos de gran significación que son consecuencia de la extensa y prolongada ocupación de los medio litorales por el hombre.

El presente trabajo se incluye en un proyecto más amplio que pretende llevar a cabo una evaluación de los daños derivados de procesos naturales que puede sufrir el patrimonio histórico inmueble situado en la costa andaluza, utilizando para ello herramientas de información geográfica. En este caso particular se lleva a cabo una primera aproximación centrada en el estudio de las torres vigías que se reparten a lo largo de todo el litoral andaluz; esta información se ha

* E-mail: ivallejo@us.es.

extraído del Sistema de Información del patrimonio arqueológico de Andalucía (ARQUEOS) del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH). Para el estudio de la peligrosidad natural se ha hecho uso de numerosa información incluida en el Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía (SIGLA), con la que se han elaborado cartografía e indicadores vinculados, entre otros fenómenos, a la erosión costera y continental, la inestabilidad de laderas, las inundaciones o los cambios del nivel del mar. Entre los resultados más destacables del trabajo destaca una estimación individual para cada torre de su mayor o menor exposición a cada uno de los procesos considerados.

Palabras clave: peligrosidad natural; patrimonio histórico inmueble; torre vigía; costa; sistema de información geográfica

1. Introducción

La consideración del patrimonio histórico y cultural en los estudios y evaluaciones de daños por fenómenos extremos de la naturaleza constituye una aproximación de gran interés tanto en el terreno científico, como en el de la política de gestión y conservación patrimonial (Taboroff, 2000; Panizza, 2008; Pavón Gamero & Rivas Palom, 2009). Sin ser nuevo (Baldi, 1992), este tipo de enfoque ha ido ganando atención en los últimos tiempos, probablemente impulsado por diferentes episodios de gran impacto internacional entre los que destacan terremotos, tsunamis, e inundaciones (Canuti et al, 2000; Holický & Sýkora, 2010; Okamura, 2013), así como por las previsiones asociadas al cambio climático (Sabbioni et al, 2009). Indicio de este creciente interés es la publicación anual por ICOMOS del informe *Patrimonio en Riesgo*, en el que se recogen los casos de lugares y monumentos sometidos a diferentes tipos de amenazas, citándose entre otras, los conflictos armados, los procesos de urbanización o los riesgos antrópicos y naturales; a estos últimos dedica este organismo diversas publicaciones monográficas en las que se recogen cuestiones generales y casos de estudio sobre un gran número de fenómenos a lo largo de todo el mundo (ICOMOS, 2007).

En el caso de las zonas costeras este planteamiento resulta del máximo interés por la confluencia de condicionantes naturales e históricos que tiene lugar sobre las mismas. Así, por un lado, los medios costeros conllevan unas altas tasas de dinamismo, desarrollándose un importante número de procesos naturales, muchos de los cuales son específicos de estas áreas donde factores continentales y marinos interactúan; más aún, en todas las previsiones sobre cambio climático son las zonas costeras uno de los ámbitos para los que se esperan unos efectos más intensos (IPCC, 2014). Por otro lado, los medios litorales han sido espacios ocupados por el hombre desde muy temprano y presenta, por tanto, una elevada densidad de elementos históricos de alta significación patrimonial (Panizza, 2008; Murphy et al, 2009). Sobre estas bases, la utilización de aproximaciones y herramientas vinculadas a las tecnologías de la información geográfica en este campo se está abriendo como una línea de trabajo de gran relevancia (Shi et al, 2011; Reeder et al, 2012) y puede convertirse en una excelente contribución y apoyo a la política de gestión y conservación patrimonial.

El presente trabajo se inscribe en un proyecto más amplio de colaboración entre el grupo de investigación Ordenación del Litoral y Tecnologías de Información Territorial, al que pertenecen los autores, y el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH), cuyo objetivo general es la evaluación de la incidencia de los riesgos naturales sobre el patrimonio histórico mueble de la costa andaluza. Para este caso particular el análisis se centra sobre el conjunto de las torres vigías de época medieval y moderna que se reparten por todo el litoral andaluz, lo que constituye una de las principales razones para su elección, ya que esto obliga a diseñar una metodología que a nivel regional incluya la amplia diversidad de situaciones que se dan en todo este espacio. Desde el punto de vista de la peligrosidad natural se ha hecho uso de numerosa información contenida en el Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía (SIGLA), a partir de la que se

han elaborado diferentes cartografías e indicadores que comprenden fenómenos como la erosión continental y costera, la inestabilidad de ladera, las inundaciones, o los potenciales cambios del nivel del mar. La consideración conjunta del emplazamiento de las torres vigía y la espacialización de los indicadores de peligrosidad natural marca el objetivo del trabajo que se dirige a señalar la mayor o menor exposición de cada torre al conjunto de fenómenos considerados.

2. Área de estudio

El área de estudio está constituida por el espacio que comprende la extensión lineal de la costa de Andalucía, de unos 800 km, aproximadamente, y un desarrollo hacia el interior de 5 km. En este espacio quedan representados los dos tramos litorales que se diferencian en esta región. De una parte, un sector occidental hasta el Estrecho de Gibraltar, expuesto al oleaje del océano Atlántico y con un carácter mesomareal; en el mismo pueden distinguirse, a su vez, dos tramos: uno desde la desembocadura del Guadalquivir hasta la del Guadalquivir, donde son predominantes las formaciones arenosas y las marismas mareales, y otro desde el Guadalquivir hasta el Estrecho de Gibraltar, donde estas formaciones alteran con la presencia de materiales más competentes que dan origen a formaciones de acantilados costeros. De otra parte, el sector oriental, entre el Estrecho de Gibraltar y Almería, se encuentra expuesto al oleaje del mar Mediterráneo, micromareal, y donde la presencia de costas rocosas y acantiladas se hace más importante, intercaladas con formaciones de playas, deltas y albuferas (Ojeda, 2003).

3. Fuentes de datos y metodología

3.1. Fuentes de datos

Los datos necesarios para este trabajo se agrupan en dos conjuntos diferenciados, uno referido a la información sobre el patrimonio histórico y otro que se vincula a la información sobre el medio físico y los procesos naturales de la zona estudiada.

En el primer caso los datos han sido facilitados por el IAPH, mediante una selección de todos los elementos patrimoniales contenidos en el sistema ARQUEOS (Fernández Cacho, 2002), para un espacio de trabajo representado por un área de 10 km hacia el interior desde la denominada *línea de costa larga* en el SIGLA; esta línea, además del frente costero, incluye el conjunto de estuarios que prolongan tierra adentro el alcance del litoral. Los elementos patrimoniales disponibles constituyen un total de 4464 registros espaciales, divididos en 1553 entidades poligonales y 2911 entidades puntuales. En las tablas asociadas a los mismo se incluye información referida a su codificación, denominación, tipología y cronología, entre otra. Para este trabajo concreto, se han seleccionado todos aquellos registros correspondientes a la tipología específica de torres vigías o torres defensivas, que arrojaba un total de 121 registros. Este tipo de torres constituía el sistema de vigilancia y defensa de las costas andaluzas, presentando cronología medieval y, sobre todo, moderna (Mora Figueroa, 1981; Falcón Márquez, 1989). Su distribución tiene lugar a lo largo de toda la costa andaluza, desde la desembocadura del Guadiana hasta la parte más oriental del litoral almeriense. La incidencia de la dinámica natural en el estado actual de este tipo de torres es manifiesta; así, en algunos casos, podemos encontrarlas muy alejadas de la línea de costa actual, como muestra del comportamiento progradante de unos sectores, mientras que, en otros casos, se muestran destruidas sobre el espacio intermareal actual, como ejemplo de la intensa erosión costera.

En el segundo caso, esto es, para la información relativa a los procesos naturales, se han utilizado fundamentalmente datos incluidos en el SIGLA, así como otros procedentes de DERA (Datos espaciales de referencia de Andalucía del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía - IECA) o de la REDIAM (Red de Información Ambiental de Andalucía). Entre los datos claves que deben destacarse hay que mencionar los siguientes:

- Modelo digital de elevaciones (MDE). Esta información ha resultado fundamental, puesto que gran parte de los factores y procesos examinados hacen usos de datos sobre elevación o pendiente. El MDE utilizado ha sido el elaborado por la Junta de Andalucía en 2001, con celdilla de 10 m.
- Unidades fisiográficas. Las unidades fisiográficas constituyen una de las capas de referencia del SIGLA y son la base de los mapas fisiográficos del litoral de Andalucía. Estas unidades han sido levantadas como entidades poligonales a través de la fotointerpretación (escala 1:10.000) de ortoimágenes de diferentes fechas, y recogen todo el conjunto de formaciones geomorfológicas asociadas a la dinámica litoral de la región, así como los principales elementos antrópicos que se encuentran en este ámbito.
- Unidades litológicas. A pesar de la escala 1:400.000 a la que se han obtenido estas unidades procedentes de la REDIAM, su uso se justifica por complementar a las unidades fisiográficas en aquellos sectores del área de trabajo para los que nos existe información (zonas interiores del área de estudio) y por su utilización para matizar la naturaleza de las formaciones rocosas que las unidades fisiográficas se señalan.
- Índice de vulnerabilidad costera (CVI). Este indicador ha sido generado a partir de datos contenidos en el SIGLA y ofrece diferente información para tramos costeros de 200 m (Ojeda et al, 2009).
- Pérdidas de suelo en Andalucía. En este caso se trata de un proyecto de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía que ofrece coberturas regionales con información sobre las pérdidas de suelo para celdillas de 75 m. Los datos que se ofrecen, disponibles en la Rediam, pertenecen al periodo 1992-2011 y han sido calculados mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo – USLE (Moreira et al, 2009).

3.2. Metodología

El proceso de trabajo seguido consiste en asignar a cada una de las torres el valor de los distintos indicadores de los procesos que se analizan, examinándose a continuación como han sido generados y asignados en cada caso. En todos los casos, siguiendo la metodología de elaboración de indicadores del CVI (Ojeda et al, 2009), se otorga un valor de 1 a 5, siendo 1 las condiciones más favorables y 5 las condiciones más desfavorables. Los procesos finalmente evaluados han sido el alcance por temporales, los cambios de la línea de costa a largo plazo (tendencia progradante o regresiva), las avenidas fluviales, la erosión continental, los procesos gravitacionales o la potencial elevación del nivel del mar.

3.2.1. Alcance por temporales costeros (Atc)

En este caso se trata de valorar la exposición de cada torre al oleaje extremal en aquellos momentos en que se dan temporales costeros de alta intensidad. Para ello se han considerado dos grupos de factores diferentes. En primer lugar, se ha calculado para cada torre un indicador que refleja su mayor o menor proximidad al frente costero (batido por el oleaje); esta proximidad se deriva de la consideración conjunta de la altura y la

distancia a la que se encuentra la torre del punto más cercano de la costa. La fórmula utilizada para el cálculo de este indicador es la siguiente:

$$PFc = \frac{(h^2 \cdot d^2)}{1000} \quad (1)$$

Donde PFc es el indicador de proximidad al frente costero, h es la altura a la que se encuentra la torre, extraída del MDE, y d es la distancia de un vector perpendicular desde la torre al frente costero más cercano. Posteriormente se ha clasificado este valor obtenido por la fórmula 1 en 5 clases (Figura 1). En el gráfico 1 se muestran la relación de altura y distancia para las 4 primeras clases; la clase 1, que lógicamente es en la que se incluyen las torres situadas en zonas muy interiores, no se muestra en el gráfico.

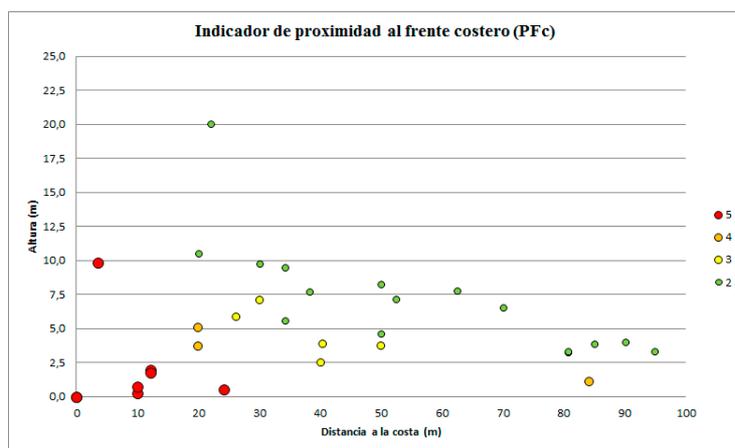


Fig. 1. Clasificación de las torres vigía en función del indicador de proximidad a la costa (PFc)

En segundo lugar, se han utilizado dos de los indicadores empleados para el CVI para estimar la mayor o menor incidencia del oleaje de alta intensidad. Estos dos indicadores son los que se refieren a oleaje significativo medio (H_s) y al rango mareal medio (TID); como en el resto de indicadores del CVI los datos de escalan de 1 a 5, mostrando en este caso aquellos sectores costeros (tramos de 200 m) con mayores o menores medias de altura de oleaje y rango de marea. En este caso, la utilización conjunta de ambos mediante una simple media aritmética pretende ofrecer una aproximación a la mayor o menor posibilidad de que en esos tramos costeros se den olas de una altura importante, cuyo alcance en la costa se vea intensificado por la coincidencia con momentos de pleamares intensas. El indicador se asigna a cada torre a través del vector perpendicular que la une a la costa.

Finalmente, el indicador de alcance por temporales costeros (Atc) se obtiene por una combinación de los factores anteriores (media aritmética), excepto para el caso de la clase Pfc1, al considerarse que las torres pertenecientes a la misma están completamente fuera del alcance de cualquier tipo de oleaje y, por tanto, conservan este valor (1) indicativo de una total ausencia de afectación.

3.2.2. Cambios en la línea de costa (Clc)

Al igual que en el caso anterior, para cada torre se han tenido dos factores. El primero de ellos es un factor de erodibilidad (Erd), que trata de expresar la mayor o menor facilidad a la erosión de aquellos espacios del litoral que se encuentran entre cada torre y la línea de costa. Para ello se ha representado estos espacios a través del vector perpendicular que une cada torre a la línea de costa; estos vectores han sido dividido en diferentes tramos, en función de las unidades litológicas que atraviesan, quedando cada tramo caracterizado por su altura media y su longitud. A cada tramo se le ha aplicado la siguiente fórmula:

$$erd = \frac{(\bar{h}^i \cdot d^2)}{1000} \quad (2)$$

donde *erd* es la erodibilidad de cada tramo, *d* es la longitud del mismo, y \bar{h} es la altura media del tramo elevada a un exponente *i* que va a depender de su naturaleza litológica de los materiales que atraviesa. En el caso de litologías correspondientes a rocas coherentes, de gran resistencia a la erosión, el exponente es 4; en el caso de otras formaciones rocosas que presentan mayor susceptibilidad a la erosión por su reciente formación o por condiciones de alteración, este exponente es de 2; finalmente, en el caso de formaciones superficiales muy recientes (llanuras fluviales, playas, marismas, dunas, etc), este exponente es 1. La erodibilidad (Erd) final asignada a cada torre consiste en un sumatorio de las que se han calculado para los diferentes tramos que componen el vector torre-costa.

En segundo lugar, al igual que ocurría con el indicador anterior (Atc), se ha considerado uno de los indicadores del CVI para el tramo costero asociado a cada torre. En este caso ha sido el que se refiere a las tasas de cambio de la línea de costa (ERO), obtenido a través de la clásica comparación entre líneas de costa de diferentes fechas y que muestra en las 5 clases la tendencia erosiva o progradante de cada tramo.

Considerando de forma conjunta los dos criterios anteriores se ha obtenido el indicador final de cambios en la línea de costa, en un intento de asignar a cada torre, la mayor o menor posibilidad (5...1) de que el espacio que la separa de la línea de costa pueda sufrir importantes retrocesos a medio plazo, con la consiguiente mayor exposición de la torre a la dinámica costera.

3.2.3. Subida potencial del nivel del mar (Snm)

De forma similar a lo que se ha expuesto para el alcance de los temporales costeros, en este caso se trata de señalar, para plazos de tiempo más largos, la mayor o menor posibilidad de que cada torre se vea afectada por la previsible subida del nivel del mar asociada al cambio climático. Sin embargo, a diferencia de un cálculo de la distancia al frente costero más cercano, en este caso se ha estimado la menor trayectoria que por criterios topográficos existe entre cada torre situada en cotas inferiores a 10 m y el punto más cercano de la *línea de costa larga* generada en el SIGLA, que, como ya se ha dicho, incluye caños de marisma y estuarios. Junto a esta trayectoria mínima, también se han considerado las altitudes, siempre que las mismas fuesen inferiores a 10 m; en este caso se ha utilizado la ecuación 1, modificando los exponentes que pasan a ser 4 para las alturas (*h*) y 1 para el caso de la distancia. Además de este criterio de proximidad a la línea de costa (Plc), para este indicador se tiene en cuenta un criterio vinculado a los cambios del nivel del mar (LEV) que, como en casos anteriores se ha extraído del CVI.

3.2.4. Procesos gravitacionales (Pg)

En el caso de los procesos gravitacionales, la intención es valorar la exposición de cada torre a fenómenos vinculados a la inestabilidad de laderas como las caídas o los deslizamientos. La posición sobreelevada de un buen número de estos edificios, dada su función de vigilancia, hace que en muchos casos ocupen ámbitos escarpados o próximos a acantilados, donde la dinámica de los procesos gravitacionales suele ser alta, en muchos casos asociada a la propia erosión costera sobre la base de los acantilados, o a la erosión continental por su incidencia en la dinámica de laderas.

Para la estimación del indicador de procesos gravitacionales se han considerado factores ligados a las pendientes y a la naturaleza litológica de los emplazamientos en torno a cada torre, siguiendo para ello lo que se expone en diversos trabajos de referencia (Irigaray & Chacón, 2002). Para el cálculo de valores se han excluido aquellas áreas dominadas por sistemas dunares activos, donde, a pesar de la existencia de acusadas pendientes no se producen los fenómenos de inestabilidad de laderas que pueden causar daños en las torres.

Calculada la susceptibilidad de toda la zona de estudio a la ocurrencia de procesos gravitacionales, se han obtenido los valores correspondientes a la celda donde se ubica la torre, así como el máximo valor de un área de influencia en torno a la misma de 50 m. La media aritmética de ambos valores ha sido finalmente el valor asignado a cada torre.

3.2.5. Avenidas fluviales (Af)

Para la consideración de la potencial afectación de las torres por avenidas fluviales se han tomado las unidades fisiográficas que se califican como llanuras de inundación y que fueron levantadas mediante fotointerpretación; a estas zonas se han anexado aquellas celdas conectadas con ellas, siempre que presentasen pendientes inferiores al 2%. Con esta zonificación se han seleccionado las torres incluidas en zonas potencialmente inundables por avenidas fluviales, matizándose posteriormente su mayor o menor afectación por la diferencia de altura entre la celdilla de la torre y la de un área de influencia en torno a la misma de 50 m.

3.2.6. Erosión de suelos (ERs)

Dada la existencia de una excelente información sobre erosión de suelos para toda la Comunidad Autónoma de Andalucía, se ha decidido utilizar estos datos para asignar a cada torre el valor correspondiente a la celdilla donde se ubica (75 m). Tan sólo se ha modificado el valor ofrecido por la información de la REDIAM cuando las torres se ubican en entornos de suelos sellados, como en el caso de los núcleos urbanos, en cuyo caso se han pasado a la categoría de menor incidencia (1), mientras que a las restantes clases originales se les ha sumado 1 para escalarlas entre 2 y 5.

3.2.7. Indicador de peligrosidad integrado (Ipi)

El indicador que finalmente se asigna a cada torre como una información de la acción conjunta de los diferentes procesos naturales considerados se ha obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$Ipi = \frac{(Atc^3 + Clc^3 + Snm^3 + Pg^3 + Af^3 + ERs^3)}{6} \quad (3)$$

El objetivo del exponente elegido es amplificar la importancia de aquellos indicadores que muestran al los valores, de tal forma que aquellas torres en las que se dan al menos 3 de estos valores resulten destacadas. De otra forma, unos indicadores y otros tienden a compensarse, sobre todo por contraste entre los fenómenos estrictamente costeros y los de origen continental, resultando finalmente en unos valores globales que suelen aparecer muy suavizados. Finalmente, los valores resultante de la ecuación 3 se normalizan para que se escalen entre 1 y 5.

4. Resultados

En el siguiente apartado se comentan los resultados obtenidos para los diferentes indicadores calculados.

4.1.1. Alcance por temporales costeros (Atc)

En los resultados que muestra este indicador se observa (Figura 2) una mayor incidencia de los temporales costeros en la fachada mediterránea frente a la atlántica. En esta última aparecen 3 torres con los valores máximos (Torre del Rio de Oro y Torre de la Higuera, en la tramo final de la costa onubense, y Matagorga en Puerto Real, provincia de Cádiz) y mientras que en el resto de casos no van más allá del valor 3. Este comportamiento se debe a unos bajos niveles del indicador de proximidad al frente costero (Pfc), ya que en el caso de la altura del oleaje y los rangos de marea la costa atlántica presenta datos más elevados.

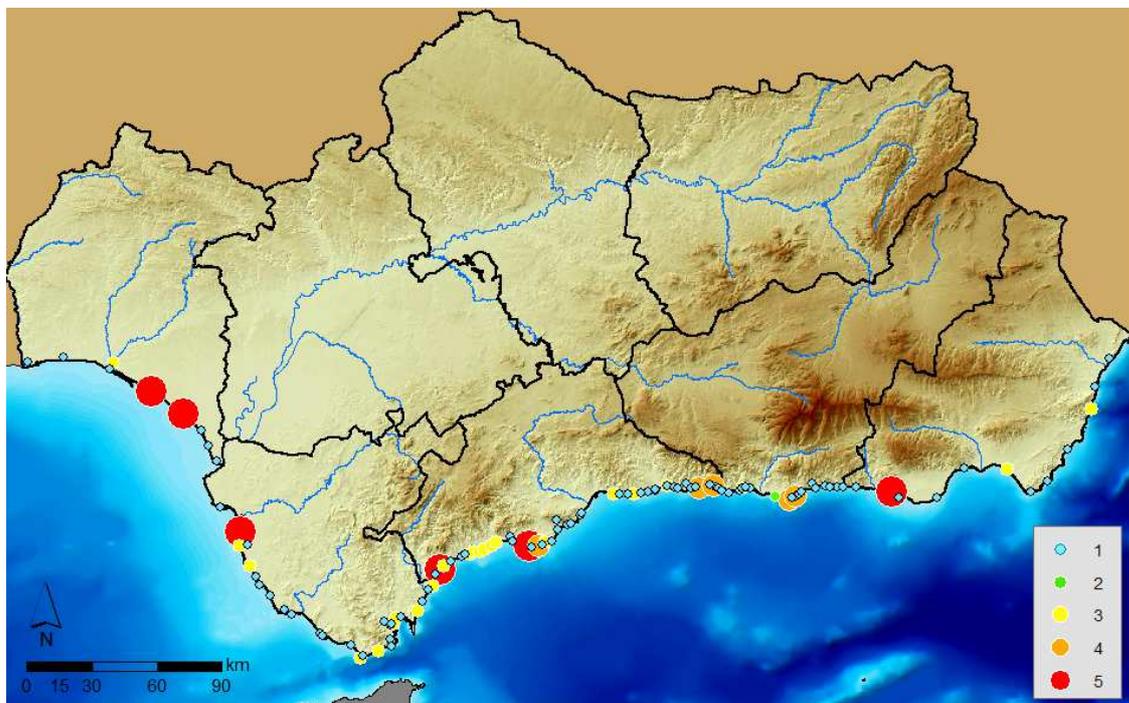


Fig.2. Clasificación y localización de las torres en función del indicador de alcance por temporales costeros (Atc)

En la fachada mediterránea, a pesar de su carácter micromareal y una menor energía del oleaje, encontramos mayores niveles de proximidad al frente costero (PFc), lo que supone la aparición de un importante número de torres con valores de 5 y 4. En el caso de los valores más elevados se dan, en la provincia de Málaga, en las torres de Salto de la Mora y Calabozo-Camarote, en Casares y Lance de las Cañas, mientras que en Almería se da en Torre Balerma, en El Ejido. Respecto a las torres con valor 4, tres aparecen en Málaga, Calahonda (Mijas), y Torrecilla de Nerja y del Torre del Rio de la Miel (Nerja), mientras que en Granada se da en las torres del Llano (Motril) y La Rinaja (Gualchos).

4.1.2. Cambios en la línea de costa (Clc)

De forma similar al caso anterior, la erosión de la costa a medio plazo parece suponer un mayor problema para las torres vigía en el sector mediterráneo (Figura 3), si bien en el tramo acantilado al sur de Cádiz, aparece un conjunto de torres con valor 3 que no se registraba en el indicador anterior. Con la excepción de las anteriormente citadas torres del Rio del Oro y de la Higuera, en un sector fuertemente erosivo de la provincia de Huelva, el resto de torres (11) con valores de 5 se sitúan a lo largo del mediterráneo. Con la excepción de las torres del Llano (Granada) y Balerma (Almería), el resto se localizan en la provincia de Málaga: torres de Chullera (Manilva), Calabozo-Camarote y Salto de la Mora (Casares), Baños (Estepona), Bóvedas y Lance de los Caños (Marbella), Calahonda (Mijas), y Torrecilla y Arroyo de la Miel (Nerja). En términos medios, todas las torres se encuentran en torno a los 3 m de altura, mientras que la distancia al frente costero no suele superar los 30 m. Al contrario de lo que ocurriría con el indicador de alcance (Atc), ahora suele darse una coincidencia entre los emplazamientos con mayores niveles de erodibilidad (Erd) y los tramos costeros donde la tendencia erosiva calculada para el CVI es acusada (ERO).

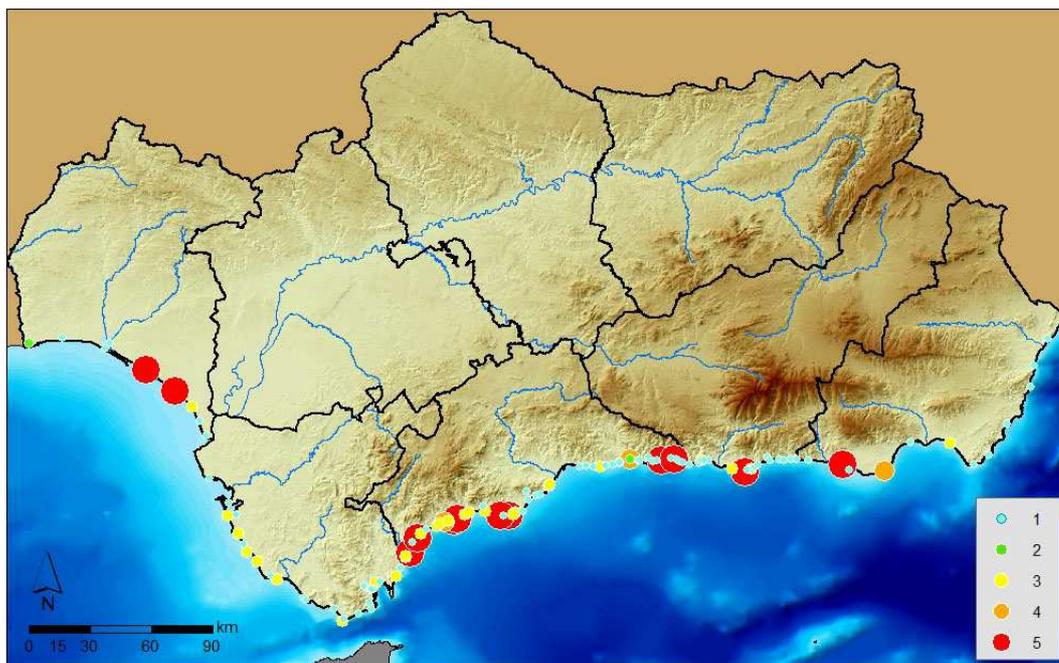


Fig.3. Clasificación y localización de las torres en función del indicador de cambios en la línea de costa (Clc)

4.1.3. *ida potencial del nivel del mar (Snm)*

En el caso de este indicador, las torres con los valores más altos se localizan en un sector entre la desembocadura del Tinto-Odiel y la Bahía de Cádiz, en la fachada atlántica, y el sector central de la costa mediterránea, entre la costa oriental de Málaga y la occidental de Granada. Esta localización se explica fundamentalmente por la concentración en estos mismos sectores de los valores más altos del indicador LEV del CVI, ya que la parte del indicador que hace referencia a las condiciones de proximidad a la línea de costa (Plc) se reparte de una forma homogénea a lo largo de toda la costa andaluza.

4.1.4. *Procesos gravitacionales (Pg)*

La localización de gran parte de las torres vigía en emplazamientos aislados y elevados hace que en gran parte de los casos estos edificios presenten un valor alto en este indicador (Figura 4). En este caso solo queda al margen la costa de Huelva, donde en gran parte de los casos las torres se sitúan sobre formaciones arenosas recientes, a excepción de la Torre del Catalán, ubicada en el frente de un acantilado. Como pautas medias destacables hay que referirse a que el prototipo de torre afectada suele situarse a una altura importante (87 m de media) y alejada de la línea de costa (200 m por término medio), si bien existen casos muy significativos de torres al borde de acantilados costeros

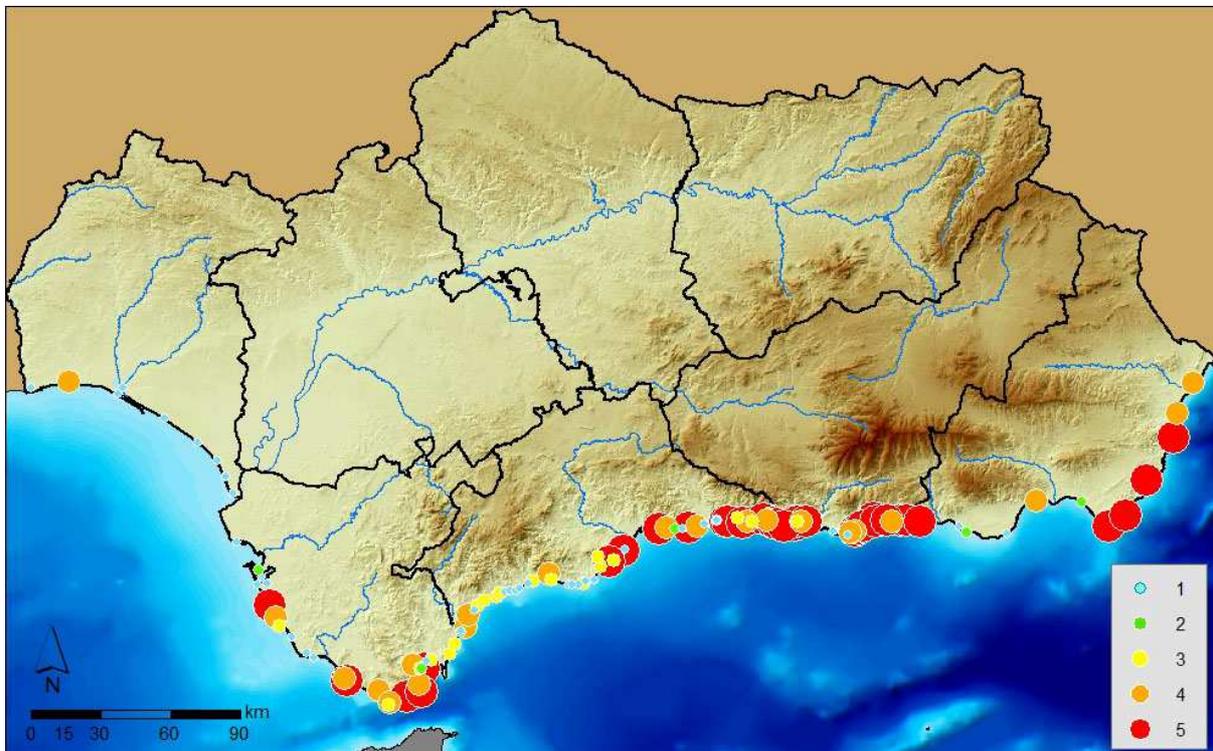


Fig.4. Clasificación y localización de las torres en función del indicador de procesos gravitacionales (Pg)

En la costa de Cádiz las torres potencialmente afectadas se localizan, en un primer tramo, en los acantilados de Chiclana y Conil de la Frontera (Torres Bermeja, del Puerco y Roche), y en otro sector vinculado a las costas recortadas del Estrecho de Gibraltar (Torres de Cabo Plata, Cabo Enmedio, Peña, Almedina y Guadalmesí, en Tarifa, y Torres de Montelatorre, Fraile o Almirante, en Algeciras). En la costa mediterránea, en la provincia de Málaga, destaca el sector más oriental (Torres de las Palomas, Moya, Lagos, Güi, Calaceite, Maro o Caleta), mientras que en Granada un gran número de torres potencialmente sometidas a este tipo de procesos se reparten por su corto y abrupto litoral (Torres de Cerro Gordo, Punta de la Mona, Velilla, Granizo, Cambrón, Rinaja, Estancia, Cambriles, Polopos, Cantor, Melicena, Rápita y Huarea). En la costa de Almería, a excepción de la Torre de Guainos, que se sitúa cerca del límite con Granada, todas las torres con valores altos se localizan en el sector de levante (Torres de Vela Blanca, Calahiguera, San Pedro, o Atalaya del Peñon).

4.1.5. *Avenidas fluviales (Af)*

No son muchos los casos en que las torres vigía se sitúan en zonas inundables por avenidas fluviales. En la costa atlántica se encuentran en esta situación las torres de Arenilla, en la confluencia de los ríos Tinto-Odiel en Palos de la Frontera (Huelva), Castilnovo en Conil de la Frontera y Entrerrios en Los Barrios (Cádiz), en la desembocadura de los ríos Guadacorte y Palmones. En la costa mediterránea se encuentran las torres del Saladillo y Baños, en Estepona, Manganeta y Rio Vélez, en Vélez-Málaga, y Torre Ladeada, en Algarrobo, todas en la provincia de Málaga; en la provincia de Granada se encuentra la torre de Torrenueva, en Motril.

4.1.6. *Erosión de suelos (ERs)*

En este caso, las torres que aparecen como potencialmente afectadas representan un menor número, y muestran valores medios de distancia a la línea de costa aún más extremos que en el caso anterior (600 m), poniendo de manifiesto el carácter continental de este tipo de proceso. Lógicamente, en algunos casos las torres afectadas se localizan en los mismos sectores que en el caso de la inestabilidad de laderas, como sucede en el entorno del Estrecho (Frailes, Guadalmesí o Montelatorre) o las zonas orientales de Málaga (Maro y Rio de la Miel), Granada (Cantor, Rápita y Huarea) y Almería (San Pedro).

4.1.7. *Indicador de peligrosidad integrado (Ipi)*

Los resultados finales muestran un total de 3 torres con valor 5 de peligrosidad integrada, que son las del Rio de Oro y la Higuera (en Huelva) y la torre del Arroyo de la Miel, en Málaga (Figuras 5 y 6; tabla 1). En los dos primeros casos se trata de torres con una afectación máxima de todos los indicadores vinculados a la dinámica litoral y sin incidencia de los procesos continentales, ya que ambas se encuentran en la zona intermareal. En el caso de la torre del Arroyo de la Miel, en Málaga, los valores son altos tanto en los indicadores de los procesos litorales, como en los de carácter continental.



Fig. 5 Localización y clasificación de las torres con mayores valores de peligrosidad integrada (Ipi)

Con valor 4 aparecen los casos la Torre del Río Guadalmesí (o Guadalmedina), en Cádiz, las Torres de Baños, Torrecilla de Nerja, Lance de las Cañas, Salto de la Mora, Calabozo-Camarote, en Málaga, y la Torre Balerna, en Almería. En la mayoría de los casos suele ser predominante la acción potencial de los procesos litorales, si bien en los casos de las Torres de Baños y Ladeada se da una ubicación en zonas inundables por avenidas fluviales. El único caso donde los procesos continentales parecen ser dominantes es el de la Torre del Río Guadalmesí, en cuya localización son importantes los procesos gravitacionales y la erosión de suelos.

Tabla 1. Máximos valores para el indicador de peligrosidad integrada (Ipi) y para el resto de indicadores del que se deriva.

Denominación	Municipio (Prov)	Atc	Clc	Snm	Pg	Af	Ers	Ipi
Torre del Arroyo de la Miel	Nerja (Ma)	4	5	4	4	1	5	5
Torre del Río de Oro	Palos de la Frontera (Hu)	5	5	5	1	1	1	5
Torre de la Higuera	Almonte (Hu)	5	5	5	1	1	1	5
Torre de Baños	Estepona (Ma)	3	5	4	1	5	1	4
Torrecilla de Nerja	Nerja (Ma)	4	5	5	3	1	1	4
Torre Balerna	El Ejido (Al)	5	5	4	1	1	2	4
Torre Lance de las Cañas	Marbella (Ma)	5	5	4	1	1	1	4
Torre del Salto de la Mora	Casares (Ma)	5	5	3	1	1	3	4
Torre de Calabozo-Camarote	Casares (Ma)	5	5	3	1	1	2	4
Torre Ladeada	Algarrobo (Ma)	3	4	5	1	4	1	4
Torre del Río Guadalmeší	Tarifa (Ca)	3	1	1	5	1	5	4

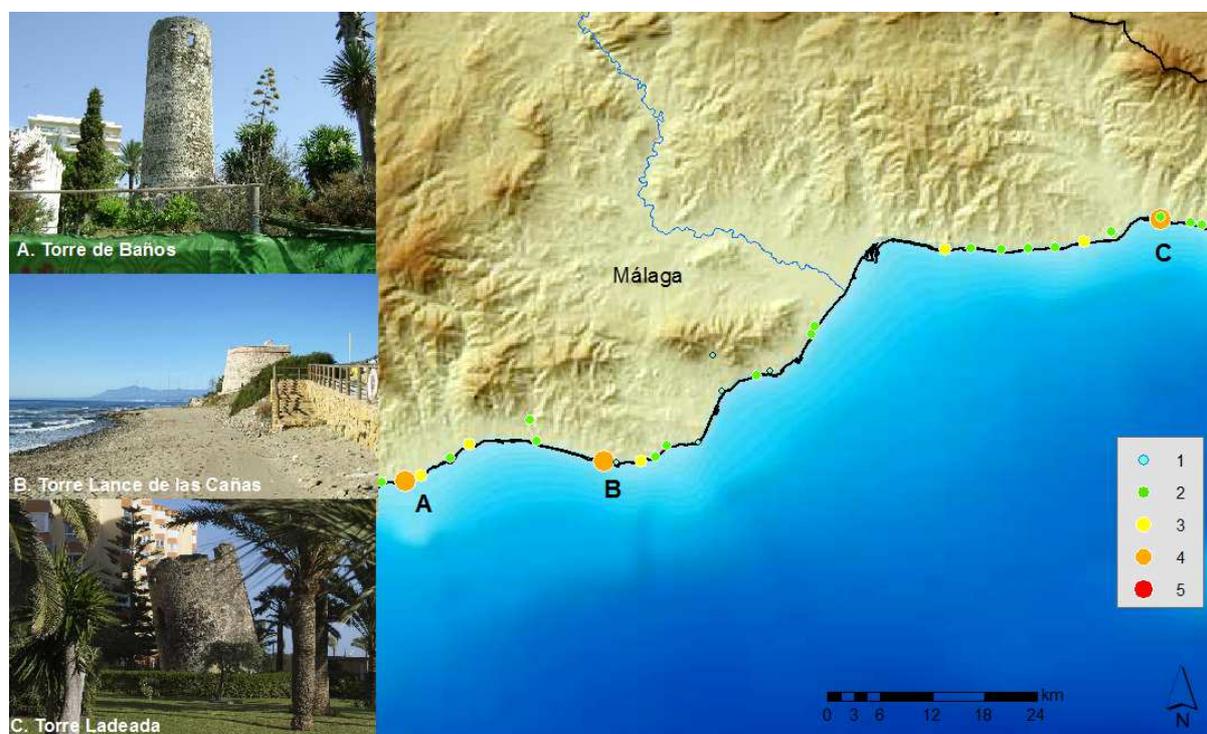


Fig. 6 Localización y clasificación de las torres con mayores valores de peligrosidad integrada (Ipi)



Fig.7 Localización y clasificación de las torres con mayores valores de peligrosidad integrada (Ipi)

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo representan un ejemplo de interés para mostrar la incidencia potencial de los procesos naturales en la situación del patrimonio histórico inmueble de la costa andaluza y, por tanto, pueden señalarse como una fuente de información de utilidad en tareas vinculadas a la conservación y gestión de dicho patrimonio. En líneas generales, se detecta una mayor incidencia de los procesos naturales asociados a la dinámica litoral, destacando en este sentido unos indicadores de peligrosidad más elevados en la costa mediterránea, especialmente en la provincia de Málaga.

No obstante, quiere hacerse hincapié en el carácter preliminar del trabajo que, como queda dicho, se inserta en un proyecto más amplio de evaluación de esta incidencia en la totalidad del patrimonio histórico inmueble inventariado de la costa de Andalucía. En este sentido, el trabajo ha permitido señalar diferentes aspectos sobre los que será necesario reflexionar; entre otros se señalan los siguientes:

- En primer lugar parece necesario reflexionar acerca de los procesos naturales que se han analizados, intentado evaluar la pertinencia de ampliarlos o simplificarlos y, en todo caso, establecer categorías dentro de los mismos. Así, habrá que estudiar la conveniencia de tratar conjuntamente procesos que actúan en periodos de tiempo muy distintos (alcance por temporales y subida a largo plazo del nivel de mar, por

ejemplo), o la necesidad de establecer ponderaciones para los diferentes fenómenos considerados en función de su mayor o menor capacidad para dañar el patrimonio inmueble.

- En segundo lugar, enlazando con lo que acaba de señalarse, parece inexcusable abordar el estudio de los elementos patrimoniales desde la óptica de la vulnerabilidad. Así, habrá que atender a factores puramente físico-estructurales que permitan arrojar luz sobre su mayor o menor susceptibilidad frente a la ocurrencia de uno u otro tipo de procesos naturales, junto a otros referidos a la significación, riqueza o importancia patrimonial que se dirija a posibilitar una más ajustada valoración del riesgo que se afronta.
- En tercer lugar, parece igualmente conveniente alternar este tipo de estudios generales y con gran dosis de simplificación metodológica, adaptada a la disponibilidad de información, con otras aproximaciones que, a escalas de mayor detalle, permitan profundizar en algunas de las cuestiones anteriormente apuntadas (incidencia real y diferenciada de los diferentes procesos naturales en el patrimonio inmueble, evaluación de la vulnerabilidad de los elementos patrimoniales, simulación de escenarios futuros, etc).

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto correspondiente al Plan Nacional (CSO2010-15807) y del proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía (RNM-6207): “Espacialización y difusión web datos de urbanización y fitodiversidad para la evaluación de la vulnerabilidad ante los procesos de inundación asociados a la subida del nivel del mar en Andalucía”

Referencias

- Baldi, P. (1992). La carta de riesgo del patrimonio cultural. En *La carta de riesgo. Una experiencia italiana para la valoración global de los factores de degradación del patrimonio monumental* (pp. 8-14). Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Junta de Andalucía.
- Canuti, P., Casagli, N., Catani, F., and Fanti, R. (2000). Hydrogeological hazard and risk in archaeological sites: some case studies in Italy. *Journal of Cultural Heritage*, 1(2), 117-125.
- Falcón Márquez, T (1989). *Torres de almenara del reino de Granada en tiempos de Carlos III*. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía
- Fernández Cacho, S. (2002). *ARQUEOS. Sistema de Información del Patrimonio Arqueológico de Andalucía*. Granada: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Junta de Andalucía. Editorial Comares
- Holický, M. & Sýkora, M. (2010). Assessment of Flooding Risk to Cultural Heritage in Historic Sites. *J. Perform. Constr. Facil.* 24, SPECIAL ISSUE: Flood Impact to Heritage Structures, 432–438.
- ICOMOS. (2007). *Heritage at risk*. Munich: ICOMOS.
http://www.international.icomos.org/risk/2007/natural_disasters/HR_Special_2007_Disasters_ebook_20091116.pdf
- ICOMOS (2011). *The Great East Japan Earthquake Report on the Damage to the Cultural Heritage*. ICOMOS-Japan. 41 p.
http://www.icomos.org/publications/ICOMOS%20Japan-earthquake_report_20111120.pdf
- IPCC. (2014). Fifth Assessment Report Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability
<http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/final-drafts/>
- Irigaray, C., & Chacón J. (2002.) Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de laderas mediante SIG. En F.J Ayala-Carcedo & J. Corominas, *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de laderas con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España* (pp. 21-36). Madrid: IGME.
- Mora Figueroa, L. de. (1981). Torres de almenara de la costa de Huelva. Huelva: Diputación Provincial de Huelva, Instituto de Estudios onubenses "Padre Marchena".
- Moreira Madueño, J.M., Rodríguez Surián, M., & Ojeda Zújar, J. (2009). Aportaciones de la detección y los SIG para la mejora de los modelos de evaluación de las pérdidas de suelo en Andalucía. En Romero, M.A., Belmonte, F., Alonso, F. & López, F., *Avances en*

- estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes* (pp. 343-346). Murcia: Universidad de Murcia.
- Murphy, P., Thackray, D & Wilson, E. (2007). Coastal Heritage and Climate Change in England: Assessing Threats and Priorities. *Conservation and Management of archaeological sites*, Vol. 11 No. 1, 9–15
- Ojeda Zújar, J. (2003). Las costas. En A. López Ontiveros, *Geografía de Andalucía* (pp. 118-135). Barcelona: Ariel.
- Ojeda Zújar, J., Álvarez Francoso, J. I., Martín Cajaraville, D. & Fraile Jurado, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus*, nº 9, 83-100.
- Okamura, K., Fujisawa, A., Kondo, Y., Fujimoto, Y., Uozu, T., Ogawa, Y., Kaner, S. & Mizoguchi, K. (2013). The Great East Japan Earthquake and cultural heritage: towards an archaeology of disaster. *Antiquity*, Volume: 87 N: 335, 258–269.
- Panizza, M., & Piacente, S. (2008). Geomorphology and cultural heritage in coastal environments. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 31, 205-210.
- Pavón Gamero, D. & Rivas Palom, A. (2009). Patrimonio, inundabilidad y paisaje fluvial en la cuenca del río Muga (Girona). *Geografía, territorio y paisaje: el estado de la cuestión. XXI Congreso de la AGE*. Universidad de Castilla-La Mancha-AGE, 1929-1944.
- Reeder, L.A., Torben, C. R., & Erlandson, J.M. (2012). Our disappearing past: a GIS analysis of the vulnerability of coastal archaeological resources in California's Santa Barbara Channel region. *Journal of Coastal Conservation*. Volume 16, Issue 2, 187-197.
- Sabbioni, C., Cassar, M., Brimblecombe, P., & Lefevre, R. (2009). Vulnerability of cultural heritage to climate change. *Pollution Atmospherique*, 202, 157-169.
- Shi, B., Menier, D., López-Romero, E., Regnaud, H., Proust, J.N., Daire, M.V., & Pian, S. (2011). Integration of Heritage Loss into Vulnerability Assessments of South Brittany Coastline (France). *EspacesTemps.net*.
<http://www.espacestemp.net/en/articles/integration-of-heritage-loss-into-vulnerability-assessments-of-south-brittany-coastline-france-en/>
- Taboroff, J. (2000). Natural Disasters and Urban Cultural Heritage: A Reassessment. In Kreimer, A., Arnold, M., & Carlin, A, *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk* (pp. 233-240). New York: The World Bank, Disaster Risk Management, Series no.3.