

Vulnerabilidad de las costas de Galicia ante los temporales marinos en el contexto del cambio global

*Vulnerability of the Galician coast to marine storms
in the context of global change*

ALEJANDRO GÓMEZ-PAZO

Universidade de Santiago de Compostela

a.gomez@usc.es

AUGUSTO PÉREZ-ALBERTI

Universidade de Santiago de Compostela

augusto.perez@usc.es

RESUMEN

La costa de Galicia tiene más de 2.100 km de longitud. Se caracteriza por el encadenamiento de sectores de costa rocosa y arenosa y se halla situada en un contexto de alta energía, sometida al paso de borrascas y temporales marinos. Por ello, en el contexto del cambio global en el que nos encontramos, es fundamental conocer las dinámicas que interactúan en ella para identificar los sectores más vulnerables en el presente y prevenir posibles consecuencias negativas en el futuro. Este estudio analiza su vulnerabilidad centrándose en las variables físicas que afectan a los primeros 100 m de la fachada marítima: pendiente, altitud, orientación, tipo de costa, litología, cambio en el nivel del mar, altura media de ola y distancia a la línea batimétrica de los 20 m.

El uso de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) ha permitido generar un índice de vulnerabilidad costera (CVI) con valores entre 1 y 5, de menor a mayor vulnerabilidad que muestra que el 4,52% de la fachada costera presenta valores de alta o muy alta vulnerabilidad, asociada principalmente a los arenales, mientras que el resto de la costa 57,96%, mayoritariamente costa rocosa, presenta unos valores de baja vulnerabilidad.

Palabras clave: Galicia; Sistemas de Información Geográfica; Cambio Global; Vulnerabilidad; Costa.

ABSTRACT

The coast of Galicia has more than 2.100 km for length. It is characterized by the chaining of rocky and sandy coast and it's located in a high energy context, subject to the passage of depressions and marine storms. In the context of global change, it is essential to know the dynamics that interact in the Galician coast to identify the most vulnerable sectors in the present and prevent potential

negative consequences in the future. This study analyzes the vulnerability of coastal focusing on physical variables that affect at the first 100 meters of the coastal zone: slope, altitude, orientation, type of coast, lithology, change in the sea level, average wave height and the distance from de 20 meters bathymetric line. A coastal vulnerability index (CVI) is generated from the Geographical Information Systems (GIS) tools with values between 1 and 5, from lower to higher vulnerability. This index shows that 4.52% of the Galician coast territory presents values of high or very high vulnerability, mainly associated with sedimentary zones, while a majority of the coast (57,96%), frequently rocky coasts presented values of low vulnerability.

Keywords: Galicia; Geographical Information Systems; Global Change; Vulnerability; Coast.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia las zonas costeras han sido el lugar de emplazamiento de numerosos núcleos de población y en el que las actividades económicas han alcanzado un gran desarrollo. La proliferación de viviendas, zonas industriales e infraestructuras hace cada día más importante la comprensión de las dinámicas existentes en ellas para poder planificar el presente y prevenir los posibles riesgos en el futuro. No se puede olvidar que el 37% de la población mundial vive a menos de 100 kilómetros de la costa (Barbaro, 2016) y que el litoral ocupa un 10% de la superficie terrestre y da cabida al 50% de la población (Guneroglu, 2015).

En los últimos 20 años, se han elaborado trabajos que analizan el litoral gallego desde distintos puntos de vista, desde los que analizan la evolución de algún sector de la costa, caso de la Ría de Muros e Noia (Trenhaile et al., 1999); los que clasifican tipológicamente las costas (Gomez-Pazo y Perez-Alberti, 2016); los cambios que se han producido en la línea de costa a nivel general desde el Pleistoceno a la actualidad (Pérez-Alberti et al., 2013), o aquellos que analizan la movilidad de las costas rocosas (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a; Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015b) sin olvidar los análisis centrados en zonas sedimentarias de gran interés como el sistema de la barra arenosa/sistema playaduna de Rodas en las Illas Cíes (Costas et al., 2005, 2009) o la comprensión de las secuencias sedimentarias en la costa cantábrica (Feal-Pérez et al., 2014). Sin embargo, no existe una investigación en la que se analice el grado de vulnerabilidad de la costa de Galicia ante los temporales o los posibles cambios ambientales.

El concepto de vulnerabilidad tiene múltiples acepciones en función del contexto en el que se utilice. En los estudios litorales la vulnerabilidad costera, al igual que la ambiental, se relaciona con el grado en el que un territorio se puede ver afectado por un determinado evento (Adger, 2006). La vulnerabilidad de una zona concreta ante un evento crece en función de la magnitud del evento, y en función de la repetición de este. Por ello, para establecer su grado de vulnerabilidad es preciso recurrir al análisis conjunto de diversos factores físicos, humanos o económicos. Se trata pues de un concepto que ha ganado importancia en los estudios costeros durante los últimos años, vinculado en

gran medida a las investigaciones que analizan las repercusiones del cambio global y que tratan de localizar las zonas más vulnerables para poder prevenir los futuros efectos negativos en un territorio, ante un hipotético aumento del nivel medio del mar, de la mayor virulencia de las tormentas y, muy especialmente, de la mayor recurrencia de las mismas. Esto ha llevado a que en las últimas décadas hayan aumentado en gran medida los trabajos relacionados con la vulnerabilidad costera a distintas escalas y en distintas zonas del planeta (Clark et al., 1998; Anfuso et al., 2010; Frazier et al., 2010; Roig-Munar et al., 2012; Bagdanavičiute et al., 2015; Lohmann, 2016) o los que buscan analizar cómo debe de ser la adaptación al cambio global (Ojeda Zújar et al., 2009; Fraile Jurado y Ojeda Zújar, 2012; Torresan et al., 2012; Spalding et al., 2014; Lohmann, 2016; Yanes Luque y Marzol Jaén, 2017).

El presente estudio busca generar un índice de vulnerabilidad relativa para la costa gallega atendiendo a sus características físicas y a las dinámicas marinas que interactúan en ella. A partir de los resultados, que se plasman en una cartografía que se ha elaborado a escala 1:90.000, para permitir ver todo el conjunto de la costa, y que se amplían en zonas de detalle a una mayor escala para facilitar la interpretación, se ha podido determinar cuáles son las áreas que presentan una mayor vulnerabilidad y por lo tanto a las que se debería prestar una mayor atención a la hora de la planificación y gestión.

2. ZONA DE ESTUDIO

Galicia se encuentra en el noroeste de la Península Ibérica. Se trata de una región con 2.100 km de costa, incluyendo sus islas (POL Galicia, 2010), en la que se suceden diversos tipos de costa en espacios muy reducidos (Fig. 1), lo que la hace un lugar de especial interés para la realización de estudios relacionados con el medio litoral. Tradicionalmente el mar ha tenido una gran importancia como medio de sustento para la población gallega gracias a actividades como la pesca o el marisqueo, con una mayor importancia del turismo en los últimos tiempos.

2.1. Caracterización de las costas de Galicia

Para analizar las tipologías costeras en Galicia, desde las costas puramente sedimentarias a los acantilados de mayor altura, es necesario considerar siempre tres variables: orientación, altura sobre el nivel del mar y pendiente. En primer lugar, hay que tener en cuenta la orientación dado que es fundamental para comprender como será el posible comportamiento de un sector ante los temporales invernales. En este sentido, la más abundante en el litoral gallego es la oeste, seguida de la noroeste (Tabla I). La altitud de la franja litoral sería el segundo elemento que tener presente, que además se relaciona estrechamente con las otras variables.

Analizando los datos de la tabla I se observa como en la fachada marítima próxima dominan las superficies planas, vinculadas tanto a superficies de aplanamiento como a áreas cubiertas por aportes sedimentarios. Conforme se aumenta en altitud, las orientaciones de oeste, noroeste y suroeste van ganando importancia. En el caso de las zonas más elevadas, por encima de los 300 metros, la orientación predominante es el noroeste. Un tercer factor de relevancia en la caracterización litoral es su pendiente. En la tabla II se observa que a altitudes inferiores a los 50 metros domina la horizontalidad, aumentando la pendiente conforme aumenta la altitud, así pues, las pendientes superiores a los 64° ganan importancia por encima de los 300 metros sobre el nivel del mar. Los valores de pendiente predominantes en la costa se encuentran por debajo de los 4°, el 25,91% y entre los 8 y los 16°, franja en la que se enmarca el 23,30% de la superficie costera.

Tabla II. Distribución de las costas de Galicia en relación con la altitud y la pendiente. Fuente: Elaboración propia a partir de información geográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Alt (m) \ Pend (°)	0	<50	<100	<150	<200	<250	<300	>300	Total
0	100,00	20,79	0,21	0,09	0,07	0,10	0,00	0,01	14,75
<4	0,00	33,93	11,87	7,13	5,58	5,57	2,54	3,34	25,91
<8	0,00	21,61	23,16	16,06	13,76	10,25	9,62	17,31	20,81
<16	0,00	16,28	40,28	39,48	35,22	31,50	28,52	28,29	23,30
<32	0,00	6,14	22,29	34,53	40,94	44,41	44,52	29,49	13,27
<64	0,00	1,24	2,17	2,68	4,41	8,14	14,77	21,46	1,94
>64	0,0	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,10	0,01
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2.2. Características del oleaje

Analizando las características del oleaje en tres boyas significativas localizadas en el litoral gallego (Estaca de Bares, Cabo Vilán y Cabo Silleiro) (Fig. 1) se observa como el oleaje llega principalmente desde el noroeste (Fig. 2). Esta componente principal hay que relacionarla con que la costa gallega se encuentra en una zona de frecuentes temporales invernales, con alturas de ola que pueden superar los 10 metros de altura. Estos episodios de alta energía se relacionan en la mayoría de los casos con olas de componente noroeste y oeste, siendo también importantes los temporales de componente suroeste.

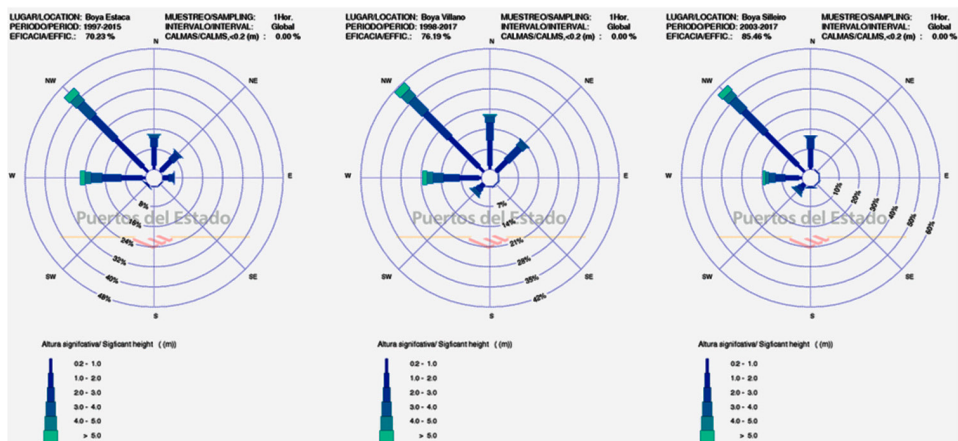


Figura 2. Rosas de oleaje de las boyas de Estaca de Bares, Cabo Vilán y Cabo Silleiro. Fuente: Puertos del Estado.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha empleado información geográfica procedente de diversas fuentes (Tabla III), toda ella de acceso abierto y gratuito a través de los servidores de las distintas instituciones. Todos los procesos llevados a cabo que necesitaron de un *software* SIG fueron realizados con ArcGIS 10.3 (licencia USC). Para la delimitación de la franja litoral se realizaron distintas aproximaciones a partir de la línea de costa. Finalmente se optó por tomar una zona de influencia de 100 m en paralelo a la línea de costa, lo que ha permitido apreciar con claridad las diferencias existentes entre los distintos sectores del litoral y la influencia marina sobre la fachada continental.

Con el objetivo de poder definir el valor del CVI se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre los factores más empleados en trabajos con objetivos similares en distintas zonas del planeta (Gornitz et al., 1994; Shaw et al., 1998; Palmer y Parak, 2009; Anfuso et al., 2013; Elliott et al., 2014; Denner et al., 2015; Ashraful Islam et al., 2016; Nguyen et al., 2016), optando por tomar como variables para este estudio las mostradas en la tabla III. En todos los casos se trata de variables físicas, con las que se busca la consecución de un índice de vulnerabilidad física relativa, al que posteriormente se le podría asociar la vulnerabilidad humana.

Se consideraron la litología, los tipos de costa y la altitud como fundamentales por ser variables de gran importancia ante posibles procesos erosivos como desprendimientos o deslizamientos, así como para poder comprender la resistencia de cada sector de costa ante la erosión marina.

En un segundo nivel se tuvieron en cuenta la orientación y las pendientes al tratarse de variables vinculadas a la posible incidencia de los temporales y la propagación de los mismos en la zona continental. Las variables con una menor importancia en el modelo final son aquellas asociadas con el medio marino, caso de la batimetría, la altura media del oleaje y el aumento del nivel medio del mar. Esta última variable destaca en la mayoría de los estudios desde los años 90 (Gornitz 1991; Sahu y Beach 2010; Sano et al., 2015), como un elemento fundamental para comprender las posibles consecuencias que puede suponer un aumento del nivel medio del mar relacionado con el cambio global en los sectores costeros.

En relación con la clasificación de vulnerabilidad para la litología, se ha tenido en cuenta no sólo su composición mineralógica sino también su respuesta a la erosión. Se ha podido comprobar que la resistencia, además de la mineralogía, también depende de su grado de fracturación o su respuesta a la meteorización. Por ello se ha diferenciado entre los granitos y las granodioritas, porque en el litoral gallego las segundas están muy condicionadas por el balance edafogénesis/morfogénesis de forma que el mar en la mayoría de los lugares lava la capa de alteración dando lugar a una costa marcada por la presencia de formas redondeadas, pequeños domos o bolos. Un buen ejemplo puede ser Cabo Udra en Pontevedra, la fachada marítima del Monte Pinto o en la Punta do Couso en Corrubedo ambas en la provincia de A Coruña. Por el contrario, los granitos se comportan de manera muy desigual en función de su fracturación o alteración. Por ejemplo, en el Monte das Lagoas, Narón (A Coruña), las rocas muy diaclasadas y alteradas dan lugar a acantilados con un alto grado de inestabilidad: mientras en el entorno de la entrada de la Ría de Ferrol domina una costa marcada por los planos de diaclasación lo que es semejante, a la que se observa en costas dominadas por las pizarras, como en el sector de Rinlo, en Ortigueira. En los dos casos los planos de discontinuidad o de estratificación marcan las líneas de retroceso de los acantilados. Los esquistos, en cambio, suelen alterarse muy fácilmente lo mismo que las rocas básicas lo que favorece la puesta en marcha de deslizamientos rotacionales o retrocesos constantes de la línea de costa por el lavado continuo de las capas de alteración. Esto es visible, en el primer caso en la Ría de Betanzos, Ferrol u Ortigueira, en Ladrado o en el entorno de Cariño, en el segundo (Fig. 3).

Una respuesta muy débil frente a la erosión la presentan los sedimentos recientes. En aquellos lugares en donde se han acumulado el retroceso de la línea de costa es muy rápido como se puede ver en diferentes lugares de la Ría de Muros y Noia, Illas Cíes, Costa da Morte, Costa de Foz o en el tramo Cabo Silleiro-A Guarda. El retroceso de la costa es muy rápido dando lugar a corredores estrechos en medio de los acantilados.

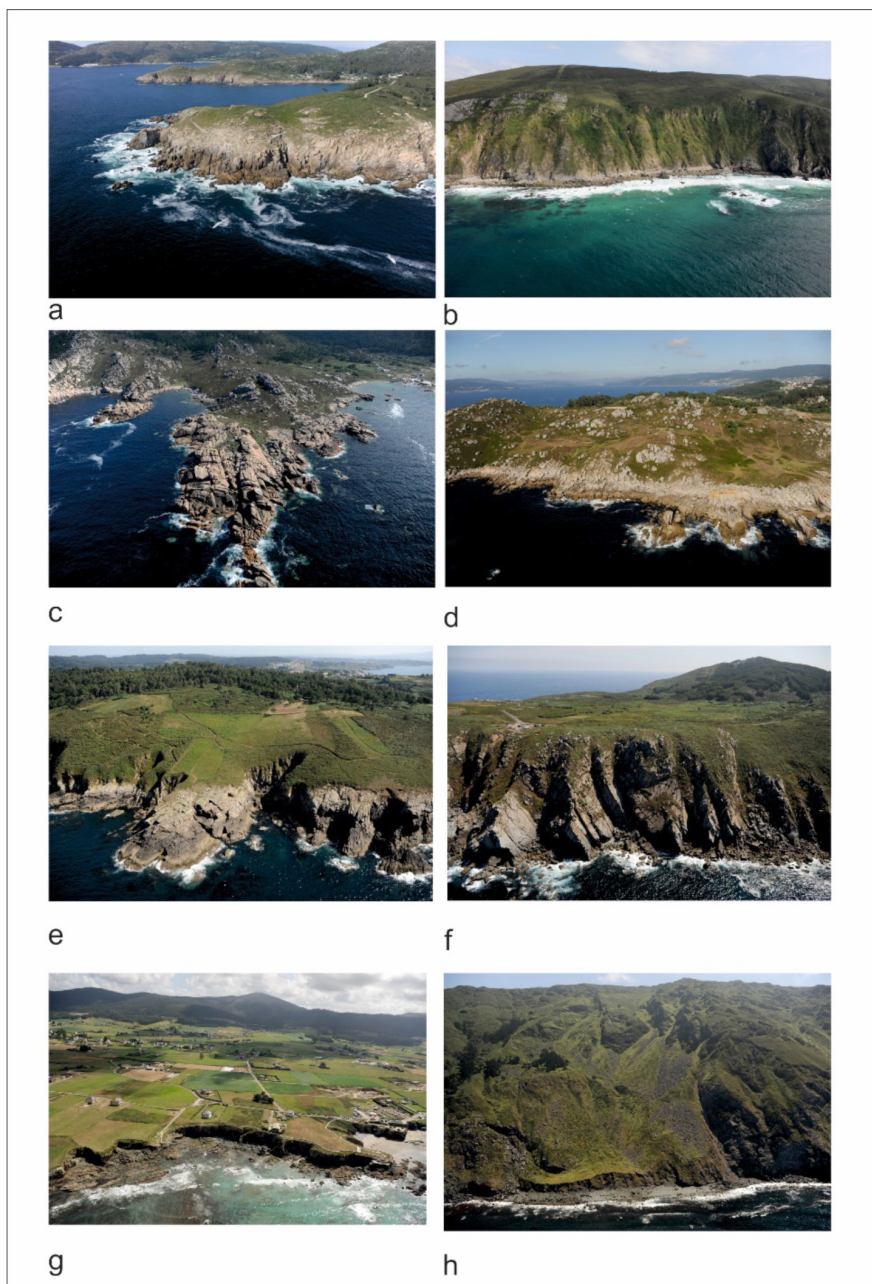


Figura 3. Diferentes tipos de acantilados sobre distintas clases de roca y/o grado de fracturación o estratificación en la costa: a) granitos (Chanteiro, Ares, A Coruña); b) granitos (Montes da Lagoa, Narón, A Coruña); c) granodioritas (Santa Mariña, Camariñas, A Coruña); d) granodioritas (Cabo Udra, Bueu, Pontevedra); e) esquistos (Costa de Dexo, Oleiros, A Coruña); f) pizarras (Picón, Ortigueira, A Coruña); g) esquistos (Ribadeo, Lugo); h) rocas básicas (A Capelada, Cedeira, A Coruña). Fuente: Plan de Ordenación Litoral (POL), Xunta de Galicia.

Tabla III. Índice de vulnerabilidad (CVI) para los valores de cada variable considerada en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

	LIT	COS	ORI	BAT (km)	ALT (m)	PEN (°)	SLR (mm)	MHS (m)
1	Granodiorita	Rocosa/ Antrópica	NE; E; SE	> 4	> 30	0-8	< 1,8	< 0,5
2	Roca básica	Llanura intermareal	N; S	2-4	20-30	8-16	1,8-2,5	0,5-1,0
3	Granito/ Pizarra	Laguna/ Humedal		1-2	10-20	16-32	2,5-2,95	1,0-1,5
4	Metamórfica/ Esquisto	Marisma	O	0,5-1	5-10	32-64	2,95-3,16	1,5-2,0
5	Sedimentaria	Playa/ Duna	SO; NO	< 0,5	< 5	> 64	> 3,16	> 2,0

Para hallar el CVI potencial de la franja litoral gallega, se procedió, en primer lugar, a la tipificación de los niveles de vulnerabilidad del 1 al 5 para cada una de las variables (Del Río y Gracia, 2009) que forman parte del modelo final que determinará la vulnerabilidad (Tabla III), obteniéndola de este modo la para cada una de las variables tipificadas.

Existen distintos métodos para obtener un índice de este tipo, desde formas sencillas en las que se procede a la realización de la media de la vulnerabilidad de todas las variables empleadas en el estudio (Ojeda Zújar et al., 2009; Kumar et al., 2010; Sahu y Beach, 2010; Ciccarelli et al., 2017; Silva et al., 2017), a estudios en los que se ponderan las variables en función de su importancia en la vulnerabilidad final (Del Río y Gracia, 2009; Torresan et al., 2012; Bagdanavičiute et al., 2015). Esta segunda alternativa ha sido la seleccionada para este trabajo, para representar las diferentes variables en función de su importancia.

Las variables que se relacionan con una mayor o menor vulnerabilidad costera presentan un factor de ponderación (Fp) distinto, entre 0 menos importante a 1 más importante, en función de la relevancia que tienen en la vulnerabilidad final. La asignación de los factores de ponderación se ha realizado siguiendo la bibliografía existente (Del Río y Gracia 2007), en donde se distingue entre factores naturales determinantes (1), indirectos (0,8) y secundarios (0,4).

Tabla IV. Variables empleadas y factor de ponderación. Fuente: Instituto Geológico y Minero Español (IGME); Plan de Ordenación Litoral de Galicia (POL Galicia); Instituto Geográfico Nacional (IGN); Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL).

Variable (Var)	Abreviatura	Fuente	Factor de ponderación (Fp)
Litología	LIT	IGME	1
Tipo de costa	COS	POL Galicia	1
Orientación	ORI	IGN	0,8
Aumento del nivel del mar	SLR	PSMSL	0,4
Altura media del oleaje	MHS	MeteoGalicia	0,4
Batimetría (20 m)	BAT	IGN	0,4
Altitud	ALT	IGN	1
Pendiente	PEN	IGN	0,8

Con los valores de vulnerabilidad para cada variable de la tabla III y los factores de ponderación presentados de la tabla IV se aplicó la siguiente ecuación para determinar el índice de vulnerabilidad costera ponderada (Bagdanavičiute et al., 2015):

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = \frac{\sum \text{Var}_n * \text{Fp}_n}{n}$$

Dónde:

Var_n es el valor en el píxel de la variable de interés.

Fp_n es el factor de ponderación de la variable.

n es el número de variables que se han considerado.

A partir de los resultados obtenidos para la totalidad de la franja litoral se procedió al cálculo del mínimo y máximo absoluto y el cálculo del rango de la serie de datos. Con esta información se ponderaron los resultados siguiendo el modelo de (Del Río y Gracia, 2007), adaptándolo a nuestro caso para representar la vulnerabilidad con cifras de entre 1 y 5 al igual que en el caso de las distintas variables introducidas en el modelo final (Del Río y Gracia, 2007).

$$\text{Valor}_{\text{relativo}} = \left[\frac{(\text{Valor}_{\text{abs}} - \text{minValor}_{\text{abs}})}{\text{rangoValor}_{\text{abs}}} \right] * 5$$

Dónde:

$\text{Valor}_{\text{abs}}$ es el valor de vulnerabilidad asignado al píxel.

$\text{minValor}_{\text{abs}}$ es la cifra de vulnerabilidad absoluta más baja del área de estudio.

$\text{rangoValor}_{\text{abs}}$ es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de vulnerabilidad.

El índice de vulnerabilidad costera (CVI) resultante se llevó a una cartografía ráster con un tamaño de píxel de 10 x 10 m, asignándole a cada píxel el valor que ocupa la mayor superficie en esa zona. A partir de las capas se procedió a elaborar la cartografía y compa-

rar el CVI generado con zonas intensamente modificadas por la actividad humana, con lo que se pretende mostrar la importancia de tener en cuenta factores como la vulnerabilidad a la hora de llevar a cabo el desarrollo urbano o vial.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para la vulnerabilidad física de la costa gallega (Tabla V), muestran que tan solo una pequeña parte del territorio litoral presenta una vulnerabilidad máxima (0,02%). Las zonas de mayor vulnerabilidad, entendiendo por estas los píxeles con valores de 4 o 5, están asociadas principalmente en los arenales y a las desembocaduras de los ríos y engloban el 4,52% del litoral gallego. Se puede mencionar como zona de alta vulnerabilidad, por ejemplo, los sistemas playa-duna de Rodas en las Illas Cíes o el de Corrubedo, áreas de las cuales es conocida su enorme fragilidad. El valor de vulnerabilidad más común en el litoral gallego es el 2 (baja vulnerabilidad), que se extiende por casi el 58% del territorio, mientras que en un segundo lugar se encuentran las zonas de moderada vulnerabilidad (3) con un 20,48% del litoral.

Tabla V. Superficie y porcentaje de litoral según su vulnerabilidad.

Índice	Píxeles	Superficie (km ²)	Porcentaje
1	226282	22,63	17,04
2	769505	76,95	57,96
3	271857	27,19	20,48
4	59708	5,97	4,50
5	290	0,03	0,02
Total	1301424	130,14	100

4.1. Cartografía

Dado que la cartografía es básica a la hora de comprender los resultados del estudio, a continuación, se presentan diferentes mapas que reflejan el grado de vulnerabilidad de los distintos sectores de la costa gallega, nombrados por las localizaciones que los delimitan, lo que permite ver con claridad las zonas que presentan una mayor y menor vulnerabilidad (Fig. 5 a 14) siguiendo los valores de la leyenda que se muestra en la Fig. 4. Los mapas fueron elaborados por los autores para el presente artículo.

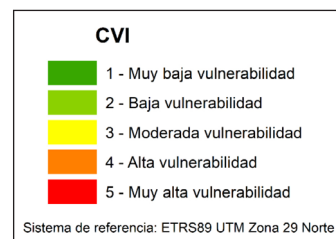
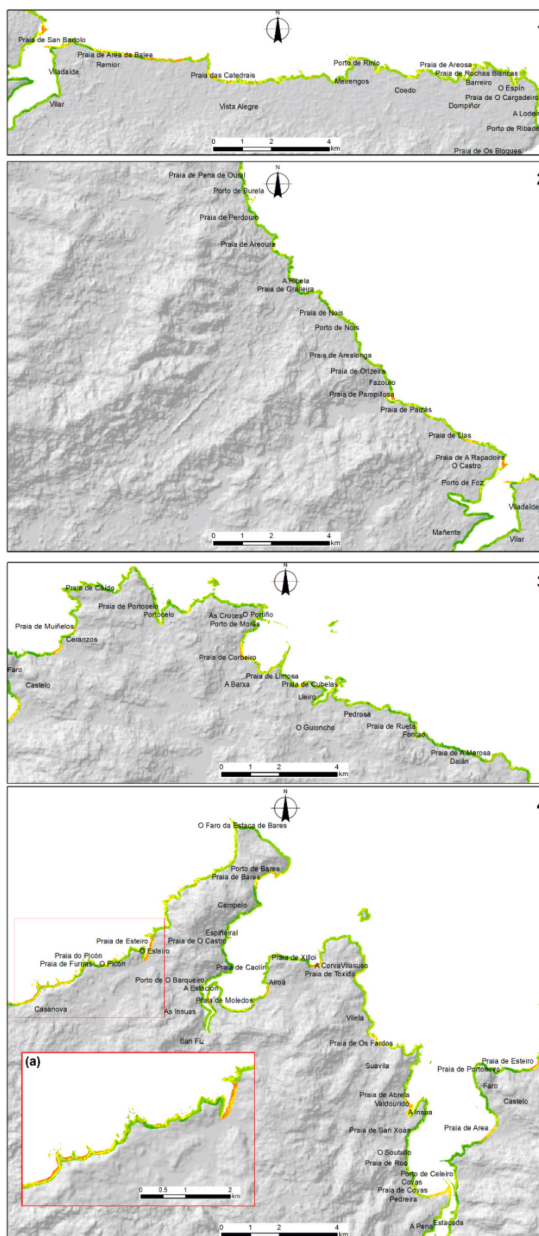


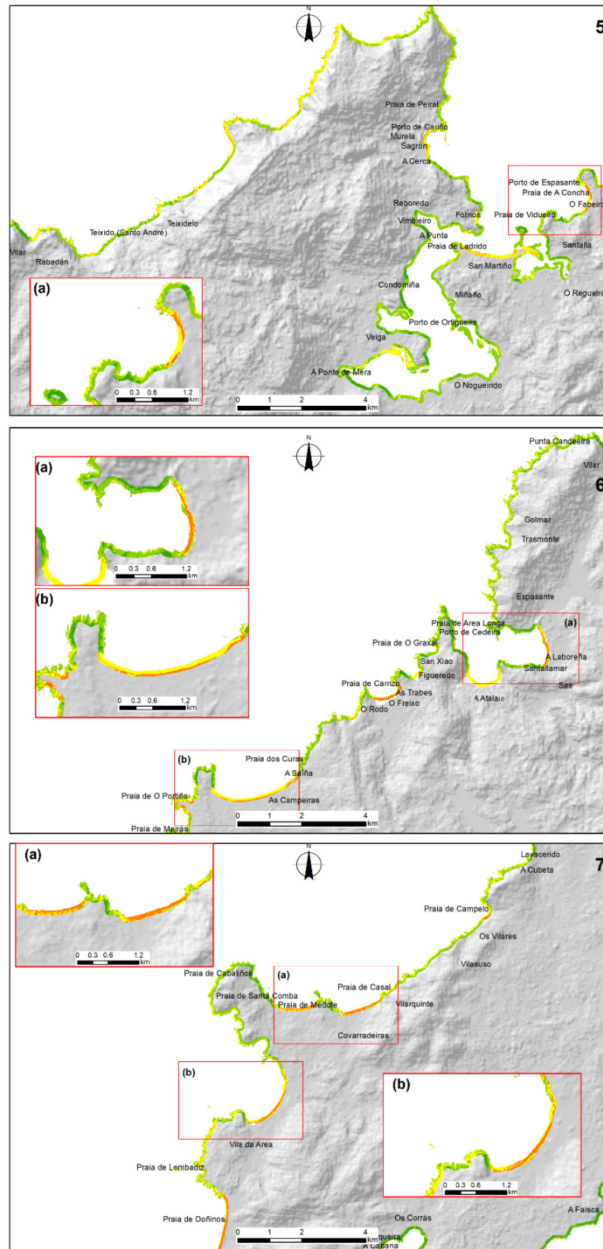
Figura 4. Leyenda y sistema de referencia empleado para las representaciones cartográficas.

Figura 5. Mapa 1: Ribadeo-Foz; Mapa 2: Foz-Burela; Mapa 3: Burela-Ría de Viveiro; Mapa 4: Viveiro-Ortigueira; Mapa de detalle 4(a): Zona próxima a Ortigueira.



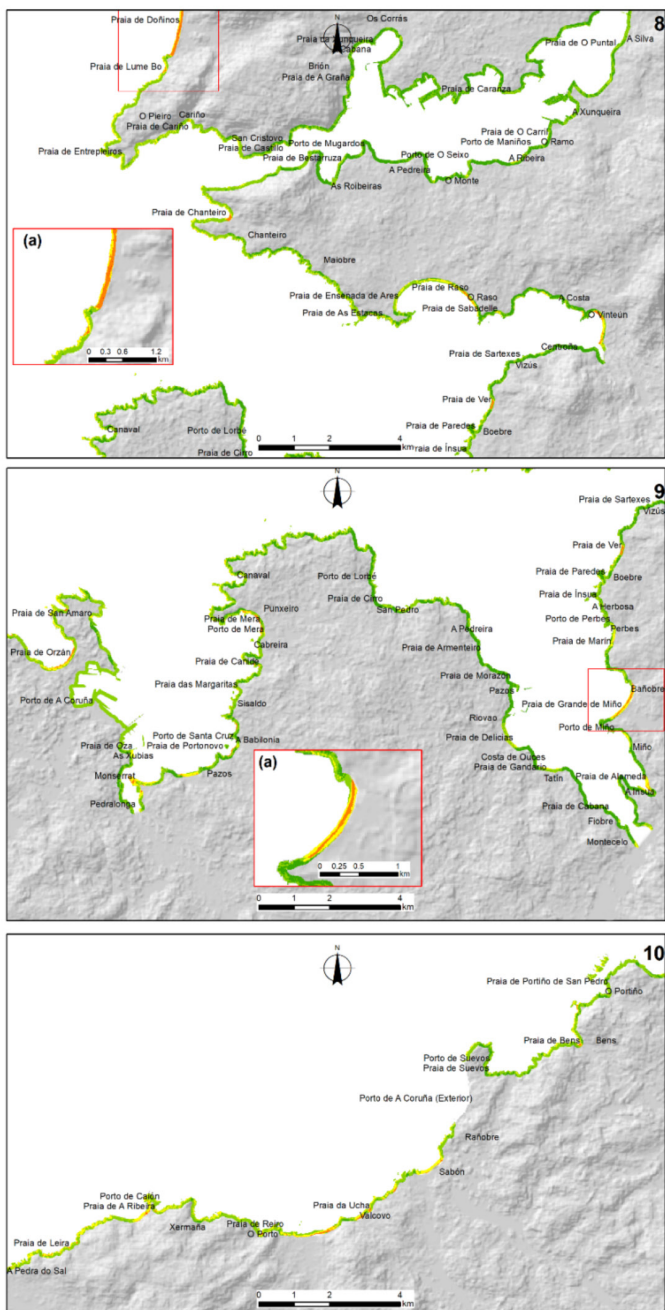
La costa norte de Galicia (Fig. 5), en su extremo oriental, se caracteriza por una vulnerabilidad baja o moderada a excepción de las zonas sedimentarias que presentan unos valores más elevados, como es el caso de las proximidades de la playa de As Catedrais, en Ribadeo, o la de Esteiro, en el entorno de Ortigueira.

Figura 6. Mapa 5: Ortigueira-Santo André de Teixido; Mapa de detalle 5(a): Área sedimentaria de Espasante; Mapa 6: Santo André de Teixido-Punta Frouxeira; Mapa de detalle 6(a): Ría de Cedeira; Mapa de detalle 6(b): Zona sedimentaria del entorno de Punta Frouxeira; Mapa 7: Punta Frouxeira-Doniños; Mapa de detalle 7(a): Playas de Medote y Casal; Mapa de detalle 7(b): Zona sedimentaria del entorno de Cabo Prior.



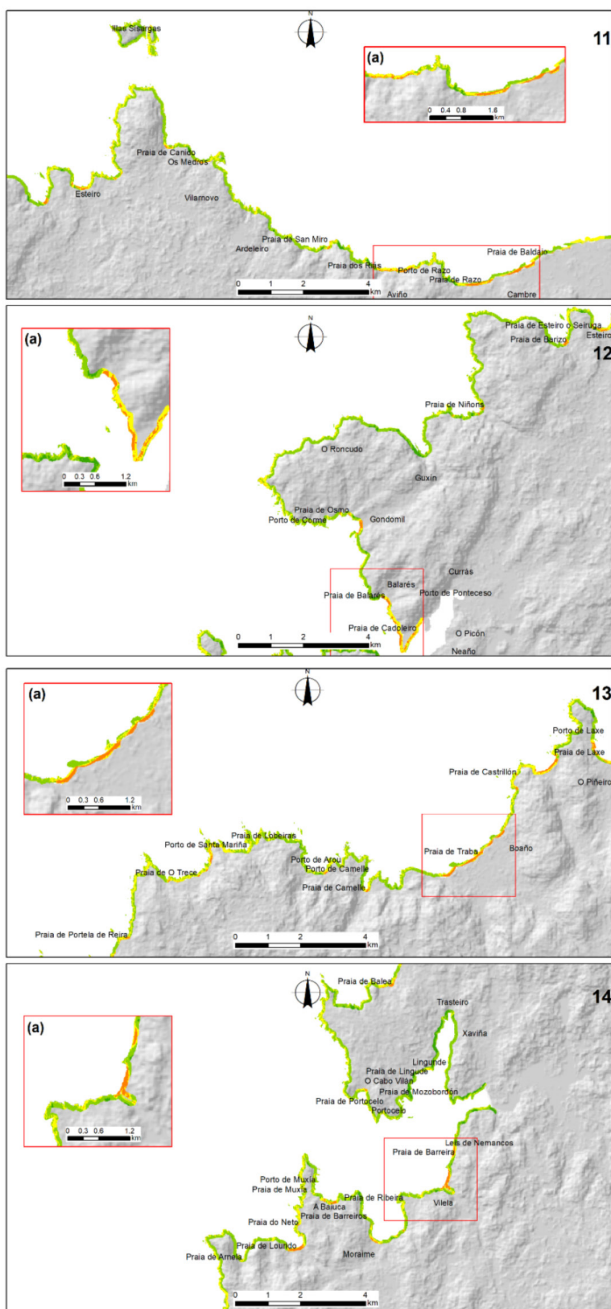
Entre Ortigueira y Doniños (Fig. 6) la costa gallega presente una vulnerabilidad moderada que pasa a ser alta o muy alta en los amplios sectores sedimentarios. A modo de ejemplo se puede señalar la existente en tramos como los de Cedeira o las playas de Medote y Casal.

Figura 7. Mapa 8: Doniños-Ponteume; Mapa de detalle 8(a): Playa de Doniños; Mapa 9: Ponteume-A Coruña; Mapa de detalle 9(a): Playa Grande de Miño; Mapa 10: A Coruña-Punta das Olas.



El extremo noroccidental de la costa gallega (Fig. 7) se caracteriza por unos valores de vulnerabilidad bajos, que solo aumentan en algunas playas sedimentarias como Doniños en el norte o la playa grande de Miño.

Figura 8. Mapa 11: Punta das Olas-Malpica; Mapa de detalle 11(a): Costa de Razo; Mapa 12: Malpica-Ponteceso; Mapa de detalle 12(a): Playa de Cadoleiro; Mapa 13: Ponteceso-Cabo Vilán; Mapa de detalle 13(a): Playa de Traba; Mapa 14: Cabo Vilán-Muxía; Mapa de detalle 14(a): Playa de Barreira.



En la Fig. 8 se observa como el índice de vulnerabilidad muestra en gran parte del territorio tasas moderadas, que dan paso en numerosos sectores donde dominan las altas o muy altas como es el caso de la playa de Cadoleiro o de Traba.

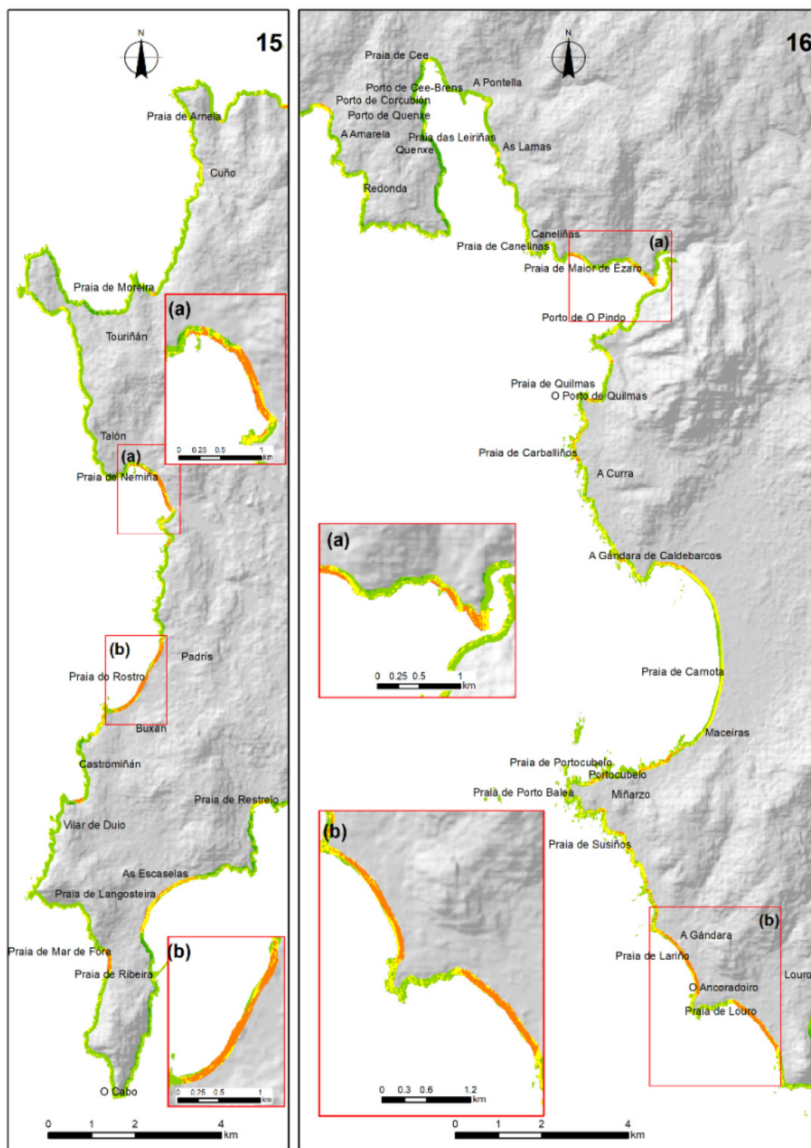


Figura 9. Mapa 15: Muxía-Fisterra; Mapa de detalle 15(a): Playas de Nemiña; Mapa de detalle 15(b): Playa del Rostro; Mapa 16: Fisterra-Punta de Louro; Mapa de detalle 16(a): Zona sedimentaria del Ézaro; Mapa de detalle 16(b): Playas de Lariño y Louro.

La tónica general en esta zona litoral (Fig. 9) es de una vulnerabilidad moderada e importantes sectores de alta. Las zonas con los valores más elevados se encuentran en las franjas sedimentarias de Nemiña, Rostro, Lariño y Louro.

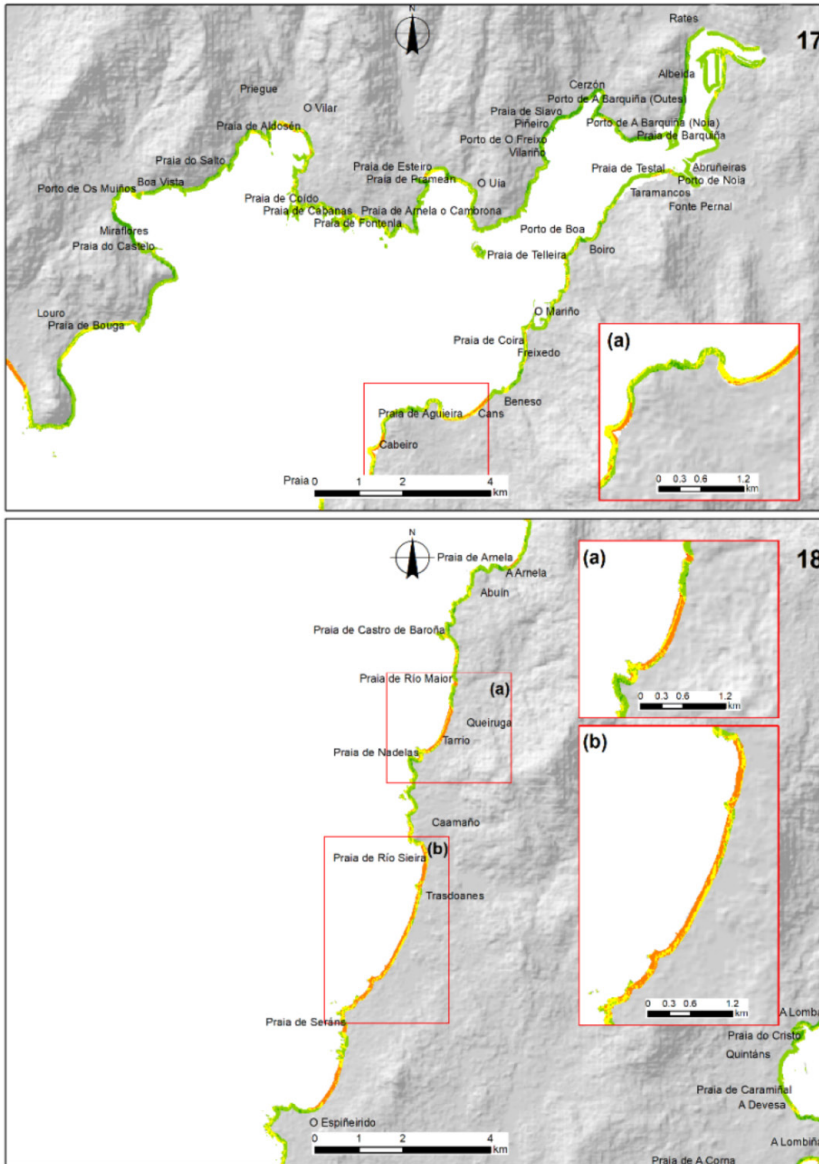


Figura 10. Mapa 17: Punta de Louro-Baroña; Mapa de detalle 17(a): Playa de Aguieira; Mapa 18: Baroña-Cabo Corrubedo; Mapa de detalle 18(a): Playa del Río Maior; Mapa de detalle 18(b): Playa de Río Sieira.

En este sector (Fig. 10) la vulnerabilidad se encuentra generalmente entre valores bajos y moderados, que contrastan con las amplias zonas sedimentarias como la playa de Río Sieira donde pasa a ser alta en la mayor parte del arenal.

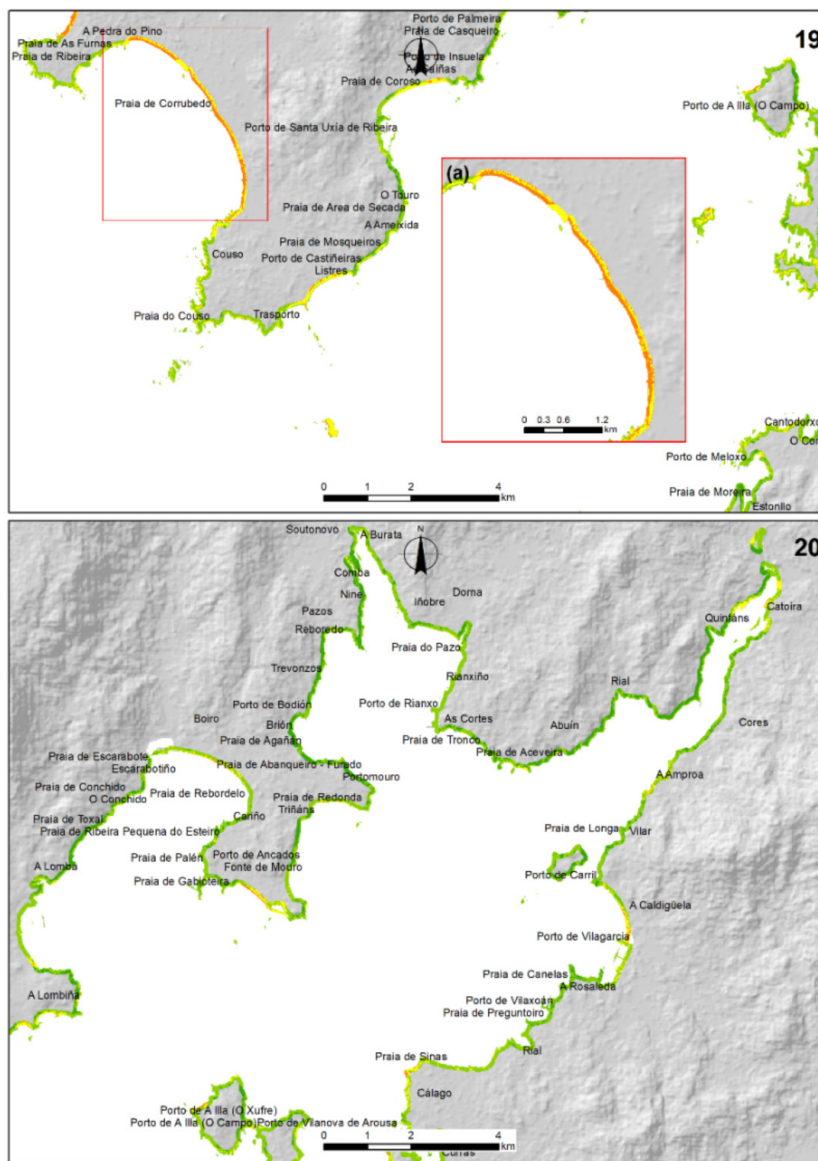


Figura 11. Mapa 19: Cabo Corrubedo-A Pobra do Caramiñal; Mapa de detalle 19(a): Sistema sedimentario de Corrubedo; Mapa 20: A Pobra do Caramiñal-Illa de Arousa.

En líneas generales el sector analizado en la Fig. 11 presenta una vulnerabilidad baja, exceptuando la amplia franja litoral ocupada por el sistema dunar de Corrubedo, una zona de especial interés que está protegida bajo la figura de Parque Natural.

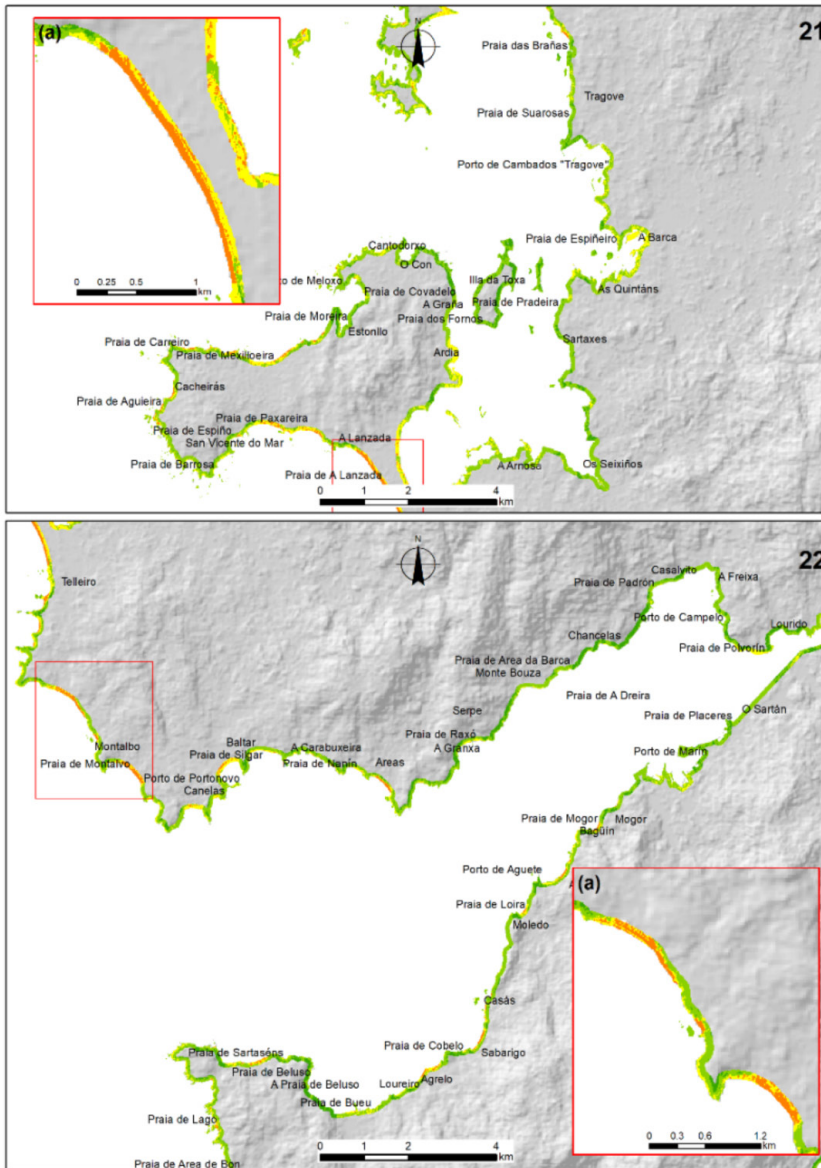


Figura 12. Mapa 21: Illa de Arousa-A Lanzada; Mapa de detalle 21(a): Playa A Lanzada; Mapa 22: A Lanzada-Bueu; Mapa de detalle 22(a): Entorno de la playa de Montalvo.

En la mayoría del territorio representado en la Fig. 12 se observan tasas de vulnerabilidad bajas o moderadas. Rompiendo esta tónica se encuentra la playa de A Lanzada que une la península de O Grove con la zona continental y presenta una alta o muy alta.

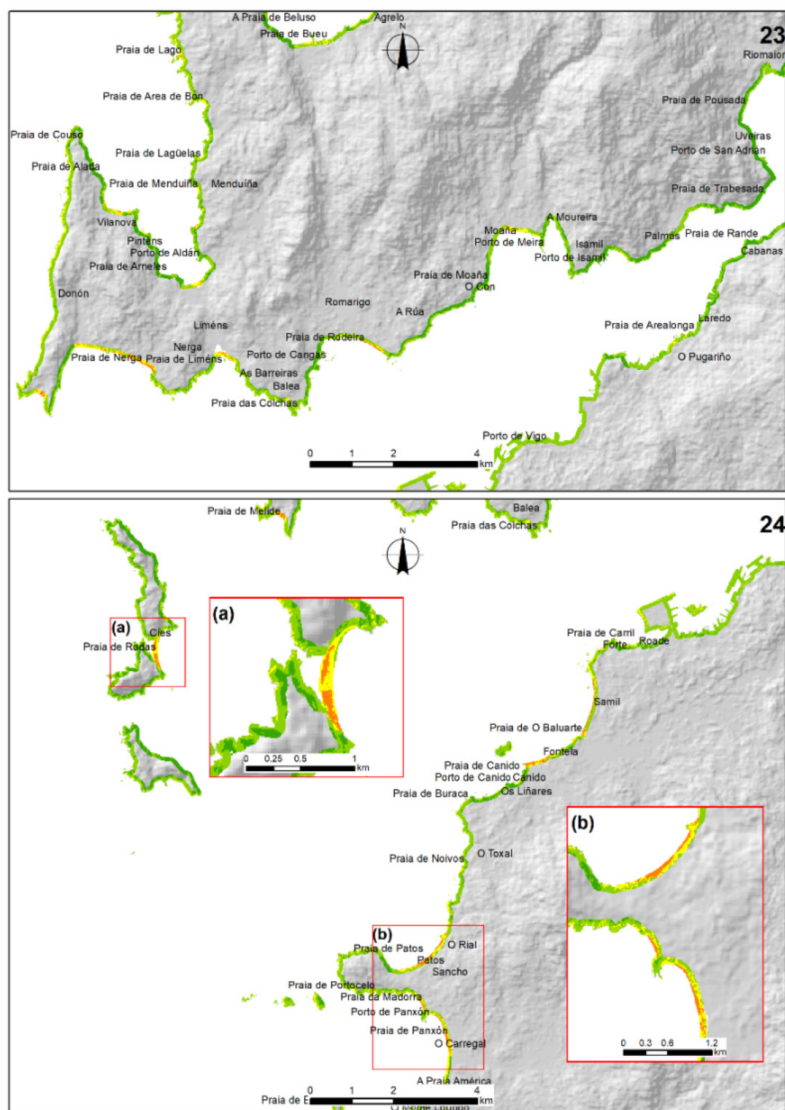
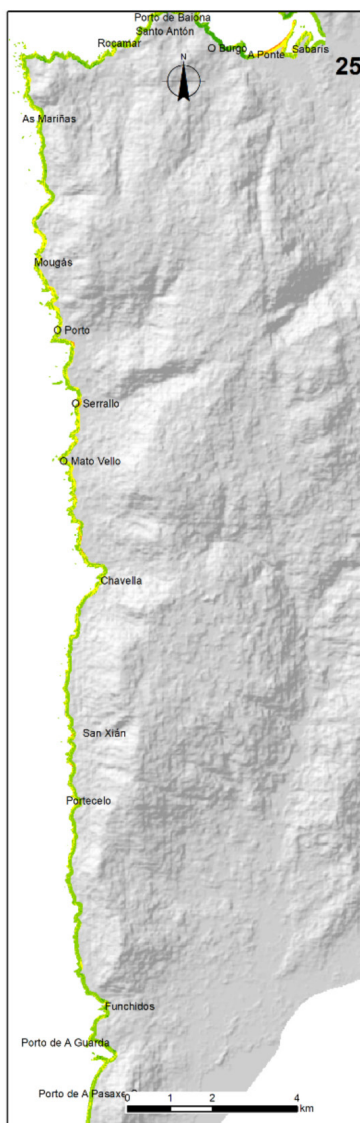


Figura 13. Mapa 23: Bueu-Vigo; Mapa 24: Vigo-Panxón; Mapa de detalle 24(a): Sistema sedimentario de Rodas (Illas Cíes); Mapa de detalle 24(b): Playas de Patos y Panxón.

En la Fig. 13 se muestra un sector de la Ría de Vigo donde por lo general la vulnerabilidad es baja, excepto en zonas como las playas de Patos o Panxón y el complejo sedimentario de Rodas en las Illas Cíes. Esta última zona se enmarca en el Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Illas Atlánticas de Galicia y ha sido y es objeto de múltiples estudios para determinar su evolución pasada y futura.

Figura 14. Mapa 25: Panxón-A Garda.



El sector de la costa sur gallega (Fig. 14) se caracteriza por unos índices de vulnerabilidad bajos relacionados, en parte, con el dominio que tienen en esta zona las costas rocosas.

Por último, hay que apuntar que, al analizar la vulnerabilidad costera existente en distintas áreas urbanas, se puede ver como los paseos marítimos e infraestructuras accesorias se encuentran frecuentemente en la parte superior de los arenales, zonas con una alta vulnerabilidad. Un ejemplo muy claro se encuentra en el paseo marítimo de A Coruña a

la altura de la playa de Riazaor que se caracteriza por unos índices moderados y altos en sectores más puntuales y en el que frecuentemente durante los temporales invernales se ve dañado (Fig. 7 – Mapa 9).

5. DISCUSIÓN

En las investigaciones sobre la vulnerabilidad litoral se emplean diferentes variables en función de las características de las zonas objeto de estudio. Entre las que se desecharon para este trabajo por la falta de relevancia se encuentra el rango mareal, ya que Galicia se enmarca como una región mesomareal con rangos que fluctúan entre los 2 y los 4 metros. Por otra parte, conviene señalar que para la obtención de resultados de mayor valor sería de gran interés disponer de un número de estaciones de medición del nivel medio del mar más extenso. En este sentido es preciso remarcar que en el caso de las costas de Galicia, además de contar con muy pocas estaciones, se encuentran muy próximas espacialmente, por lo que el nivel de resolución en las zonas más distantes será menor. La necesidad de información con un nivel de detalle minucioso hace que en ocasiones análisis de este tipo no puedan conseguir los resultados esperados al tener que trabajar con datos a escalas pequeñas y con una precisión inferior, como puede ser para este caso la información sobre el nivel medio del mar o la diversidad litológica de la costa gallega.

El índice de vulnerabilidad que se presenta, pues, en este artículo abarca solo el derivado del análisis de las variables físicas en la vulnerabilidad costera. Por este motivo a partir de esta primera aproximación parece de gran interés en el futuro poder tener en consideración los aspectos humanos y económicos del litoral gallego para conseguir un índice de vulnerabilidad global que tenga en cuenta las interacciones naturales/antrópicas que se producen en los diferentes sectores. Con ello se podría llegar a comprender de una forma más precisa cuales son las zonas que presentan una mayor vulnerabilidad ante futuros eventos relacionados con el cambio global y tratar de mitigar sus consecuencias.

6. CONCLUSIONES

En la costa gallega existe una vulnerabilidad física baja. Tan solo el 4,52% del litoral se puede considerar como de alta o muy alta vulnerabilidad.

Las zonas más vulnerables, como se presumía, se encuentran en los arenales y complejos sedimentarios próximos a las desembocaduras de los ríos y que a su vez corresponden con espacios de un elevado valor ambiental.

Los sectores de muy baja vulnerabilidad representan algo menos del 18% de la superficie litoral gallega, por lo que es difícil definir zonas en las que los efectos de una modificación de los patrones climáticos y el nivel del mar afecten de una forma clara al territorio.

Las costas rocosas y los sectores litorales de mayor altitud son los que presentan unos índices de vulnerabilidad más bajos y que se encuentran separando las zonas sedimentarias que salpican el litoral gallego, al igual que las infraestructuras portuarias que según los materiales empleados para su construcción presentan una vulnerabilidad más baja.

AGRADECIMIENTOS

Alejandro Gómez Pazo cuenta con un contrato FPU (Formación de Profesorado Universitario) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del gobierno español con referencia FPU16/03050.

BIBLIOGRAFÍA

- Adger, W.N., 2006. Vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 16, 268-281. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Anfuso, G., Martínez-del-Pozo, J.A., Rangel-Buitrago, N., 2010. Evaluación de la vulnerabilidad costera mediante el uso de herramientas SIG y métodos multicriterio: Ejemplos del litoral de Italia, Marruecos y Colombia. *XIV Semin. Nac. Ciencias y Tecnol. del Mar* 405-410.
- Anfuso, G., Gracia, F.J., Battocletti, G., 2013. Determination of Clifed Coastline Sensitivity and Associated Risk for Human Structures: A Methodological Approach. *J. Coast. Res.* 292, 1292-1296. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00262.1
- Ashrafal Islam, M., Mitra, D., Dewan, A., Akhter, S.H., 2016. Coastal multi-hazard vulnerability assessment along the Ganges deltaic coast of Bangladesh-A geospatial approach. *Ocean Coast. Manag.* 127, 1-15. doi:10.1016/j.ocecoaman.2016.03.012
- Bagdanavičiute, I., Kelpšaitė, L., Soomere, T., 2015. Multi-criteria evaluation approach to coastal vulnerability index development in micro-tidal low-lying areas. *Ocean Coast. Manag.* 104, 124-135. doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.12.011
- Barbaro, G., 2016. Master Plan of solutions to mitigate the risk of coastal erosion in Calabria (Italy), a case study. *Ocean Coast. Manag.* 132, 24-35. doi:10.1016/j.ocecoaman.2016.08.001
- Ciccarelli, D., Pinna, M.S., Alquini, F., Cogoni, D., Ruocco, M., Bacchetta, G., Sarti, G., Fenu, G., 2017. Development of a coastal dune vulnerability index for Mediterranean ecosystems: A useful tool for coastal managers? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 187, 84-95. doi:10.1016/j.ecss.2016.12.008
- Clark, G.E., Moser, S.C., Ratick, S.J., Dow, K., Meyer, W.B., Emani, S., Jin, W., Kasperson, J.X., Kasperson, R.E., Schwarz, H.E., 1998. Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA., USA. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 3, 59-82. doi:10.1023/A:1009609710795
- Costas, S., Alejo, I., Vila-Concejo, A., Nombela, M.A., 2005. Persistence of storm-induced morphology on a modal low-energy beach: A case study from NW-Iberian Peninsula. *Mar. Geol.* 224, 43-56. doi:10.1016/j.margeo.2005.08.003
- Costas, S., Sobrino, C.M., Alejo, I., Pérez-Arlucea, M., 2009. Holocene evolution of a rock-bounded barrier-lagoon system, Cíes Islands, northwest Iberia. *Earth Surf. Process. Landforms* 34, 1575-1586. doi:10.1002/esp.1849
- Del Río, L., Gracia, F.J., 2007. Análisis de la vulnerabilidad de los acantilados atlánticos de la provincia de Cádiz ante la erosión costera. *Cuaternario y Geomorfol.* 21 (1), 87-101.
- Del Río, L., Gracia, F.J., 2009. Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology* 112, 82-95. doi:10.1016/j.geomorph.2009.05.009
- Denner, K., Phillips, M.R., Jenkins, R.E., Thomas, T., 2015. A coastal vulnerability and environmental risk assessment of Loughor Estuary, South Wales. *Ocean Coast. Manag.* 116, 478-490. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.09.002

- Elliott, M., Cutts, N.D., Trono, A., 2014. A typology of marine and estuarine hazards and risks as vectors of change: A review for vulnerable coasts and their management. *Ocean Coast. Manag.* 93, 88-99. doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.03.014
- Feal-Pérez, A., Blanco-Chao, R., Ferro-Vázquez, C., Martínez-Cortizas, A., Costa-Casais, M., 2014. Late-Holocene storm imprint in a coastal sedimentary sequence (North-west Iberian coast). *The Holocene* 24, 477-488. doi:10.1177/0959683613520257
- Fraile Jurado, P., Ojeda Zújar, J., 2012. Evaluación de la peligrosidad asociada al aumento de la superficie inundable por la subida del nivel medio del mar en la costa entre Cádiz y Tarifa. *GeoFocus* 12, 329-348.
- Frazier, T.G., Wood, N., Yarnal, B., Bauer, D.H., 2010. Influence of potential sea level rise on societal vulnerability to hurricane storm-surge hazards, Sarasota County, Florida. *Appl. Geogr.* 30, 490-505. doi:10.1016/j.apgeog.2010.05.005
- Gomez-Pazo, A., Perez-Alberti, A., 2016. Application of GIS in the morphological classification of types of coast: the example of Cies Islands (Galicia, NW Iberian Peninsula). *GOT – Geogr. Spat. Plan. J.* 161-185. doi:10.17127/got/2016.9.008
- Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., Birdwell, K.R., 1994. The Development of a Coastal Risk Assessment Database: Vulnerability to Sea-Level Rise in the U.S. Southeast. *J. Coast. Res.* 327-338.
- Guneroglu, A., 2015. Coastal changes and land use alteration on Northeastern part of Turkey. *Ocean Coast. Manag.* 118, 225-233. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.06.019
- Kumar, T.S., Mahendra, R.S., Nayak, S., Radhakrishnan, K., Sahu, K.C., 2010. Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *J. Coast. Res.* 263, 523-534. doi:10.2112/09-1186.1
- Lohmann, H., 2016. Comparing vulnerability and adaptive capacity to climate change in individuals of coastal Dominican Republic. *Ocean Coast. Manag.* 132, 111-119. doi:10.1016/j.ocecoaman.2016.08.009
- Nguyen, T.T.X., Bonetti, J., Rogers, K., Woodroffe, C.D., 2016. Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean Coast. Manag.* 123, 18-43. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022
- 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 (Artículos)*, no 9, p. 83-100. ISSN 1578-5157 9, 83-100.
- Palmer, B., Parak, O., 2009. A Coastal Vulnerability Index for KwaZulu-Natal, South Africa 1-7.
- Pérez-Alberti, A., Pires, A., Freitas, L., Chaminé, H., 2013. Shoreline change mapping along the coast of Galicia, Spain. *Proc. Inst. Civ. Eng.* 166, 125.
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S., 2015a. Clast mobility within boulder beaches over two winters in Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology* 248, 411-426. doi:10.1016/j.geomorph.2015.08.001

- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S., 2015b. An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain. *Earth Surf. Process. Landforms* 40, 105-111. doi:10.1002/esp.3654
- POLGalicia, 2010. Plan de Ordenación do Litoral de Galicia. Consellaría de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas, Santiago de Compostela.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X., Gelabert, B., Mir-Gual, M., 2012. Risk Assessment of Beach-Dune System Erosion: Beach Management Impacts on the Balearic Islands. *J. Coast. Res.* 28, 1488-1499. doi:10.2112/jcoastres-d-11-00187.1
- Sahu, K., Beach, W.P., 2010. Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *J. Coast. Res.* 523-534. doi:10.2307/40605480
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.H., Solomon, S., 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. *Bull. Geol. Surv. Canada* 1-79.
- Silva, S.F., Martinho, M., Capitão, R., Reis, T., Fortes, C.J., Ferreira, J.C., 2017. An index-based method for coastal-flood risk assessment in low-lying areas (Costa de Caparica, Portugal). *Ocean Coast. Manag.* 144, 90-104. doi:10.1016/j.ocecoaman.2017.04.010
- Spalding, M.D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L.Z., Shepard, C.C., Beck, M.W., 2014. The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean Coast. Manag.* 90, 50-57. doi:10.1016/j.ocecoaman.2013.09.007
- Torresan, S., Critto, A., Rizzi, J., Marcomini, A., 2012. Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: The case study of the North Adriatic Sea. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 2347-2368. doi:10.5194/nhess-12-2347-2012
- Trenhaile, A.S., Alberti, A.P., Cortizas, A.M., Casais, M.C., Chao, R.B., 1999. Rock coast inheritance: an example from Galicia, northwestern Spain. *Earth Surf. Process. Landforms* 24, 605-621. doi:AID-ESP977>3.0.CO;2-1
- Yanes Luque, A., Marzol Jaén, M.V., 2017. Los temporales marinos como episodios de riesgo en Tenerife a través de la prensa (1985-2003). *Rev. la Soc. Geológica España* 22, 95-104.