

APLICACIÓN DE SEIS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD COSTERA (CVI) EN EL CONTEXTO GALLEGO

ALEJANDRO GÓMEZ-PAZO ([id](#))¹

¹AMBIOSOL. Departamento de Xeografía, Universidade de Santiago de Compostela, Praza da Universidade, 1

Autor de correspondencia: a.gomez@usc.es

Resumen. El estudio de la vulnerabilidad ha supuesto históricamente un campo muy importante dentro de las investigaciones costeras. A la relevancia que se le ha dado a este tipo de trabajos se debe añadir en los últimos años la necesidad de gestionar el litoral en el contexto del cambio global, que ha producido que las investigaciones que aplican Coastal Vulnerability Index (CVIs) hayan crecido exponencialmente. Este proyecto pone el foco en los distintos métodos disponibles para el análisis de la vulnerabilidad costera, aplicándolos al contexto gallego para definir sus debilidades y fortalezas. Con esta finalidad se han aplicado las principales metodologías sobre la materia y se optó por distintas posibilidades para categorizar los niveles de vulnerabilidad. A partir de estas premisas se ha constatado la dificultad de la inclusión de los factores antrópicos en este tipo de trabajos, así como la enorme variedad de límites que se emplean para la delimitación de las categorías. La aplicación de las distintas aproximaciones ha evidenciado la importancia que tiene la selección de parámetros en los resultados finales, así como la reducción de la vulnerabilidad considerando los factores antrópicos en las zonas en los que estos tienen un menor peso, mientras que aumentan con claridad en sectores próximos a las infraestructuras como en el caso analizado de A Lanzada.

Palabras clave: CVI, vulnerabilidad costera, riesgos, Galicia.

APPLICATION OF SIX COASTAL VULNERABILITY INDEX (CVI) IN THE GALICIAN CONTEXT

Abstract. The vulnerability study has historically been a significant field within coastal research. The relevance that has been given to this type of work must be added in recent years; the need to manage the coast in the context of global change, which increases the investigations that apply the Coastal Vulnerability Index (CVIs) exponentially. For this propose, this study apply the main methodologies about vulnerability index and different approaches to categorizes the vulnerability levels. This project focuses on the different methods available for analyzing coastal vulnerability, using them to define its weaknesses and strengths in the Galician context. From these premises, the difficulty of including anthropic factors in this type of work has been noted, as well as the enormous variety of limits used for the delimitation of the categories. The application of the different approaches has shown the importance of the selection of parameters in the final outputs, as well as the reduction of vulnerability considering anthropic factors in areas where these have less weight. At the same time, they increase in sectors close to infrastructures, as in the case analyzed in A Lanzada.

Keywords: CVI, coastal vulnerability, risks, Galicia.

1. INTRODUCCIÓN

Los sectores costeros están sometidos múltiples presiones, tanto humanas como naturales, que producen modificaciones constantes en sus características a distintas escalas. En el contexto actual de

cambio global y de interés por conocer cómo será el entorno litoral en el futuro, ha crecido el número de trabajos que tratan de estimar la vulnerabilidad de las zonas costeras (Anfuso *et al.*, 2021).

Estos estudios tienen una larga tradición en el campo de las investigaciones costeras, con referencias de gran importancia en las últimas décadas del pasado siglo (Gornitz, 1991), aunque es necesario destacar que la mejora de las tecnologías ha propiciado que crezca tanto el número de estudios centrados en la vulnerabilidad, como su nivel de detalle y precisión en la última década (Kantamaneni *et al.*, 2018; Koroglu *et al.*, 2019; Ng *et al.*, 2019).

En este sentido, es preciso destacar que existen múltiples posibilidades para la estimación de estos índices, que normalmente se suelen recoger bajo la denominación en inglés de CVI (Coastal Vulnerability Index). Una primera división sería entre los índices que tienen en cuenta tan sólo las variables naturales o físicas, como oleaje, litología, etc., y aquellos en los que además se tiene en cuenta la componente antrópica o humana como pueden ser las edificaciones, o la densidad de población.

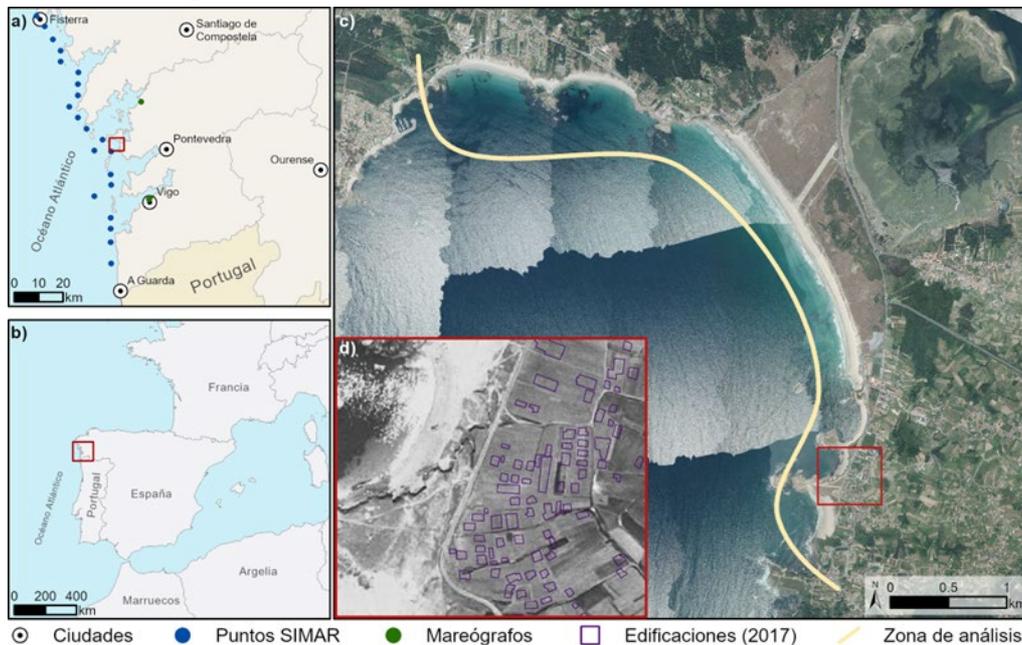
A la hora de poder comparar estos índices existen grandes problemas relacionados con las variables implicadas en su cálculo, que se modifican enormemente en función del lugar en el que se estime, la extensión de la zona analizada y la disponibilidad de información geoespacial de cada región. Además, fijar los umbrales entre los valores de vulnerabilidad también es una tarea compleja, dada la variedad de cifras en los distintos sectores que dificulta la definición de unos umbrales universales para estos cálculos (Del Río y Gracia, 2007).

Por lo anterior, en este estudio se busca poner en relación las distintas posibilidades de estimación de la vulnerabilidad costera en un pequeño sector gallego. Con este análisis se pretende mostrar la gran influencia que tiene la elección de las variables, la resolución y el método de estimación empleado en los resultados de los CVIs.

2. ZONA DE ESTUDIO

El desarrollo de la comparativa de técnicas se realizó en el sector pontevedrés de A Lanzada (Figura 1). Esta elección se debe a las características particulares de esta zona, que como se ha visto en trabajos previos (Gómez-Pazo, 2022; Gómez-Pazo y Pérez-Alberti, 2017) presenta valores de vulnerabilidad elevados con la aplicación de distintos métodos y variables.

Figura 1. Localización del sector de análisis en el contexto ibérico



Fuente: Elaboración propia a partir de información del (IGN, 2022) y (Puertos del Estado, 2022).

La zona de estudio de A Lanzada está formada principalmente por un sector sedimentario de 5 km con pequeños salientes rocosos que lo dividen en células sedimentarias y lo diferencian de su entorno. Esta

costa se caracteriza por un régimen mesomareal, con un rango de entre 2 y 4 m y en el que las olas llegan predominantemente desde el oeste (media anual: 258°). Los temporales marítimos se centran en los meses de invierno (octubre-marzo), en los que la altura de ola supera en múltiples ocasiones los 4 m (Puertos del Estado, 2022).

La costa de A Lanzada ha vivido importantes modificaciones en las últimas décadas, donde el crecimiento del sector turístico ha llevado consigo la construcción de gran cantidad de infraestructuras dirigidas a los visitantes, como las vías de comunicación, las áreas de estacionamiento, o los alojamientos turísticos. En este sentido, como se muestra en la Figura 1-d, la antropización de este sector ha sido muy importante desde 1950, lo que lo hace aún más interesante para este tipo de estudios, dado que se trata de una zona que a priori puede sufrir importantes modificaciones en el contexto del cambio global, vinculadas a una gestión laxa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para facilitar la replicabilidad de este tipo de índices, toda la información geoespacial empleada en este trabajo se encuentra disponible de forma libre principalmente en el Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2023) y en otras instituciones como el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Puertos del Estado, Instituto Galego de Estadística (IGE), Catastro y el Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). En la Tabla 1 se resumen los datos empleados como base para el proyecto, así como el factor de ponderación aplicado a cada uno y los índices en los que se han empleado y que se encuentran detallados en la Tabla 2. Este factor de ponderación viene marcado por la fuente de información de la que parten los datos, sus características de resolución, procesados intermedios, etc. Para seguir el mismo patrón se ha optado por la aproximación de Del Río y Gracia (2007), otorgándole 1 a los factores naturales directos; 0,8 a los indirectos y 0,4 a los factores definidos como secundarios. Estos valores responden tanto a la naturaleza de las variables, mencionada previamente, como a la resolución y calidad de la información de partida. Es por esto que a los datos oceánicos se les otorga el factor más bajo, ya que no se dispone de información detallada de estas variables, a diferencia de lo que ocurre con la tasa de variación, que, a pesar de ser un subproducto, su elaboración se ha realizado con un gran nivel de detalle.

Tabla 1. Información completa de los datos originales

Denominación	Código	Fuente	Factor ponderación (Fp)	CVIs definidos en Tabla 2									
				a	b	c	d	e	f				
Variables naturales													
Litología	LITO	IGME	1,0	X	X	X	X	X	X				
Tipo de costa	TCOS	POLGalicia	1,0	X	X		X	X	X				
Aumento del nivel del mar	SLR	PSMSL	0,4	X	X	X	X	X	X				
Altura media de las olas	MHS	Puertos del Estado	0,4	X	X	X	X	X	X				
Batimetría	BAT	IGN	0,4	X									
MDT	ELEV	IGN	1,0	X	X	X	X	X	X				
Pendiente	PEND	Derivado	0,8	X	X	X	X	X	X				
Orientación	ORIE	Derivado	0,8	X		X				X			
Tasa de variación	VAR	Derivado	0,8		X	X	X	X	X	X			
Estabilidad	EST	Derivado	0,4		X		X	X					
Variables antrópicas													
Población	POB	IGE	0,8				X	X					
Usos del suelo	LUSE	IGN/Xunta de Galicia	0,8				X	X	X				
Edificaciones	EDIF	Catastro	1,0				X	X	X				
Carreteras	CARR	IGN/Xunta de Galicia	0,4				X	X	X				

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos disponibles en el IGN, IGME, PSMSL, Puertos del Estado, IGE, Xunta de Galicia y Catastro.

Los datos de las distintas fuentes fueron tratados en un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) a partir del que se realizaron las distintas operaciones geoespaciales para determinar los distintos índices de vulnerabilidad. Además de la inclusión de distintas variables en la estimación de la

vulnerabilidad, también se han empleado diferentes resoluciones para adaptar estas a la información de partida, y para mostrar cómo puede influir la resolución en los resultados obtenidos. En la Tabla 2 se muestra los datos más relevantes de cada uno de los índices estimados, las ecuaciones empleadas, así como la referencia a las publicaciones previas en las que se han empleado, en el caso de que existiese la misma combinación de variables y sector.

Tabla 2. Acrónimo y principales características de los distintos índices de vulnerabilidad calculados

Código	Tipo	Variables	Resolución (m)	Ecuaciones	Referencias previas
a	Físico	8	10	1 y 4	Gómez-Pazo; Pérez-Alberti (2017)
b	Físico	8	50	2 y 5	Gómez-Pazo (2022)
c	Físico	7	50	1 y 4	Inédito
d	Global	12	50	2 y 5	Gómez-Pazo (2022)
e	Global	12	50	3 y 4	Inédito
f	Global	11	50	1 y 4	Inédito

Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de algunas de las variables incluidas en el análisis ha sido necesario un tratamiento previo de la información para obtener las tasas de referencia. Uno de estos casos ha sido la variación de la línea de costa (VAR). Para este cálculo se empleó la aproximación open-source propuesta en Open Digital Shoreline Analysis System (ODSAS) (Gómez-Pazo *et al.*, 2022) y el flujo de trabajo descrito en (Paz-Delgado *et al.*, 2022).

En otros casos, como para la generación del ráster de pendientes, se ha optado por el procesado del MDT para su estimación, empleando la misma resolución del original, al igual que en la estimación de la vulnerabilidad según la orientación de la costa y su elevación. En el caso del parámetro de estabilidad (EST), este se ha incorporado siguiendo los valores definidos en publicaciones previas de la costa gallega (Perez-Alberti *et al.*, 2009; Perez-Alberti y Gómez-Pazo, 2019).

En las variables antrópicas, excepto para la población, se empleó un límite de 200 m desde la línea de costa para considerar las construcciones, carreteras y usos del suelo que se pueden ver afectados por las variaciones costeras y eventos energéticos más frecuentes. En el caso de la población se realizó una estimación de su densidad en función de los datos disponibles a nivel municipal.

En la asignación de los límites para cada una de las categorías de vulnerabilidad de las distintas variables empleadas, se siguieron los criterios incluidos en Gómez-Pazo (2022, p. 99-101).

El cálculo de los índices siguió tres fórmulas fundamentales con relación a las variables empleadas, el uso de los factores de ponderación teniendo en cuenta el número de variables (Ecuación 1) o sin considerarlo (Ecuación 2) y el cálculo considerando que todas las variables tienen la misma importancia (Ecuación 3).

$$CVI = \sum (Var_n * Fp_n) / n \quad \text{Ecuación 1}$$

$$CVI = \sum Var_n * Fp_n \quad \text{Ecuación 2}$$

$$CVI = \sum Var_n / n \quad \text{Ecuación 3}$$

En las ecuaciones anteriores Var_n hace referencia al valor de vulnerabilidad de cada variable, Fp_n indica el factor de ponderación de esta, y n es número de variables consideradas.

Para la obtención de unos resultados fácilmente comparables, todos los índices se han estandarizado siguiendo dos métodos. El primero teniendo en cuenta los valores extremos para la zona de estudio siguiendo el modelo de (Del Río y Gracia, 2007) (Ecuación 4). De esta ecuación se obtienen los resultados de vulnerabilidad agrupados en 5 categorías distintas, siendo 1 el valor de vulnerabilidad muy baja, mientras que la vulnerabilidad más alta será la que presente el valor 5. Las mismas cinco categorías se han estimado en otros casos a partir del reparto de los valores de vulnerabilidad en función de los límites marcados por los percentiles 20, 40, 60, 80 y 100 (Ecuación 5).

$$CVI_{pond} = [(Valor_{abs} - \min Valor_{abs}) / \text{rango} Valor_{abs}] * 5 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Percentil}(x) = (n - N) * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

En las ecuaciones anteriores, $Valor_{abs}$, hace referencia al valor de vulnerabilidad de cada píxel, $\min Valor_{abs}$ al valor mínimo de la zona analizada, $\text{rango} Valor_{abs}$ a la diferencia entre la vulnerabilidad mínima y máxima en el sector, x al percentil a analizar, n al número de registros por debajo de x , y N al número total de registros o píxeles.

La comparativa entre las distintas metodologías se ha llevado a cabo comparando el número de píxeles de cada nivel de vulnerabilidad presente en cada zona de estudio y con cada método. De este modo se ha podido visualizar de un modo claro las diferencias existentes entre las aproximaciones, y discutir la idoneidad de unas u otras en función de los objetivos que se buscan con este tipo de investigaciones.

4. RESULTADOS

Para una interpretación más sencilla de los resultados, y favorecer la comparación de los valores obtenidos por los distintos métodos, se ha optado por el resumen de los porcentajes de cada categoría de vulnerabilidad en la Tabla 3, en la que se puede apreciar como el índice d es el que muestra una mayor superficie costera de vulnerabilidad muy alta (67,26%), mientras que en los otros dos índices en los que se consideran las variables antrópicas, esta cifra no alcanza el 3%. En cuanto a los CVIs que sólo consideran las variables naturales, es el b el que muestra la mayor superficie con valores de vulnerabilidad muy alta (19,86%), aunque también tiene el mayor porcentaje de vulnerabilidad muy baja (24,57%).

Tabla 3. Porcentaje de cada categoría de vulnerabilidad en los distintos índices

Código CVI / Vulnerabilidad	1	2	3	4	5
a	9,14	29,19	36,20	25,47	0
b	24,57	16,27	18,70	20,61	19,86
c	14,29	11,16	16,96	49,11	8,48
d	0	0	3,14	29,60	67,26
e	32,14	23,66	28,57	13,84	1,79
f	25,89	35,71	23,21	12,50	2,68

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso de la Tabla 3, la Figura 2 trata de marcar de un modo ágil como son las dinámicas espaciales de la vulnerabilidad costera en A Lanzada según los distintos índices. En este caso se observa una tendencia muy semejante en todos los índices, en la que la vulnerabilidad más elevada se concentra en la zona sedimentaria central, mientras que en los extremos aparece una mayor diversidad de valores. Además, en el caso de los índices en los que se consideran los factores antrópicos, la vulnerabilidad más alta se aproxima a las zonas con construcciones y elementos artificiales vinculados con el turismo, mientras que la zona puramente sedimentaria muestra unos valores de vulnerabilidad más bajos.

5. DISCUSIÓN

La elaboración de este tipo de índices siempre está marcada por la subjetividad en la elección de las variables a introducir en el modelo. En este sentido, este trabajo ha tratado de resumir los elementos más comunes en trabajos de esta índole, al ser los más testeados y sobre los que existe un mayor acuerdo en su empleo. Los resultados obtenidos en este trabajo y resumidos en la Tabla 3 dan una buena muestra de esto, pudiendo observar variaciones superiores al 35% entre índices de vulnerabilidad costera globales en un mismo sector. Esto debe hacer reflexionar sobre la necesidad de definir detalladamente las variables que se van a emplear, así como el peso que tendrá cada una. Esto se torna especialmente importante cuando estos índices pretenden servir como entrada para nuevos modelos de gestión del litoral.

Figura 2. Índices de vulnerabilidad costera estimados en el sector de A Lanzada



Leyenda: Los recuadros a) a f) se corresponden con cada uno de los CVIs estimados y definidos en detalle en las Tablas 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de las técnicas recogidas en el apartado metodológico. Ortofotografía de base del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea - PNOA (IGN, 2022).

En la comparación entre los CVIs físicos y los globales, se ha observado como en estos últimos los valores se concentran en los extremos, lo que queda patente con el d, con más del 96% de la superficie con alta o muy alta vulnerabilidad. Por su parte los valores de CVIs físicos presentan una distribución más equitativa entre todas las categorías. En este sentido es necesario destacar la gran variación en los niveles de vulnerabilidad del sector sedimentario central de A Lanzada al considerar las variables antrópicas. Con

esta inclusión los niveles de vulnerabilidad disminuyen claramente, al no estar presentes en esta zona infraestructuras antrópicas que supongan una alta vulnerabilidad.

Precisamente estos parámetros antrópicos presentan grandes complicaciones para su empleo, en muchos casos por su nivel de detalle. Esto se observa claramente en las cifras de población, donde no es posible alcanzar la resolución deseada para conocer el número de personas que residen en los primeros 200 m del continente. Esto ayudaría a tener una idea más clara de los riesgos existentes, para lo que sería necesario también conocer las dinámicas turísticas y las variaciones estacionales en el número de personas residiendo en sectores como A Lanzada, donde la diferencia entre el verano y el invierno es muy importante y debe tenerse en cuenta en múltiples aspectos de la gestión ambiental.

La generación de las distintas aproximaciones descritas busca la comparación entre el empleo de distintas variables, pudiendo comprobar en algunos casos como su aportación no compensa los tiempos de procesado y su recolección. Esto puede verse en el caso de la batimetría, cuyo nivel de detalle no incrementa la utilidad de estos índices, o el nivel mareal, que frecuentemente se muestra sin variaciones a nivel regional. Del mismo modo también existe información con gran nivel de detalle, como la referente a las variaciones costeras, que es preciso generalizar para considerarla en estos trabajos, lo que puede llevar a la eliminación de dinámicas muy concretas, como en sectores acantilados y posibles desprendimientos (Gómez-Pazo *et al.*, 2021). Estos casos son un buen ejemplo de las problemáticas existentes en este tipo de trabajos entre el nivel de detalle deseado y el posible en función de la información disponible.

En relación con la información de partida disponible también es necesario destacar que para el caso gallego y español existe un gran número de variables geoespaciales que se pueden emplear en estos trabajos, lo que no ocurre en otras regiones y dificulta enormemente la posibilidad de realizar estos trabajos. Parece evidente que la generalización de información de satélite de alta resolución será una herramienta de grandísimo valor en los próximos años. Esto será especialmente importante en aquellas regiones con menos recursos y que sufren frecuentes eventos energéticos que destruyen sus costas generando grandes impactos como puede ser el caso del sudeste asiático.

En el contexto actual, la realización de este tipo de índices a escala tanto regional como estatal es de gran interés para una mejor gestión del medio. En este sentido, es necesario que los planes de protección y gestión costera tengan como referencia este tipo de índices para focalizar las medidas en aquellas zonas en las que el cambio global puede tener un mayor impacto y de este modo reducir los costes asociados a las reparaciones tras los temporales invernales y evitar el riesgo para la población y las infraestructuras. Esta falta de previsión y atención al apartado científico redundará en los gastos a los que las administraciones hacen frente cada invierno a causa de los temporales, como por ejemplo en Sanxenxo, donde los desprendimientos de los acantilados en 2015 obligaron a inversiones superiores al millón de euros.

En otras regiones desde hace décadas se viene prestando una atención especial a las variaciones del medio costero y cómo estas afectarán a la población local y las infraestructuras. En este sentido se pueden destacar el caso inglés y escocés, donde este tipo de trabajos se llevan posteriormente al apartado normativo y definen las zonas a proteger, los sectores que deben abandonarse y cómo se hará la adaptación de la población y su entorno a las consecuencias del cambio global (Fitton *et al.*, 2018).

Aunque desde el ámbito científico y desde el de la gestión en general se trata de abogar por medidas globales, tanto para la realización de las estimaciones como para las posibles medidas a adoptar, lo cierto es que esta idea se enfrenta a múltiples problemas ligados a la gran variedad que existe en los medios costeros. En las últimas fechas también ha ganado importancia un pensamiento en el que se trata de restar importancia a los estudios globales (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020; Satta *et al.*, 2017) ya que estos favorecen que los procesos se tengan que llevar a cabo con una menor resolución por lo que se pueden enmascarar distintas dinámicas que no tengan una gran extensión espacial, como podrían ser hotspots erosivos vinculados a los temporales invernales en sectores sedimentarios (Payo *et al.*, 2016). Desde esta visión se trata de abogar por las escalas medias, como los niveles regionales, donde la resolución de los índices pueda ser de utilidad para la correcta gestión costera.

6. CONCLUSIONES

Esta investigación ha mostrado la importancia que tiene la selección de las variables en los valores de vulnerabilidad obtenidos, así como el efecto de la resolución en los posibles análisis territoriales. En función de las variables empleadas y el procesado de estas, las variaciones en los niveles de vulnerabilidad pueden llegar a superar el 35%. Esto hace necesario un análisis muy detallado de las variables a emplear en cada

estudio, así como de los valores que marcarán los umbrales de las categorías de vulnerabilidad con la finalidad de evitar introducir variables redundantes o elementos cuya resolución dificulte un análisis preciso.

Este tipo de trabajos también sirve para mostrar la necesidad de incorporar el conocimiento sobre la evolución costera y sus consecuencias en el apartado normativo, de cara a mejorar la adaptación de las regiones al cambio global, del mismo modo que ya están haciendo en otros países.

Agradecimientos: El trabajo de Alejandro Gómez Pazo está financiado por un contrato posdoctoral del programa denominado “Programa de axudas de apoio á etapa inicial de formación posdoutoral (2022)” de la Xunta de Galicia con referencia ED481B-2022-090. Esta investigación contó con el apoyo previo de un contrato predoctoral FPU del gobierno de España con referencia FPU16/03050. Este trabajo es una contribución al IGCP Project 725 “Forecasting Coastal Change”. El autor quiere dar las gracias a Augusto Pérez Alberti y Xosé Lois Otero Pérez por su labor de dirección y apoyo en todo el trabajo realizado.

REFERENCIAS

- Anfuso, G., Postacchini, M., Di Luccio, D., Benassai, G. (2021). Coastal sensitivity/vulnerability characterization and adaptation strategies: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 1-29. <https://doi.org/10.3390/jmse9010072>
- 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 Geomorfología*, 21, 87-101.
- Fitton, J. M., Hansom, J. D., Rennie, A. F. (2018). A method for modelling coastal erosion risk: The example of Scotland. *Natural Hazards*, 91(3), 931-961. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3164-0>
- Gómez-Pazo, A. (2022). *Aplicación de novas tecnoloxías no estudo da costa de Galicia dirixidas a unha nova xestión no contexto do cambio global*. [Tesis doctoral, Universidade de Santiago de Compostela]. Repositorio institucional de la Universidade de Santiago de Compostela LINK.
- Gómez-Pazo, A., Payo, A., Paz-Delgado, M. V., Delgado-Calzadilla, M. A. (2022). Open Digital Shoreline Analysis System: ODSAS v1.0. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.3390/jmse10010026>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A. (2017). Vulnerability of the Galician coast to marine storms in the context of global change. *SÉMATA, Ciencias Sociais e Humanidades*, 29, 117-142.
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2021). Tracking the behavior of rocky coastal cliffs in northwestern Spain. *Environmental Earth Sciences*, 80(22), 757. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09929-4>
- Gornitz, V. (1991). Global Coastal Hazards from Future Sea-Level Rise. *Global and Planetary Change*, 89(4), 379-398. [https://doi.org/10.1016/0921-8181\(91\)90118-g](https://doi.org/10.1016/0921-8181(91)90118-g)
- IGN (2022). Centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional. Recuperado de: <https://www.centrodedescargas.cnig.es/>
- Kantamaneni, K., Phillips, M., Thomas, T., Jenkins, R. (2018). Assessing coastal vulnerability: Development of a combined physical and economic index. *Ocean and Coastal Management*, 158, 164-175. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.039>
- Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J. A., Dastgheib, A. (2019). Comparison of Coastal Vulnerability Index applications for Barcelona Province. *Ocean and Coastal Management*, 178, 104799. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.001>
- Ng, K., Borges, P., Phillips, M. R., Medeiros, A., Calado, H. (2019). An integrated coastal vulnerability approach to small islands: The Azores case. *Science of the Total Environment*, 690, 1218-1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.013>
- Payo, A., Favis-Mortlock, D., Dickson, M., Hall, J. W., Hurst, M., Walkden, M. J. A., Townend, I., Ives, M. C., Nicholls, R. J., Ellis, M. A. (2016). CoastalME version 1.0: A Coastal Modelling Environment for simulating decadal to centennial morphological changes. *Geoscientific Model Development Discussions*, 1-45. <https://doi.org/10.5194/gmd-2016-264>
- Paz-Delgado, M. V., Payo, A., Gómez-Pazo, A., Beck, A.-L., Savastano, S. (2022). Shoreline Change from Optical and Sar Satellite Imagery at Macro-Tidal Estuarine, Clifed Open-Coast and Gravel Pock-ET-Beach Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 561. <https://doi.org/10.3390/jmse10050561>

- Perez-Alberti, A., Blanco-Chao, R., Otero Otero, M., Macías García, I., López Bedoya, J. (2009). Cambios ambientales detectados na costa de Galicia durante o plistoceno e holoceno e dinámica actual. En: V. Pérez Muñuzuri (coord.). *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia* (pp. 425-454). Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Perez-Alberti, A., Gómez-Pazo, A. (2019). The Rocky Coasts of Northwest Spain. En: J.A. Morales (Ed.). *The Spanish Coastal Systems* (pp. 27-47). Suiza: Springer
- Puertos del Estado (2022). Puertos del Estado. Recuperado de: <http://www.puertos.es/es-es>
- Rangel-Buitrago, N., Neal, W. J., Bonetti, J., Anfuso, G., de Jonge, V. N. (2020). Vulnerability assessments as a tool for the coastal and marine hazards management: An overview. *Ocean and Coastal Management*, 189, 105134. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105134>
- Satta, A., Puddu, M., Venturini, S., Giupponi, C. (2017). Assessment of coastal risks to climate change related impacts at the regional scale: The case of the Mediterranean region. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 284-296. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.018>