

# Libro de trabajos aportados al XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía

## Eje Temático 1

Ciudad de La Laguna

Del 14 al 17 de diciembre de 2021



**Libro de trabajos aportados al  
XXVII Congreso de la Asociación  
Española de Geografía**

Edición: Asociación Española de Geografía, AGE  
y Departamento de Geografía e Historia de la Universidad de La Laguna  
Editor: José-León García Rodríguez  
© De los autores  
<https://xxviicongresodegeografia.es>

Diseño y maquetación: Javier Cabrera DG  
DOI: <http://doi.org/10.25145/c.27.Asociación.Geograf%C3%ADa.2021.14>  
Dep.Legal:  
ISBN:

# CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA FRANJA LITORAL DE A ILLA DE AROUSA (PONTEVEDRA)

---

Daniel Cajade-Pascual<sup>1</sup>

**1** Departamento de Xeografía. Universidade de Santiago de Compostela. danielcajade.pascual@usc.es ORCID: 0000-0003-4575-2794

---

Ramón Blanco-Chao<sup>2</sup>

**2** Departamento de Xeografía. Universidade de Santiago de Compostela. ramon.blanco@usc.es ORCID: 0000-0002-5220-3956

---

Manuela Costa-Casais<sup>3</sup>

**3** Departamento de Xeografía. Universidade de Santiago de Compostela. manuela.costa@usc.es ORCID: 0000-0003-1129-6751

---

## Resumen

El litoral de A Illa de Arousa está afectado por procesos de erosión y sometido a una alta presión derivada de la actividad humana. Se ha realizado una caracterización de su franja litoral, incluyendo una zonificación en seis tipologías de ambientes costeros, en base a aspectos morfodinámicos. Para conocer su evolución durante las últimas décadas, se ha realizado un estudio de imágenes aéreas desde 1956 hasta 2020, identificando las zonas más afectadas por la erosión y el incremento de la superficie artificializada. El empleo de la herramienta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) ha permitido verificar tasas de erosión significativas (> 10 m) en el flanco oriental de la isla, desde la zona central hasta el extremo noreste, mientras que en los restantes tramos, no se han observado procesos erosivos intensos. El tipo de ambiente costero parece ser un factor determinante, pues las áreas afectadas por la erosión se circunscriben a playas con acantilado sedimentario, formados por depósitos edafo-sedimentarios de origen marino. Las causas de esta dinámica regresiva no están claras, pues no se ha podido establecer una relación entre las modificaciones antrópicas y las áreas afectadas por la erosión.

**Palabras clave:** Illa de Arousa, NO Peninsular, DSAS, erosión, caracterización litoral.

## Abstract

The shoreline of A Illa de Arousa is affected by erosion processes and subjected to high pressure derived from human activity. A characterization of its coastline has been carried out, including a zoning in six types of coastal environments, based on morphodynamic aspects. In order to know its evolution during the last decades, an aerial image study has been carried out from 1956 to 2020, identifying the areas most affected by erosion and the increase in the artificial surface. The use of the *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) tool has made it possible to verify significant erosion rates (> 10 m) on the eastern flank of the island, from the bridge to the extreme northeast, while in the remaining sections, they have not been observed intense

erosive processes. The type of coastal environment seems to be a determining factor, since the areas affected by erosion are limited to beaches with sedimentary cliffs, formed by edapho-sedimentary deposits of marine origin. The causes of this regressive dynamic are not clear, well it has not been possible to establish a relationship between anthropic changes and the areas affected by erosion.

**Keywords:** Illa de Arousa, NW Spain, DSAS, erosion, coastal characterization.

## 1. INTRODUCCIÓN

El medio litoral se define por su dinamismo y vulnerabilidad, por lo que su caracterización y el estudio de la dinámica, resultan aspectos esenciales a la hora de sentar las bases para su planificación, ordenación y protección. La complejidad del medio litoral se ejemplifica en la variedad de ambientes que lo conforman, y la diferente respuesta que cada uno de ellos ofrece a los cambios naturales y a la actividad antrópica.

La caracterización de los ambientes litorales supone un elemento clave para el desarrollo de herramientas de gestión adaptadas a cada tipología costera, sin obviar la relación y la interconectividad entre ellos (Aranda *et al.*, 2020). La diferenciación de ambientes litorales no viene determinada por unos criterios generales, sino que se adapta según la naturaleza de la investigación, el territorio objeto del estudio y la escala en la que se desarrolla. Encontramos trabajos donde la naturaleza de la clasificación se basa en aspectos morfológicos (Gómez-Pazo & Pérez-Alberti, 2016), de exposición al oleaje (Bergillos *et al.*, 2020), morfosedimentarios (Aranda *et al.*, 2020; Flor-Blanco, Flor, & Pando, 2013) o criterios paisajísticos, como ocurre en el Plan de Ordenación del Litoral de Galicia (DOGA nº 37, del 23 de febrero de 2011).

La erosión de costas sedimentarias es una de las mayores amenazas que afecta a los sistemas litorales, dotando de significativa trascendencia el estudio de su magnitud y de sus causas. La existencia de una importante producción científica sobre la evolución litoral mediante el empleo de imágenes aéreas en el NO peninsular (Blanco-Chao, Cajade-Pascual, & Costa-Casais, 2020; Flor & Flor-Blanco, 2005; Flor-Blanco, Flor, & Pando, 2013; Gómez-Pazo, Pérez-Alberti & Otero, 2019; González-Villanueva *et al.*, 2013), no permite significar tendencias regionales ni cuantificar la importancia de los factores locales. Un aspecto importante a la hora de analizar la evolución litoral a través de fotografía aérea es la determinación de la línea de costa a emplear. El carácter dinámico de este medio hace que no existan unos criterios predefinidos, sino que estos deben ser determinados por el investigador (Boak, & Turner, 2005; Fraile-Jurado & Fernández-Díaz, 2018; Ojeda, 2000). Existen diferentes criterios para la determinación de este límite, como el *High Water Line* (HLW) (Casal, Sánchez-Carnero & Freire, 2010), o el uso del límite de la vegetación dunar (Blanco-Chao & Gómez-Rey, 2018; Gómez-Pazo, Pérez-Alberti & Otero, 2019; Ojeda, 2000).

El objetivo de este estudio es la caracterización y evolución del margen litoral de la isla de Arousa, para ello, el trabajo se organiza en tres ejes principales. El primero consiste en la realización de una clasificación en 6 tipologías en base a aspectos morfodinámicos, para obtener una zonificación de los ambientes litorales. El segundo eje corresponde a la cuantificación de la línea de costa artificial entre 1956 y 2020. El

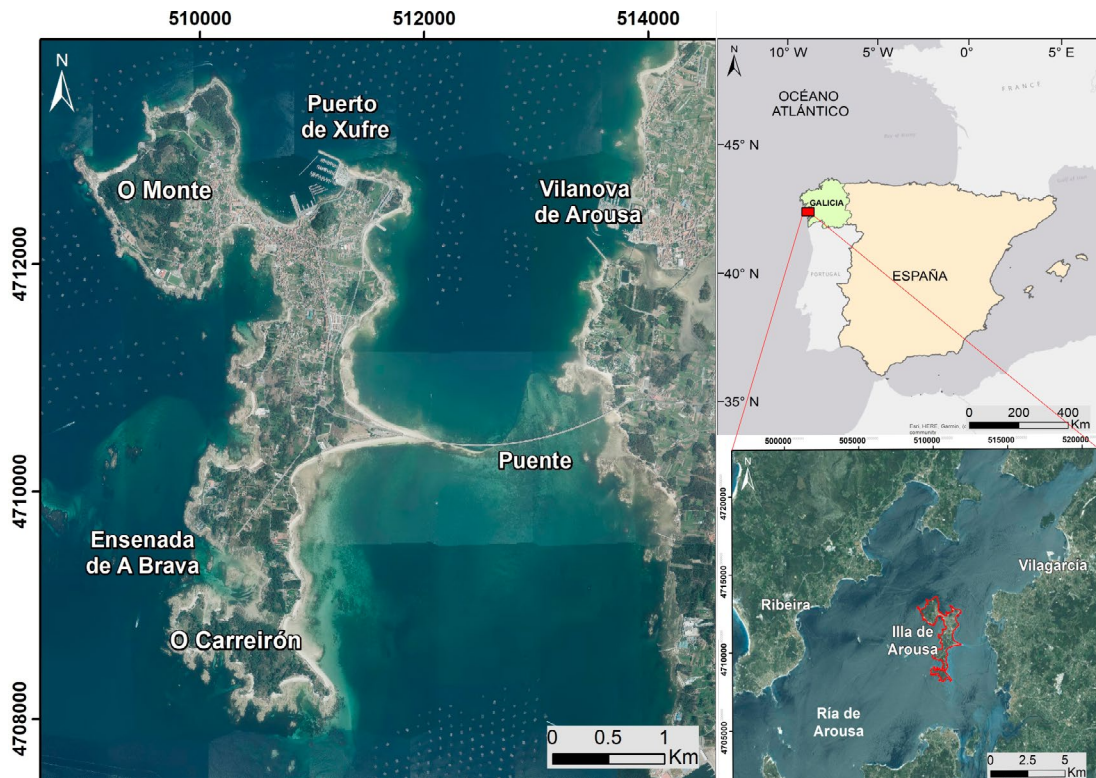
tercer eje se centra en el cálculo de los cambios en el frente litoral en cuatro sectores. Finalmente, la interpretación de los datos obtenidos ofrece una contextualización genérica y preliminar del litoral de la isla de Arousa.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

La Illa de Arousa (Figura 1) se localiza en el interior de la ría de Arousa (Pontevedra), siendo la isla gallega de mayor superficie (6,9 km<sup>2</sup>). Administrativamente conforma el único municipio de carácter insular de Galicia, aunque desde 1985 está conectada al continente mediante un puente de 2 km de longitud. La isla presenta un relieve muy suave y de escasa altitud, y solo el extremo noroeste presenta una morfología más abrupta, pero sin superar los 70 metros sobre el nivel medio del mar (msnm). La litología está dominada completamente por materiales graníticos tardihercínicos, pertenecientes a la unidad de Caldas de Reis. A pesar de la homogeneidad del sustrato, la existencia de un denso patrón de fracturación, con direcciones dominantes N-S, ONO-ESE y NE-SO, configuran una costa recortada en el flanco occidental, mientras que el oriental, sin llegar a tener un carácter rectilíneo, presenta un perfil más suave.

Al estar localizada en la parte interna de la ría, se trata de una costa de baja energía de oleaje. Aunque no existen datos directos del interior de la ría, la caracterización del régimen de olas se puede obtener a través del modelo de los puntos SIMAR de océano abierto. El punto SIMAR-3011012 (Puertos del Estado, 2017), se ubica en la entrada de la ría, presenta un 70% del oleaje entre 1 y 2,5 m de altura significativa y periodos entre 8 y 10 seg. La dirección de procedencia es de un 73% del oleaje entre NNO y ONO, el 14% OSO y solamente un 9% procede del SO. Se trata de una costa de carácter mesomareal, con un rango mareal medio en mareas vivas de 3,45m (Mareógrafo de Vilagarcía de Arousa).

Figura 1. Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Desde un punto de vista físico y humano, la isla puede dividirse en tres sectores: El sector Centro-NE, el NO (O Monte) y el Sur (O Carreirón). El sector Centro-NE ocupa la mayor parte de la superficie, presenta formas suaves y en él se concentra la población y las principales infraestructuras (Puente, puerto de Xufre, muelle de O Cobodeiro, etc.). El centro urbano se sitúa en un estrechamiento entre el sector NE y el NO, siendo este último el que presenta el relieve más abrupto. El sector Sur, denominado O Carreirón, es una península separada del resto de la isla por la ensenada de A Brava y solo se mantiene unido por un pequeño corredor sedimentario de apenas 60 metros de ancho. Todo el sector está incluido en la Red Natura 2000: Zona especial de Conservación (ZEC) “Complejo Ons-O Grove”; Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) “Complejo intermareal Umia-O Grove, A Lanzada, punta Carreirón e lagoa Bodeira”; Zona de Especial Protección de los Valores Naturales “Complejo intermareal Umia – O Grove, A Lanzada, punta Carreirón y laguna Bodeira”; además se mantiene carente de edificaciones y el acceso en vehículo está prohibido.

### 3. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se ha llevado a cabo tanto trabajo de campo como el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El trabajo de campo se organizó en dos campañas invernales (2019 y 2021), con varias jornadas de trabajo en ambos

casos. La campaña de 2019 se realizó durante el mes de diciembre, obteniendo los primeros datos e identificando las áreas que deberían ser objeto de estudio en detalle. Los datos recogidos, junto el trabajo con los SIGs, permitió elaborar una clasificación de los ambientes litorales de la isla en base a criterios morfodinámicos. La campaña del año 2021, realizada en el mes de febrero, permitió afinar la zonificación de las seis tipologías de ambientes predefinidas, al mismo tiempo que se identificaron las áreas afectadas por la erosión.

Paralelamente al trabajo de campo, se realizaron diferentes tareas con ayuda del software *ArcGIS 10.7.1*. Se emplearon imágenes aéreas de los años 1956, 1990, 2003 y 2020. Las imágenes de 1956 son ortofotos en blanco y negro de tamaño de píxel de 1 m, obtenidas del *Instituto de Estudos do Territorio (IET)*. Las imágenes del año 1990 se corresponden con el “Vuelo fotogramétrico de Costas 1989-1991”, cuyos fotogramas (píxel de 15 cm) fueron escaneados y georreferenciados empleando una transformación polinómica de tercer orden con 15-20 puntos de control por cada fotograma, y con un error cuadrático medio de 0,7 m. Las imágenes de 2003 y 2020 son ortofotografías de tamaño de píxel 25 cm y 15 cm respectivamente, obtenidas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Para el estudio de la erosión/progradación litoral se han elegido 4 sectores para su análisis (Centro, NE, NO y sur), permitiendo establecer una visión holística del litoral de la isla. El sector Central y el NE, situados en el flanco oriental, son áreas donde se ha detectado una importante erosión; mientras que el NO y el Sur, situados en el flanco occidental, no manifestaban retroceso aparente. Se ha utilizado el límite de la vegetación dunar hacia el mar como *proxy* para la determinación de los cambios, pues es posible su delimitación incluso en las ortofotografías en blanco y negro de 1956. Los cálculos comparativos entre los períodos analizados (1956-1990; 1990-2003 y 2003-2020) se han realizado con la herramienta *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* (Himmelstoss *et al.*, 2018) en *ArcGIS 10.7.1*. Esta herramienta emplea transectos perpendiculares a una línea base (*baseline*), que intercepta los límites del litoral para los años seleccionados. Los transectos se disponen de forma equidistante, en este caso, cada 12 m, salvo en el caso del sector Central, ya que al ser el más extenso, se estableció una separación de 25 m entre transectos. Los datos obtenidos han permitido determinar, tanto la variación absoluta media, como la tasa media anual de cambio, para cada uno de los intervalos temporales en los cuatro sectores analizadas.

## 4. RESULTADOS

El trabajo de campo y el empleo de los SIG han posibilitado la obtención de datos e información de interés para la comprensión de los aspectos y la dinámica que caracteriza el litoral de la isla de Arousa.

### 4.1. Caracterización de la franja litoral

Una correcta caracterización del margen litoral necesita de un trabajo de campo que compruebe o subsane las deficiencias que pueden surgir de una zonificación realizada únicamente mediante fotointerpretación. Este hecho reseña la dificultad para realizar

una comparación entre los ambientes litorales actuales y los de décadas anteriores. La interpretación de los datos recogidos en campo permitió establecer una categorización de los ambientes morfodinámicos, divididos en seis tipologías (Tabla 1): Artificial, Intermareal, Playa-duna, Playa-acantilado sedimentario, Rocosa baja y Acantilado rocoso.

**Tabla 1. Tipologías morfodinámicas del litoral de A Illa de Arousa.**

Tipología	Extensión (%)	Descripción
Artificial	17,4 %	Línea litoral compuesta por construcciones antrópicas (Vías de comunicación, paseos marítimos, instalaciones portuarias, etc.) que modifican substancialmente las características morfodinámicas originales.
Intermareal	11,3 %	Zonas con baja incidencia del oleaje donde la dinámica está dominada por la acción mareal. Una parte significativa está ocupada por marismas.
Playa-duna	23,8 %	Arenales con sistemas dunares asociados de extensión variable. En general, las dunas han quedado reducidas a unas docenas de metros debido a modificaciones antrópicas (construcciones, reforestación, cultivos, etc.)
Playa-acantilado sedimentario	10,6 %	Playas que no cuentan con sistemas dunares asociados, el límite interno de la playa se define por un escarpe sedimentario de baja altura (1-3 m).
Rocosa Baja	31,6 %	Litoral dominado por el afloramiento del substrato granítico. Forman acantilados de baja pendiente y altura inferior a 3 m.
Acantilado rocoso	5,2 %	Afloramientos rocosos con importantes pendientes y alturas superiores a los 3 m.

Fuente: Elaboración propia.

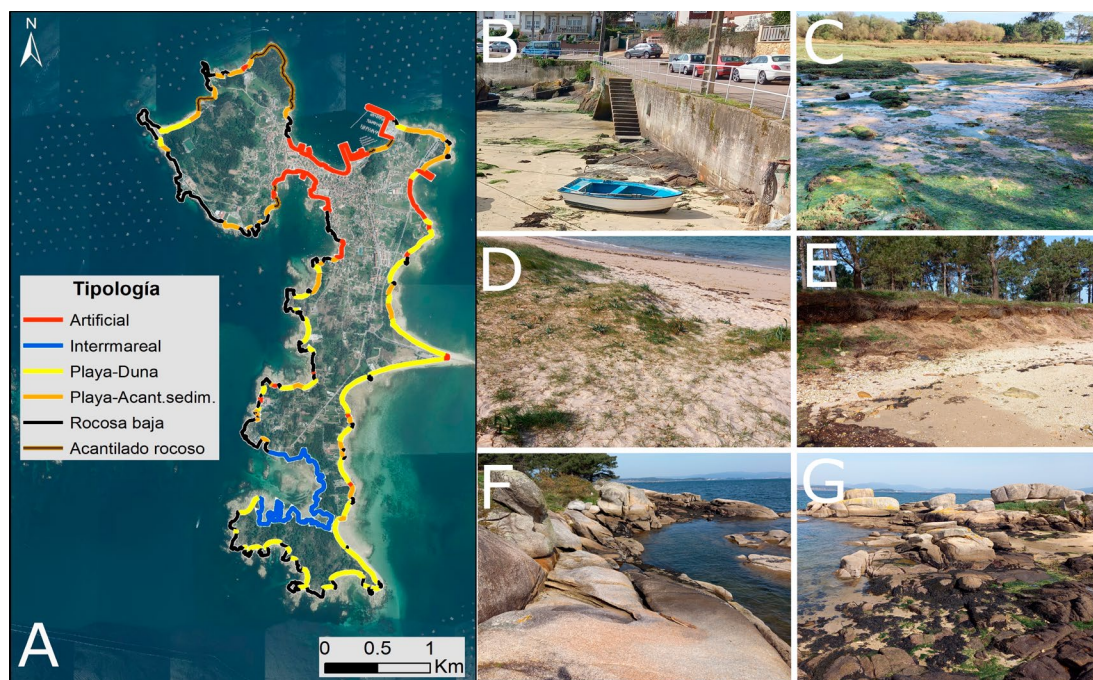
La distribución espacial de cada categoría morfodinámica permite realizar una caracterización del litoral de la isla de Arousa (Figura 2). La costa rocosa baja es la más común de las seis tipologías, siendo la que domina en todo el flanco occidental, mientras que los sistemas playa-duna dominan el flanco oriental. El carácter recortado del litoral arousano dificulta la simplificación excesiva a la hora de establecer su caracterización, por lo que es necesario un análisis más pormenorizado de los diferentes sectores de la isla. El extremo NE (O Monte), donde se concentran las mayores alturas y pendientes, exhibe un litoral dominado por la costa rocosa, siendo prácticamente el único sector en donde se encuentran acantilados rocosos. Aparecen algunas pequeñas playas con acantilados sedimentarios, y únicamente aparece un arenal con un sistema dunar asociado, orientado hacia el NO, y que se ha tomado como uno de los cuatro sectores de estudio de la evolución litoral. El estrechamiento que une las zonas NE y NO de la isla, se caracteriza por el carácter artificial de la línea de costa, pues se trata del área con mayor densidad de urbanización, y donde se concentran las infraestructuras portuarias. El extremo NE se caracteriza por las playas con acantilado sedimentario, además de alguna zona artificializada.

La parte central de la isla tiene dos flancos claramente diferenciados. El flanco occidental es más energético, y se caracteriza por una intercalación entre los ambien-

tes rocoso bajo y arenales. Los sistemas playa-duna no muestran gran desarrollo, pues los hábitats dunares suelen estar limitados a un estrecho margen entre las playas y las construcciones o vías de comunicación. Por su parte, el flanco oriental, menos energético, presenta un carácter más rectilíneo, dominado por extensos sistemas playa-duna de pendiente suave y perfil disipativo. Al norte del puente encontramos zonas con tipología playa-acantilado sedimentario con claras muestras de retroceso.

La zona meridional de la isla presenta una dicotomía clara, entre la ensenada de A Brava y la península de O Carreirón. La ensenada ocupa una depresión tectónica, que define su orientación NO, provocando que el oleaje se difracte y pierda energía al entrar en la ensenada. La profundidad es muy escasa, configurando un amplio sistema intermareal ocupado en su parte interna por una marisma. El litoral de O Carreirón es muy recortado y se caracteriza por las pequeñas calas con sistemas dunares asociados, separadas por salientes rocosos. Es el sector más expuesto al oleaje y al viento, lo que provoca que las playas tengan mayores pendientes y perfiles más reflectivos. Al ser un espacio natural protegido, no existen construcciones, por lo que los sistemas dunares alcanzan mayor extensión hacia el interior.

**Figura 2.** Caracterización y zonificación de las tipologías morfodinámicas de A Illa de Arousa.



Leyenda: A) Zonificación de los ambientes morfodinámicos; B) Artificial; C) Intermareal; D) Playa-duna; E) Playa-acantilado sedimentario; F) Acantilado rocoso; G) Rocosa baja.

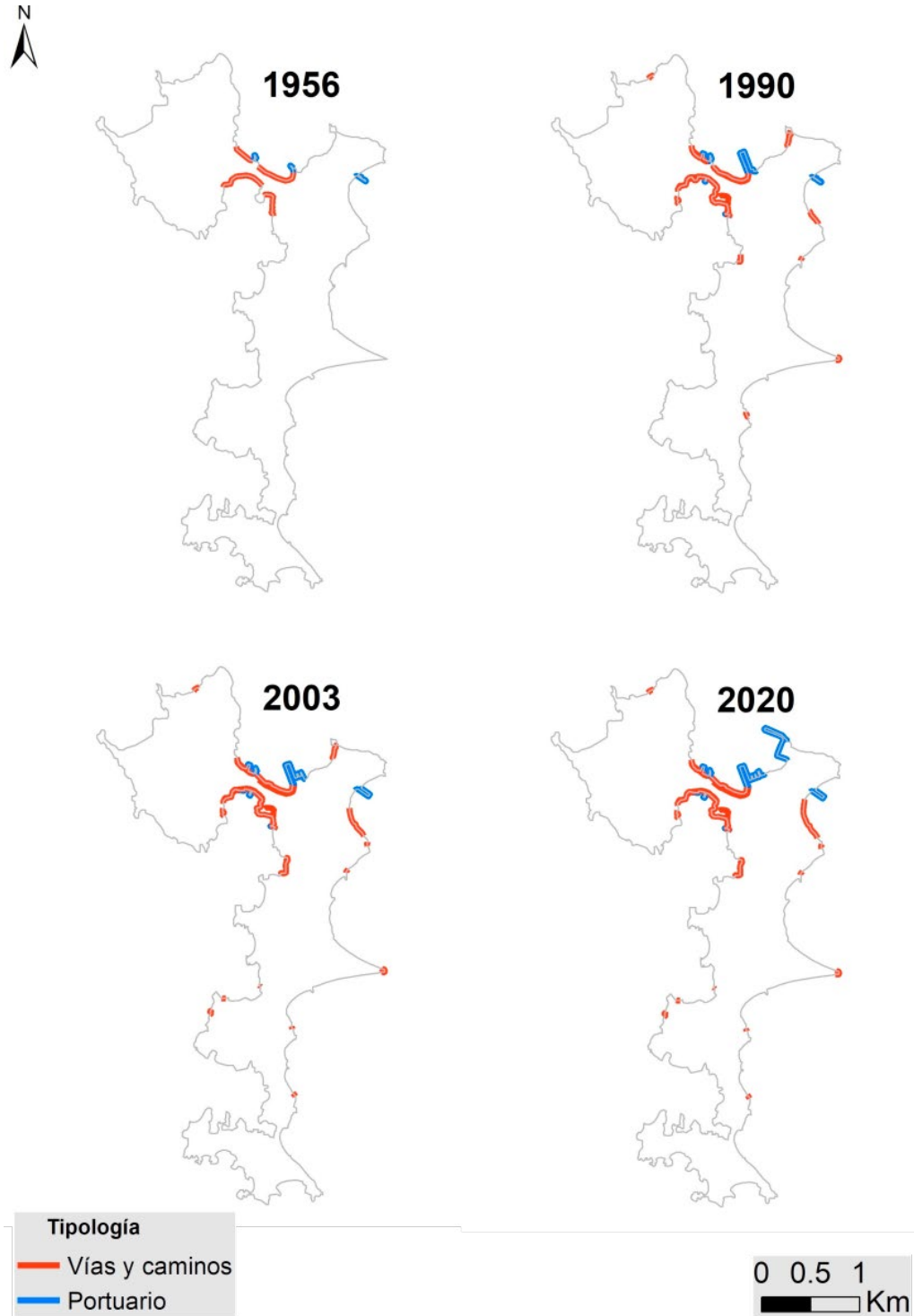
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2. Evolución del litoral artificial

Aunque el análisis a través de las imágenes aéreas antiguas puede ser complejo y de precisión limitada, si se puede analizar la evolución de la extensión de litoral artifi-

cializado (Figura 3), pues su cartografiado resulta posible incluso en los fotogramas en blanco y negro del vuelo americano de 1956.

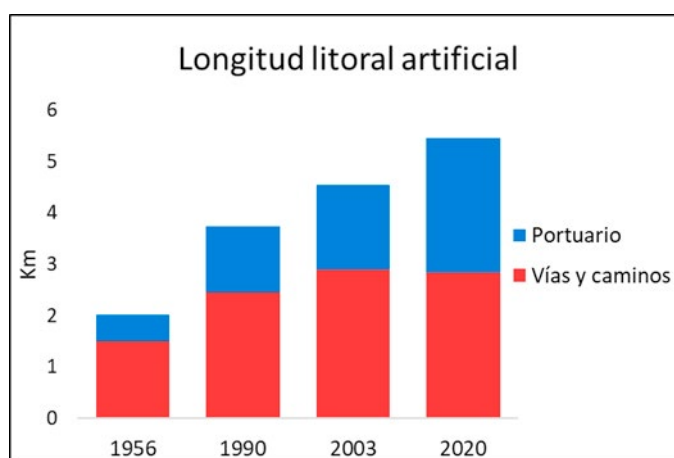
**Figura 3.** Evolución del litoral artificial de A Illa de Arousa.



Fuente: Elaboración propia.

La evolución del litoral artificial entre 1956 y 2020 (Figuras 3 y 4) denota un aumento de la presión urbanística sobre la costa. En el año 1956 el litoral artificial ocupaba algo más de 2 km, de los cuales 1,5 km correspondía a carreteras costeras del núcleo urbano de A illa de Arousa. Las infraestructuras portuarias se limitaban a tres pequeños muelles situados en la zona septentrional, cerca del núcleo urbano. En 1990 el litoral artificial se incrementa hasta los 3,7 km, aumento derivado de la ampliación del paseo marítimo, la ampliación de algunas vías y la construcción del puente. La superficie portuaria se duplica gracias a la primera ampliación del muelle de Xufre, que supone la desaparición de una playa situada al norte del núcleo urbano. Entre 1990 y 2003 el aumento de la línea litoral artificializada es menor, pasando de 3,7 km a 4,5 km, debido principalmente a la ampliación de dos muelles y algunas estabilizaciones de pequeños tramos del frente costero. Por último, entre 2003 y 2020 no se incrementa la superficie de caminos y vías, mientras que la superficie dedicada a las actividades portuarias se incrementa en casi 1 km por la ampliación y construcción de un dique rompeolas en el puerto de Xufre, lo que eleva la longitud total del artificializado a 5,4 km, el 17,4 % del litoral arouzano. Aunque este aumento es progresivo desde mediados del siglo XX, la mayoría del litoral artificializado se mantiene en la zona N-NE, mientras que el sector meridional se mantiene libre de construcciones.

**Figura 4.** Evolución de la longitud del litoral artificial de A Illa de Arousa.



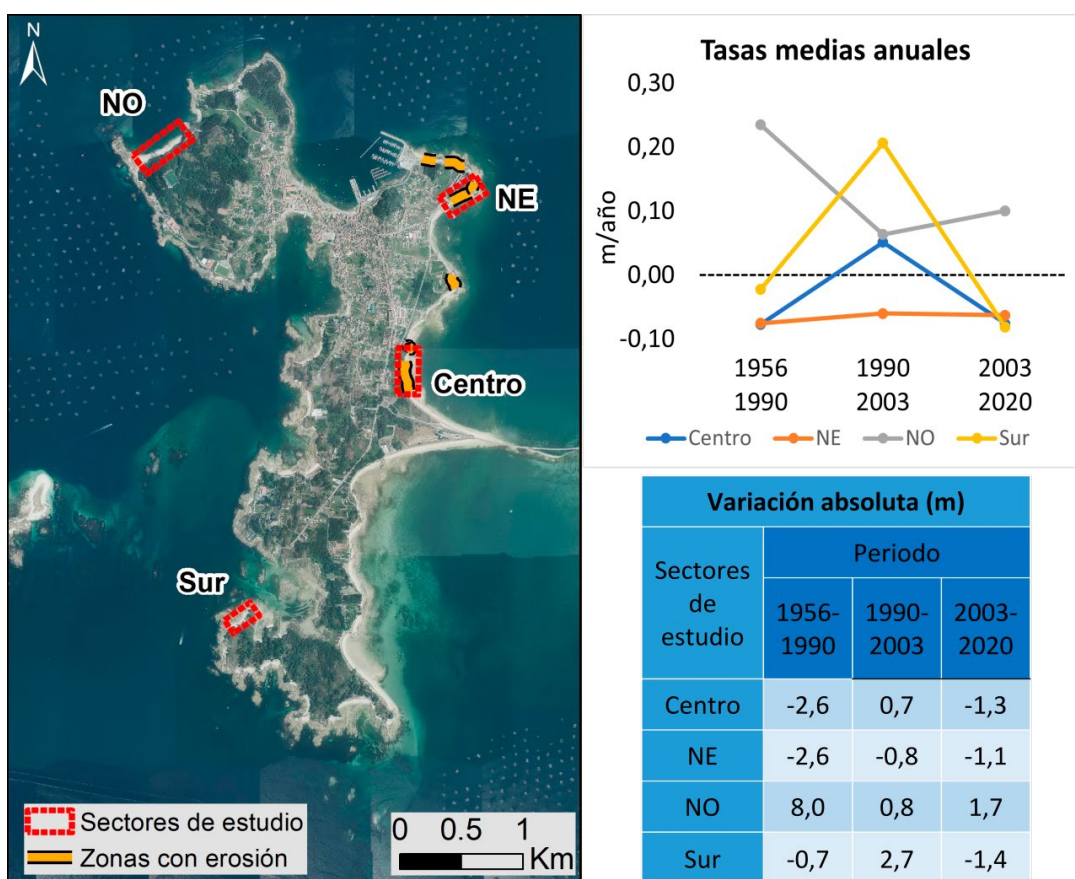
Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Variación del frente litoral (1956-2020)

Las primeras observaciones realizadas en campo permitieron identificar algunas zonas con evidencias de erosión activa. Para valorar la dinámica general del frente litoral de la isla (Figura 5), se eligieron 4 sectores de análisis: Centro, NO, NE y Sur. Una vez realizados los cálculos con la herramienta DSAS para los tres períodos de análisis, se puede observar que la dinámica del frente no es igual en toda la isla, pues algunos sectores evidencian retroceso y otros parece estar estabilizados. El sector central se circunscribe a una zona del flanco oriental, al norte del puente, ocupada por playa con

un acantilado sedimentario adosado orientado al O-ONO, de potencia variable entre 0,5 y 1,5 m, compuesto por una matriz fina intercalada con algunos niveles de cantos. Los datos señalan un retroceso medio de más de 3 m entre 1956 y 2020, aunque entre 1990-2003 se produce una ligera progradación (+0,05 m/año), producida posiblemente por una revegetación temporal. El retroceso máximo detectado entre 1956 y 2020 supera los 12 m, con una tasa media de -0,08 m/año. En el mismo flanco, pero más septentrional, se sitúa el sector NE. Se corresponde con una playa con acantilado sedimentario orientado al SO-O, con potencia variable entre 1,5-3 m, compuesto por material heterométrico que se dispone en diferentes niveles edafo-sedimentarios. Entre 1956 y 2020 el retroceso medio del sector es de 4,5 m, mientras que algunas partes alcanzan casi los 10 m. Las tasas en los periodos 1956-1990 (-0,08 m/año) y 2003-2020 (-0,06 m/año) son muy similares a las del sector central, sin embargo, el periodo 1990-2003 (-0,06 m/año) también presenta erosión. Las tasas medias anuales en los tres intervalos temporales son semejantes, indicando una dinámica erosiva continuada.

Figura 5. Zonas afectadas por la erosión y variación del frente litoral de A Illa de Arousa.



Fuente: Elaboración propia.

Los otros dos sectores analizados se sitúan en el flanco occidental de la isla, el más expuesto y energético. El sector NO sitúa es un sistema playa-duna con orienta-

ción NO. El sistema dunar presenta una franja de *foredunes* parcialmente vegetadas. Los datos muestran un importante avance entre 1956 y 1990, donde el frente dunar progradó 8 m (+0,23 m/año). Posteriormente se ralentiza, pero manteniendo medias anuales positivas de 0,06 m/año (1990-2003) y 0,10 m/año (2003-2020). El sector Sur se localiza en la península de O Carreirón. La zona estudiada se corresponde con una playa-duna orientada hacia el NO, pero con una franja de *foredunes* más estrecha que la analizada en el sector NO. Los datos indican que entre 1956 y 2020 se produjo un ligero avance medio del frente litoral de 0,6 m, aunque en los periodos 1956-1990 (-0,02 m/año) y 2003-2020 (-0,08 m/año) presenta tasas erosivas. La escasa variación absoluta, junto con la ausencia de una tendencia clara, sugieren que se trata de un sector estable, sometido a las variaciones morfodinámicas propias de un sistema playa-duna.

## 5. DISCUSIÓN

La zonificación del litoral en base a las seis tipologías empleadas, establecen algunas características diferenciadoras entre los sectores. El flanco oriental, con un oleaje menos energético, tiene una línea costera más rectilínea, dominada por playas de poca pendiente y perfil disipativo. El flanco occidental, tiene un carácter mucho más recortado, con arenales de menor tamaño y con mucha más abundancia del litoral rocoso bajo. El frente meridional, el más expuesto de la isla, está formado por una intercalación de pequeñas calas de perfil reflectivo y salientes rocosos. El extremo noroeste (O Monte) presenta las mayores alturas y pendientes, dando lugar a un litoral donde abundan los acantilados rocosos y la costa sedimentaria decrece en representación.

La artificialización de frente costero se incrementa notablemente desde mediados del siglo XX, ya que pasa de los 2 km de litoral artificial en 1956, a casi 5,5 km en el año 2020. Este aumento es el resultado de las continuas ampliaciones del paseo marítimo del núcleo urbano de A illa de Arousa, la construcción de escolleras y vías de comunicación, y la expansión de las instalaciones portuarias que alberga el municipio, destacando el puerto de Xufre. Aunque el aumento es progresivo en los intervalos temporales estudiados (1956-1990; 1990-2003 y 2003-2020), en el último período (2003-2020) apenas se identifican procesos de urbanización/estabilización del frente litoral a excepción de la ampliación del puerto de Xufre, lo que puede derivar de un mayor control urbanístico y del nuevo marco jurídico sobre la protección de los hábitats costeros: Ley de Costas de 1988 y sus posteriores reglamentos; su declaración como espacio Red Natura 2000 (Zona de Especial Protección para Aves en 1990 y Lugar de Importancia Comunitaria en 2004), o la aprobación del Plan General de Ordenación municipal de A Illa de Arousa en el año 2002. Si bien, esta afirmación deberá ser tratada con mayor profundidad en futuros trabajos, que procuren dirimir el posible papel de los cambios jurídicos y normativos en el descenso de la artificialización del margen litoral.

La evolución del frente litoral en los cuatro sectores analizados denota dinámicas diferentes. Los sectores Central y NE presentan una dinámica erosiva, estimándose un retroceso medio entre 1956 y 2020 de 4,5 m en el sector NE y 3,2 m en el Central. Las

tasas medias de retroceso anuales (0,08 - 0,07 m/año) son constantes, no obstante, el sector Central presenta una pequeña recuperación entre 1990-2003, con un ligero avance, interpretable como una revegetación puntual, pues las condiciones climáticas de la costa gallega permiten una rápida vegetación de estos sistemas. El sector NO presenta las tasas de avance más elevadas, lo que parece indicar una progradación del sistema dunar, sobre todo de la parte meridional de la playa. Existen otros trabajos donde se detectan progradaciones de los sistemas dunares desde mediados del siglo XX en la costa atlántica de Galicia (Blanco-Chao & Gómez-Rey, 2018), sin embargo, la interpretación de la ortofotografía de 1956 hace suponer que los límites del frente se situarían en una posición más cercana a las actuales, por lo que estaríamos ante un proceso de fitoestabilización, con un ligero avance del frente. El sector sur presenta una alternancia de periodos erosivos y de avance, pero de escasa magnitud, por lo que se puede considerar un sector estabilizado.

La localización de las zonas afectadas por los procesos erosivos permite interpretar las posibles causas relacionadas con estas dinámicas regresivas en sectores concretos. Si comparamos las áreas que presentan erosión, con las tipologías morfodinámicas analizadas en el apartado anterior, se observa que la práctica totalidad de estas se produce en ambientes playa-acantilado sedimentario, mientras que las zonas con ambientes playa-duna no tendrían el mismo nivel de afectación. La primera hipótesis a valorar se sustentaría en la posible relación de la artificialización del litoral o incluso la construcción en 1985 del puente que conecta la isla con el continente, pues las zonas regresivas se sitúan todas al norte de este. Sin embargo, que las tasas erosivas sean constantes en los tres periodos analizados, sugiere que el puente no es la razón principal que explica los cambios en estos sectores. Otra posible causa puede derivar en una mayor incidencia del oleaje, más aún en un escenario global de subida del nivel del mar, pues un oleaje más energético o un incremento de los temporales podrían ocasionar un retroceso de los acantilados edafo-sedimentarios, al mismo tiempo que las playas con sistemas dunares asociados, podrían adaptarse mejor a estos cambios (Jackson *et al.*, 2019). Los estudios realizados en el cercano islote de Areoso (Blanco-Chao, Cajade-Pascual & Costa-Casais, 2020) reflejan unas tasas erosivas muy superiores a las registradas en Arousa, que se incrementa significativamente a partir de la década de 1980, siendo el flanco occidental el más afectado. En el caso de la isla de Arousa, las zonas afectadas se localizan en el flanco opuesto mientras que las tasas se mantienen similares en los tres periodos analizados. La única coincidencia aparente entre ambas islas, a pesar de su proximidad, radica en que las zonas afectadas por la erosión coinciden con el flanco menos expuesto al oleaje. La escasa similitud entre ambos casos sugiere que los factores causantes del retroceso tienen un carácter local. Futuros estudios deberán ahondar en esta cuestión para intentar establecer las relaciones causa-efecto que provocan la erosión de estos sectores.

## 6. CONCLUSIONES

Una correcta caracterización del litoral es una condición indispensable para la gestión de este medio altamente dinámico, y que se encuentra sometido a una fuerte presión antrópica, todo ello en un contexto global de aumento del nivel del mar. El empleo

de la herramienta SIG ofrece multitud de oportunidades para llevar a cabo estudios cada vez más detallados. No obstante, la dificultad para cartografiar e interpretar con precisión las imágenes aéreas, remarca y hace necesario realizar un trabajo de campo complementario y exhaustivo, que subsane las posibles deficiencias del trabajo de gabinete.

El litoral de la isla de Arousa se caracteriza por su carácter recortado que conlleva, junto a las variables estructurales y dinámicas, la existencia de una amplia variedad de ambientes costeros en este enclave situado en la parte interna de la ría de Arousa. Como en gran parte de la costa gallega, se ha podido detectar un aumento de la artificialización de la franja costera. En el caso de Arousa, la construcción y ampliación de las infraestructuras portuarias se han convertido en las principales modificaciones que han afectado a la transformación del margen litoral.

La evolución del frente litoral entre 1956 y 2020 sugiere diferencias entre los distintos sectores de Arousa. Mientras el flanco occidental parece estar estabilizado, la mitad septentrional del flanco oriental está afectada por procesos erosivos, siendo los acantilados edafo-sedimentarios las formaciones más amenazadas. Las causas que están provocando los activos procesos erosivos no están claras, por lo que deberán ser abordadas en siguientes estudios.

## REFERENCIAS

- ARANDA, M., GRACIA, F., PERALTA, G. & FLOR-BLANCO, G. (2020). Towards a Comprehensive Functionality Assessment of Estuaries: First Approaches in San Vicente de la Barquera Estuary (Cantabria, Spain). En: *Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change* (pp. 301-319). Singapore: Springer.
- BERGILLOS, R. J., RODRIGUEZ-DELGADO, C., CREMADES, J., MEDINA, L. & IGLESIAS, G. (2020). Multi-criteria characterization and mapping of coastal cliff environments: A case study in NW Spain. *Science of The Total Environment*, 746, 140942. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140942
- BLANCO-CHAO, R. & GÓMEZ-REY, G. (2018). Progradación y rotación de un sistema playa -duna: playa de río Sieira, ría de Muros, Galicia. En: R. Blanco-Chao et al. (Coord.), *Xeomorfoloxía e paisaxes xeográficas. Catro décadas de investigación e ensino* (pp.41-54). Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.
- BLANCO-CHAO, R., CAJADE-PASCUAL, D. & COSTA-CASAI, M. (2020). Rotation, sedimentary deficit and erosion of a trailing spit inside ria of Arousa (NW Spain). *Science of The Total Environment*, 749, 141480. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141480
- BOAK, E. H. & TURNER, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of coastal research*, 21(4), 688-703. DOI: 10.2112/03-0071.1
- CASAL, G., SÁNCHEZ-CARNERO, N. & FREIRE, J. (2010). Generación de una línea de costa digital de Galicia (NW España) a gran escala, utilizando fotointerpretación y segmentación dinámica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 53, 7-19.
- FRAILE-JURADO, P. & FERNÁNDEZ-DÍAZ, M. (2018). Escala, esfuerzo digitalizador y fractalidad en la línea de costa. *GeoFocus*, 21, 253-277. DOI: 10.21138/GF.568
- FLOR, G. & FLOR-BLANCO, G. (2005). An introduction to the erosion and sedimentation problems in the coastal regions of Asturias and Cantabria (NW Spain) and its implications on environmental management. *Journal of Coastal Research*, 49, 58-63.

- FLOR-BLANCO, G., FLOR, G., & PANDO, L. (2013). Evolution of the Salinas-El Espartal and Xagó beach/dune systems in north-western Spain over recent decades: evidence for responses to natural processes and anthropogenic interventions. *Geo-Marine Letters*, 33(2-3), 143-157. DOI: 10.1007/s00367-012-0301-3
- GOMEZ-PAZO, A. & PEREZ-ALBERTI, A. (2016). Application of GIS in the morphological classification of types of coast: The example of Cíes Islands (Galicia, NW Iberian Peninsula). *GOT - Geography and Spatial Planning Journal*, 1(9), 161-185. DOI: 10.17127/got/2016.9.008
- GÓMEZ-PAZO, A., PÉREZ-ALBERTI, A. & OTERO PÉREZ, X. L. (2019). Recent evolution (1956–2017) of rodas beach on the Cíes Islands, Galicia, NW Spain. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(5), 125. DOI: 10.3390/jmse7050125
- GONZÁLEZ-VILLANUEVA, R., COSTAS, S., PÉREZ-ARLUCEA, M., JEREZ, S. & TRIGO, R. M. (2013). Impact of atmospheric circulation patterns on coastal dune dynamics, NW Spain. *Geomorphology*, 185, 96-109. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.12.019
- HIMMELSTOSS, E. A., HENDERSON, R. E., KRATZMANN, M. G. & FARRIS, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide. *US Geological Survey Open-File Report*, 2018-1179. DOI:10.3133/ofr20181179
- JACKSON, D. W., COSTAS, S., GONZÁLEZ-VILLANUEVA, R. & COOPER, A. (2019). A global 'greening' of coastal dunes: An integrated consequence of climate change? *Global and Planetary Change*, 182, 103026. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2019.103026
- OJEDA, J. (2000). Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30, 103-118.
- PUERTOS DEL ESTADO (2017). Clima Medio de Oleaje. Punto SIMAR 3011012. Retrieved from <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>