



Estudio de la dinámica de una playa de bloques en el sur de Galicia mediante el uso de sensores RFID en el período 2016-2025

Dynamic evolution of a boulder beach in southern Galicia using RFID sensors during 2016-2025 period

Gómez-Pazo, A. ⁽¹⁾; Pérez-Alberti, A. ⁽²⁾

(1) Departamento de Geografía y Geología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de León. Campus Vegaazana, 24071, León, España. agomp@unileon.es

(2) Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola, Facultade de Bioloxía, Campus Vida, Universidade de Santiago de Compostela, 15782, Santiago de Compostela, España.

Resumen

Las mejoras tecnológicas que se han producido en las últimas décadas han supuesto un gran avance en el conocimiento del dinamismo de las zonas costeras. La presente investigación se ha centrado en una playa de bloques de 400 m de longitud situado en la costa sur de Galicia. En 2016 se introdujeron en 80 bloques sensores de radiofrecuencia (RFID) con objetivo de conocer sus vectores de movimiento a nivel individual. A partir de esa fecha y tras 8 campañas de seguimiento sobre el terreno, se han detectado desplazamientos de hasta 38 m en bloques de más de 140 kg. Esta investigación muestra el potencial de esta metodología para analizar las dinámicas costeras y la posibilidad de relacionar los cambios con los factores oceánicos (intensidad y recurrencia de los temporales marinos) y continentales presentes. Se ha demostrado la utilidad de estos sensores en sectores dinámicos como las playas de bloques y se ha evidenciado una reducción de las tasas de desplazamiento vinculadas frecuentemente al enterramiento de los bloques monitorizados o al bloqueo de estos.

Palabras clave: playa de bloques; Galicia; variaciones costeras.

Abstract

Technological advancements over the past decades have significantly improved our understanding of coastal dynamics. This research focuses on a 400 m-long boulder beach located on the southern coast of Galicia. In 2016, radio-frequency sensors (RFID) were embedded in 80 boulders to track their individual movement vectors. Since then, and after eight field monitoring surveys, displacements of up to 38 meters have been

recorded in boulders weighing more than 140 kg. This research emphasizes the possible uses of this methodology for analyzing coastal dynamics and for linking observed changes to both marine (storms intensity and recurrence) and continental factors. These sensors have proven highly effective in capturing dynamics within energetic environments such as boulder beaches. During the study period, displacement rates tended to decrease, often due to the burial or blocking of monitored boulders.

Key words: boulder beach; Galicia; coastal variations.

1. Introducción

La investigación en los ambientes costeros, al igual que la mayoría de los campos científicos han vivido un importante avance en las últimas décadas gracias a la evolución tecnológica, tanto en relación con los dispositivos para la toma de datos sobre el terreno como por la mejora en la capacidad para el procesado de información (Naylor *et al.*, 2010). El incremento del número de investigaciones en esta temática también hay que relacionarlos con el impacto que está teniendo el cambio global en el campo de la investigación y más específicamente en los sectores costeros (Khojasteh *et al.*, 2023). En este ámbito, los daños producidos por los temporales en los entornos costeros como el sector atlántico, así como las modificaciones que pueden vivir en los próximos años han hecho que aumentase el interés científico y gubernamental en estos sectores (Cenci *et al.*, 2017; Lawlor y Cooper, 2024).

Estos avances se han centrado en distintos elementos, como el uso de los drones para la obtención de imágenes y modelos del terreno de alta resolución (Casella *et al.*, 2016; Turner *et al.*, 2016; Gómez-Pazo *et al.*, 2019; Muñoz Narciso *et al.*, 2017), la aplicación de sistemas automatizados para el análisis a partir de imágenes de satélite (Vos *et al.*, 2019; Castelle *et al.*, 2021; Paz-Delgado *et al.*, 2022) o el uso de datos LiDAR, tanto aerotransportados como terrestres (Young *et al.*, 2010; Earlie *et al.*, 2015; Pennington *et al.*, 2024). En este ámbito los sensores de radiofrecuencia (RFID) también han ganado importancia, pasando de una aplicación vinculada a las dinámicas fluviales y a ambientes costeros artificiales (Allan *et al.*, 2006; Benelli *et al.*, 2011;

Liébault *et al.*, 2012; Ravazzolo *et al.*, 2014), a otros sectores como las playas de bloques naturales o las plataformas rocosas (Hastewell *et al.*, 2019, 2020; Gómez-Pazo *et al.*, 2021a, 2024; Marie, 2022).

El avance del uso de los sensores de radiofrecuencia se debe vincular a la demostración de su utilidad en distintos sectores (Hastewell *et al.*, 2019; Gómez-Pazo *et al.*, 2021a), especialmente en aquellos en los que la energía marina impedía una correcta monitorización siguiendo otras técnicas como podría ser el pintado de bloques (Hastewell *et al.*, 2020). De este modo se ha podido tener una imagen clara sobre el comportamiento de los entornos costeros y obtener unos valores de desplazamiento más precisos (Marie, 2022).

El presente trabajo se centra en el dinamismo de una playa de bloques en un período de 8 años, poniendo en relación las variaciones identificadas con las características continentales y los parámetros oceánicos (rango mareal, características de los temporales, etc.).

La introducción de sensores RFID responde al conocimiento previo del dinamismo del sector, basado en diversos estudios que se han desarrollado en la zona desde la década de 1990. En estos se han analizado distintos elementos, desde el origen del sector acantilado (Blanco-Chao *et al.*, 2007), al análisis del movimiento de elementos aislados (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a, 2015b), o los cambios volumétricos de las acumulaciones de bloques (Gómez-Pazo *et al.*, 2019).

Con esta investigación se busca conocer cómo son los desplazamientos en detalle de los blo-

ques en un entorno natural como el analizado con escasa influencia antrópica directa. Además, se analizan los períodos de mayor dinamismo para poder relacionar los factores, especialmente oceánicos que marcan esos desplazamientos. Otro objetivo vinculado es la demostración de la utilidad de esta tecnología en análisis de detalle de sectores complejos y de alta variabilidad, así como la relación de las tasas observadas en este caso con las de otras zonas.

2. Zona de estudio

La zona específica de implantación de los sensores RFID se encuentra en el municipio de Oia, una pequeña localidad costera cuya franja litoral está marcada por la presencia

de zonas rocosas y playas de bloques (Figura 1). Se seleccionó un sector litoral de 400 m de longitud y una anchura de entre 20 en los extremos y 40 m en la parte central que está delimitado por salientes rocosos al norte y el sur, y que en su parte posterior presenta un acantilado de 8-10 m de elevación vinculado a los procesos crionivales pretérritos (Blanco-Chao *et al.*, 2007). Se ha establecido una división norte-sur en tres sectores de longitud similar, con el fin de facilitar la interpretación de los resultados y permitir una comparación más precisa de las dinámicas a lo largo de la playa (Figura 1). Topográficamente se pueden observar diferencias con una mayor presencia de materiales finos en el sector sur, acompañados de cambios de pendiente más acusados (Figura 2a, 2b). Por su parte la parte central

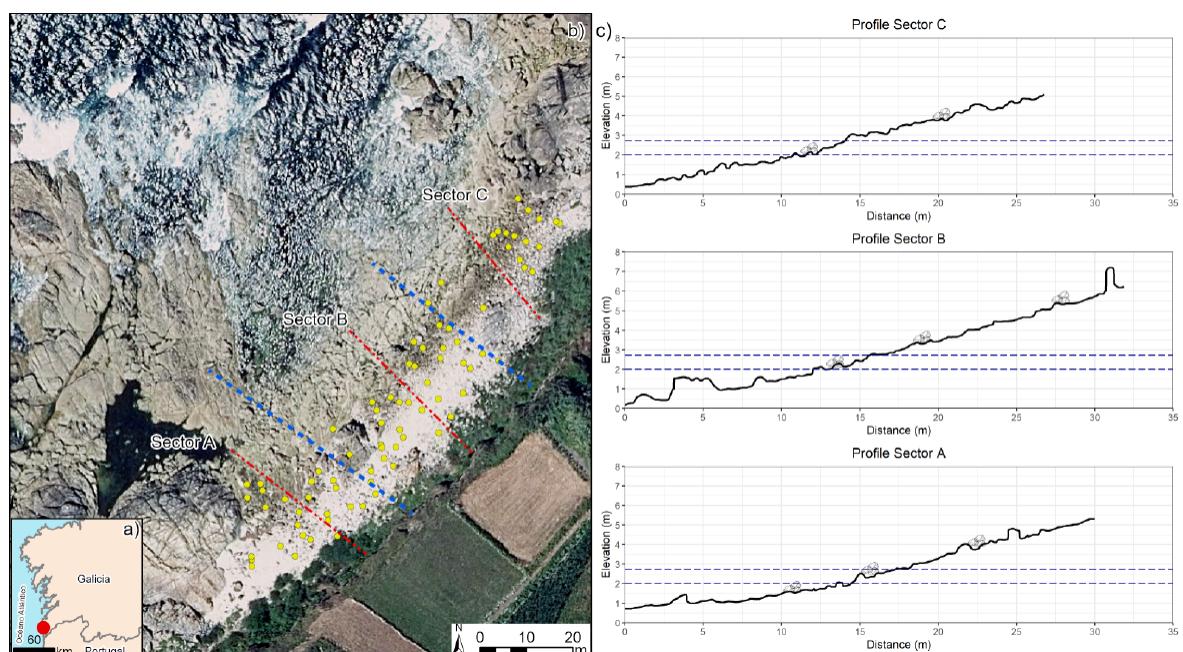


Figura 1: a) Localización de Oia en el contexto de la Península Ibérica; b) detalle de la playa de bloques analizada dividida en los tres sectores de análisis (separados por las líneas azules discontinuas), con los bloques monitorizados representados con los círculos amarillos y con los perfiles topográficos de c) representados por las líneas rojas discontinuas. Ortofotografía PNOA 2020 CC-BY 4.0 ign.es; c) perfiles topográficos de cada sector con la identificación de zonas con bloques monitorizados y con los niveles medios de marea (inferior y superior) marcados con las líneas azules discontinuas.

Figure 1: a) Location of Oia within the context of the Iberian Peninsula; b) detail of the analyzed boulder beach divided into the three study (separated by the discontinuous blue lines), with the monitored blocks represented by yellow circles and the topographic profiles of c) represented by the discontinuous red lines. PNOA 2020 orthophotography CC-BY 4.0 ign.es; c) topographic profiles of each sector with identification of zones with monitored blocks and mean tide levels (lower and upper) marked with discontinuous blue lines.

presenta una mayor extensión de la superficie emergida de la plataforma rocosa (Figura 2c), a la vez que la acumulación de bloques se centra en el sector superior intermareal. En el extremo norte es en el que la plataforma gana elevación hasta el límite marcado por el promontorio rocoso, se trata de una zona con una menor cantidad de bloques, restringidos a la zona superior del nivel intermareal y a canales que sirven como trampas sedimentarias en la zona inferior y media (Figura 2d).

La zona de estudio se encuentra en la costa sur de Galicia, en el noroeste de la Península Ibérica. Se trata de una costa con un ran-

go mesomareal y con una gran ocurrencia de eventos tormentosos (Castelle *et al.*, 2018) que provienen principalmente del noroeste y suroeste (Perez-Alberti y Gómez-Pazo, 2019; Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a).

3. Metodología y materiales

3.1. Metodología

La investigación se desarrolla mediante la relación de la información obtenida sobre el terreno y los datos provenientes de la modelización de las condiciones marinas en las

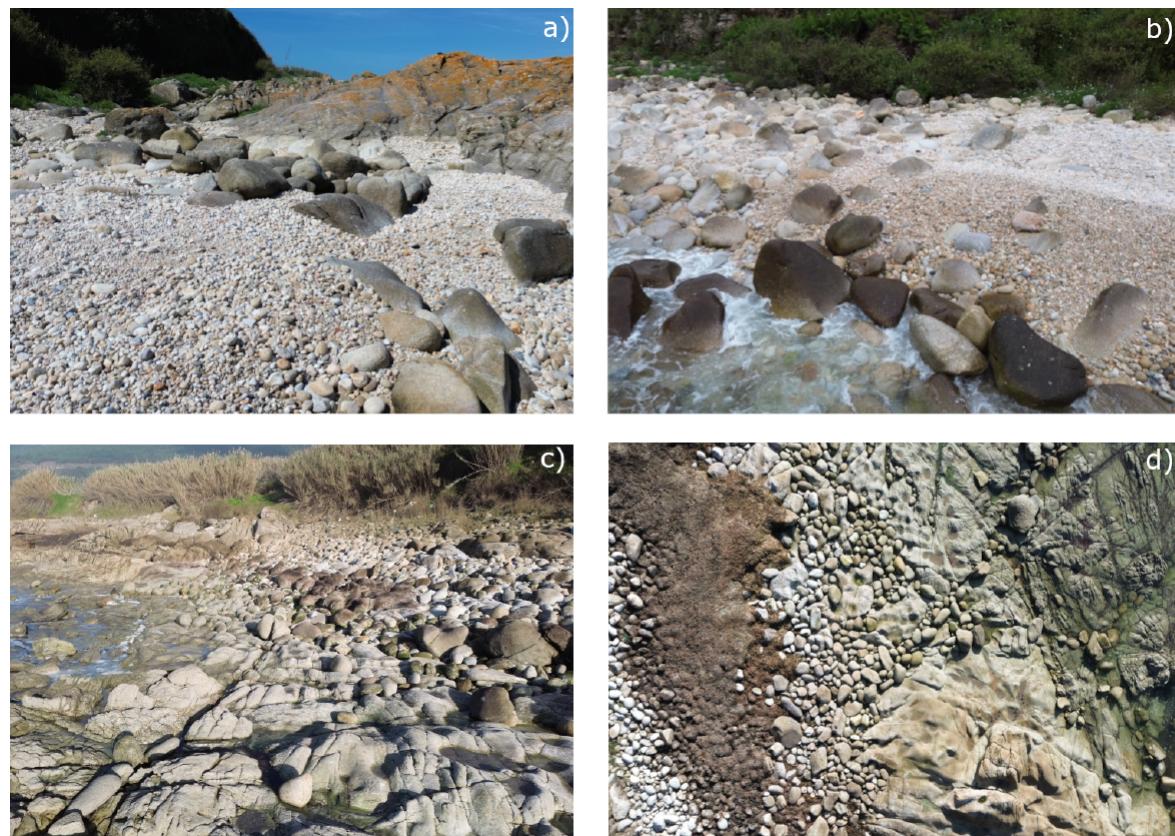


Figura 2: Fotografías de detalle la zona de estudio. a) Sector A desde el mar con el promontorio rocoso a la derecha; b) Sector A con una vista aérea de drone; c) Sector B con una vista de drone desde la plataforma rocosa del nivel intermareal; y d) vista de drone del Sector C con el promontorio rocoso en la parte inferior y con los restos de acumulaciones de algas.

Figure 2: Detail photographs of the study area. a) Sector A from the sea showing the rocky promontory on the right; b) Sector A with an aerial view captured by drone; c) Sector B with a drone view from the rocky platform of the intertidal zone; and d) drone view of Sector C with the rocky promontory at the bottom and remains of accumulated algae.

proximidades. Para esta finalidad, tras análisis previos sobre las variaciones registradas en esta playa de bloques, mediante el trazado individual del contorno de los bloques y la posterior comparación multianual (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a, 2015b) del número de elementos desplazados y el análisis de las variaciones volumétricas (Gómez-Pazo *et al.*, 2019), se procedió a la introducción de sensores RFID con los que poder monitorizar los desplazamientos de bloques individuales.

En el año 2016 se instalaron un total de 80 sensores a lo largo de toda la playa siguiendo la metodología descrita previamente (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a) con la creación de líneas de 5 sensores desde la parte baja de la playa a la zona superior y con una separación de cada alineación de 5 m. La zona costera se dividió en tres sectores con una superficie similar, A, B y C, con 26, 35 y 19 sensores respectivamente. Esta distribución variable está relacionada con la presencia en el sector de bloques válidos para su monitorización, con unas dimensiones que permitan su relocalización e introducción del sensor (suma de los ejes > 80 cm). Este factor ha sido fundamental para las diferencias en el número de sensores entre los sectores delimitados.

Para disponer de la mayor información disponible, se han medido los tres ejes de cada uno de los bloques monitorizados usando un flexómetro y se han realizado distintas fotografías con escala para poder comprobar su colocación y estado durante la duración de la investigación. A partir de estos valores se estimó el *Corey Shape Factor* (CSF), siguiendo la formulación de (Corey, 1949; Pérez-Alberti *et al.*, 2012). El volumen se estimó a partir de la densidad de los granitos característicos de esta zona, que se ha definido como 2691 kg·m³ (Pérez-Alberti *et al.*, 2012).

3.2. Características de los sectores y los bloques monitorizados

La creación de los tres sectores dentro de la playa analizada se ha realizado a partir de la división de la misma en tramos longitudinales

similares. Entre ellos existen diferencias en cuanto a la cantidad de bloques presentes, la protección del oleaje o las características de la plataforma costera.

El Sector A, el más meridional discurre próximo a un promontorio rocoso que reduce la influencia en esta zona del oleaje de componente sur, presentando en la zona intermareal un sector rocoso cerrado que favorece el mantenimiento del agua durante los períodos de marea baja y sirve como protección a esta zona. En cuanto al material presente, los bloques son generalmente de menor tamaño, especialmente aquellos acumulados en la zona intermareal superior y fuera de la influencia habitual de la marea, donde aparecen de manera temporal gran cantidad de cantos heterométricos.

El Sector B abarca la zona central de Oia y en él se encuentran las zonas emergidas de mayor elevación de la plataforma rocosa, con un escarpe bastante claro en los primeros metros (Figura 1c) que sirve como divisoria en el comportamiento habitual de los bloques, siendo los que se encuentran por debajo de este nivel móviles a través de los canales de la plataforma mientras que en la parte superior la dinámica es más caótica (Gómez-Pazo *et al.*, 2021). Esta también tiene grandes diferencias temporales, pero en este caso relacionadas con la presencia de algas que pueden cubrir casi al completo la zona intermareal superior durante días. A diferencia del primer sector, la presencia de clastos de menor tamaño es casi residual y se limite a la zona supramareal.

Por su parte, el Sector C ocupa el extremo norte de la playa de Oia. En esta zona el aumento de la pendiente en la plataforma es más continuo (Figura 1c) y está protegido por el promontorio rocoso del norte que reduce la llegada del oleaje de componente norte y parte del que llega directamente desde el noroeste. Esta zona destaca por la casi ausencia de bloques en la zona inferior, donde existe una plataforma rocosa bien desarrollada y pulida por la acción del oleaje y la presencia de materiales finos. Los bloques de este sector se centran especialmente en el sector intermareal superior

y la parte supramareal en la que existen importantes acumulaciones de bloques con una mayor estabilidad que la observada en los otros sectores (Gómez-Pazo *et al.*, 2021).

Los bloques seleccionados en esta investigación se encuentran desde 1 m por encima del nivel medio mareal, hasta la parte supramareal, a 3 m por encima del nivel de mareas extremas. De los 80 bloques monitorizados, 29 se encontraban sobre la elevación media de las mareas, mientras que 16 se localizan entre el valor medio y extremo del nivel superior de marea, y 35 por encima del valor de mareas extremas. En este nivel superior es en el que existe un mayor número de bloques disponibles, como se ha mostrado en investigaciones previas (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015a). Las características de estos bloques se pueden observar en la Tabla 1, en la que se muestran las diferencias entre sectores entre el tamaño de los ejes, siendo las variaciones más importantes en el eje mayor entre los sectores A y B y el C. Lo mismo ocurre en el caso del CSF, cuyo valor más alto es el del Sector C, en el que aparecen los bloques más redondeados de la zona de estudio. En el caso de la masa estimada, es precisamente en el último sector en el que están los bloques más ligeros, con una media de 391 kg.

3.3. Sensores de radiofrecuencia

La principal fuente de información en esta investigación son los sensores RFID HDX PIT. Se

emplearon los sensores de 23 mm introducidos en una cápsula de silicona y en la roca a partir de un agujero de unos 30 mm. Posteriormente se sellaron con resina epoxy preparada para altas condiciones de humedad y salinidad.

Tanto el primer posicionamiento de los sensores como las posteriores campañas de relocalización se realizaron usando la mochila para la detección de sensores RFID (ORSR *long range reader*) y un receptor GPS Stonex S8 GNSS. El posicionamiento de los bloques se realizó situando el receptor en el centro de los bloques, tratando de reducir la posible incertidumbre del desplazamiento, especialmente cuando por el desplazamiento de los bloques no fuese visible el orificio en el que se introdujo el sensor. En este sentido también se ha introducido un umbral de 1 m para definir como móviles a los bloques analizados. Este valor se relaciona con la incertidumbre asociada al posicionamiento del receptor GPS sobre el bloque, así como al margen de error del propio dispositivo (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a).

A partir de la campaña de introducción de los sensores se realizaron 8 relocalizaciones de estos, distribuidas de un modo heterogéneo a lo largo de 8 años. Esta distribución se relaciona con distintos condicionantes como la disponibilidad presupuestaria, las condiciones meteorológicas o la disponibilidad del personal (Tabla 2).

Tabla 1: Características de los bloques monitorizados. Media ± desviación estándar.

Table 1: Monitored boulders characteristics. Mean ± standard deviation.

Variable	Playa completa	Sector A	Sector B	Sector C
Eje Mayor (cm)	$78,85 \pm 24,23$	$78,04 \pm 22,32$	$78,26 \pm 26,23$	$81,05 \pm 24,07$
Eje Intermedio (cm)	$55,44 \pm 19,08$	$57,69 \pm 16,53$	$56,43 \pm 23,91$	$50,53 \pm 10,19$
Eje Menor (cm)	$29,71 \pm 10,9$	$30,5 \pm 10,45$	$27,83 \pm 11,56$	$32,11 \pm 10,2$
CSF	$0,46 \pm 0,12$	$0,46 \pm 0,09$	$0,43 \pm 0,12$	$0,51 \pm 0,14$
Masa (kg)	435	442	454	391

Tabla 2: Código, fecha de las campañas de remuestreo, código de los períodos de análisis y duración de estos.
Table 2: Code, date of the resampling campaigns, code of the analysis periods and duration.

Código de campaña	Fecha	Código de período	Días por período
L00	21/09/2016		
L01	31/03/2017	Per_A	191
L02	01/08/2018	Per_B	488
L03	15/01/2019	Per_C	167
L04	10/06/2019	Per_D	146
L05	03/12/2019	Per_E	176
L06	30/06/2022	Per_F	940
L07	20/06/2023	Per_G	355
L08	21/06/2024	Per_H	367

3.4. Información oceanográfica

Los datos sobre las condiciones marinas en el sector próximo a Oia se han analizado con la información del punto SIMAR 3014000 (Puertos del Estado, 2025), situado a unos 3 km. Para este análisis se han tomado los datos desde el momento de implantación hasta el día de la última campaña. El análisis de la información se ha realizado en el entorno de R, automatizado la estimación de los principales parámetros de interés para esta investigación (vector de desplazamiento y posición de los bloques) y generando también las salidas gráficas (Figura 2).

4. Resultados

Esta sección se centrará en primer lugar en el análisis del oleaje siguiendo los datos de Puertos del Estado descritos previamente. A partir de esta información se describirán los valores de desplazamiento de los bloques teniendo en cuenta sus características y su posición en la zona de estudio.

Los datos de oleaje para el entorno de Oia muestran como el período invernal y primaveral concentra las olas de mayor tamaño, tanto en valores medios como absolutos. Du-

rante el resto del año rara vez los valores de altura media de ola diaria superan los 3 m, mientras que durante el invierno estos pueden llegar a superar los 7 m, como es el caso del 05/11/2023, con un valor medio de 7,14 m.

En términos generales, durante el período analizado la altura media significativa del oleaje ha sido de 1,97 m, mientras que el valor más alto registrado en el punto SIMAR ha sido de 9,97 m el 04/11/2023.

Con el objetivo de profundizar en la posible relevancia de los eventos tormentosos en esta zona, se siguió el enfoque de Gómez-Pazo *et al.* (2021b), definiendo las tormentas (temporales marinos) como períodos de 6 o 12 horas en los que la altura significativa del oleaje (H_s) medio horario superó el percentil $H_{s,95}$, establecido en 4,14 m para el período de estudio.

En la Tabla 3 se sintetiza la información sobre los eventos tormentosos registrados en las proximidades de Oia. En este caso se puede observar la reducción en el tiempo entre tormentas, especialmente a partir del Per_C, situándose en este el valor más reducido de recurrencia para las tormentas (> 6h) en 12,8 días. La dirección media del oleaje durante es-

Tabla 3: Principales valores de oleaje para los distintos períodos de análisis y para los eventos de tormenta.
Table 3: Main wave parameters for the different analysis periods and for storm events.

Dato	Período							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Hs medio (m)	1,8	1,61	1,92	2,33	1,85	2,04	2,06	2,24
N tormentas (> 6h)	3	14	13	11	9	46	20	20
N tormentas (> 12h)	3	11	9	8	6	38	15	15
Días entre tormentas (> 6h)	63,7	34,9	12,8	13,3	19,6	20,4	17,8	18,4
Días entre tormentas (> 12h)	63,7	44,4	18,6	18,3	29,3	24,7	23,7	24,5
Duración media (horas)	25,7	17	18,7	17,6	19,7	25,5	24,4	33,5
Duración máxima (horas)	49	38	39	35	38	112	74	116
Hs medio durante tormentas	5,25	4,85	4,8	5,11	4,93	4,87	4,88	5,43
Hs máximo durante tormentas	7,32	7,61	6,41	8,41	8,37	9,5	7,91	9,97
Dirección media del oleaje (°)	287	297	297	294	297	295	289	293
Días totales con Hs > Hs _{.95}	10	30	25	24	21	103	47	54
Días entre eventos de Hs > Hs _{.95}	19,1	16,3	6,7	6,1	8,4	9,1	7,6	6,8

tos períodos tormentosos también guarda relación con la dirección predominante, con un dominio de las olas de W-NW. La duración de los temporales también muestra una tendencia al alza. Mientras que en los primeros períodos la duración de los eventos con más de 6 horas era de alrededor de las 40 horas, esto se ha incrementado desde Per_F, con cifras para este y para el último período superiores a las 112 horas. Precisamente los dos eventos tormentosos más largos se produjeron entre el 18/12/2019 y el 23/12/2019 y entre el 01/11/2023 y el 06/11/2023 respectivamente. Ambas fechas coinciden con las borrascas Elsa y Ciarán, que necesitaron activar alerta en el litoral. Ambas borrascas marcaron también los valores extremos de oleaje (Figura 3).

En cuanto a los resultados observados en el desplazamiento de los bloques durante el período 2016-2024 se ha constatado la existencia de distintas fases. En la Tabla 4 se resumen los resultados de número de bloques desplazados y recuperados en cada una de las campañas, así como los valores medios de tamaño, masa y forma de los mismos. En la Tabla 5 estos valores se detallan para cada uno

de los tres sectores en los que se ha dividido el tramo costero analizado.

Se observa una tendencia general a la disminución del número de sensores identificados, con la excepción del período B. En cuanto al número de bloques desplazados, los valores más altos se registraron en los períodos A, D y F, con 32, 35 y 29 movimientos, respectivamente. Por el contrario, el menor número de desplazamientos se dio en el último período (H), con solo 19 bloques móviles.

La evolución temporal muestra un patrón claro: un máximo inicial de actividad (Per_A), una fase de descenso progresivo hasta el Per_E, y una reactivación en los períodos F y G. Esta última coincide con una mayor frecuencia y duración de las tormentas (Tabla 3). Especialmente destacable es el evento extremo asociado a la borrasca Ciarán (noviembre de 2023), que marca el registro más alto de Hs (9,97 m).

Esta tónica de reactivación a partir de los eventos extremos no se aprecia en el último período (Per_H), en el que se ha reduci-

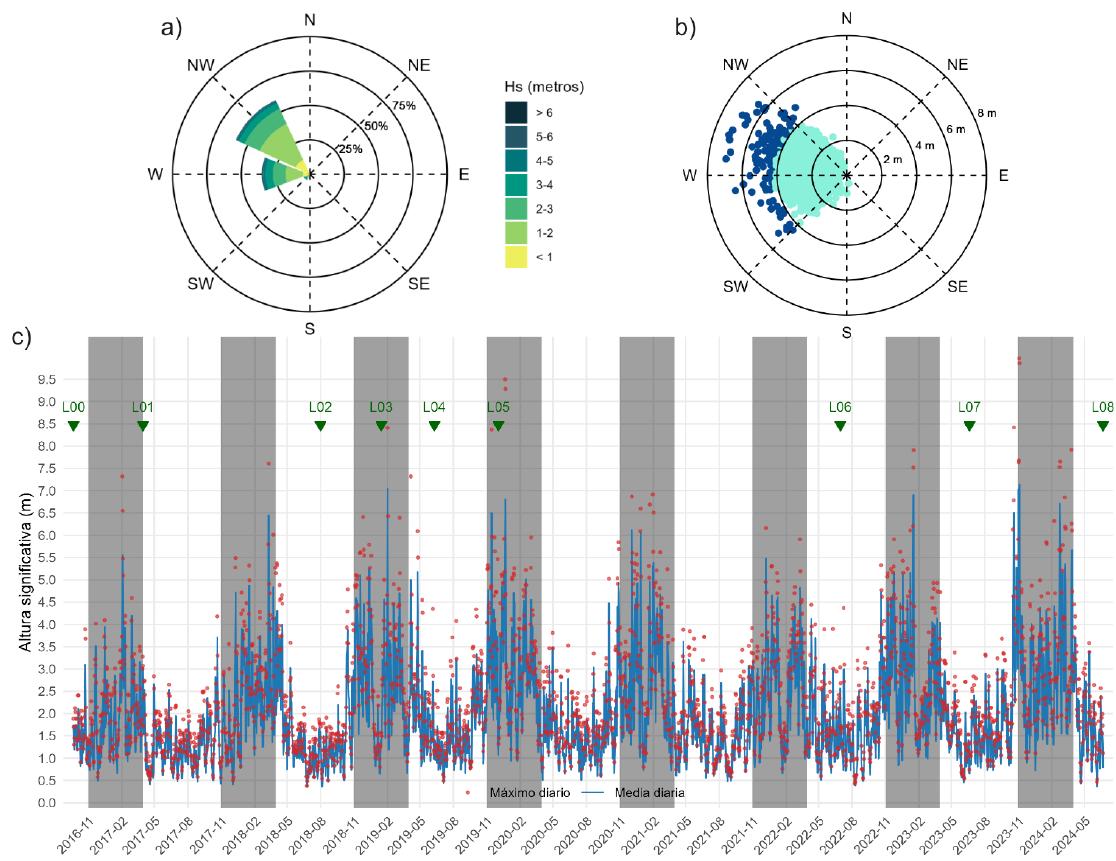


Figura 3: Datos de oleaje basados en la información del punto SIMAR 3014000. a) Distribución del oleaje según altura y dirección entre 2016 y 2024; b) Distribución de las olas según su dirección, con olas por debajo del percentil 95 en color azul claro y por encima en color azul oscuro; c) Distribución del oleaje en valores diarios para el período analizado, las franjas grises indican los meses de invierno-primavera (noviembre-marzo) y los triángulos verdes invertidos indican la fecha de las campañas de remuestreo.

Figure 3: Wave data based on information from SIMAR point 3014000. a) Wave distribution by height and direction between 2016 and 2024; b) Wave direction distribution, with waves below the 95th percentile shown in light blue and those above in dark blue; c) Daily wave height distribution over the study period. Grey bands indicate winter-spring months (November-March), and inverted green triangles indicate the dates of the resampling campaigns.

do el número de bloques desplazados. Esta menor movilidad puede relacionarse con el confinamiento de un número importante de bloques tras varios ciclos tormentosos, dado que se ha observado una mayor presencia de bloques heterométricos en la parte superior de la playa, especialmente en el Sector A, en el que existe una mayor presencia de materiales finos. Por su parte, la zona inferior ha quedado en muchos casos desprovista de la cobertura de bloques y pueden apreciarse con claridad las morfologías erosivas en la roca.

El análisis de las características de los bloques desplazados revela una masa media variable, con un máximo en el período E (485,5 kg) y un repunte posterior en H (412,95 kg). Por su parte, el índice CSF muestra estabilidad general en torno a 0,47, con ligeras disminuciones en los períodos F (0,44) y G (0,45). El eje medio (D_i) se mantiene también casi constante, oscilando entre 52,7 y 55,5 cm.

Las diferencias entre los distintos parámetros analizados también son evidentes a lo largo de la playa (Tabla 5 y Figuras 2 y 4). El sec-

Tabla 4: Distribución de los datos por campaña divididos en función de los sectores a lo largo de la playa.

Table 4: Data distribution by campaign divided according to the sectors along the beach.

Período	N recuperados	Porcentaje recuperados	Desplazados	Masa media (kg)	CSF	Eje Di (cm)
Per_A	48	60	32	394,62	0,47	53,97
Per_B	39	48,75	20	404,30	0,47	55,25
Per_C	58	72,5	24	345,49	0,46	53,50
Per_D	63	78,75	35	433,58	0,47	52,97
Per_E	60	75	28	485,50	0,47	54,21
Per_F	49	61,25	29	386,79	0,44	55,45
Per_G	46	57,5	26	315,00	0,45	52,73
Per_H	45	56,25	19	412,95	0,47	54,63

Tabla 5: Distribución de los datos por campaña y divididos en función de los sectores a lo largo de la playa.

Table 5: Data distribution by survey campaign, separated by sectors along the beach.

Parámetro	Sector	Período							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Desplazados	A	11	6	9	9	8	14	11	5
	B	15	9	14	13	9	10	9	8
	C	6	5	1	13	11	5	6	6
Masa media (kg)	A	337,4	358,06	427,89	552,15	603,79	496,46	390	533,21
	B	377,85	391,14	310,85	447,51	548,64	285,46	256,19	236,76
	C	541,44	483,48	88,87	337,57	347,8	282,38	265,7	547,67
CSF	A	0,47	0,48	0,47	0,48	0,46	0,48	0,48	0,48
	B	0,44	0,41	0,44	0,45	0,41	0,39	0,39	0,37
	C	0,54	0,56	0,65	0,5	0,52	0,45	0,49	0,59
Eje Di (cm)	A	53,45	54,67	61,22	58	58,13	58	55,45	56,6
	B	54,53	56,11	50,07	53,92	59,11	55,4	52,44	51,88
	C	53,5	54,4	32	48,54	47,36	48,4	48,17	56,67

tor B concentra el mayor número de bloques desplazados en la mayoría de los períodos, aunque estos suelen tener una masa menor que los de los otros sectores. En contraste, el sector A presenta valores de masa significativamente más elevados en algunos períodos (p.ej., > 600 kg en el período E), mientras

que el sector C destaca por la movilidad de bloques con CSF más altos, sobre todo en los períodos A, B y H. En cuanto al eje medio, los bloques desplazados del sector C son generalmente más pequeños, mientras que los sectores A y B presentan tamaños más grandes (valores medios > 50 cm).

La Figura 4 muestra la distribución de los desplazamientos por sector y período, destacando nuevamente la elevada variabilidad y los valores extremos del sector B, donde un bloque superó los 30 m de desplazamiento en el período F. Por su parte, los sectores A y C muestran unos valores de movimiento más próximos entre sí, aunque es necesario destacar un comportamiento bastante semejante en todos los sectores en cuanto a los períodos con mayor o menor variabilidad, como podría ser el A para el primer caso y el C en el ejemplo contrario.

Los datos estadísticos (Tabla 6) reflejan una tendencia decreciente de las distancias medias de desplazamiento, desde la implantación hasta el período E, seguida de un repunte en los períodos F y G. Este patrón se repite en los tres sectores, aunque con mayor intensidad en el sector B, donde se registran tanto los mayores valores medios como la mayor desviación estándar, evidenciando una dinámica más activa e irregular.

En la Figura 5 se representan los vectores de desplazamiento de los bloques monitorizados en cada período de análisis, donde se aprecian cambios entre sectores, como se observa en los vectores de desplazamiento y en concreto en uno de los bloques que pasó del Sector A al B en el Per_A.

5. Discusión

A lo largo de esta sección se seguirá un esquema similar al del apartado anterior, pero comenzando por la relevancia del uso de sensores RFID y los aspectos más destacados en relación con otras investigaciones en las que se han empleado estos dispositivos. Posteriormente se trata la información relacionada con los parámetros marinos para acabar con la discusión sobre los desplazamientos observados a lo largo del período de análisis.

En relación con el uso de sensores RFID, la evolución de las playas de bloques difiere

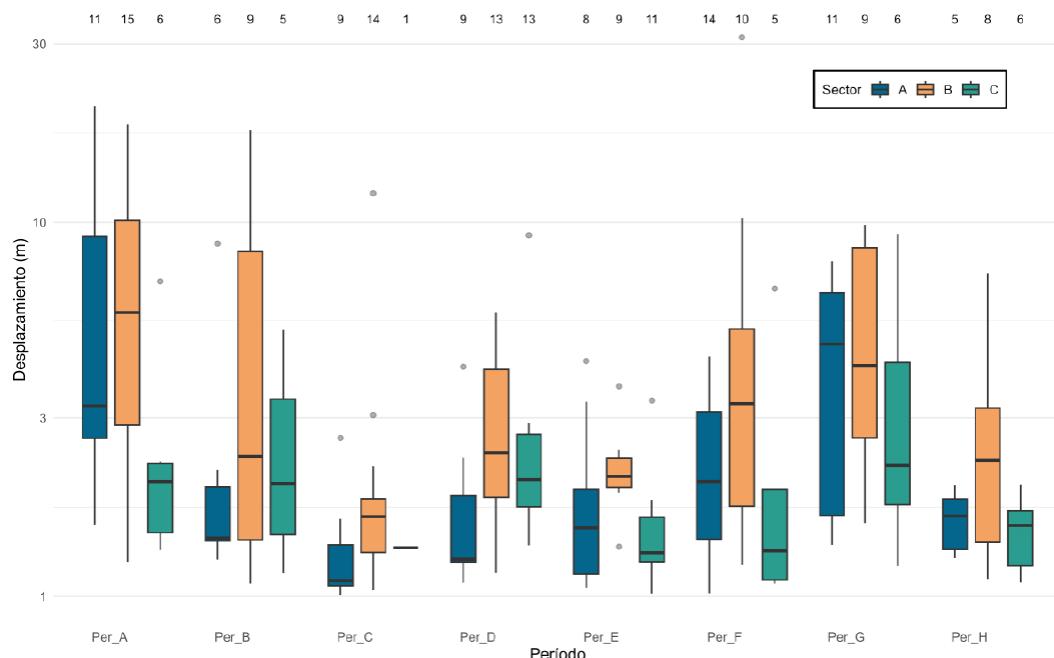


Figura 4: Desplazamiento de los bloques en función del período de análisis y del sector de la playa de implantación. El eje de los desplazamientos se muestra con escala logarítmica para una mejor visualización e inclusión de los valores extremos superiores.

Figure 4: Boulder displacement by analysis period and beach sector. The displacement axis is shown on a logarithmic scale to enhance visualization and include upper extreme values.

Tabla 6: Valores de media y desviación estándar (s), en metros, de los desplazamientos medidos para cada período de estudio en cada sector.

Table 6: Mean and standard deviation (s) values, in meters, of the displacements measured for each study period in each sector.

Período	Sector A		Sector B		Sector C		Sector completo	
	Media	s	Media	s	Media	s	Media	s
Per_A	6,56	5,83	6,97	5,02	2,67	2,14	6,02	5,08
Per_B	2,74	2,97	5,48	5,96	2,63	1,65	3,95	4,46
Per_C	1,36	0,52	2,37	2,81	1,35	NA	1,95	2,19
Per_D	1,77	0,97	2,88	1,41	2,64	2,05	2,51	1,61
Per_E	1,94	1,19	2,21	0,62	1,56	0,64	1,88	0,84
Per_F	2,30	1,09	6,46	9,12	2,42	2,39	3,75	5,66
Per_G	4,28	2,56	5,20	3,18	3,62	3,09	4,45	2,85
Per_H	1,61	0,31	2,97	2,22	1,50	0,35	2,15	1,58

bastante de lo que puede ocurrir en las plataformas rocosas y esto tiene importantes repercusiones en estas técnicas. En las primeras existe un importante número de bloques que pueden ser enterrados por las dinámicas estacionales o anuales del sector y que pueden ocultar algunos sensores durante las campañas de revisita a la zona. Esto hace que las tasas de recuperación sean menores, siendo en el caso gallego de entre el 56 y 79%, mientras que en las plataformas rocosas las tasas alcanzan el 92% (Hastewell *et al.*, 2020). Estos valores también deben relacionarse con el tamaño de los bloques, ya que para la implantación de estos sensores en cantos y guijarros las tasas de recuperación son menores (Young *et al.*, 2023), lo que se relaciona con una mayor posibilidad de enterramiento de los sensores o la pérdida de estos en el sector marino.

Los resultados obtenidos refuerzan la utilidad de los sensores RFID como herramienta eficaz para estudios de dinámica costera a largo plazo, especialmente en ambientes de difícil acceso y alta energía como las playas de bloques. En los últimos años ya se había podido comprobar su eficacia en plataformas costeras (Hastewell *et al.*, 2019, 2020; Marie, 2022), playas artificiales (Benelli *et al.*, 2011;

Bertoni *et al.*, 2016) o playas de bloques sin modificación con la que se presenta en esta investigación (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a). Esta validez metodológica llevó recientemente a la introducción de estos sensores en el entorno costero de Caleta Española en la Isla de Livingston o en las islas de Sao Jorge y Pico en el archipiélago de las Azores (Gómez-Pazo *et al.*, 2024). A partir de estas nuevas investigaciones también se pretende comprobar qué diferencias existen en cuanto a las tasas de desplazamiento, su distribución y los factores que las definen a distintas latitudes y bajo condiciones oceánicas variables.

Además de su eficacia en el seguimiento puntual de bloques, los sensores RFID ofrecen un gran potencial cuando se integran con otras fuentes de información espacial de alta resolución, como el uso de técnicas *Structure-from-Motion* (SfM) o sensores LiDAR. El uso conjunto de estas tecnologías permite superar las limitaciones de cada método por separado: mientras los sensores RFID ofrecen información precisa sobre el desplazamiento acumulado de bloques individuales, los datos obtenidos mediante fotogrametría con drones permiten reconstruir MDTs que evidencian cambios morfológicos a escala de playa

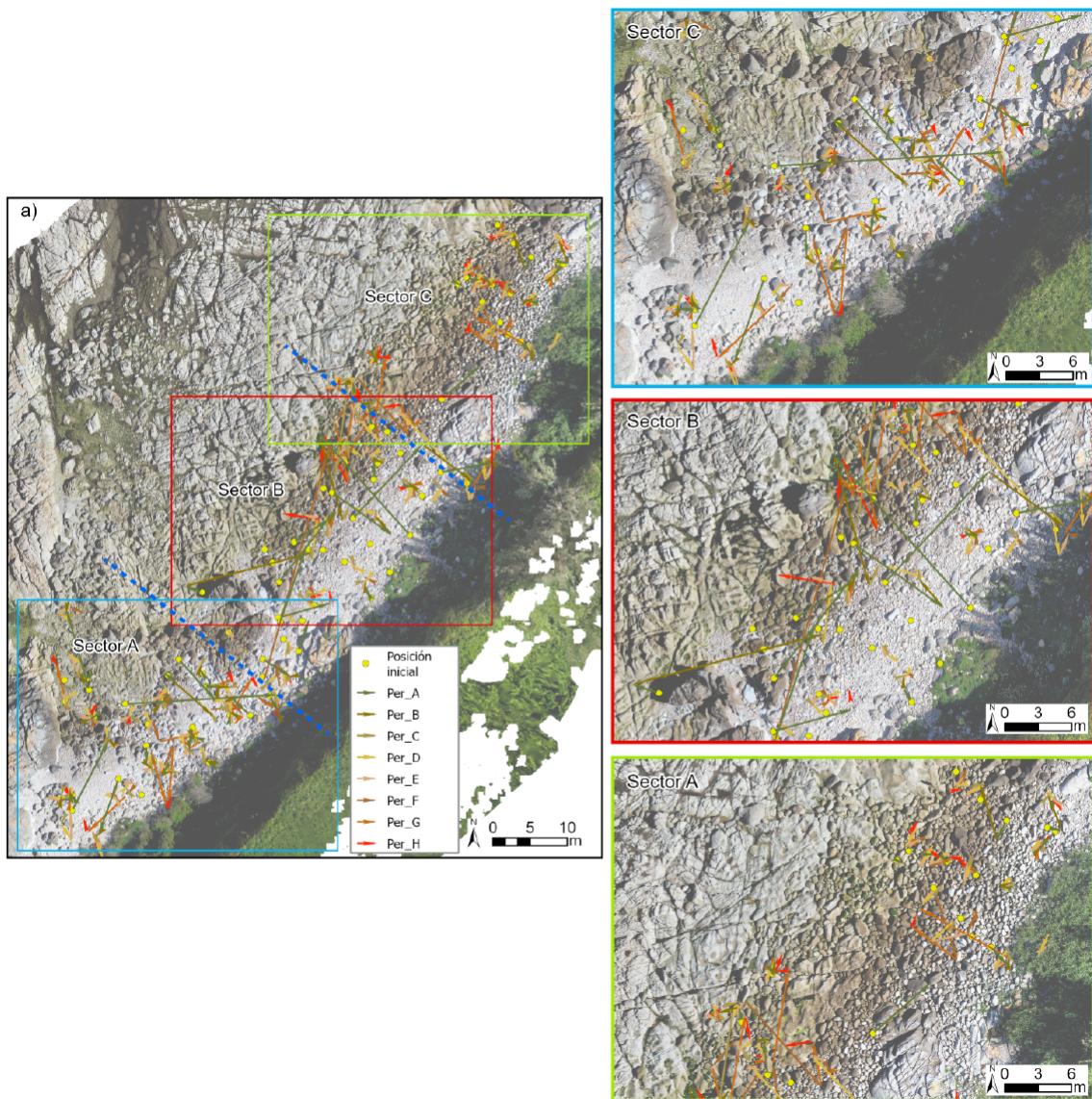


Figura 5: Vectores de desplazamiento de los bloques monitorizados en cada período sobre la imagen obtenida con drone en el año 2024. En a) se muestra la zona de estudio en su totalidad, mientras que a la derecha aparecen en detalle los tres sectores incluidos en el estudio representados en el mapa principal con el color de su recuadro.

Figure 5: Displacement vectors of monitored boulders for each period, overlaid on a drone image from 2024. a) shows the entire study area, while the detailed views of the three sectors included in the study appear on the right, highlighted in the same colors as their corresponding boxes on the main map.

o sector (Gómez-Pazo *et al.*, 2019). Esta integración mejora la capacidad de interpretar los patrones espaciales del movimiento de bloques, permite correlacionar los vectores de desplazamiento con microformas del relieve, y ayuda a cuantificar la evolución volumétrica de las acumulaciones. En las siguientes fases

de este proyecto de monitorización se potenciará el uso conjunto de imágenes de alta resolución de la zona tomadas durante las campañas de remuestreo para obtener una imagen más completa de las modificaciones en la playa y su papel en los desplazamientos de los bloques.

La distribución del oleaje sigue una tónica bastante clara y que coincide con otras investigaciones en la costa atlántica de la Península Ibérica (Clarke y Rendell, 2009; Gómez-Pazo *et al.*, 2021b). Esta tónica de la relevancia del oleaje en las variaciones en el entorno de Oia ya se había podido comprobar en estudios previos (Pérez-Alberti y Trenhaile, 2015b) para el invierno de 2013-2014, el más energético en el entorno atlántico desde 1948 (Masselink *et al.*, 2016; Gómez-Pazo *et al.*, 2019). Este aumento de las tormentas y de su virulencia también debe relacionarse con los datos expuestos en la Tabla 3, en la que se muestra con claridad el incremento en el número de eventos en los últimos períodos analizados, especialmente en cuanto a la recurrencia de las tormentas y su duración, con el máximo en el Per_F. También es preciso destacar la reducción en el número de días entre eventos con valores de Hs superiores a Hs₉₅, pasando de 19,1 en el Per_A a 6,8 en el Per_H, siendo el mínimo absoluto el registrado en el Per_C con 6,7 días.

Los resultados obtenidos, en cuanto a la dinámica de los bloques, reflejan una notable heterogeneidad, tanto espacial como temporalmente, y evidencian la influencia de factores tanto marinos (temporales) como continentales (desprendimientos y removilización de los bloques). La exposición de los distintos sectores al oleaje, las variaciones en el perfil de la playa (Gómez-Pazo *et al.*, 2019; Gómez-Pazo *et al.*, 2021a) y la capacidad de confinar los bloques por la combinación de los factores presentes marcan la existencia de distintas tendencias en la zona de análisis.

Los resultados evidencian una mayor actividad en el sector central (B), donde se han registrado el mayor número de desplazamientos y los más largos, con un caso que supera los 30 metros. Esta mayor movilidad se vincula a su exposición a los temporales del NW. En cambio, el sector C presenta una dinámica más atenuada, al estar parcialmente protegido de las principales direcciones de oleaje (especialmente durante las tormentas) por su configuración topográfica con una mayor ex-

tensión de la plataforma costera y la presencia generalizada de los bloques en posiciones más elevadas.

Por su parte, el sector A tiene un comportamiento más variable, con valores de desplazamiento y masa de los bloques que supera en algunos períodos al sector B. Se trata de una zona con importantes cambios en el perfil temporal de la playa entre las distintas campañas de remuestreo y en el que existe una gran cantidad de material fino (Figuras 2a, 2b) que impide en ocasiones la identificación de los bloques monitorizados (Gómez-Pazo *et al.*, 2021a), estas dinámicas son menos extremas en el caso del Sector B, en el que los cambios topográficos son más acusados (Figura 1c) dada la presencia de bloques de gran tamaño y sectores de la plataforma de mayor elevación que funcionan en ocasiones como trampas sedimentarias, vinculándose el desplazamiento de los bloques a canales en la plataforma y zonas deprimidas. En este caso, esta zona está relativamente protegida de las olas de componente S, que pueden ser importantes en la entrada de algunas tormentas y cuya incidencia en el Sector A se verá limitada solamente a la coincidencia de olas de gran altura con un nivel de marea alto.

Respecto a las características físicas de los bloques desplazados, no existe una correlación clara entre masa, forma o tamaño y distancia recorrida. No obstante, es frecuente que los bloques más ligeros y con menor CSF sean más móviles, especialmente en sectores como el B o C (Gómez-Pazo *et al.*, 2021). Excepcionalmente, en el sector A se identificaron desplazamientos de bloques de más de 500 kg durante períodos con fuerte actividad tormentosa, lo que sugiere que, bajo condiciones extremas, incluso los elementos más pesados pueden ser movilizados, no siendo la masa el elemento más relevante a la hora de producirse el desplazamiento de los bloques en estas tipologías costeras. Esto se ha observado recientemente en otros sectores como el caso de Criaçao Velha en la Ilha de Pico (Islas Azores) (Gómez-Pazo *et al.*, 2025).

6. Conclusiones

Esta investigación ha demostrado la eficacia del uso de sensores RFID para el seguimiento a largo plazo de la dinámica de bloques en una playa del sector sur de Galicia entre 2016 y 2024. A partir de estos datos se han podido relacionar los movimientos con elementos como los temporales marinos o la morfología de la playa y sus variaciones.

Esta técnica ha permitido la obtención de una base de datos robusta y continua, demostrando las mejoras que implica para sectores dinámicos y de alta energía, donde otros métodos como el pintado de bloques presenta mayores limitaciones.

En el período analizado se observa una reducción en los vectores de desplazamiento de los bloques, lo que está relacionado con el desplazamiento de materiales más finos que pueden enterrar los bloques monitorizados y su frenado por la presencia de otros de mayor tamaño en su entorno.

Otro elemento que destacar es la falta de una correlación clara entre valores como la forma o la masa de los bloques y la distancia de desplazamiento. Los cambios en la posición de los bloques se relacionan con la interrelación de múltiples factores como la procedencia del oleaje, su altura o el nivel mareal.

Agradecimientos

Alejandro Gómez Pazo forma parte del grupo de investigación GEOPAT de la Universidad de León. Este trabajo es una contribución al IGCP Project 725 “Forecasting Coastal Change” y se elaboró en relación con el premio María Jesús Ibáñez a la tesis doctoral “Aplicación de novas tecnoloxías no estudo do costa de Galicia dirixidas a unha nova xestión no contexto do cambio global” defendida en la Universidade de Santiago de Compostela por Alejandro Gómez Pazo bajo la dirección de Augusto Pérez Alberti y Xosé Lois Otero Pérez. Los autores quieren agradecer la labor de los/as revisores/as en la mejora del manuscrito original.

Bibliografía

- Allan, J.C., Hart, R., Tranquili, J.V. (2006). The use of Passive Integrated Transponder (PIT) tags to trace cobble transport in a mixed sand-and-gravel beach on the high-energy Oregon coast, USA. *Marine Geology*, 232(1-2), 63-86. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.07.005>
- Benelli, G., Panzardi, E., Pozzebon, A., Bertoni, D., Sarti, G. (2011). An analysis on the use of LF RFID for the tracking of different typologies of pebbles on beaches. 2011 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications, 426-431. <https://doi.org/10.1109/RFID-TA.2011.6068673>
- Bertoni, D., Sarti, G., Grottoli, E., Ciavola, P., Pozzebon, A., Domokos, G., Novák-Szabó, T. (2016). Impressive abrasion rates of marked pebbles on a coarse-clastic beach within a 13-month timespan. *Marine Geology*, 381, 175-180. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.09.010>
- Blanco-Chao, R., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S., Costa-Casais, M., Valcárcel-Díaz, M. (2007). Shore platform abrasion in a para-periglacial environment, Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 83, 136-151. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.028>
- Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Stark, C.P., Casella, M., Ferrari, M., Firpo, M. (2016). Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 36, 151-163. <https://doi.org/10.1007/s00367-016-0435-9>
- Castelle, B., Dodet, G., Masselink, G., Scott, T. (2018). Increased winter-mean wave height, variability, and periodicity in the Northeast Atlantic over 1949-2017. *Geophysical Research Letters*, 45(8), 3586-3596. <https://doi.org/10.1002/2017GL076884>
- Castelle, B., Masselink, G., Scott, T., Stokes, C., Konstantinou, A., Marieu, V., Bujan, S. (2021). Satellite-derived shoreline detection at a high-energy meso-macrotidal beach. *Geomorphology*, 383, 107707. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107707>
- Cenci, L., Disperati, L., Persichillo, M.G., Oliveira, E.R., Alves, F.L., Phillips, M. (2017). Integrating remote sensing and GIS techniques for monitoring and modeling shoreline evolution to support coastal risk management. *GIScience & Remote Sensing*, 55(3), 355-375. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1376370>

- Clarke, M.L., Rendell, H.M. (2009). The impact of North Atlantic storminess on western European coasts: A review. *Quaternary International*, 195, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.02.007>
- Corey, A. (1949). Influence of Shape on the Fall Velocity of Sand Grains. Master's thesis, Colorado State University. <https://hdl.handle.net/10217/195976>
- Earlie, C.S., Masselink, G., Russell, P.E., Shail, R.K. (2015). Application of airborne LiDAR to investigate rates of recession in rocky coast environments. *Journal of Coastal Conservation*, 19(6), 831-845. <https://doi.org/10.1007/s11852-014-0340-1>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2019). Recording inter-annual changes on a boulder beach in Galicia, NW Spain using an unmanned aerial vehicle. *Earth Surf Process Landforms*, 44, 1004-1014. <https://doi.org/10.1002/esp.4549>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2021a). Tracking clast mobility using RFID sensors on a boulder beach in Galicia, NW Spain. *Geomorphology*, 373, 107514. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107514>
- Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A. (2021b). 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>
- Gómez-Pazo, A., Hipólito, A., Pérez-Alberti, A., Quartau, R., Ávila, S.P., Melo, C., Andrade, M., Martín-González, E., Andrade, C., Ramalho, R.S. (2024). Dinámica de bloques mediante sensores RFID en la Fajã da Caldeira de Santo Cristo (Ilha de São Jorge, Archipiélago de las Azores). *Libro de Actas - XII Jornadas de Geomorfología Litoral - Geolit24*. Universitat Politècnica de València, Valencia. <https://doi.org/10.4995/GEOLIT24.2024.18573>
- Gómez-Pazo, A., Hipólito, A., Quartau, R., Pérez-Alberti, A., Martins, D., Ávila, S.P., Ramalho, R.S. (2025). Storm wave-induced boulder dynamics in Pico Island (Azores, NE Atlantic): first insights from RFID and high-resolution UAV data. In: *Proceedings of International Rock Coast Conference 2025: A state of the art*. Trieste.
- Hastewell, L.J., Schaefer, M., Bray, M., Inkpen, R. (2019). Intertidal boulder transport: A proposed methodology adopting Radio Frequency Identification (RFID) technology to quantify storm induced boulder mobility. *Earth Surface Process Landforms*, 44 (3), 681-698. <https://doi.org/10.1002/esp.4523>
- Hastewell, L., Inkpen, R., Bray, M., Schaefer, M. (2020). Quantification of contemporary storm-induced boulder transport on an intertidal shore platform using radio frequency identification technology. *Earth Surf Process Landforms* 45(7), 1601-1621. <https://doi.org/10.1002/esp.4834>
- Khojasteh, D., Haghani, M., Nicholls, R.J., Mofakhami, H., Sadat-Noori, M., Mach, K.J., Fagherrazzi, S., Vafeidis, A.T., Barbier, E., Shamsipour, A., Glamore, W. (2023). The evolving landscape of sea-level rise science from 1990 to 2021. *Communications Earth & Environment* 4, 257. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00920-4>
- Lawlor, P., Cooper, J.A.G. (2024). Analysis of contemporary climate adaptation policies in Ireland and their application to the coastal zone. *Ocean & Coastal Management* 259, 107404. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107404>
- Liébault, F., Bellot, H., Chapuis, M., Klotz, S., Deschâtres, M. (2012). Bedload tracing in a high-sediment-load mountain stream. *Earth Surface Process Landforms*, 37, 385-399. <https://doi.org/10.1002/esp.2245>
- Marie, G. (2022). Boulder transport by ice in the St. Lawrence Estuary (Canada): Influence of shore platform geomorphology and ice-foot development. *Marine Geology*, 449, 106815. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106815>
- Muñoz Narciso, E., García, H., Sierra Pernas, C., Pérez-Alberti, A. (2017). Study of geomorphological changes by high quality DEMs, obtained from UAVs-Structure from Motion in highest continental cliffs of Europe: A Capelada (Galicia, Spain). *Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly* 19, 2017-692.
- Naylor, L.A., Stephenson, W.J., Trenhaile, A.S. (2010). Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions. *Geomorphology*, 114, 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.004>
- 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, Clifffed Open-Coast and Gravel Pock-ET-Beach Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (5), 561. <https://doi.org/10.3390/jmse10050561>
- Pennington, C., Shaw, M., Brooks, T., Briganti, R., Gómez-Pazo, A., Ruffini, G., Appleton, M., Payo, A. (2024). Nine months of daily LiDAR, orthophotos and MetOcean data from the eroding soft cliff coast at Happisburgh,

- UK. *Scientific Data*, 11 (1), 846. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03499-3>
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S. (2015a). An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain. *Earth Surface Process Landforms*, 40 (1), 105-111. <https://doi.org/10.1002/esp.3654>
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S. (2015b). Clast mobility within boulder beaches over two winters in Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, 248, 411-426. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.08.001>
- Pérez-Alberti, A., Gómez-Pazo, A. (2019). The Rocky Coasts of Northwest Spain. In: *The Spanish Coastal Systems*, pp. 27-47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_2
- Pérez-Alberti, A., Trenhaile, A.S., Pires, A., Lopez-Bedoya, J., Chamine, H.I., Gomes, A. (2012). The effect of boulders on shore platform development and morphology in Galicia, northwest Spain. *Continental Shelf Research*, 48, 122-137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.07.014>
- Puertos del Estado (2025). <http://www.puertos.es/es-es> (acceso 10/04/2025).
- Ravazzolo, D., Mao, L., Picco, L., Lenzi, M.A. (2014). Tracking log displacement during floods in the Tagliamento River using RFID and GPS tracker devices. *Geomorphology*, 228, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.012>
- Turner, I.L., Harley, M.D., Drummond, C.D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>
- Vos, K., Splinter, K.D., Harley, M.D., Simmons, J.A., Turner, I.L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>
- Young, A.P., Olsen, M.J., Driscoll, N., Rick, R.E., Gutierrez, R., Guza, R.T., Johnstone, E., Kuester, F. (2010). Comparison of airborne and terrestrial lidar estimates of seacliff erosion in Southern California. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76 (4), 421-427. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.4.421>
- Young, A.P., Matsumoto, H., Spydell, M. S., Dickson, M. E. (2023). Cobble Tracking Observations at Torrey Pines State Beach, CA, USA. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 128(9), e2023JF007199. <https://doi.org/10.1029/2023JF007199>

Recibido el 31 de julio de 2025

Aceptado el 5 de diciembre de 2025

