



MEMBER OF  
BASQUE RESEARCH  
& TECHNOLOGY ALLIANCE

[www.azti.es](http://www.azti.es)

Revista de  
Investigación Marina  
[28.2]

# UHINAK 2022

Ficoba, Irun  
Azaroak 16-17 • 16-17 Noviembre  
16-17 Novembre • November 16-17

Klima Aldaketa eta Itsasertzari  
buruzko Mugaz gaindiko V.  
Biltzarra. Laburpen zabalak

V Congreso transfronterizo  
sobre Cambio Climático y Litoral.  
Abstracts extendidos

V Congrès transfrontalier sur  
le Changement Climatique et  
Littoral. Abstract étendue

V Cross border conference on  
climate and coastal change.  
Extended abstracts

UHINAK 2022. Ficoba, Irun. Azaroak 16-17. 16-17 Noviembre. 16-17 Novembre. November 16-17. Klima Aldaketa eta Itsasertzari buruzko Mugaz gaindiko V. Biltzarra. Laburpen zabalak. V Congreso transfronterizo sobre Cambio Climático y Litoral. Abstracts extendidos. V Congrès transfrontalier sur le Changement Climatique et Littoral. Abstract étendue. V Cross border conference on climate and coastal change. Extended abstracts. Revista de Investigación Marina, AZTI, 28(2): 16-100

La serie '*Revista de Investigación Marina*', editada por la Unidad de Investigación Marina de AZTI, cuenta con el siguiente Comité Editorial:

**Editor:** Javier Franco

**Adjuntos al Editor:** Edorta Aranguena e Irantzu Zubiaur

**Comité Editorial:** Haritz Arrizabalaga  
Oihane C. Basurko  
Ángel Borja  
Guillem Chust  
Almudena Fontán  
Ibon Galparsoro  
Arantza Murillas

La '*Revista de Investigación Marina*' de AZTI edita y publica investigaciones y datos originales resultado de la Unidad de Investigación Marina de AZTI. Las propuestas de publicación deben ser enviadas al siguiente correo electrónico [jafranco@azti.es](mailto:jafranco@azti.es). Un comité de selección revisará las propuestas y sugerirá los cambios pertinentes antes de su aceptación definitiva.



Edición: 1.ª Noviembre 2022

© AZTI

ISSN: 1988-818X

Unidad de Investigación Marina

Internet: [www.azti.es](http://www.azti.es)

Edita: Unidad de Investigación Marina de AZTI

Herrera Kaia, Portualdea z/g

20110 Pasaia

Foto portada: AZTI. Pradera de *Zostera noltei* y arenas intermareales en el estuario del Oka (Bizkaia). © AZTI.

© AZTI 2022. Distribución gratuita en formato PDF a través de la web: [www.azti.es/RIM](http://www.azti.es/RIM)

## UHINAK

# Klima Aldaketa eta Itsasertzari buruzko Mugaz gaindiko V. Biltzarra.

2022ko Azaroak 16-17

FICOBA, IRUN

### Hitzaurrea

Uhinak klima-aldaketari eta arku atlantikoko itsasertzari buruzko bi urtez behingo kongresua da, Ficobak eta AZTIk sustatua. Klima-aldaketak eta muturreko fenomenoek itsasertzari nola eragiten dioten azertzen du biltzarrek, kudeatzaileen beharrak ezagutzea eta horiek konpontzeko mundu zientifikoak zer ekarpen egin dezakeen ikustea ardatz hartuta. Horretarako, Uhinak sareak itsasoko eta kostaldeko aditu, kudeatzaile eta erabiltzaileen arteko sare bat indartu nahi du, muturreko klimaren ondorioak arintzeko irtenbideak bilatzen laguntzeko.

2020an kongresuaren azken edizioaz geroztik, bi mugarri nagusik markatu dute klima-aldaketak itsaso eta kostaldeetan dituen ondorioen ezagutzaren aurrerapena. Lehenik eta behin, Klima Aldaketari buruzko Gobernu arteko Adituen Taldearen (IPCC) 6. txostena argitaratu da. Francisco Doblas Reyesek (Barcelona Supercomputing Centerreko Earth Science Department-eko zuzendaria) hitz egingo digu hasierako hitzaldian. Txosten honek klima-egoera berriak azaltzen ditu, eta etorkizunean ozeanoa berotzeko, azidotzeko eta desoxigenatzeko baldintza fisikoetara igaroko dela ohartarazten du. Baldintza horiek lehen mailako ekoizpena aldatuko dute eta ozeanoetako eta bertako kostaldeetako bizitzaren birbanaketa globala eragingo dute. Azidotze ozeanikoak, halaber, ondorioak izango ditu itsas organismo kaltzifikatzaileen hazkunderan, eta Richard Bellerbyk (Norwegian Institute for Water Research-eko kidea) horien arazoak hitz egingo digu inaugurazioko 2. hitzaldian.

Bigarrenik, azpimarratzekoa da itsas biodibertsitatea lehengoratzeko neurriei ematen zaien aintzatespen handiagoa, naturan oinarritutako soluzioak baitira klima-aldaketaren aurrean; izan ere, karbono urdina biltegitratzeko eta etorkizuneko aldaketen aurrean erresilienteagoak izateko baterako onurak sortzeko potentziala dute.

Bi mugarri handi horiek izango dira azaroaren 16an eta 17an egingo den Uhinak ekimenaren laugarren edizioko hitzaldi gehienen testuingurua. Gonbidatutako adituen 9 mintegi eta 50 komunikazio baino gehiago izango ditugu, lau multzotan egituratuta: klima-larrialdiak gure itsasertzean 2050ean izango dituen erronkak; muturreko kostaldeko fenomenoetara egokitzeko neurriak; itsas biodibertsitatea lehengoratzeko klima-aldaketa arintzean eta klima-aldaketarekiko erresilientzian duen zeregina; eta gobernantzaren berrikuntza, kudeaketa-tresnak eta komunikazioa.

Guillem Chust, Julien Mader - AZTI  
Adolfo Uriarte – Eusko Jaurlaritza

## **UHINAK**

# **V Congreso transfronterizo sobre Cambio Climático y Litoral.**

**16-17 Noviembre 2022**

**FICOBA, IRUN**

### **Introducción**

Uhinak es un congreso bienal transfronterizo de cambio climático y litoral del arco atlántico promovido por Ficoba y AZTI. El congreso gira en torno a cómo afecta el cambio climático y los fenómenos extremos al litoral, centrándose en conocer las necesidades de los gestores y ver qué puede aportar el mundo científico para solucionarlas. Para ello, Uhinak pretende reforzar una red entre expertos, gestores y usuarios del mar y de la costa que facilite la búsqueda de soluciones para la mitigación de los efectos del clima extremo.

Desde la última edición del congreso en 2020, dos grandes hitos han marcado el avance del conocimiento de los efectos del cambio climático en los mares y costas. En primer lugar, la publicación del 6º informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), del que nos hablará Francisco Doblas Reyes (Director del Earth Science Department perteneciente al Barcelona Supercomputing Center), en su conferencia inaugural. Este informe expone los nuevos escenarios climáticos y alerta sobre una transición futura del océano a condiciones físicas de calentamiento, acidificación y desoxigenación, que alterarán la producción primaria y generarán una redistribución global de la vida en los océanos y sus costas. La acidificación oceánica, asimismo, conllevará consecuencias en el crecimiento de los organismos marinos calcificantes, de cuya problemática nos hablará Richard Bellerby (miembro del Norwegian Institute for Water Research), en la 2ª conferencia inaugural. En segundo lugar, es destacable el mayor reconocimiento que se está dando a las medidas de restauración de la biodiversidad marina, como soluciones basadas en la naturaleza frente al cambio climático, que tienen el potencial de generar cobeneficios para almacenar carbono azul y ser más resilientes a los cambios futuros.

Estos dos grandes hitos son el contexto sobre el cual versarán gran parte de las ponencias de la cuarta edición de Uhinak, que tendrá lugar el 16 y 17 de noviembre. Contaremos con 9 seminarios de expertos invitados y más de 50 comunicaciones, estructurados en cuatro bloques que cubren los retos de la emergencia climática para nuestro litoral en 2050, las medidas de adaptación a los fenómenos costeros extremos, el papel de la restauración de la biodiversidad marina en la mitigación y resiliencia al cambio climático, y la innovación en la gobernanza, las herramientas de gestión y la comunicación.

Guillem Chust, Julien Mader - AZTI

Adolfo Uriarte – Gobierno Vasco

## **UHINAK**

# **V Congrès transfrontalier sur le Changement Climatique et Littoral**

**16-17 Novembre 2022**

**FICOBA, IRUN**

### **Introduction**

Uhinak est un congrès transfrontalier biennal sur le changement climatique et le littoral de l'Arc Atlantique, promu par Ficoba et AZTI. La conférence porte sur la manière dont le changement climatique et les phénomènes extrêmes affectent le littoral, en mettant l'accent sur les besoins des gestionnaires et sur ce que le monde scientifique peut apporter pour les résoudre. Pour cela, Uhinak vise à renforcer un réseau entre les experts, les gestionnaires et les utilisateurs de la mer et du littoral afin de faciliter la recherche de solutions pour atténuer les effets des phénomènes météorologiques extrêmes.

Depuis la dernière édition du congrès en 2020, deux étapes majeures ont marqué l'avancée des connaissances sur les effets du changement climatique sur les mers et les côtes. Tout d'abord, la publication du 6ème rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), dont Francisco Doblas Reyes (directeur du département des sciences de la Terre appartenant au Centre de Supercomputing de Barcelone) parlera lors de sa conférence inaugurale. Ce rapport présente les nouveaux scénarios climatiques et met en garde contre une transition future de l'océan vers des conditions physiques de réchauffement, d'acidification et de désoxygénation, qui modifieront la production primaire et entraîneront une redistribution mondiale de la vie dans les océans et sur leurs côtes. L'acidification des océans aura également des conséquences sur la croissance des organismes marins calcifiants, ce qui sera abordé par Richard Bellerby (membre du Norwegian Institute for Water Research) lors de la 2e conférence inaugurale. En second lieu, il convient de noter que les mesures de restauration de la biodiversité marine sont de plus en plus reconnues, comme des solutions au changement climatique fondées sur la nature, susceptibles de générer des co-bénéfices pour le stockage du carbone bleu et pour une plus grande résilience aux changements futurs.

Ces deux étapes majeures constituent le contexte de nombreuses présentations lors de la quatrième édition d'Uhinak, qui aura lieu les 16 et 17 novembre. Il y aura 9 séminaires d'experts invités et plus de 50 communications, structurées en quatre blocs couvrant les défis de l'urgence climatique pour notre littoral en 2050, les mesures d'adaptation aux phénomènes côtiers extrêmes, le rôle de la restauration de la biodiversité marine dans l'atténuation du changement climatique et la résilience, et l'innovation dans la gouvernance, les outils de gestion et la communication.

Guillem Chust, Julien Mader - AZTI  
Adolfo Uriarte – Gouvernement basque

## **UHINAK**

### **V Cross border conference on climate and coastal change**

**16-17 November 2022**

**FICOBA, IRUN**

#### **Introduction**

Uhinak is a biennial cross-border congress on climate change and the Atlantic Arc coastline promoted by Ficoba and AZTI. The congress focuses on how climate change and extreme events affect the coastline, focusing on the needs of managers and what the scientific world can contribute to solve them. To this end, Uhinak aims to strengthen a network between experts, managers and users of the sea and the coast to facilitate the search for solutions to mitigate the effects of extreme climate.

Since the last edition of the congress in 2020, two major milestones have marked the advancement of knowledge of the effects of climate change on the seas and coasts. Firstly, the publication of the 6th report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), which Francisco Doblaz Reyes (Director of the Earth Science Department belonging to the Barcelona Supercomputing Center) will talk about in his inaugural lecture. This report sets out new climate scenarios and warns of a future transition of the ocean to physical conditions of warming, acidification and deoxygenation, which will alter primary production and generate a global redistribution of life in the oceans and their coasts. Ocean acidification will also have consequences on the growth of calcifying marine organisms, which will be discussed by Richard Bellerby (member of the Norwegian Institute for Water Research) in the 2nd inaugural conference. Secondly, the increased recognition being given to marine biodiversity restoration measures as nature-based solutions to climate change, which have the potential to generate co-benefits for storing blue carbon and being more resilient to future changes, is noteworthy.

These two major milestones are the context on which most of the presentations of the fourth edition of Uhinak, which will take place on November 16 and 17, will be based. There will be 9 seminars by invited experts and more than 50 papers, structured in four blocks covering the challenges of climate emergency for our coastline in 2050, adaptation measures to extreme coastal events, the role of marine biodiversity restoration in mitigation and resilience to climate change, and innovation in governance, management tools and communication.

Guillem Chust, Julien Mader - AZTI  
Adolfo Uriarte – Basque Government

## **Batzar teknikoa / Comité técnico / Comité technique / Technical committee**

FICOBA  
Guillem Chust - AZTI  
Julien Mader - AZTI  
Adolfo Uriarte - Gobierno Vasco  
Paul Liceaga - ADEGI  
Rafael Sardá - CEAB CSIC  
Malake Muñoz - IHOBE  
Carlos Castillo - IHOBE  
Beatriz Marticorena - Gipuzkoako Foru Aldundia  
Eva Moral - Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y  
Puertos del País Vasco  
Néstor Urrutxua - Colegio de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos del País Vasco  
Elisa Sainz de Murieta - Basque Centre for Climate  
Change  
Aurélie Bocquet Escorrou - AIC Litoral Vasco  
Caroline Sarrade - Communauté d'Agglomération Pays  
Basque  
Oficina española de cambio climático  
Xabier Esteban - Naturklima  
José María Grassa - CEDEX  
Peio Barrenetxea - Euzkoaldea Berria - Euskadi  
- Navarra

## **Antolaketa batzarra / Comité organizador / Comité organisateur / Organizing committee**

Irantzu Zubiaur - AZTI  
Meritzel González - AZTI  
Mercedes Fernández Monge - AZTI  
Lorena Zabaleta - FICOBA  
Silvia Turné - FICOBA  
Uxue Aira - FICOBA  
Mónica Alday - FICOBA

## **Antolatzaileak / Organizadores / Organisateurs / Organizers**

FICOBA  
AZTI

## **Babesleak / Patrocinadores / Sponsors**

Gipuzkoako Foru Aldundia  
IHOBE - Gobierno Vasco  
Région Nouvelle Aquitaine  
Communauté d'Agglomération Pays Basque  
AIC Litoral Vasco

## **Laguntzaileak / Colaboradores / Collaborateurs / Partners**

International Association for Hydro-Environment  
Engineering and Research (IAHR)  
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Actualidad Marítima y Portuaria (media partner)

# Aurkibidea - Índice - Index - Index

<b>I. MULTZOA – Gure itsasertza gaur eta 2050ean, klima aldaketaren testuinguruan</b> <b>BLOQUE I – Nuestro litoral hoy y en el 2050 en un contexto de cambio climático</b> <b>BLOC I - Notre littoral aujourd’hui et en 2050 dans un contexte de changement climatique</b> <b>SESSION I - Our coast today and in 2050 in a climate change context</b>	<b>24</b>
Esteban, X., Orive, M., Orúe-Echevarría, D. <b>Tendencias observadas en indicadores de cambio climático en el litoral de Gipuzkoa</b>	25
Gaztelumendi, S., Liria, P., Egaña, J., del Campo, A., Gómez de Segura, J.D., González, M., Aranda, J.A. <b>La red océano-meteorológica del País Vasco como soporte a actividades operativas de Euskalmet</b>	28
Garro, M., Sáenz, J., Ulazia, A., Ibarra-Berastegi, G. <b>Application of the SailoR diagram to the analysis of the agreement between the wave energy flux in ERA5 to observations of the Spanish shore</b>	32
Iriarte, A., Uriarte, I., Villate, F. <b>Time series as sentinels of climate change: the case of the time series in the plankton ecosystems of the estuaries of Bilbao and Urdaibai (Basque coast)</b>	35
Otiñar, P., Cobos, M., Santana, M., Magaña, P., Millares, A., Lira-Loarca, A., Baquerizo, A. <b>Evaluación de la incertidumbre asociada a inundaciones en las zonas costeras mediterráneas andaluzas</b>	39
Magaña, P., Santana, M., Otiñar, P., Navarro, A., Cobos, M., Sempere, F., Alcántara, J., Cerrato, G., Baquerizo, A. <b>Análisis estocástico del riesgo de inundación en zonas costeras de Andalucía</b>	42
<b>II. MULTZOA - Muturreko gertaerak eta egokitzeko neurriak</b> <b>BLOQUE II - Eventos extremos y medidas de adaptación</b> <b>BLOC II - Événements extrêmes et mesures d’adaptation</b> <b>SESSION II - Extreme events and adaptation measures</b>	<b>45</b>
Peña, L., Ametzaga-Arregi, I. <b>La importancia de los ecosistemas costeros para la protección de la costa frente al cambio climático</b>	46
García-Oliva, M., Martín, P., Martín, M., De la Peña, J. M. <b>Integración del cambio climático en proyectos costeros: experiencias internacionales y consideración de la diversidad litoral y tipología de actuaciones para una propuesta de aplicación a nivel nacional</b>	50
Sánchez-Arcilla, A. Jr., Altomare, C., Gonzalez, M., Viñes, M., Möso, C., Gómez, J., Sánchez-Arcilla, Agustín. <b>Adaptation under extreme events. Predictive maintenance for risk reduction</b>	53
Urrutxua, N., Rezabal, S., Zugasti, B., García, A., Ramos, N., Orts, J.L., Negro, V. <b>Proyecto de refuerzo del dique de abrigo del puerto de Ondarroa</b>	56
Martin-Hidalgo, M., García, M., Sánchez-González, J. F. <b>Uso del modelo físico y numérico para la mitigación del rebase, aplicación particular en la Segunda Playa del Sardinero</b>	58
Gaztelumendi, S., Egaña, J., Ruiz, R., Diaz de Arcaya, A., Moreno, J., Liria, P., González, M., Aranda, J.A. <b>La monitorización del riesgo marítimo-costero en Euskalmet</b>	62



Ortíz-Angulo, J., Calvo, S., Torres, M., Hortal, N. <b>Caracterización de los riesgos costeros y portuarios debido a los efectos del cambio climático</b>	66
Santana, M., Otiñar, P., Magaña, P., Cobos, M., Baquerizo, A. <b>Metodología para la detección de líneas de costa con la plataforma Google Earth Engine. Aplicación al delta del río Guadalfeo (Granada)</b>	69
<b>III. MULTZOA - Klima aldaketa arintzea eta biodibertsitatea berrezartzea</b> <b>BLOQUE III – Mitigación del cambio climático y restauración de la biodiversidad</b> <b>BLOC III - Atténuation du changement climatique et restauration de la biodiversité</b> <b>SESSION III – Mitigating climate change and restoring biodiversity</b>	72
Mateo, M.A., Serrano, O., Lavery, P., Otero, M., Vivas, M.S., Mendoza, R. <b>Carbono azul: del ecosistema a los mercados</b>	73
Valle, M., Garmendia, J.M., Franco, J., Chust, G. <b>Monitoring <i>Zostera noltei</i> seagrass meadows as an indicator of estuarine resilience</b>	76
López, A., Larreta, J., González, M., Cuesta, L., Irigoien, X., Chust, G. <b>Ocean acidification in the Bay of Biscay: literature review and pH measurements</b>	79
Arantzamendi, L., Andrés, M., C. Basurko, O., Martín, I., Zorita, I., Larreta, J., Suárez, M.J., Pocheville, A., Van der Schueren, L., Maher, J., Aguinaga, M. <b>Biobased ropes (BIOGEARS) use in longline vs. raft mussel (<i>Mytilus galloprovincialis</i>) aquaculture: towards lower impact aquaculture</b>	82
Pocheville, A., Suárez, M.J., Arantzamendi, L., Andrés, M., Van der Schueren, L., Aguinaga, M., Maher, J. <b>BIOGEARS: Sustainability assessment of biobased ropes for use in mussel and seaweed to reduce aquaculture carbon footprint and generate circular economy</b>	84
<b>IV. MULTZOA – Gobernantza, kudeaketa tresnak eta komunikazioa</b> <b>BLOQUE IV – Gobernanza, herramientas de gestión y comunicación</b> <b>BLOC IV – Gouvernance, outils de gestion et communication</b> <b>SESSION IV – Governance, management tools and communication</b>	87
Rebotier, J. <b>Lidiar con los riesgos costeros en las regiones transfronterizas del Atlántico</b>	88
Pons, F. <b>La adaptación de la costa al cambio climático tras la Ley de cambio climático y la modificación del Reglamento General de Costas</b>	91
Caill-Milly, N., Carter, C., Kermorvant, C., Lissardy, M., Bru, N. <b>Adaptation options at the fishing enterprise scale and governance modes in response to climate change effects in a changing political environment. Case of New Aquitaine (France) southern fleets</b>	93
Bachiller, E-, Korta, M-, Mateo, M., Mugerza, E., Zarauz, L. <b>LAKET: Euskal kostaldeko laket-arrantza jardueraren datu-bilketarako lehen urratsak</b>	97

**I. MULTZOA – Gure itsasertza gaur eta 2050ean,  
klima aldaketaren testuinguruan**

**BLOQUE I – Nuestro litoral hoy y en el 2050  
en un contexto de cambio climático**

**BLOC I - Notre littoral aujourd'hui et en 2050  
dans un contexte de changement climatique**

**SESSION I - Our coast today and in 2050  
in a climate change context**

# Tendencias observadas en indicadores de cambio climático en el litoral de Gipuzkoa

Esteban, Xabier<sup>1</sup>, Orive, Mikel<sup>1</sup> y Orúe-Echevarría, Dorleta<sup>1</sup>

**Palabras clave** : cambio climático, indicadores, tendencias

## Introducción

El cambio climático provoca cambios importantes en los océanos, como el calentamiento, la subida del nivel del mar, la acidificación o la mayor frecuencia de tormentas y oleaje extremo. Todos estos cambios tienen importantes consecuencias sobre la biodiversidad y vida marina, como cambios en la distribución de especies o su fenología, incluyendo cambios en las especies de interés pesquero. Las poblaciones costeras también verán incrementado el riesgo de daños por inundación costera o erosión de playas. Es necesario conocer estos procesos a escala regional con el objetivo de anticiparnos a los riesgos y proponer las medidas de mitigación y adaptación específicas.

Esta mejora del conocimiento de los procesos y cambios en el océano e impactos a esta escala regional se basa en la observación y seguimiento integrado de variables climáticas, ambientales y biológicas. Para ello, son necesarios sistemas de monitorización y seguimiento integrados y continuos de dichas variables, que a través de la definición de una serie de indicadores permitan la detección y monitorización de tendencias y la mejora y validación de proyecciones climáticas a dicha escala.

En este contexto se desarrolla el Observatorio marino-costero de Gipuzkoa, cuyos objetivos son mejorar el conocimiento sobre los cambios experimentados en las condiciones fisicoquímicas, biológicas y ambientales de la costa guipuzcoana, atribuir la causa de los cambios observados y con todo ello poder desarrollar y mejorar los posibles escenarios de impacto y adaptación futuros. Todo ello, con el fin último de contribuir a tres de las 9 metas establecidas en la Estrategia Guipuzcoana de Lucha contra el Cambio Climático, Gipuzkoa Klima 2050: incrementar la eficiencia y resiliencia del territorio, incrementar la resiliencia del medio natural y anticipación a los riesgos.

El objetivo de este estudio es analizar las tendencias temporales de indicadores fisicoquímicos marinos, indicadores atmosféricos e hidrológicos, indicadores geomorfológicos de erosión costera e indicadores biológicos y del ecosistema marino del golfo de Vizcaya y el litoral guipuzcoano, en el contexto de del cambio climático.

## Materiales y métodos

El observatorio marino-costero de cambio climático de Gipuzkoa se centra en la monitorización y evaluación de una serie de indicadores de cambio climático. Se han definido dos tipos de indicadores en función de la información que proporcionan, (1) los que describen el estado físico del sistema climático y su evolución histórica, y (2) los que describen impactos, riesgo y adaptación. La selección de estos indicadores se ha basado en los criterios definidos para la selección de indicadores de cambio climático por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2016), como la fiabilidad que presentan tendencias, una variabilidad conocida, y en la existencia probada de la relación entre el indicador y el cambio climático.

Se han identificado una serie de 19 indicadores del cambio climático útiles para la costa de Gipuzkoa, no limitándose a indicadores del clima, sino que se incluyen también variables fisicoquímicas, geomorfológicas y bióticas que puedan variar como consecuencia del cambio climático. Para todos ellos existen programas de seguimiento que proveen un muestreo periódico. El objetivo de los indicadores definidos es tener una imagen global del estado de nuestro mar y detectar tendencias y cambios asociados al cambio climático.

Una vez identificadas y seleccionadas las series temporales y/o espaciales para los distintos indicadores, se han empleado distintos métodos de análisis, específicos para cada variable y en función de la disponibilidad de datos, con el objetivo de establecer posibles variaciones temporales del indicador y la relación de estas variaciones con el cambio climático correspondiente a nuestra zona. Los indicios de posible relación con el cambio climático se han establecido con una tendencia lineal en el tiempo y/o con una relación de la variable en cuestión con la variable climática más directamente asociada al cambio climático. El análisis de tendencia en el tiempo se ha realizado mediante Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) (Simpson, 2018). Para el cálculo de la tendencia se asume un modelo aditivo, esto es, que cualquier variable compuesta se puede descomponer en la tendencia lineal en el tiempo, fluctuaciones cíclicas y un error de obtención del dato. Estos modelos se han adaptado en función del tipo de dato, variable y objetivo, como análisis del promedio, análisis de tendencias de eventos extremos o análisis de cambios en la composición específica de la comunidad.

## Resultados y discusión

En el golfo de Vizcaya y las costas guipuzcoanas se aprecia un calentamiento del mar gradual asociado al cambio climático

<sup>1</sup>Naturklima, Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa, Paseo Mikeletegi, 65, Donostia  
E-mail: [d.orueechevarria@naturklima.eus](mailto:d.orueechevarria@naturklima.eus)

a partir de los años 80, tras un periodo de enfriamiento entre 1946 y 1980. Las tasas de calentamiento observadas oscilan entre 0,16°C y 0,25°C por década, siendo más intenso en las capas más superficiales y mayor en el sureste del golfo que en la zona más exterior.

El calentamiento del mar, junto con el calentamiento del aire y el incremento de horas diarias de sol, parece tener consecuencias en la redistribución de las comunidades bentónicas, favoreciendo ligeramente más a las especies de aguas cálidas (tropicalización) que a las de aguas frías (borealización), las cuales también han aumentado, mientras que no se aprecian cambios en la composición de las especies de fitoplancton relacionadas con sus rangos óptimos de temperatura. Cabe destacar que la tendencia del *Índice Termal de la Comunidad (CTI)* no es significativa para el bentos y por lo tanto la conclusión no es definitiva. Estudios previos también sugieren cambios en la fenología de especies de interés pesquero relacionados con el calentamiento (Chust & Murillas, 2020). El análisis de la población de anchoa en el periodo 1987-2020 indica que el peso por edad ha disminuido en los últimos años, si bien su relación con el calentamiento del mar debe ser analizada con mayor detalle, ya que podría obedecer a otros factores como la denso-dependencia.

La capa de mezcla invernal frente a la costa de Gipuzkoa está profundizándose desde 1986, confirmando la tendencia observada en estudios previos (Valencia et al., 2019; Fontán et al., 2020). No se ha determinado su directa relación con el cambio climático, dado que los procesos que determinan la tendencia de la profundización de la capa de mezcla invernal no están directamente asociados al cambio climático. La profundización de la capa de mezcla invernal interanual determina, en parte, el aumento de la concentración de nutrientes en superficie en invierno, que a su vez permite el incremento de la concentración de clorofila en primavera.

El nivel del mar es uno de los principales indicadores del cambio climático. En el golfo de Vizcaya el nivel medio del mar

está ascendiendo a una tasa de entre 1,7 y 3,4 cm por década (en promedio 2,5 cm por década) desde los años 90. Este ascenso en la costa y mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso del nivel medio del mar a escala global. El ascenso del nivel del mar se está acelerando en la zona en las tres últimas décadas respecto al ascenso medio del siglo XX, en coherencia con estudios previos (Woppelmann et al., 2006; Dangendorf et al., 2019).

En los últimos 30 años, se ha observado un ligero incremento en las condiciones medias del oleaje (aumento de la altura de ola significativa (Hs) de 3,1 cm por década en la boya Bilbao-Vizcaya) y un aumento en ciertas condiciones extremas de oleaje (aumento significativo de altura de ola significativa asociado a 90 años de periodo de retorno (Hs90) en 18 cm por década, y no significativo de altura de ola asociada a 100 años de periodo de retorno (Hs100)). No obstante, estas tendencias no pueden ser directamente atribuidas al cambio climático, ni tampoco se disponen de elementos para descartarlo. Como consecuencia del incremento del oleaje, y en particular de ciertos eventos extremos, como la secuencia de tormentas del invierno 2013-2014, la playa de Zarautz está sujeta a una importante erosión de la línea de pleamar desde que se tienen observaciones (2010-2020).

## Conclusiones

La observación y monitorización son esenciales para poder entender los cambios en las condiciones fisicoquímicas y biológicas de las aguas litorales ligados al cambio climático y el impacto derivado de dichas alteraciones. El seguimiento de los indicadores de cambio climático del medio marino-costero en Gipuzkoa indica ya efectos del cambio climático en las medidas físicas de nuestra costa, como el aumento de la temperatura del mar o el ascenso del nivel del mar. La continua monitorización de los mismos, junto con el resto de indicadores, es necesaria para mejorar los escenarios futuros de impacto y poder anticiparnos a

**Tabla 1.** Tendencias observadas en indicadores de cambio climático y del impacto del cambio climático del medio marino-costero.

Indicador	Descripción	Periodo	Tendencia (/década)	p-valor
Temperatura del mar (°C)	SST Aquarium	1946-1979	-0,199 ± 0,057	0,0005
	SST Aquarium	1980-2020	0,495 ± 0,034	0,0000
	SST satélite OSTIA	1981-2020	0,205 ± 0,038	0,0000
	0-100 m	1986-2019	0,161 ± 0,039	0,0000
Capa de mezcla invernal (m)	Boya Donostia	1986-2020	-18,655 ± 9,504	0,3322
Nivel del mar (cm)	NMM Mareógrafo Bilbao	1992-2020	3,068 ± 0,318	0,0000
	Satélite golfo Vizcaya	1993-2019	2,621 ± 0,417	0,0000
Oleaje	Hs boya Bilbao-Vizcaya	1991-2020	3,103 ± 3,031	0,3060
	Hs90 boya Bilbao-Vizcaya	1991-2020	18,317 ± 7,573	0,0161
	Hs100 boya Bilbao-Vizcaya	2001-2020	58,720 ± 50,857	0,2633
Fitoplancton	Comunidad (CTI) (°C)	2002-2020	-0,105	0,2450
	Chla superficie satélite golfo Vizcaya (µg/l)	2003-2020	0,070 ± 0,012	0,0000
Bentos sustrato rocoso (°C)	CTI	2002-2020	0,009	0,1771
Bentos sustrato blando (°C)	CTI	1995-2020	0,010	0,1512
Peces (g)	Peso anchoa edad 2	1987-2020	0,360	<0,0001

los impactos esperados. Todo ello, permitirá dirigir las políticas de mitigación y adaptación adoptadas por las administraciones públicas y así incrementar la resiliencia del territorio, en línea con las metas establecidas en la estrategia Gipuzkoa Klima 2050.

## Referencias

- Chust, G. and Murillas, A. 2020. Elementos del sector pesquero de Gipuzkoa vulnerables al cambio climático. Informe Final, elaborado por AZTI para Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa (Naturklima). 43 pp.
- Dangendorf, S., Hay, C., Calafat, F., Marcos, M., Piecuch, C., Berk, K. and Jensen, J. 2019. Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. *Nature Climate Change*, 9.
- EPA. 2016. Climate change indicators in the United States. Technical Documentation Overview. United States Environmental Protection Agency. 15pp.
- Simpson, G.L. 2018. Modelling Paleoeological Time Series Generalised Additive Models. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6.
- Valencia, V., Fontán, A., Goikoetxea, N., Chifflet, M., González, M. and López, A. 2019. Long-term evolution of the stratification, winter mixing and  $\theta$ -S signature of upper water masses in the southeastern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 181:124-134.
- Woppelmann, G., Pouvreau, N. and Simon, B. 2006. Brest sea level record: a time series construction back to the early eighteen century. *Ocean Dynamics*, 56, 487-497.

## Reconocimientos

Los autores agradecen la colaboración de AZTI y la Dirección General de Medio Ambiente de la Diputación Foral de Gipuzkoa.

# La red océano-meteorológica del País Vasco como soporte a actividades operativas de Euskalmet

**Gaztelumendi, Santiago<sup>1,2</sup>, Liria, Pedro<sup>3</sup>, Egaña, Joseba<sup>1,2</sup>, del Campo, Andrea<sup>3</sup>, Gómez de Segura, José Daniel<sup>1,2</sup>, González, Manuel<sup>3</sup>, Aranda, José Antonio<sup>1,4</sup>**

**Palabras clave:** instrumentación, océano-meteorología, operacional, redes, observación

## Introducción

La implementación operativa de redes marinas de observación de variables océano-meteorológicas, han tenido un retraso notable respecto a sus equivalentes terrestres. Entre los factores que explican esta situación destacan el mayor coste de inversión inicial y de mantenimiento como consecuencia de las dificultades de acceso, las exigencias de automatización y transmisión de los datos o la necesaria autonomía energética, entre otros. Las primeras instalaciones de medida marinas estuvieron ligadas a usos portuarios, fundamentalmente registro de marea y nivel medio del mar y boyas de oleaje. En la costa vasca cabe mencionar la boya Bilbao-Vizcaya y el mareógrafo de Santurce (PdE) en funcionamiento desde 1992 ([www.puertos.es](http://www.puertos.es))

Eventos como el Prestige (González et al., 2005), los temporales del invierno de 2014 (Egaña et al 2014a, 2014b, Gaztelumendi et al 2014) o más recientemente en 2016 (Gaztelumendi et al 2018a) han puesto de manifiesto la importancia de un sistema marino operacional de observación centrado en el País Vasco para el seguimiento en cuasi-tiempo real del estado del mar (oleaje, corrientes, nivel del mar, viento, etc.). Dicho sistema es la fuente de datos primordial de la que se alimenta el sistema de monitorización de riesgo marítimo-costero de Euskalmet (Gaztelumendi et al 2022a), que es pieza esencial para caracterizar los eventos oceano-meteorológicos adversos (Egaña et al 2020) y en definitiva para el sistema vasco de predicción y vigilancia de situaciones de riesgo marítimo-costero (GV 2018, Gaztelumendi et al 2016, 2020a). Además, junto con la información proveniente de las estaciones meteorológicas automáticas situadas en tierra firme en el área costera ([www.euskalmet.es](http://www.euskalmet.es), Gaztelumendi et al 2018b), deben constituir un elemento primordial para analizar y caracterizar el clima medio y extremo de la franja marítima-costera, contribuyendo a la evaluación del impacto del cambio climático en el País Vasco y a su monitorización (Gaztelumendi et al 2022b).

## Materiales y métodos

En esta comunicación se presentarán los principales elementos de la red océano-meteorológica del País Vasco, incluyendo una breve descripción del instrumental que lo compone y de la evolución de su configuración a lo largo de estos últimos años. Así mismo se incluye información sobre las series de datos disponibles presentándose ejemplos de uso en diferentes contextos, así como resultados obtenidos del uso operativo de dichos datos para el seguimiento de eventos de riesgo marítimo-costero en Euskalmet.

Por último, se incluye un análisis sobre la evolución esperable de la red, prestando especial atención a dos aspectos esenciales, y a priori poco compatibles, como son su necesaria orientación a la vigilancia y seguimiento de eventos extremos en tiempo real y su potencial uso para monitorización de la variabilidad climática y su impacto en la zona marina y costera de la CAPV.

## Resultados y discusión

A lo largo de este siglo, en la costa vasca, se han instalado estaciones océano-meteorológicas en varios puertos (actualmente en Bilbao, Mutriku y Pasaia). Se ha ampliado la disponibilidad de medidas de oleaje, corrientes, temperatura y salinidad y variables atmosféricas en mar abierto con la boya de aguas profundas de Donosti (que durante unos años tuvo una gemela en Matxitxako) y la boya bimep del EVE de Arminza. En cuanto a corrientes de mar abierto, se dispone de dos estaciones de radar HF que cubren la totalidad del litoral del País Vasco. Desde 2007 se cuenta con una estación geodésica para el nivel del mar y movimientos de la corteza terrestre en Pasaia (<http://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/es/geodesia/red-gnss/pasaia>) y se han instalado sistemas de videometría para el seguimiento del impacto en costa del oleaje y el estudio de la dinámica sedimentaria en numerosas playas de la costa vasca.

Las estaciones costeras (ver tabla 1 y figura 1) se sitúan en el exterior de las bocanas de distintas instalaciones portuarias de la costa vasca, por un lado en los dos puertos de interés general, Bilbao y Pasaia, situados al oeste y al este, respectivamente del litoral vasco y en sendos tramos de costa orientados al NW y en el puerto de Mutriku, dependiente del Gobierno Vasco y situado prácticamente en el centro del litoral, sobre el tramo de costa orientado al NE (<https://www.euskoos.eus>). Las estaciones constan de una parte atmosférica que registra temperatura, viento, presión atmosférica, etc., y una parte marina que mide oleaje, marea y temperatura. La estación más antigua es la de Pasaia que lleva funcionando desde 2001, en 2003 entró en funcionamiento la de Bilbao y en 2021 la de Mutriku. Por su ubicación, en

<sup>1</sup>Euskalmet, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain

<sup>2</sup>Tecnalia, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain

<sup>3</sup>AZTI, Pasaia, Gipuzkoa, Spain

<sup>4</sup>Basque Government, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain  
E-mail: [santiago.gaztelumendi@tecnalia.com](mailto:santiago.gaztelumendi@tecnalia.com)

emplazamientos muy expuestos al oleaje y de elevado tráfico marítimo, su información es de gran interés para la navegación y para la caracterización de oleaje en la costa. Desde el punto de vista de las actividades operativas de Euskalmet, las estaciones costeras y particularmente la de Pasaia son esenciales para el seguimiento de situaciones adversas en las dos primeras millas así como para la validación de los diferentes modelos de oleaje operativos (Gaztelumendi et al 2010)

Las boyas de aguas profundas (ver tabla 1 y figura 1) son instalaciones situadas en el talud continental, a profundidades entre 600 y 800 m, que registran tanto variables atmosféricas (temperatura, viento, presión atmosférica, etc.), como variables oceánicas (oleaje, corrientes, temperatura y salinidad). La ubicación en zonas profundas de este tipo de instalaciones permite obtener una imagen fidedigna del oleaje que llega a la costa antes de que sufra modificaciones importantes tanto en altura como en dirección por la batimetría y la forma de la costa. La información que proporciona la boya de Donosti es fundamental en la operativa de Euskalmet en muchos aspectos, destacando su uso para caracterizar los parámetros clave del oleaje, incluyendo la dirección del oleaje ya que esta boya es direccional. Estos parámetros son esenciales para estimar los índices de rebase empleados como proxy del potencial riesgo del impacto en costa (Gaztelumendi et al 2018a). Estos datos, también nos han permitido establecer relaciones matemático-estadísticas entre

boyas en aguas profundas y datos de oleaje en las primeras dos millas que son de utilidad en situaciones en las que no se dispone de una u otra información. También está siendo empleada para validar los modelos de oleaje.

Los mareógrafos (ver tabla 1 y figura 1) permiten obtener información en tiempo real de la altura instantánea de la superficie libre del mar. La recopilación de información histórica permite caracterizar las componentes astronómica y meteorológica de la marea y, en el caso de las ubicaciones en zonas como Bermeo y Pasaia permiten una estima de la contribución de la agitación portuaria a los niveles. Esta información ha sido aplicada a estudios de evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral (IHOBE 2019). Esta información se emplea de forma operativa en Euskalmet para la vigilancia de nivel del mar y la estimación de la marea meteorológica o residuo, que es fundamental a la hora de validar las previsiones de nivel del mar. La información de los mareógrafos es esencial para estimar de forma precisa los índices de rebase y el impacto en costa (Gaztelumendi et al 2016, 2020a). Esta información también tiene impacto en la vigilancia y seguimiento de procesos de agitación portuaria.

Los sistemas de radar HF (High Frequency – Alta frecuencia) (ver tabla 1 y figura 1) son una tecnología que permite, mediante estaciones ubicadas en tierra obtener información del oleaje y las corrientes marinas superficiales. El sistema de radares costeros

**Tabla 1.** Descripción de las plataformas de medida de la costa vasca

Plataformas	Ubicación	Variables medidas	Puesta en marcha	Período de muestreo
Estaciones costeras	Pasaia	Temperatura superficial del mar. Temperatura y salinidad subsuperficial. Corrientes subsuperficiales, altura de marea y oleaje (altura y período). Temperatura del aire, viento, presión atmosférica, humedad y precipitación	2001	10' – 30'
	Bilbao		2003	10'
	Mutriku		2021	10' – 30'
Boya de aguas profundas	Donostia	Temperatura del aire, viento, presión atmosférica, humedad e insolación	2007	1 h
		Oleaje direccional. Corrientes subsuperficiales.		
		Temperatura superficial y temperatura y salinidad subsuperficial (hasta 200 m de profundidad)		
Mareógrafos	Pasaia	Altura de la superficie libre del mar	2015	10'
	Bermeo		2019	10'
Radares HF	Higer	Corrientes superficiales y oleaje	2009	1 h
	Matxixako		2009	1 h
Sistemas de Videometría	Bermeo	Inundación costera, rebase en diques, agitación portuaria. Posición de la línea de costa y batimetría en la zona de rotura del oleaje.	2017	30'
	Mutriku		2021	30'
	Zarautz		2016	10'
	Zurriola		2020	30'



**Figura 1.** Localización de las principales plataformas de medida en la costa vasca y zona de cobertura del radar HF.

de la costa vasca se instaló en 2009 (Rubio et al., 2011) y lleva funcionando sin grandes interrupciones desde entonces, cubre un área de unos 10.000 km<sup>2</sup> y está compuesto por dos estaciones, localizadas en los cabos Matxitxako e Higer, cada una de las cuales tiene dos antenas, una antena receptora y otra emisora, situadas a cierta altura de la superficie del mar. Desde el punto de vista de las operaciones habituales de Euskalmet en medio marítimo-costero esta información se emplea de forma puntual. En un futuro cercano el sistema proporcionará información operativa de oleaje de interés para las tipologías de riesgo definidas y se incorporará a los procesos rutinarios. En todo caso, es de gran utilidad en situaciones de emergencia especiales donde hay que realizar seguimiento de trayectorias de elementos a la deriva, vertidos, etc.

Desde 2006 se han instalado diferentes sistemas de videometría en la costa vasca (ver tabla 1 y figura 1) (Liria et al., 2021), con aplicaciones al seguimiento del impacto en costa de los temporales, el salvamento y la seguridad en playas, estudios de dinámica y evolución sedimentaria de arenales e incluso como una herramienta para el control de afluencia de usuarios a las playas. En particular actualmente los sistemas instalados en Zarautz, Bermeo, Mutriku y Donostia forman parte de la red. Para Euskalmet estos sistemas son una oportunidad de obtener información en cuasi tiempo real sobre los rebases, salpicaduras e impacto en diferentes puntos del litoral (Gaztelumendi et al 2020b, 2022c). Permiten el seguimiento y validación de los índices de rebase, posibilitan la adecuación de los umbrales adversos y considerar aspectos clave para determinar el impacto local en las diferentes ubicaciones. En un futuro, estos sistemas también proporcionarán información acerca de parámetros de oleaje.

En el ámbito de la monitorización del clima medio y extremo, y de acuerdo al diagnóstico del impacto futuro del ascenso del nivel del mar sobre la costa vasca (<https://gis.ihobe.eus/kostaegoki/>), la aportación de la información proveniente de la red océano-meteorológica será esencial en el ámbito de la resiliencia; tanto desde el punto de vista de la adaptación como en el mantenimiento de sistemas de alerta temprana que permitan disponer de la mejor información posible para enfrentarse a posibles situaciones extremas.

En cuanto al futuro de la red, las prioridades actualmente son mantener los principales puntos de medida, de forma que se pueda sacar el máximo provecho a la longitud de las series de datos. Integrar las mejoras tecnológicas que permitan aumentar la precisión y la cantidad de información obtenida. Integrar otras fuentes de datos complementarias que permitan una mayor y mejor cobertura. Mejorar las técnicas de procesamiento de la información y la integración de las medidas con los resultados de los modelos numéricos de forma que se avance en el conocimiento de los procesos y la calidad de los servicios y la información ofrecida.

## Conclusiones

Desde la instalación en 2001 de la estación océano-meteorológica costera en la bocana de Pasaia, la red océano-meteorológica del País Vasco se ha extendido a otros ámbitos y usos más allá de los portuarios: seguridad y salvamento en playas,

gestión del impacto de eventos extremos, planes de lucha contra la contaminación marina, estudios de dinámica sedimentaria, evaluación del impacto antropogénico, etc. Esta red, junto con la red hidro-meteorológica y los diferentes sistemas de teledetección disponibles, conforman la fuente esencial de datos (en tiempo real) para los sistemas operativos de Euskalmet

La información disponible es punto de partida indispensable en las labores de análisis, vigilancia y predicción océano-meteorológica operativa, el estudio de riesgos asociados al impacto de los eventos extremos o la futura monitorización del cambio climático. Más allá del ámbito operativo que cubre Euskalmet, la red es una pieza clave en el adecuado seguimiento y gestión integrada de nuestra costa, así como fuente de datos local esencial para la realización de estudios en el ámbito de la investigación científica.

Desde el punto de vista de las operaciones actuales de Euskalmet, aunque la red océano-meteorológica es un sistema completo que cubre buena parte de las necesidades actuales existe margen de mejora, tanto en lo relativo a la incorporación de nueva instrumentación como a la explotación completa de la información disponible. Existen diferentes líneas de desarrollo para determinar procesos e implementar herramientas que permitan la explotación completa del potencial desplegado y por desplegar. Así mismo dentro de la política open-data de la administración se habilitan mecanismos que garantizan la disponibilidad pública de los datos.

## Referencias

- Egaña, J., Gaztelumendi, S., Hernández, R., 2014a. Analysis of 2014 winter patterns and its effects in Basque Country Coastal Area. 14th EMS Annual Meeting 10th European Conference on Applied Climatology (ECAC). 06 – 10 October 2014. Prague, Czech Republic.
- Egaña, J., Gaztelumendi, S., 2014b. Destructive combination of strong waves and tides in the Basque Country: the 2 February 2014 case. 7th EuroGOOS Conference. 28-30 October 2014. Lisbon, Portugal.
- Egaña, J., Gaztelumendi, S., 2020. Caracterización océano-meteorológica de eventos adversos por riesgo marítimo-costero: impacto en costa en la CAV. *Revista de Investigación Marina*, 2020, 27(1), p32-34.
- Gaztelumendi, S., González, M., Egaña, J., Rubio, A., Gelpi, I.R., Fontán, A., Otxoa de Alda, K., Ferrer, L., Alchaarani, N., Mader, J., Uriarte, Ad., 2010. Implementation of an operational oceanometeorological system for the Basque Country. *Thalassas*, 26 (2): 151-167
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., 2014. Analysis of maritime-coastal severe events in Basque Country during 2014 winter. 7th EuroGOOS Conference. 28-30 October 2014. Lisbon, Portugal.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Liria, P., Gonzalez, M., Aranda, J. A., and Anitua, P. 2016. The new Euskalmet coastal-maritime warning system, *Adv. Sci. Res.*, 13, 91–96, <https://doi.org/10.5194/asr-13-91-2016>.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Liria, P., Aranda, J.A., 2018a. Description of a coastal impact event in Basque Country: 9 February 2016 case. *Adv. Sci. Res.*, 15, 137–143.
- Gaztelumendi S., Otxoa de Alda, K., R. Hernández, R., M. Maruri, Aranda, J. A. and Anitua, P. 2018b. The Basque Automatic Weather Station Mesonetwork in perspective. *Proceedings CIMO TECO-2018*.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I.R., Aranda, J.A. 2020a. Los avisos/alertas/alarmas por riesgo marítimo-costero en la CAV. *Revista de Investigación Marina. AZTI*, 2020, 27(1) p 62-65.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Ruiz, R., Diaz de Arcaya, A. Moreno, J., Liria, P., Gonzalez, M., Aranda, J.A. 2022a. La monitorización del riesgo marítimo-costero en Euskalmet. *Proceedings V Congreso*



- transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK. Irun, Spain. 16-17 noviembre 2022.
- Gaztelumendi, S., Gómez de Segura, J.D., Hernandez, R., Martija-Díez, M. 2022b. Climate change monitoring and atmospheric indices in Basque Country: experiences from URBANKLIMA2050 LIFE project.. Conference: EMS Annual Meeting 2022, 4–9 September Bohn. 10.5194/ems2022-596.
- Gaztelumendi, S., Liria, P., Diaz de Arcaya, A., Ruiz, R., Egaña, J., Moreno, J., Epelde, I., Picon, A., Echazarra, J., and Aranda, J. A.: 2022c. Videometry applied to impact weather characterization: coastal risk in Basque Country., EMS Annual Meeting 2022, Bonn, Germany, 5–9 Sep 2022, EMS2022-593, <https://doi.org/10.5194/ems2022-593>,
- González, M., Uriarte, A., Pozo R. y Collins, M.B. 2005. The Prestige Crisis: Operational Oceanography applied to oil recovery, by the Basque fishing fleet. *Marine Pollution Bulletin*.
- IHOBE, 2019. Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco. Proyecto Klimatek 2017-2018. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda Gobierno Vasco. Julio 2019.
- Liria P., Epelde I., Santiago I., Garnier R., Abalia A. 2021. Kostasystme, a coastal videometry technology development and applications. 9th EuroGOOS International conference, Shom; Ifremer; EuroGOOS AISBL, May 2021, Brest, France. pp.485-491. hal-03329155v2
- Rubio A., Reverdin G., Fontán A., González M. y Mader J, 2011. Mapping near inertial variability in the SE Bay of Biscay from HF radar data and two offshore moored buoys. *Geophysical Research Letters*, V. 38 L19607

# Application of the SailoR diagram to the analysis of the agreement between the wave energy flux in ERA5 to observations of the Spanish shore

Garro, Mikel<sup>1</sup>, Sáenz, Jon<sup>2,3</sup>, Ulazia, Alain<sup>1</sup>, Ibarra-Berastegi, Gabriel<sup>1,2</sup>

**Keywords:** Sailor diagram, wave energy flux, Spanish coast.

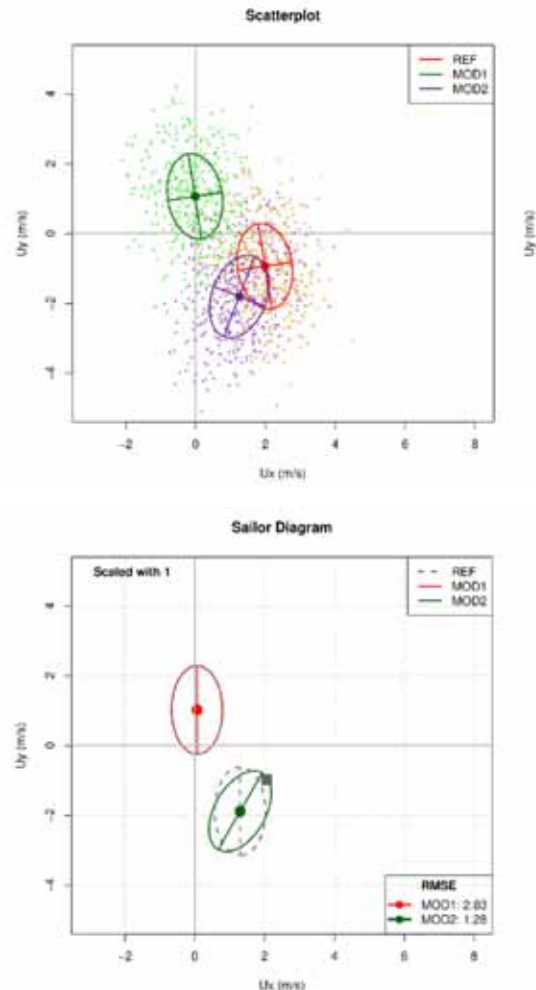
## Introduction

The Taylor diagram (Taylor, 2001) was designed taking into account the relationship between correlation, centred root mean square error and standard deviation. It allows the fast and effective evaluation of the performance of multiple climate models against reference (observational) datasets. It has become a classical tool in climatological analyses of the performance of multiple models, since it allows the direct visual comparison of models' performance according to these metrics (standard deviation, centred RMSE and correlation coefficient).

However, the Taylor diagram is designed with the aim of comparing the performance of scalar fields, since it is based on the scalar relationship between correlation coefficient, standard deviation and centred root mean square. Therefore, it has been applied in oceanography or meteorology for vector quantities either by comparing only the magnitudes of wind (Ulazia et al., 2017) or currents, by representing in two different diagrams the agreement of different models for the zonal and meridional components of the vector magnitudes (Lorente et al., 2015) or by averaging the Taylor diagrams corresponding to the zonal and meridional components (Lee et al., 2013). However, these are limited diagnostics. On the first hand, they do not properly evaluate the directional errors. A common outcome of the strategy of using individual Taylor diagrams for the zonal and meridional components is that the Taylor diagram frequently identifies as the best model in the zonal component a model which is not optimal in the meridional component (The HadGEM2 Development Team, 2011).

In order to achieve a better comparison tool for vector magnitudes in climate models, we propose a different strategy, which we call the SailoR diagram. Since the extension of the Taylor diagram to two dimensions is not immediate (there is not a unique definition of the concept of two-dimensional correlation), we propose a new diagram based on the analysis of the two-dimensional mean squared error matrix between model and observations for every model. If this matrix is analysed in the principal component space, the two-dimensional error matrix can be expressed as a separate contribution of the bias term (time

invariant) and rotations of the principal components corresponding to the model and the observations (Sáenz et al., 2020).



**Figure 1.** Scatterplot showing the relation between the synthetic reference and the synthetic MOD1 and MOD2 models (left). The Sailor diagram constructed by the package SailoR (right) clearly shows their corresponding biases, the directional errors by means of PCS and the RMSE.

Figure 1 shows by means of scatterplots the way the SailoR diagram is created in two phases for a synthetic reference two-dimensional dataset (Ref) and two models, a synthetic dataset (MOD1) which is identical to the reference, although it is biased and a second one (MOD2) which is identical to the reference dataset but is rotated 30° clockwise. The scatterplots show the structure of the original data and the distribution of the sample. The Sailor diagram, on the other hand, shows by means of a gray

<sup>1</sup>Energy Engineering Department, University of the Basque Country, SPAIN

<sup>2</sup>Joint Research Unit BEGIK, Plentziako Itsas Estazioa (PIE), University of the Basque Country, SPAIN

<sup>3</sup>Department of Physics, University of the Basque Country, SPAIN  
E-mail contact: jon.saenz@ehu.eus

square the mean of the observations. The colored dots represent the mean of the models MOD1 and MOD2. Finally, the colored ellipses represent the orientation of the leading and second principal components. They are overlaid on a gray ellipse drawn with dashed lines which represents the same magnitudes for the observations. The ellipse derived from observations represented under the ellipses from every model allows to analyse their errors in directionality.

Besides the ability to produce those diagrams, the SailoR package that has been developed for R (available as open software from CRAN, <https://cran.r-project.org/web/packages/SailoR/index.html>) allows also to create diagnostic tables for every model including indices such as the two-dimensional squared correlation (sum of squared canonical correlations), two-dimensional root-mean square error, the rotation angle of the main currents/winds (principal components) of the models with respect to the ones from the reference, the congruence of the corresponding EOFs of the covariance matrix and many others (Saenz et al, 2020).

The objective of this contribution is to show the ability of the diagnostics included in the SailoR package to perform an study of the spatial characteristics of the verification scores of the vectorial wave energy flux obtained from ERA5 around the Iberian Peninsula against observations collected from buoys.

## Materials and methods

Hourly wave data (significant wave height, mean wave period and direction of incoming waves) corresponding to 2012 from 15 buoys distributed around the Iberian Peninsula (REDEXT buoys) have been obtained from Puertos del Estado (<https://www.puertos.es/en-us>). Similarly, hourly wave data (significant height, mean period and direction) have been retrieved from ERA5 reanalysis

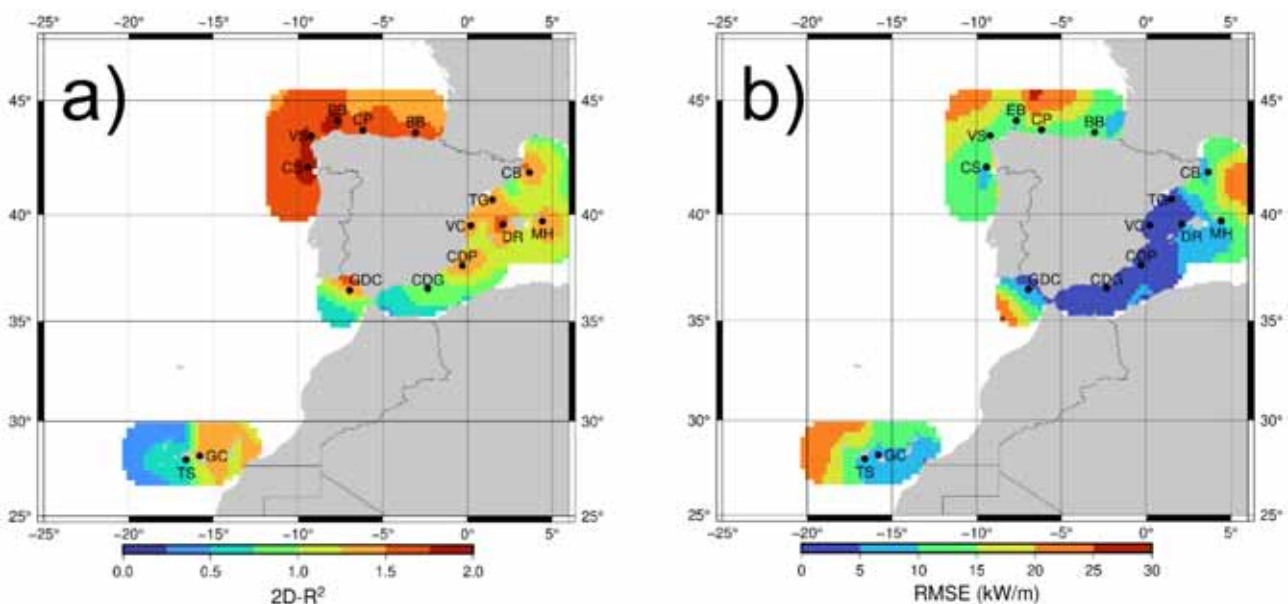
(Copernicus Climate Data Store). These variables have been combined to obtain the Wave Energy Flux (WEF, kW/m) at every grid point of ERA5 in a  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  regular longitude and latitude grid.

At every grid point of ERA5, a subset of the verification indices provided by SailoR (two-dimensional  $R^2$ , RMSE and magnitude of vector bias) have been computed with the WEF time series from the closest buoy and the verification indices are represented as maps. There are other potential verification indices provided by the SailoR packages which are relevant for directional errors such as the angle between the leading principal component of model and observations, the congruence coefficient of the leading principal component or the fraction of variance explained by every principal component to name a few which are not used in this paper.

## Results and discussion

The northern areas of the domain in the Atlantic shore (Bay of Biscay) exhibit the highest isotropy in two-dimensional  $R^2$  as shown in Figure 2a. The values of  $R^2$  in those areas achieve values close to two over the majority of the area (for the two-dimensional correlation coefficient, the optimal value of  $R^2$  for linearly dependent signals is 2). This can be explained by the fact that swell is quite uniform for this area, which tends to produce a spatially uniform field of WEF. The values of the root-mean square error over those areas, however, are relatively high, something that is consistent with a moderate-high bias (figure not shown in this abstract).

On the other hand, over the Mediterranean, the values of  $R^2$  are limited to reduced areas close to the buoys, and they present distinctive bull-eye like patterns, pointing to the relevance of local factors in this area. In any case, even in areas apart from the in-situ



**Figure 2.** Two-dimensional correlation coefficient (left, 2a) and root-mean square error (right, 2b) of WEF at every ERA5 grid point when compared with the closest buoy.

observations, the values of R2 are still higher than one over the whole region apart from the area close to Gibraltar. In any case, the RMSE values over the Mediterranean are quite low (except in the northeastern part of the domain). These low values of RMSE are due to a lower value of the bias over the area.

Finally, there exist strong horizontal gradients of R2 and RMSE in areas close to the Gibraltar Strait or the Canary Islands. Over these areas the spatial representativeness of in-situ observations is relatively low. This can be explained by the shadow effect of the islands and the strait itself that modify the general WEF flow when analyzed at a very local level. These spatial gradients over this area are also apparent for the magnitude of the bias vector (not shown).

## Conclusions

The subset of the verification indices provided by the SailoR package used in this paper for the analysis of the agreement between wave energy flux computed from ERA5 data and observed by buoys around the Spanish coast shows that they allow to identify areas with higher or smaller representativeness of the sampling due to the existence of local effects. This is reflected in different components of the error such as bias, root-mean square error or two-dimensional correlation.

In this contribution, only a small set of all the possible indicators provided by SailoR has been used. In particular, the indicators related to directionality or the fractions of variance explained at every principal direction have not been used. They will be analysed in a future contribution.

## References

- Taylor, K. E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *J. Geophys. Res.*, 106:7183–7192.
- Ulazia, A., Sáenz, J., Ibarra-Berastegi, G., González-Rojí, S. J., and Carreno-Madinabeitia, S. 2017. Using 3DVAR data assimilation to measure offshore wind energy potential at different turbine heights in the West Mediterranean, *Appl. Energy*, 208:1232–1245.
- Lorente, P., Piedracoba, S., Soto-Navarro, J., and Alvarez-Fanjul, E. 2015. Evaluating the surface circulation in the Ebro delta (northeastern Spain) with quality-controlled high-frequency radar measurements, *Ocean Sci.*, 11:921–935.
- Lee, T., Waliser, D. E., Li, J.-L. F., Landerer, F. W., and Gierach, M. M. 2013. Evaluation of CMIP3 and CMIP5 wind stress climatology using satellite measurements and atmospheric reanalysis products, *J. Climate*, 26:5810–5826.
- The HadGEM2 Development Team: G. M. Martin, Bellouin, N., Collins, W. J., Culverwell, I. D., Halloran, P. R., Hardiman, S. C., Hinton, T. J., Jones, C. D., McDonald, R. E., McLaren, A. J., O'Connor, F. M., Roberts, M. J., Rodriguez, J. M., Woodward, S., Best, M. J., Brooks, M. E., Brown, A. R., Butchart, N., Dearden, C., Derbyshire, S. H., Dharsai, I., Doutriaux-Boucher, M., Edwards, J. M., Falloon, P. D., Gedney, N., Gray, L. J., Hewitt, H. T., Hobson, M., Huddleston, M. R., Hughes, J., Ineson, S., Ingram, W. J., James, P. M., Johns, T. C., Johnson, C. E., Jones, A., Jones, C. P., Joshi, M. M., Keen, A. B., Liddicoat, S., Lock, A. P., Maidens, A. V., Manners, J. C., Milton, S. F., Rae, J. G. L., Ridley, J. K., Sellar, A., Senior, C. A., Totterdell, I. J., Verhoef, A., Vidale, P. L., and Wiltshire, A. 2011. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations, *Geosci. Model Dev.*, 4:723–757.
- Sáenz, J., Carreno-Madinabeitia, S., Esnaola, G., González-Rojí, S. J., Ibarra-Berastegi, G., and Ulazia, A. 2020. The Sailor diagram – A new diagram for the verification of two-dimensional vector data from multiple models, *Geosci. Model Dev.*, 13:3221–3240.
- Acknowledgements* - This study is part of project PID2020-116153RB-I00 funded by Ministerio de Ciencia e Innovación/Agencia Estatal de Investigación MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033. The authors acknowledge the funding of the research groups by the University of the Basque Country (UPV/EHU, GIU20/08).

# Time series as sentinels of climate change: the case of the time series in the plankton ecosystems of the estuaries of Bilbao and Urdaibai (Basque coast)

Iriarte, Arantza<sup>1,3\*</sup>, Uriarte, Ibon<sup>1,3</sup> and Villate, Fernando<sup>2,3</sup>

**Keywords:** time-series, climate change, anthropogenic pressures, zooplankton, estuaries, Bay of Biscay

## Introduction

The rise in direct anthropogenic impacts and those derived from climate change on marine ecosystems is a global concern (Bedford et al., 2020). Time-series are an essential tool to detect these impacts and predict future ones. Estuaries are one of the marine systems that have undergone the strongest anthropogenic pressures (McLusky and Elliot, 2004) and in some of these management plans have been implemented for their recovery. Therefore, estuaries are very dynamic systems, very useful for the study of the combined effects of different drivers of environmental change.

Zooplankton is a key component of marine ecosystems because they are a major trophic link between primary producers and higher-level consumers and play a fundamental role in biogeochemical cycles. Changes in the zooplankton density and composition can thus have far-reaching effects in fish and shellfish fisheries (Weinstock et al., 2022). In addition, zooplankton have been claimed to be very useful indicators of environmental change (Bedford et al., 2020).

Ongoing monitoring programs of the zooplankton density and composition as well as environmental factors are being carried out in two estuaries of the Basque coast (Bay of Biscay) with very different histories of direct anthropogenic impact, the estuaries of Bilbao and Urdaibai, since 1998. This work aims to provide an overview of the changes that have occurred in environmental variables and the composition and density of zooplankton in the last two decades along the axial gradient of salinity of these two estuaries.

## Material and methods

The estuaries of Bilbao and Urdaibai are both small systems located on the Basque coast (Bay of Biscay). They share the same temperate oceanic climate, but show different hydro-

<sup>1</sup>Department of Plant Biology and Ecology, Faculty of Pharmacy, University of the Basque Country (UPV/EHU), Unibertsitate Pasealekua 7, E-01006 Gasteiz, Spain

<sup>2</sup>Department of Plant Biology and Ecology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country (UPV/EHU), Sarriena Auzoa z/g, 48940 Leioa, Spain

<sup>3</sup>Research Centre for Experimental Marine Biology and Biotechnology, Plentzia Marine Station PiE-UPV/EHU, Areatza Pasalekua z/g, E-48620 Plentzia, Spain

E-mail contact: arantza.iriarte@ehu.eus

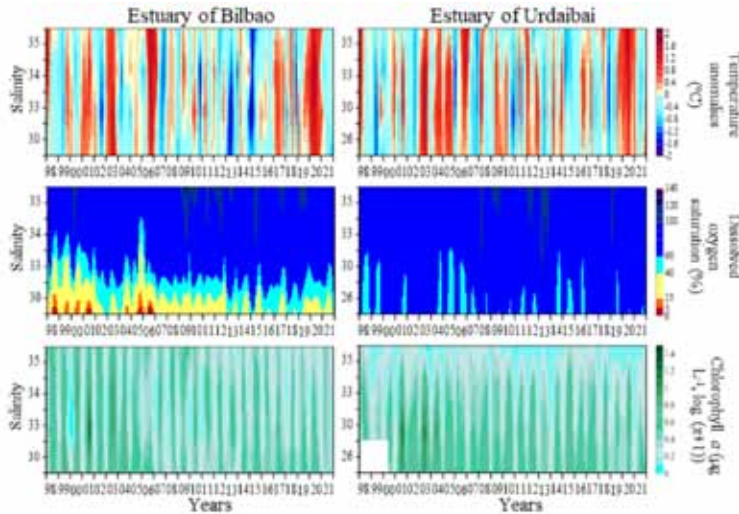
morphological features and histories of human pressure. The estuary of Bilbao is partially mixed in the outer area and highly stratified in the inner area. It became highly polluted (untreated sewage and industrial wastes) in the first half of the 20<sup>th</sup> century and in the late 1970s a plan for its rehabilitation started to be implemented. The estuary of Urdaibai is generally well mixed in its outer half and partially stratified in the inner half and has suffered a much lower anthropogenic impact. The estuary of Urdaibai is shallower, shows a higher tidal flushing, and receives a much lower river discharge than the estuary of Bilbao.

Samplings were carried out monthly at high tide during neap tides for the period 1998-2021 at the sites of 35, 34, 33 and 26 along the axis of the estuaries of Bilbao (B35, B34, B33, B30) and Urdaibai (U35, U33, U30 and U26). Vertical profiles of water temperature, salinity and percent saturation of dissolved oxygen were obtained at each site, but only surface values of temperature and mid depth (below halocline) values of dissolved oxygen are shown. Water samples were taken with a Niskin type bottle for chlorophyll *a* measurements and horizontal tows were conducted using a 200 µm mesh size net to collect zooplankton, both from mid depth, below the halocline. For further details of sampling site locations and protocols and methods for measuring the environmental factors and zooplankton densities see Villate et al. (2017). Contour plots have been made using the Surfer® 10 software (Golden Software, LLC).

## Results and discussion

In both estuaries surface water temperature anomalies (Fig. 1) revealed the alternation of years and periods of years with values below and above the mean for the period 1998-2021, showing a common pattern of initial increase of temperature from the late 1990s to the mid-2000s, followed by a decrease until the mid-2010s and a new increase in the early 2020s. Overall, this pattern agrees with the decadal reversal of sea surface temperature from warming during 1994–2004 to cooling over 2005–2015 described by Piecuch et al (2017) for the subpolar North Atlantic region. Overall, our results indicated only a slight trend of increase in surface temperature for the last two decades in the study area. However, this increase has been much more moderate than those observed in the sea surface temperature of other sites of the Basque coastal waters (Chust et al., 2022) and for the whole Bay of Biscay (Costoya et al., 2015) in which longer time periods have been analyzed. At a local-scale, interannual variations of water temperature

showed higher fluctuations in the estuary of Bilbao than the estuary of Urdaibai. The estuary of Bilbao receives a much higher river flow and generates one of the main river plumes of the Cantabrian shelf, thus affecting the thermohaline properties of seawater (Fernández-Nóvoa et al., 2019).



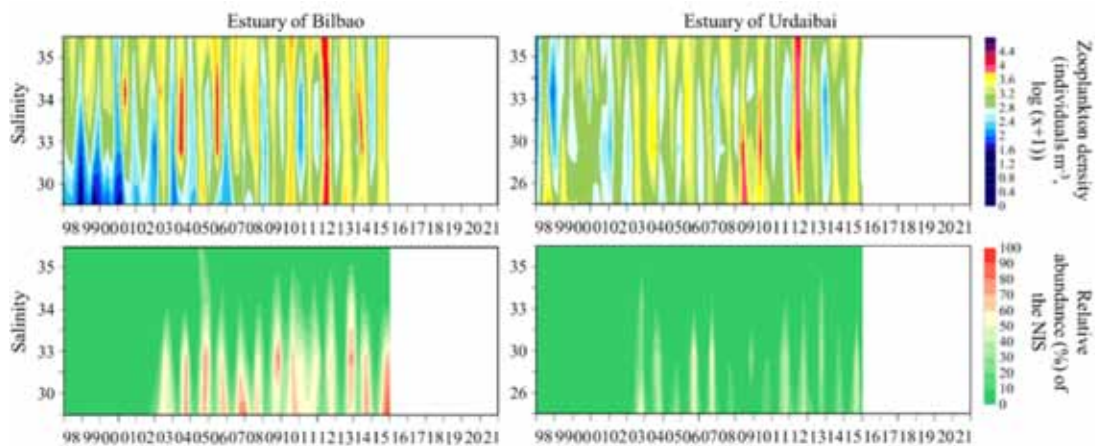
**Figure 1.** Interannual variations of surface water temperature anomalies (top graphs) and mid depth (below the halocline) dissolved oxygen saturation (%) (middle graphs) and concentration of chlorophyll a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ , log(x+1)) (bottom graphs).

The temporal patterns of the percent saturation of dissolved oxygen in mid depth waters below the halocline during the last two decades showed clear differences between estuaries (Fig.1). In the estuary of Bilbao, a marked tendency of increase has been observed. In the late 1990s and beginning of the 2000s hypoxia occurred in the inner-intermediate estuarine zones, reaching anoxia or severe hypoxia conditions for several months in the inner zone. From 2007 onwards, no anoxia or severe hypoxia events have been detected and the longitudinal extension of hypoxic waters has been limited almost exclusively to the inner estuary. This overall improvement

in dissolved oxygen levels has been explained mostly as a response to sewage pollution abatement measures (Villate et al., 2013; García-Barcina et al. 2006) and it is in accordance with findings for other estuaries where remarkable recoveries in dissolved oxygen have occurred after substantial nutrient and organic matter discharge decreases (Tinsley, 1998). The persistence of hypoxia mostly during summer in the inner estuary is associated to its hydrodynamic conditions, since the inner zone is the most strongly stratified and less well flushed zone of the estuary (Uriarte et al., 2014) and, therefore, it is naturally most susceptible to the occurrence of hypoxia, as found in other estuaries (Hagy and Murrell, 2007). In contrast, the estuary of Urdaibai, subject to low discharges of sewage waste at the head of the estuary until mid-2021, did not show a clear interannual trend in dissolved oxygen levels. However, as in the estuary of Bilbao, there was a clear outer to inner estuary pattern of oxygen decrease related to the decrease in flushing rate and increase in stratification from the outer to the inner estuary. Nevertheless, oxygen values showed almost no hypoxia events in waters of the 30-26 salinity range and were at times between 40 and 60% during summer (Fig. 1).

Chlorophyll a concentration at mid depth below the halocline showed the highest values in the early 2000s and evidenced an overall decline in both estuaries, which has been much more intense in the estuary of Bilbao than in the estuary of Urdaibai, and in waters of the mid and inner estuary than in the outer estuary (Fig.1). The reasons for this decline are not clear yet. It could be the result of several factors that include climatic changes (lower insolation rate) that would have affected both estuaries and local anthropogenic factors such as a decrease in the concentration of nutrients derived from domestic sewage wastes (Villate et al., 2013) that may have enhanced the decline in the estuary of Bilbao. We are still analyzing this question.

All the descriptors of change of zooplankton communities shown in Fig. 2 indicated stronger changes in the estuary of Bilbao than in the estuary of Urdaibai during the last two decades. In the estuary of Bilbao, at the beginning of the study period the density of zooplankton increased from the inner to



**Figure 2.** Time-series of the zooplankton density (individuals  $\text{m}^{-3}$ , log(x+1)) (top graphs) and relative abundance (%) of the copepod NIS in relation to the total zooplankton density (bottom graphs) along the axial salinity gradient of the estuaries of Bilbao and Urdaibai from 1998 to 2015.

the outer estuary due to the low levels of dissolved oxygen in the latter zone. As oxygen levels increased and the overall pollution level decreased (Irabien et al., 2018) throughout the study period, total zooplankton density increased at all sites, but the rise was remarkably largest at the inner estuary where a > 10 fold increase was recorded. In the estuary of Urdaibai, however, throughout the study period generally the densities of zooplankton in the inner estuary were higher or similar to those of the other zones of the estuary. Within the time-series, zooplankton density was exceptionally high in 2012 in both estuaries. This common event in zooplankton density coincided with unusual mesoscale features in nearby areas such as a southward advection of the Gironde plume in Arcachon Bay that affected plankton (Diaz et al., 2013). However, the overall increase throughout the study period in the estuary of Bilbao is mainly associated to the pollution abatement actions (Barroeta et al., 2020), as observed in other estuaries too after similar water quality improvements (Mialet et al., 2011). These zooplankton density increases in the estuary of Bilbao were largely due to the settlement at the lowest salinity sites of warm-affinity, brackish non-indigenous species (NIS) of copepods of Indo-pacific origin (*Acartia tonsa*, *Oithona davisae* and *Pseudodiaptomus marinus*), *A. tonsa* becoming the dominant copepod, but also of other range-expanding species (*Calanipeda aquaedulcis* and *Acartia bifilosa*) (Barroeta et al., 2020). Those three NIS were also detected in the estuary of Urdaibai but only *A. tonsa* has become established and abundant in the intermediate-inner zones of this estuary, but not dominant. *C. aquaedulcis* and *A. bifilosa* have been present throughout the entire period of study in this estuary, the former in low densities and the latter in very high densities in the 26–33 salinity range. In both estuaries, though, we can see that brackish waters are more prone to the settlement of NIS, which can be associated to these sites being naturally of lower species richness and therefore of lower competition and a wider range of unoccupied niches (Remane, 1934; Paavola et al., 2005). In addition, in the neritic copepod communities of the outermost sites of both estuaries two regime shifts were detected, one in 2008 that implied a change towards a greater abundance and relative dominance of spring species, and the other one in 2014–2015, which brought about a higher abundance and relative dominance of summer copepod species (data not shown). These regime shifts were highly influenced by climate teleconnection patterns such as the North Atlantic Oscillation (NAO) and the East Atlantic (EA) pattern (Iriarte et al., 2022). The three NIS are also thermophilic and this suggests that if global warming intensifies, we may have more bioinvasions in the future.

## Conclusions

Overall, all the environmental and biological descriptors of change in the pelagic ecosystem of the estuaries of Bilbao and Urdaibai have responded to climate variations and human actions during the last two decades. Water temperature

reflected very similar climate variations in both estuaries. However, chlorophyll *a* seemed to respond to a more complex interaction of factors that involve both climate variations and human driven local changes. Finally, dissolved oxygen and zooplankton communities showed the highest responses to local human actions. These two estuaries constitute excellent case studies for discerning the influence of all these different drivers of environmental change.

Since direct anthropogenic actions (pollution/rehabilitation) have been strong in the estuary of Bilbao, they have caused changes in dissolved oxygen, chlorophyll *a* and zooplankton to be much larger in the estuary of Bilbao than in the estuary of Urdaibai. The inner estuary of Bilbao, where oxygen levels were lowest at the beginning of the time series has been the site with the largest increase of zooplankton density, in which post-disturbance (i.e. post-pollution) conditions have favored a greater impact of biological invasions. The thermophilic nature of estuarine zooplankton NIS suggests that if global warming intensifies during the annual cycle, we may have more brackish water bioinvasions in the future. The neritic waters of the outer estuary, where direct human anthropogenic impacts have been lower, has been a site where the effect of climate variations on zooplankton could be seen more clearly, having detected two regime shifts with a high relationship to climate teleconnection pattern changes.

Nearly a quarter of a century long monitoring of zooplankton in the estuaries of Bilbao and Urdaibai have confirmed zooplankton are good indicators of environmental change. The time series of zooplankton obtained so far are thus very valuable, even more if we take into account that they are, to the best of our knowledge, the only estuarine zooplankton time series available on the Iberian coast draining into the Bay of Biscay and some of the longest ones in the whole Iberian Peninsula.

## References

- Bedford, J., Ostle, C, Johns, D. G., Atkinson, A., Best, M., Bresnan, E., et al. 2020. Lifeform indicators reveal large-scale shifts in plankton across the North-West European shelf. *Glob. Change Biol.*, 26: 3482–3497.
- Barroeta, Z., Villate, F., Uriarte, I., Iriarte, A. 2020. Differences in the colonization success and impact of non-indigenous and other expanding copepod species on the zooplankton of two contrasting estuaries of the Bay of Biscay. *Biol. Invasions*, 22: 3239–3267.
- Borja, A., Dauer, D., Elliot, M. and Simenstad, C. A. 2010. Medium- and long-term recovery of estuarine and coastal ecosystems: patterns, rates and restoration effectiveness. *Estuar. Coast.*, 33: 1249–1260.
- Chust, G., González, M., Fontán, A., Revilla, M., Alvarez, P., Santos, M., et al. 2022. Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Sci. Total Environ.*, 803: 149622.
- Costoya, X., Decastro, M., Gómez-Gesteira, M., Santos, F. 2015. Changes in sea surface temperature seasonality in the Bay of Biscay over the last decades (1982–2014). *J. Mar. Syst.*, 150: 91–101.
- Díaz, P. A., Reguera, B., Ruiz-Villarreal, M., Pazos, Y., Velo-Suárez, L., Berger, H. et al. M. 2013. Climate variability and oceanographic settings associated with interannual variability in the initiation of *Dinophysis acuminata* blooms. *Mar. Drugs*, 11: 2964–2981.
- Fernández-Nóvoa, D., Costoya, X., deCastro, M., Gómez-Gesteira, M.

2019. Dynamic characterization of the main Cantabrian river plumes by means of MODIS. *Cont. Shelf Res.*, 183: 4-27.
- García-Barcina, J. M., González-Oreja, J. A. and De la Sota, A. 2006. Assessing the improvement of the Bilbao estuary water quality in response to pollution abatement measures. *Wat. Res.* 40: 951-960.
- Hagy, J.D., Murrell, M.C. 2007. Susceptibility of a northern Gulf of Mexico estuary to hypoxia. An analysis using box models. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 74: 239-253.
- Irabien, M.J., Cearreta, A., Serrano, H. Villasante-Marcos, V. 2018. Environmental regeneration processes in the Anthropocene: The Bilbao estuary case (northern Spain). *Mar. Pollut. Bull.*, 135: 977-987.
- Iriarte, A.; Villate, F.; Uriarte, I.; Bidegain, G.; Barroeta, Z. 2022. Shifts in neritic copepod communities off the Basque coast (Southeastern Bay of Biscay) between 1998 and 2005. *ICES J. Mar. Sci.*, 79: 830-843.
- McLusky, D. S. and Elliott, M. 2004. *The Estuarine Ecosystem*. Oxford University Press. Oxford, p. 214
- Mialet B., Gouzou, J., Azémar, F., Maris T., Sossou, C., Toumi, N. et al. 2011. Response of zooplankton to improving water quality in the Scheldt estuary (Belgium). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 93: 47-57.
- Paavola, M., Olenin, S. and Leppäkoski, E. 2005. Are invasive species most successful in habitats of low native species richness across European brackish water seas? *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 64: 738-750.
- Piecuch, C. G., Ponte, R. M., Little, C. M., Buckley, M. W., Fukumori, I. 2017. Mechanisms underlying recent decadal changes in subpolar North Atlantic Ocean heat content. *J. Geophys. Res-Oceans*, 122: 7181-7197.
- Remane, A. 1934. Die Brackwasserfauna. *Verhandlungen Der Deutschen Zoologischen Gesellschaft*, 36: 34-74.
- Tinsley, D., 1998. The Thames estuary: a history of the impact of humans on the environment and a description of the current approach to environmental management. In: Attrill, M.J. (Ed.), *A Rehabilitated Estuarine Ecosystem. The environments and Ecology of the Thames Estuary*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 5-26.
- Uriarte, I., F. Villate, A. Iriarte, J. Duque, I. Amezttoy. 2014. Seasonal and axial variations of net water circulation and turnover in the estuary of Bilbao. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 150: 312-324.
- Villate, F., Iriarte, A., Uriarte, I., Intxausti, L., de la Sota, A. 2013. Dissolved oxygen in the rehabilitation phase of an estuary: Influence of sewage pollution abatement and hydro-climatic factors. *Mar. Pollut. Bull.*, 70: 234-246.
- Villate, F., Iriarte, A., Uriarte, I., Sanchez, I. 2017. Seasonal and interannual variability of mesozooplankton in two contrasting estuaries of the Bay of Biscay: relationship to environmental factors. *J. Sea Res.*, 130: 189-203.
- Weinstock, J.B., Vargas, L., Collin, R. 2022. Zooplankton abundance reflects oxygen concentration and dissolved organic matter in a seasonally hypoxic estuary. *J. Mar. Sci. Eng.*, 10 (3): 1-22.

## Acknowledgements

The authors thank the funding support provided by the University of the Basque Country (UPV/EHU, GIU19/059) and the Basque Government (PIBA2020-1-0028, IT1723-22).



# Evaluación de la incertidumbre asociada a inundaciones en las zonas costeras mediterráneas andaluzas

Otiñar, Pedro<sup>1</sup>, Cobos, Manuel<sup>1</sup>, Santana, Marcus<sup>1</sup>, Magaña, Pedro<sup>1</sup>, Millares, Agustín<sup>1</sup>, Lira-Loarca, Andrea<sup>2</sup>, Baquerizo, Asunción<sup>1</sup>

**Palabras clave:** Cambio climático, Riesgo de inundación, erosión

## Introducción

El litoral mediterráneo andaluz acoge actualmente a más del 40 % de la población de Andalucía oriental. El desarrollo de esta región depende en gran medida de las actividades económicas que se desarrollan en esta zona y de las infraestructuras que las facilitan. Estas zonas costeras han sido alteradas por las actividades humanas y se espera que los graves eventos de erosión e inundaciones, ya frecuentes, se agraven debido al calentamiento global. Por lo tanto, los gestores de las costas se enfrentarán, más pronto que tarde, al problema de tomar medidas para hacer frente a las propiedades y actividades económicas amenazadas. Por lo tanto, es crucial una correcta delimitación de las zonas costeras vulnerables a las inundaciones.

En este trabajo se presentan la metodología y los resultados de un análisis probabilístico de las inundaciones costeras en una zona seleccionada del litoral mediterráneo andaluz bajo un escenario de cambio climático. El estudio utiliza los resultados recogidos dentro del proyecto ICCOAST financiado por la Junta de Andalucía. La metodología desarrollada dentro de ICCOAST utiliza técnicas de simulación para obtener realizaciones aleatorias de las variaciones del nivel del mar, teniendo en cuenta el comportamiento estocástico no estacionario del clima atmosférico y del mar y su efecto acumulativo conjunto sobre la evolución de la morfología costera.

## Materiales y métodos

La metodología de este trabajo está basada en la hipótesis de que la evolución de la costa durante décadas es un proceso acumulativo, el cual es el resultado de la interacción de agentes climáticos, del terreno (configuración topobatemétrica, estratigrafía, usos del suelo, etc.) y de uso y explotación (construcción de infraestructuras).

Para distintas realizaciones del clima generadas aleatoriamente con las mismas características estadísticas que las de los datos de partida, los cuales proceden de modelos de predicción climáticos, se simulan secuencialmente los procesos hidro y morfodinámicos siguiendo la línea de trabajo de Payo, et al. (2008) y Baquerizo

y Losada (2008). Con los resultados de estas simulaciones se caracteriza estadísticamente la variación temporal de la costa y la ocurrencia de inundaciones a través de una serie de indicadores.

La metodología utilizada consta de los siguientes pasos:

### Caracterización del medio físico

En este primer paso, cada sector litoral se divide en unidades fisiográficas y éstas, a su vez, en tramos según las características y agentes externos que intervienen en los procesos, en los cuales las acciones locales tienen rangos similares de variación.

### Caracterización multi-modelo de las proyecciones climáticas

Con las proyecciones climáticas de varios modelos como partida, en primer lugar estas son tratadas para reducir los errores sistemáticos asociados a cada modelo. A continuación, se ajustan (1) distribuciones marginales no estacionarias de cada una de las variables implicadas, y (2) modelos vectoriales autorregresivos para, a continuación, caracterizar las proyecciones multi-modelo siguiendo el trabajo de Lira-Loarca et al. (2020).

### Simulación de las series climáticas

Utilizando la caracterización estocástica del ensemble multi-modelo, con técnicas de simulación, se generan  $n$  series temporales aleatorias que tienen las mismas propiedades estadísticas que las de partida. (Ver Figura 1)

### Transformación de los agentes hasta la zona de estudio

Para cada una de las series temporales generadas se seleccionan los estados climáticos representativos con el algoritmo de máxima disimilitud. Este algoritmo permite encontrar, entre todas las posibles combinaciones de las variables que definen el clima, las que mejor representan el espacio de sucesos (Camus et al., 2011). Este pequeño porcentaje de estados climáticos seleccionados se transforman hasta las proximidades de la zona de estudio con modelos que reproducen los procesos físicos hidro-morfodinámicos. Una vez estos estados representativos se encuentran propagados al emplazamiento, se reconstruye la serie temporal inicial con funciones de interpolación de base radial.

Para la propagación de oleaje e hidrodinámica costera se usan los módulos WAVE y FLOW de DELFT3D. Para el modelado de los procesos hidro-morfodinámicos fluviales se usan Guadalfortran (Ávila, 2007) para los ríos de mayor entidad y el método del número de curva del Servicio de Conservación del Suelo (USDA, 1954) para ríos pequeños y ramblas.

<sup>1</sup>Universidad de Granada, Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales, Granada, Spain

<sup>2</sup>Universidad de Génova, Génova, Italy  
E-mail: potinar@ugr.es

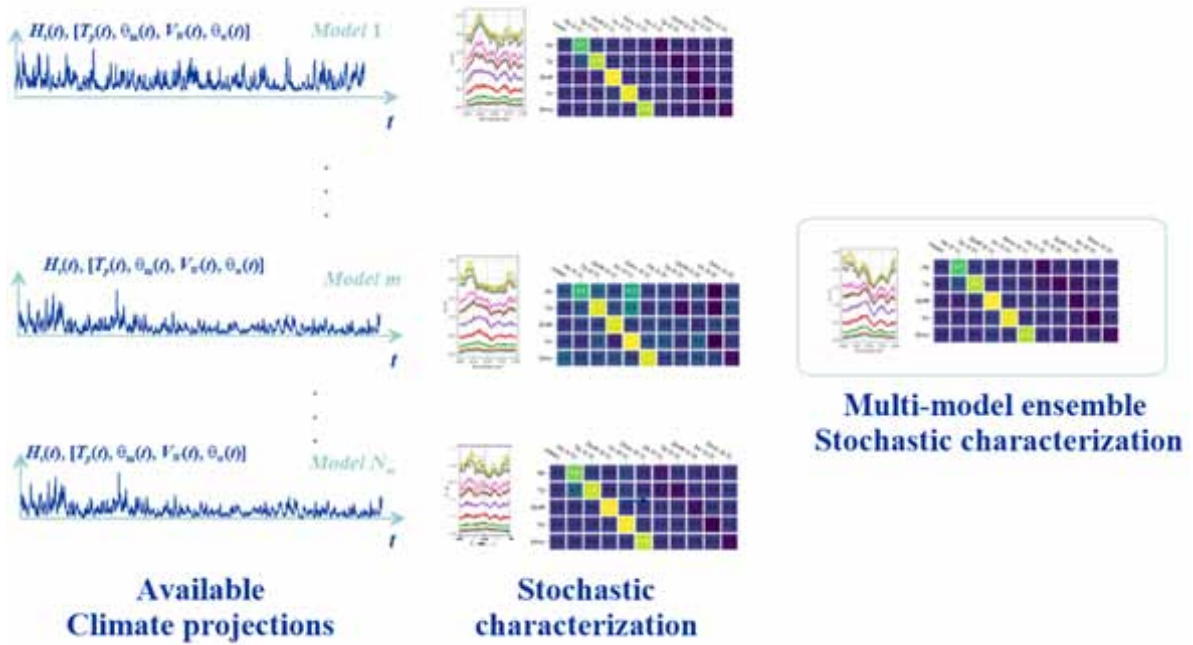


Figura 1: Esquema metodológico de la caracterización multi-modelo de las proyecciones climáticas

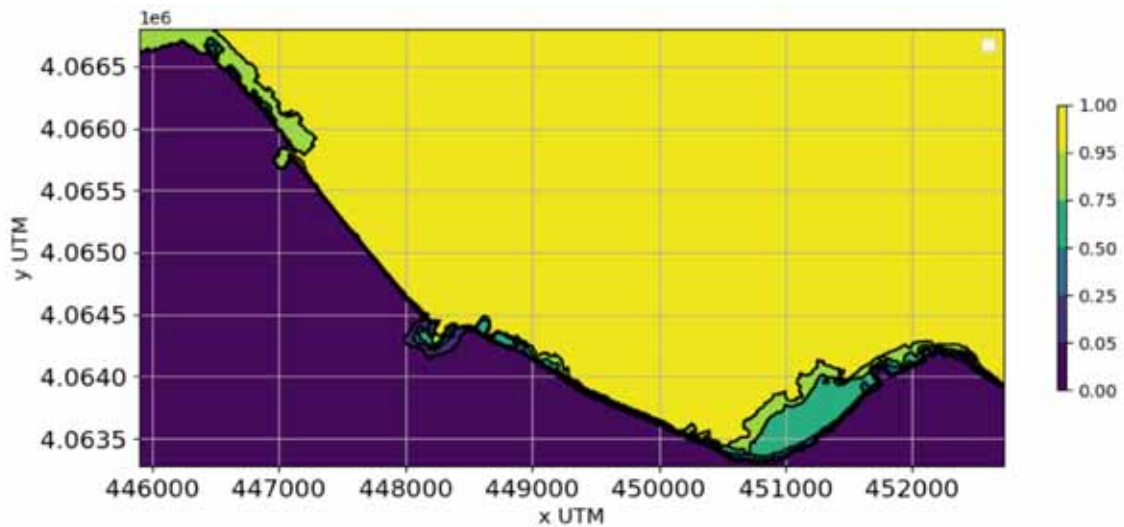


Figura 2. Mapa de aislíneas de probabilidad de la posición de la línea de costa en el periodo 2020-2100

### Simulación de procesos morfodinámicos costeros

Se emplea el entorno CoastalME (Payo et al. 2017) que utiliza el modelo hidrodinámico CSHORE (Kobayashi, 2016) y un modelo de evolución de la costa de tipo una-línea para obtener los cambios en la morfología. Además de proporcionar el cambio en la línea de costa, proporciona la cota del fondo batimétrico en cada celda de la malla, por lo que también se obtiene la evolución batimétrica en el tiempo. Para poder calibrar los parámetros que gobiernan la morfodinámica del sistema, se han utilizado líneas de costa extraídas de imágenes satélite.

### Caracterización estocástica de la erosión y de la inundación

Para esta caracterización se han determinado una serie de indicadores que contemplan tanto los aspectos físicos del proceso de evolución como connotaciones legales recogidas en la Ley de Costas con el fin de demostrar las implicaciones de la arbitrariedad encontrada en algunas de sus definiciones. Para todos los indicadores que se listan a continuación, se proporciona información en términos de probabilidad: Variación espacial y temporal de la línea de orilla

Variación espacial y temporal de la línea de costa  
 Variación espacial y temporal de la tasa de erosión/acumulación  
 Zonas en regresión grave  
 Límite de las zonas inundadas permanentemente  
 Límite hasta donde llegan las olas  
 Límite que se inunda al menos 5 veces en 5 años  
 Pérdida de playa seca  
 Límite de la zona inundable asociada a un periodo de retorno dado

## Resultados y discusión

A modo de ejemplo, en la Figura 2, se presenta el mapa de isolíneas de probabilidad de la posición de la línea de costa en el tramo del delta del Guadalfeo hasta el año 2100.

## Referencias

- Ávila, A. 2007. Procesos de múltiple escala en la evolución de la línea de costa. PhD thesis. Universidad de Granada. 161pp.
- Baquerizo, A. y Losada, M. A. 2008. Human interaction with large scale coastal morphological evolution. An assessment of the uncertainty. *Coastal Engineering*, 55(7-8), 569-580.
- Camus, P., Méndez, F., Medina, R. y Cofiño, A. 2011. Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. *Coastal Engineering*, 58 (6), 453-462.
- Kobayashi, N. 2016. Coastal sediment transport modeling for engineering applications. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 142(6): 03116001.
- Lira-Loarca, A., Cobos, M., Besio, G. y Baquerizo, A. 2020. Projected wave climate temporal variability due to climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*.
- Payo, A., Baquerizo y Losada, M.A. (2008). Uncertainty assesment: application to the shoreline. *Journal of Hydraulic Research*. 46 (1), 96–104.
- U.S. Departament of agriculture (1954), *National Engineering Handbook*, sect. 4, Hydrology, U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos *Gestión del riesgo asociado a la erosión e inundación en un escenario de cambio climático y la toma de decisiones sobre concesiones en el dominio público marítimo-terrestre. Fase I*. Exp. CONTR. 2020 194906. *Trabajos de inundación y erosión en zonas costeras de Andalucía en un escenario de cambio climático (ICCOAST)*. Exp. CONTR 2018 66984 y *Trabajos para el estudio de inundación y erosión en zonas costeras de Andalucía en un escenario de cambio climático. Provincias de Granada y Almería (ICCOAST-GA)*. Exp. CONTR 2020 687686 por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen también la financiación recibida del Programa Operativo FEDER de Andalucía (30BE61F301).

# Análisis estocástico del riesgo de inundación en zonas costeras de Andalucía

Magaña, Pedro<sup>1</sup>, Santana, Marcus<sup>1</sup>, Otiñar, Pedro<sup>1</sup>, Navarro, Asensio<sup>2</sup>, Cobos, Manuel<sup>1</sup>, Sempere, Francisco<sup>3</sup>, Alcántara, Juan J.<sup>3</sup>, Cerrato, Germán<sup>3</sup>, Baquerizo, Asunción<sup>1</sup>

**Palabras clave:** riesgo de inundación, zonas costeras, análisis estocástico, cambio climático

## Introducción

Se presenta la metodología desarrollada en el marco del proyecto *Gestión del riesgo asociado a la erosión e inundación en un escenario de cambio climático y la toma de decisiones sobre concesiones en el dominio público marítimo-terrestre. Fase I* que tiene como objetivo caracterizar la peligrosidad y el riesgo asociados a diferentes escenarios de probabilidad, identificados por periodos de retorno ( $T_R$ ), utilizando como unidad espacial básica la playa. Los valores de  $T_R$  seleccionados para el análisis son 10, 30 y 50 años (relacionados con los plazos de las concesiones administrativas), así como 100 y 500 años, por coherencia con los Planes de Gestión de Riesgo de Inundación elaborados de acuerdo con la Directiva 2007/60/CE y el RD 93/2010 .

Se utilizan para el análisis los datos de las simulaciones obtenidas en el proyecto *Trabajos para el estudio de inundación y erosión en zonas costeras* (en adelante ICCOAST), en concreto, de (1) la información de la variación espacial y temporal de la topobatemetría y (2) las series temporales del nivel del mar en puntos representativos, obtenidos a lo largo de la costa andaluza durante los años 2020 a 2099 utilizando proyecciones de clima para el escenario RCP 8.5. Los datos están referidos al nivel del mar actual en Alicante y los de nivel incluyen las siguientes contribuciones: la proyección del aumento del nivel medio del mar, la marea astronómica, la marea meteorológica, el set-up debido al oleaje y, en su caso, el nivel asociado al caudal fluvial.

La metodología propuesta consta de los siguientes pasos que se esbozan en los apartados que se indican:

- Cálculo de los niveles asociados a un periodo de retorno dado e identificación de las correspondientes zonas inundadas (Apdo. 2)
- Caracterización de la peligrosidad a través de las variables asociadas a los eventos de superación del nivel obtenido (Apdo. 3)
- Cálculo del riesgo para las personas, la economía, los puntos de especial importancia y el medio ambiente, tanto para los usos y concesiones afectadas como para la globalidad de una playa (Apdo. 4).

<sup>1</sup>Instituto Interuniversitario del Sistema Tierra en Andalucía. U. Granada. Avda. del Mediterráneo s/n. 18006 Granada

<sup>2</sup>Departamento de Derecho Administrativo. Universidad de Granada. Plaza de la Universidad, nº 1 C. 1807 Granada

<sup>3</sup>Dirección General de Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático. Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul. Avda. Manuel Siurot, 50. 41013 Sevilla  
E-mail: pmagana@ugr.es

Además, la información numérica de la peligrosidad y del riesgo se transforma en información cualitativa de manera justificada teniendo en cuenta trabajos disponibles en la literatura.

## Cálculo de niveles asociados a $T_R$ e identificación de zonas afectadas

En un punto de la playa, representativo del fenómeno de la inundación, se analiza la variación temporal del nivel del mar, en eventos climáticos severos, definidos como aquellos en los que la altura de ola significativa, medida en aguas profundas o, en su caso, el caudal del principal río que desemboca en ella supera unos valores umbrales.

### Cálculo del nivel asociado a un periodo de retorno

Para el cálculo de la cota asociada a un periodo de retorno inferior al número de años que se analizan (80 en este caso), se siguen dos metodologías inspiradas en el trabajo de Caires et al. (2006) que tienen en cuenta el carácter no estacionario del nivel. Los ajustes de las distribuciones se obtienen siguiendo el trabajo detallado en Cobos et al. (2022) y utilizando el software MarineTools (Cobos et al. 2022). Para periodos de retorno superiores, se extrapolan las tendencias obtenidas.

### Identificación de las zonas afectadas

Una vez determinado el valor  $z_R$  del nivel cuyo periodo de retorno es  $T_R$  en el punto representativo, se identifican sobre las series temporales de las simulaciones los eventos de superación del umbral y, para cada evento, el valor máximo del nivel alcanzado durante el mismo, el instante en que ocurre las correspondientes contribuciones del nivel medio del mar y de la marea astronómica, así como el instante de finalización de cada evento. En el instante del pico del temporal se estiman las posiciones de las curvas que delimitan las zonas inundadas.

### Caracterización estadística de la peligrosidad asociada a $T_R$

Para caracterizar la peligrosidad se recogen, además de la información descrita en el Apartado 2, los datos relativos a la inundación y la erosión a partir de las cuales se estudian las distribuciones de las variables aleatorias: (1) Área de playa seca perdida, (2) Tasa de variación de la posición de la costa, (3) Área inundada, (4) Proporción del área inundada en la que se encuentran usos de baja permeabilidad, (5) Valor de la cota del nivel total y (5) Contribuciones de las componentes del nivel medio del mar y la marea astronómica a la cota total en el punto seleccionado.

## Caracterización estadística del riesgo asociado a $T_R$

Para la caracterización del riesgo asociado a un periodo

de retorno  $T_R$  se parte de la información de la extensión de la inundación y de la peligrosidad recopilada de las simulaciones. En concreto, de los valores medios de los calados máximos en un evento de inundación obtenidos en los puntos situados en la región inundable, definidos como aquellos en los que en alguna de las realizaciones han estado inundados.

En las zonas afectadas por la inundación se calcula, con las bases de datos de población disponibles, el número de personas afectadas y se distinguen los usos y ocupaciones. Cada uso y ocupación tiene asignada una serie de indicadores genéricos tales como una curva de vulnerabilidad elemental y un precio unitario, seleccionados entre las disponibles en la literatura (véase Tabla 1), así como indicadores de la importancia socio-ambiental y ámbito económico de la actividad definidos de manera similar a los de la ROM 0.0 (Losada, 2001). Por otra parte, a cada uso afectado por la inundación, la gravedad de la afección se estima a partir del calado representativo y la proporción de la superficie afectada y se le asocia un indicador de proximidad a zonas y masas de agua protegidas. Esta información permite caracterizar el riesgo asociado al escenario de probabilidad  $T_R$ , como se indica a continuación:

- El riesgo para la población se mide a partir del número de personas afectadas directamente por la inundación.
- El riesgo para la economía se valora de manera numérica a partir del total de los daños materiales producidos en las zonas afectadas, así como por una etiqueta que define el ámbito económico de las afecciones.
- El riesgo para puntos de especial importancia se mide según la gravedad de la inundación y la importancia socio-ambiental.
- El riesgo para el medio ambiente queda definido por los valores de la gravedad de la afección, la importancia relativa socio-ambiental y la distancia a puntos de especial importancia.

**Tabla 1.** Fuentes de información utilizadas

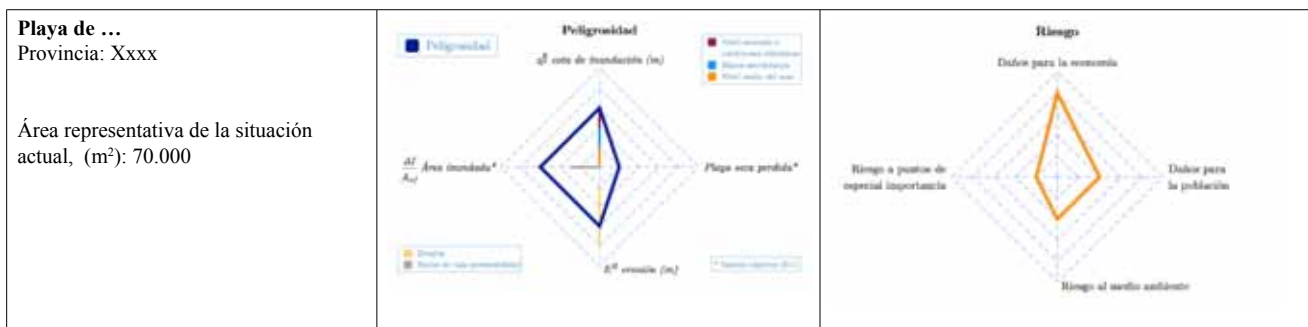
Identificación de usos y ocupaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inventario de usos y ocupaciones en el dominio público marítimo-terrestre y sus zonas de servidumbre de la Junta de Andalucía</li> <li>▪ SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España a escala 1: 25.000) del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.</li> <li>▪ BTN25 (Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000), del Instituto Cartográfico Nacional</li> </ul>
Valoración de población afectada	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Base de datos del Instituto de estadística y cartografía</li> <li>▪ Poblaciones del Centro Nacional de Información Geográfica</li> </ul>
Valoración de daños económicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Base de datos del Joint Research Centre (JCR)</li> <li>▪ Martínez-Gomáriz et al. (2020)</li> <li>▪ Vielca Ingiopsa Ingenieros (2013)</li> <li>▪ Anejos I y II del documento del MAGRAMA (2013)</li> </ul>

## Resultados y discusión

La metodología se está aplicando a toda la zona andaluza y se resume, por playa, en una fichas en las que, además, se valora de manera global tanto la peligrosidad como el riesgo como una media ponderada, y se les asigna una etiqueta con la que se les da un valor cualitativo.

La Tabla 2 ilustra la información que se va a proporcionar por playa y escenario de probabilidad

**Tabla 2.** Ejemplo de información relativa a la peligrosidad y el riesgo, por playa, para un escenario de probabilidad



**Peligrosidad asociada a un periodo de retorno  $T_R = 50$  años****Afección relacionada con la erosión**

Área seca perdida	(m)	12000 ( $\pm$ 560)	-
Tasa de variación de la posición de la costa	(m)	3.2 ( $\pm$ 0.9)	Muy leve
Área relativa de playa seca perdida		0.1714( $\pm$ 0.008)	Muy leve

**Afección relacionada con la inundación**

Área relativa inundada		0.33 ( $\pm$ 0.1)	Leve
Proporción de con usos de baja permeabilidad		10 %	
Calado representativo		1.34( $\pm$ 0.25)	
Contribución del ascenso del NMM		0.12 ( $\pm$ 0.2)	-
Contribución de la marea astronómica		0.13 ( $\pm$ 0.1)	-
Área inundada	(m)	23.000 ( $\pm$ 7.000)	-

<b>Peligrosidad global de la playa</b>	$PG^R$	-	Baja
--	--------	---	------

**Riesgo asociado a un periodo de retorno  $T_R = 50$  años****Indicadores generales**

<b>Importancia socio-ambiental</b>		-	Media
<b>Proximidad a una zona o masa de agua protegida</b>		0.25 (Parque Nacional de...)	-

**Riesgo para la población**

<b>Número de personas afectadas directamente</b>	(miles)	1200	-
Riesgo para la población		-	Medio

**Riesgo a la economía**

<b>Daños materiales (en miles de €)</b>	(m)	1025	-
Riesgo a la economía		-	Alto

**Riesgo a puntos de especial importancia (PEI)****PEI<sub>1</sub>: XXXX**

Grado de afección,		-	Leve
Riesgo a PEI		-	Bajo

**PEI<sub>2</sub>: XXXX**

Grado de afección,		-	Moderado
Riesgo a PEI		-	Bajo

**Riesgo al medio ambiente**

Riesgo al medio ambiente		-	Muy bajo
--------------------------	--	---	----------

<b>Riesgo global de la playa</b>	$RG^R$	-	Bajo
----------------------------------	--------	---	------

**Referencias**

- Caires, S., Swail, V. R., & Wang, X. L. 2006. Projection and Analysis of Extreme Wave Climate, *Journal of Climate*, 19(21), 5581-5605.
- Cobos, M., P. Otiñar, P. Magaña & A. Baquerizo. 2022. A Method to Characterize Climate, Earth or Environmental Vector Random Processes. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02260-9>
- Cobos, M., P. Otiñar, P. Magaña, A. Lira-Loarca, A. Baquerizo. 2022. MarineTools.temporal: A Python package to simulate Earth and environmental time series, *Environmental Modelling & Software*, Volume 150, 2022,105359, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105359>.
- MAGRAMA. 2013. Propuesta de mínimos para la metodología de realización de los mapas de riesgo de inundación. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Losada, M. A. (2001). ROM 0.0 Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias. Ed. Puertos del Estado. ISBN: 84-88975-30-9.
- Martínez-Gomariz, E., Forero-Ortiz, E., Guerrero-Hidalga, M. Castán, S.; Gómez, M. 2020. Flood Depth-Damage Curves for Spanish Urban Areas. *Sustainability*, 12, 2666.
- Vielca Ingiopsa Ingenieros. 2013. Plan director de Defensa contra las Avenidas Comarca de la Marina Baja. Alicante. Apéndice 8: Estudio de Daños y Vulnerabilidad.

**Reconocimientos**

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos *Gestión del riesgo asociado a la erosión e inundación en un escenario de cambio climático y la toma de decisiones sobre concesiones en el dominio público marítimo-terrestre. Fase I*. Exp. CONTR. 2020 194906. *Trabajos de inundación y erosión en zonas costeras de Andalucía en un escenario de cambio climático (ICCOAST)*. Exp. CONTR 2018 66984 y *Trabajos para el estudio de inundación y erosión en zonas costeras de Andalucía en un escenario de cambio climático. Provincias de Granada y Almería (ICCOAST-GA)*. Exp. CONTR 2020 687686 por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen también la financiación recibida del Programa Operativo FEDER de Andalucía (30BE61F301).

**II. MULTZOA - Muturreko gertaerak eta egokitzeko neurriak**  
**BLOQUE II - Eventos extremos y medidas de adaptación**  
**BLOC II - Événements extrêmes et mesures d'adaptation**  
**SESSION II - Extreme events and adaptation measures**





análisis. En este caso, se establece en 200 m.

*Exposición al viento y a las olas:* para determinar la exposición al viento y al oleaje en cada punto de la costa definido se utilizan los datos obtenido del Wave Watch III data, el cual contiene datos de olas y viento y representa las condiciones de tormenta en esa ubicación (Tolman, 2009).

*Distancia máxima de alcance o recuperación de las olas:* un punto de la costa solo está expuesto a la energía de las olas oceánicas u olas locales impulsadas por el viento si, en alguna dirección alrededor del punto, no se cruza ninguna masa de tierra al lanzar un rayo de la longitud de esta distancia máxima de alcance establecida. Así, para calcular esa exposición el modelo proyecta rayos desde ese punto hacia afuera en 16 direcciones y mide la longitud máxima de un rayo antes de que se cruce con una masa terrestre. Se establece una distancia máxima de alcance dentro del modelo para evitar lanzar rayos a través de todo un océano. En este caso, se estimó una distancia de 12.000 m, basándonos en bibliografía (Aguilera, 2012).

*Batimetría:* se utiliza para encontrar las profundidades medias de agua necesarias para los cálculos de la altura y el período de las olas. Se utilizó el modelo de terreno global para el océano y la tierra que proporciona datos de elevación en metros en una cuadrícula de intervalo de 15 segundos de arco denominado General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO\_2020).

*Relieve:* se utilizó la capa del Modelo digital de elevación (MDT) a escala 1:25 obtenida del ftp de GeoEuskadi, la cual ha sido obtenida utilizando el LIDAR del 2017. Con el objetivo de ampliar la superficie más allá de Euskadi hacia Santander y hacia Francia, se utilizó una capa MDT obtenida del Instituto Geográfico Nacional.

*Radio medio de elevación:* determina el radio en metros alrededor de cada punto de la costa dentro del cual el modelo va a calcular la elevación media. El modelo recomienda elegir un valor más elevado que la resolución del MDT y más pequeño que la resolución del modelo, por ello se estimó que fuera de 75 m.

*Plataforma continental:* se utilizó la capa que viene por defecto

en el modelo (continental\_shelf\_polyline\_global.shp) teniendo en cuenta el área de interés, ya que la plataforma continental debe estar dentro de los 1.500 km de la costa.

*Hábitats:* para identificar los hábitats se utilizaron las capas de Hábitats EUNIS a escala 1:10.000, tanto terrestres como marinos, obtenidas del ftp de GeoEuskadi y para cada hábitat se generó una capa. Los hábitats identificados fueron: bosques, cultivos, dunas, humedales interiores, especies invasoras, marismas, matorrales, parques y jardines, plantaciones forestales, playas, praderas y praderas marinas (comunidades de algas frondosas, pónticas y mediterráneas de algas infralitorales, del límite superior de pleamar en playas arenosas, de algas afectadas por el sedimento, fanerógamas). Además, se añadió una tabla con datos sobre el rango de exposición para cada hábitat (1: poca exposición; 5: mucha exposición (no hábitat)) y la distancia de protección en metros que provee cada uno a la costa (Tabla 1).

*Geomorfología:* se utilizó la capa de geomorfología a escala 1:25.000 obtenida del ftp de GeoEuskadi con algunas modificaciones realizadas utilizando las capas de Hábitats EUNIS (terrestre y marino) 1:10.000, en el caso de los acantilados, diques y puertos. Además, se añadió una tabla con datos sobre el rango de exposición para cada geomorfología siguiendo el criterio del modelo (Tabla 2). En el caso de que no se encuentren segmentos geomorfológicos en las proximidades de un punto, el modelo le asigna un valor medio, en este caso, un valor de 3.

*Densidad de población:* se utilizaron las capas de suelo residencial y el límite de la CAPV obtenidas del ftp de GeoEuskadi (Udalplan 2020). El radio de búsqueda de población alrededor de cada punto se establece en 100 m.

Una vez corrido el modelo los datos obtenidos para el indicador “rol que juegan los ecosistemas costeros en reducir la vulnerabilidad de la costa frente a los eventos climáticos extremos” fueron clasificados en 5 rangos (Muy alto: > 0,76, Alto: 0,61-0,76, Medio: 0,48-0,60, Bajo: 0,25-0,47 y Muy bajo o nulo: < 0,25) y cartografiados a una resolución espacial de 150 m.

**Tabla 1.** Datos para cada hábitat del rango de exposición y la distancia de protección (m) que provee a la costa.

Hábitat	Rango de exposición	Distancia de protección (m)	Hábitat	Rango de exposición	Distancia de protección (m)
Bosques_L	1	1000	Matorrales_L	3	50
Cultivos_L	3	50	Parques_Jardines_L	3	20
Dunas_L	2	100	Plantaciones_L	2	1000
Humedales_interiores_L	3	125	Playas_L	3	65
Invasoras_L	3	50	Praderas_L	3	50
Marismas_L	2	400	Praderas_marinas_L	4	500

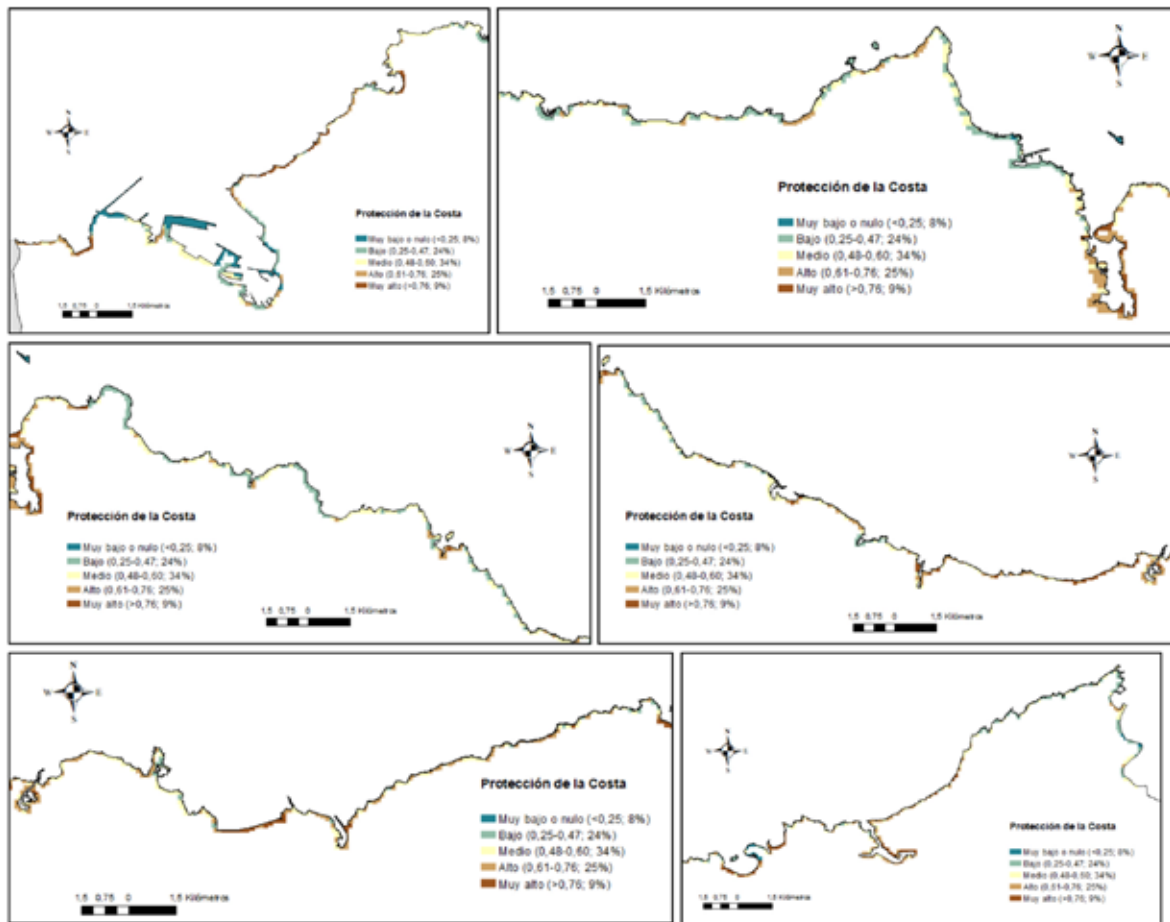
**Tabla 2.** Datos para cada geomorfología del rango de exposición que posee.

Geomorfología	Exposic.	Geomorfología	Exposic.	Geomorf	Exposic.	Geomorfología	Exposic.
Depósito de arena antiguo	5	Superficie_aplanamiento_neta	5	Terraza	3	Relleno arenoso	5
Acúmulo de ladera de grano fino	4	Masa_rocosa_deslizante	2	Playa	5	Campo_dolinas	3
Depresión litoestructural	3	Intermareal arenoso	5	Acantilados	1	Cicatriz_despegue	3
Arcillas de decalcificación	4	Otras acumulacion antrópicas	4	Aluvial	3	Relieves suaves	4
Asentam_urbano_alta_baja_densidad	5	Plataforma de abrasión	4	Diques	1	Playa de cantos	4
Barrancos y cauces de fondo plano	2	Zona intensamente dolinizada	3	Dolina	3	Vertiente 1, 2 y 3	3
Morrena de fondo, frontal y glaciar	3	Relleno fangoso, heterogéneo	4	Embalse	4	Zona aislada	5
Polígono industrial o área portuaria	5	Zona_excavaciones_escombreras	5	Escombreras	4	Campo de dunas	4
Deslizamientos superficiales	3	Prisma_disyunción_columnar	3	Excavación	5	Puerto marino	2
Fondo cubierto de dolina	4	Zona de deslizamientos	3	Canal	4	Coluvial_bloques	2
Zona de erosión activa (regueras)	4	Red viaria o transportes	5	Glacis	3	Circo glaciar	3
Lapiaz cubierto_desnudo_semidesnudo	3	Supramareal fangoso	4	Cantera	5		
Intermareal fangoso	4	Supramareal arenoso	5				

## Resultados y discusión

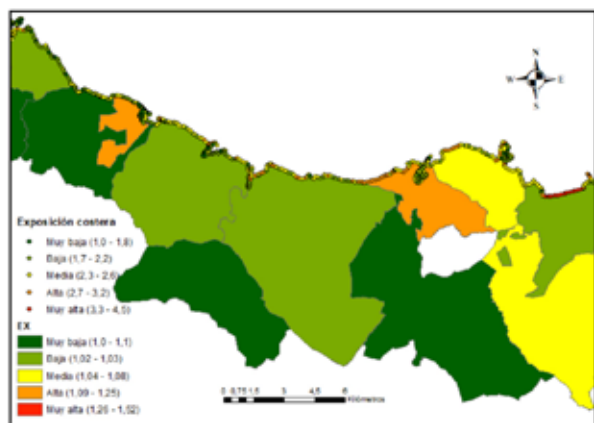
Los datos obtenidos tras el cartografiado del servicio de protección de la costa indican que el 8% de la costa poseen una protección de la misma muy baja o nula, el 24% baja, el 34%

media, el 25% alta y el 9% muy alta (Figura 2). Que exista una protección muy baja o baja se debe a que el índice de exposición en esos puntos es muy elevado, por lo que es necesario recuperar los hábitats costeros en esos puntos para mejorar su resiliencia frente al cambio climático (Ametzaga-Arregi et al., 2020).



**Figura 2.** Mapa del servicio de protección de la costa. En cada rango se muestran los valores que se incluyen en cada uno, así como el porcentaje que representa.

Existen áreas donde más de 24.316.278 personas/km<sup>2</sup> pueden verse afectadas por la erosión e inundaciones costeras, así que deben considerarse prioritarias a la hora de considerar su recuperación aplicando Soluciones Basadas en la Naturaleza, como se ha realizado ya en otras zonas de Euskadi. Por ejemplo, la recuperación del sistema dunar de Gorliz o las marismas del río Barbadún, las cuales se encuentran en un proceso de recuperación avanzado, proporcionando una gran cantidad de servicios a la población (Peña et al., 2020). En la Figura 3 se muestra un ejemplo de la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático realizada por Gobierno Vasco y la realizada en este estudio, con el objetivo de mostrar que, aunque un municipio posea una exposición baja a las inundaciones costeras, dentro de su línea de costa posee puntos donde la exposición es elevada.



**Figura 3.** Ejemplo del mapa del servicio de protección de la costa (puntos) y de la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los municipios vascos realizada por Gobierno Vasco (polígonos).

## Conclusiones

Se concluye la necesidad de seguir aumentando la conservación y regeneración de los ecosistemas costeros en Euskadi, sobre todo en esas zonas prioritarias donde la exposición a los eventos costeros extremos es elevada y no existen hábitats para protegerla. Además, esta conservación y regeneración de los ecosistemas costeros es necesaria para aumentar la resiliencia de la costa frente al cambio climático, así como para aumentar la provisión de servicios que estos ecosistemas ofrecen a la población.

## Referencias

- Abbott, K.M., Eelsey-Quirk, T., DeLaune, R.D. 2019. Factors influencing blue carbon accumulation across a 32-year chronosequence of created coastal marshes. *Ecosphere* 10(8):e02828.10.1002/ecs2.2828
- Aguilera, Pedro. Análisis a largo plazo de las características del oleaje y viento en el litoral cantábrico. Universidad Politécnica de Cataluña. 2012.
- Ametzaga-Arregi, I., Muñoz, O., Amaya, A., Onaindia, M., Fernández de Manuel, B., Méndez-Fernández, L., Viota, M., Peña, L., 2020. Sand dune and saltmarsh resilience in the eye of Climate Change. *Revista de Investigación Marina, AZTI*, 27 (1): 21-23. ISSN:1988-818X
- Barbier, E.B. 2012. Progress and challenges in valuing coastal and marine ecosystem services. *Review of Environmental Economics and Policy* 6(1): 1–19. <https://doi.org/10.1093/reep/rer017>
- Bennett, N.J., Blythe, J., Tyler, S., Ban, N.C. 2016. Communities and change in the anthropocene: understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change* 16: 907–926.
- Greenpeace, 2018. Informe “A toda Costa 2018”. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/07/A-Toda-Costa-Informe-Ampliado-1.pdf>
- Hindsley, P., Yoskowitz, D. 2020. Global change—Local values: Assessing tradeoffs for coastal ecosystem services in the face of sea level rise. *Global Environmental Change* 61: 102039. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102039>
- Ihobe, 2019. Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático. Ed. Ihobe, Gobierno Vasco. 46 pp.
- Mcowen, C., Weatherdon, L.V., Van Bochove, J.W., Sullivan, E., Blyth, S., Zockler, C., Stanwell-Smith, D., Kingston, N., Martin, C., Spalding, M., Fletcher, S. 2017. A global map of salt marshes. *Biodiversity Data Journal* 5: e11764. 10.3897/BDJ.5.e11764
- Onaindia, M., Madariaga, I., Palacios, I., Arana, X. (coord.) 2015. Nature and human well-being in Biscay. Ecosystem services assessment; research applied to management. Universidad del País vasco. Leioa, España. 130 pp. ISBN: 978-84-9082-507-5.
- Peña, L., Onaindia, M., Muñoz, O., Amaya, A., Fernández de Manuel, B., Ametzaga-Arregi, I., 2020. Soluciones basadas en la naturaleza frente al cambio climático: restauración de dunas y marismas. *Revista de Investigación Marina, AZTI*, 27 (1): 69-72. ISSN:1988-818X
- Schuerch, M., Spencer, T., Temmerman, S., Kirwan, M.L., Wolff, C., Lincke, D., McOwen, C.J., Pickering, M.D., Reef, R., Vafeidis, A.T., Hinkel, J. 2018. Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. *Nature*, 561 (7722): 231-234.
- Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, L., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G., Vogl, A. L., Wood, S., and Wyatt, K., 2020. InVEST 3.12.0.post7+ug.g57226b8 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Tolman, H.L., 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14, Technical Note, U. S. Department of Commerce Nat. Oceanic and Atmosph. Admin., Nat. Weather Service, Nat. Centers for Environmental Pred., Camp Springs, MD.
- Wessel, P., and W. H. F. Smith, 1996. A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database. *J. Geophys. Res.*, 101, #B4, pp. 8741-8743.

## Reconocimientos

Los autores agradecen al Gobierno Vasco y a la Diputación Foral de Bizkaia por su apoyo financiero a través del proyecto *Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas de Euskadi*.

# Integración del cambio climático en proyectos costeros: experiencias internacionales y consideración de la diversidad litoral y tipología de actuaciones para una propuesta de aplicación a nivel nacional

García-Oliva, Miriam<sup>1</sup>, Martín, Patricia<sup>1</sup>, Martín, Melva<sup>1</sup> y De la Peña, José Manuel<sup>1</sup>

**Palabras clave:** actuaciones, adaptación, cambio-climático, geomorfología, impactos

## Introducción

Esta ponencia presenta un estudio cuyo objetivo es establecer el marco de conocimiento científico-técnico sobre el que se desarrollan los trabajos de apoyo del Centro de Puertos y Costas del CEDEX a la Dirección General de la Costa y el Mar (DGCM), que se plasmarán en la redacción de una guía metodológica sobre la integración de los aspectos referentes al Cambio Climático en los proyectos y estudios de actuaciones costeras. Dicha Guía expone las prescripciones técnicas para combatir los efectos del Cambio Climático tanto en el caso del diseño de elementos de adaptación de actuaciones presentes como de nuevas actuaciones que sean necesarias en un futuro. Por tanto, estará alineada con el objetivo general de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española de incrementar la resiliencia de la costa española frente al cambio climático, y el objetivo específico de garantizar que las actuaciones planificadas en la costa cuenten con la información y la metodología necesaria para que su diseño sea acorde con los objetivos temporales de reducción de riesgo.

## Materiales y métodos

En la realización de este trabajo se han recopilado guías y publicaciones nacionales e internacionales que tratan la adaptación al cambio climático en estudios y proyectos costeros y otros de ingeniería civil y arquitectura. También se han revisado las figuras normativas y de planificación existentes con relación al cambio climático en la costa.

La Subida del Nivel del Mar (SNM) es la componente climática de mayor influencia (MITECO, 2022). Por este motivo, se han analizado las proyecciones locales de SNM en la costa española a partir de los datos disponibles más recientes de PO.DAAC. (2021).

La morfología litoral se ha descrito según la clasificación dada en MITECO (2022) y cartografía elaborada por el CEDEX para el Plan Estatal de Protección de la Ribera del Mar contra la Contaminación (2014), que identifica los tramos artificiales y naturales (Figura 1).



**Figura 1.** Tipología costera en la Demarcación Sudatlántica (Fuente: Figura elaborada por el CEDEX en el marco del Plan Estatal de Protección de la Ribera del Mar contra la Contaminación)

Además, se han tratado los posibles impactos en la costa natural, teniendo en cuenta restricciones del suelo urbano en el trasdós, y en la costa artificial, que dependerán de su grado de flexibilidad de respuesta a la SNM, diferenciando, de igual forma que en aspectos anteriores, las distintas zonas del litoral según la delimitación de las Demarcaciones Marinas de las Estrategias Marinas. Se describen igualmente las características de las actuaciones de la DGCM existentes y el tipo de impactos esperables en cada Demarcación, analizados de forma cualitativa considerando el resto de puntos tratados.

Por último, se han recopilado los documentos autonómicos sobre análisis de riesgo del cambio climático elaborados recientemente por las comunidades costeras para recomendar el uso de sus resultados en el diseño de nuevas actuaciones y adaptación de las existentes.

## Resultados y discusión

Los documentos que se tuvieron en cuenta en la revisión del Estado del Arte se recogen en la Tabla 1.

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX, C/ Antonio López, 81  
28026 Madrid, España  
E-mail: miriam.garcia@cedex.es

**Tabla 1.** Documentos analizados en el Estado del Arte

País	Título	Autor/es	Año
Internacional	Incorporating climate change adaptation into engineering design concepts and solutions	Connor, Niall, Cummings y Papillo	2013
	Handbook of coastal disaster mitigation for engineers and planners	Becker, Toilliez y Mitchell	2015
R. Unido	Flood and coastal risk projects, schemes and strategies: climate change allowances	GOV.UK	2020
EE. UU.	USACE adaptation approach for future coastal climate conditions	Moritz y otros	2015
	ER 1100-2-8162: Incorporating Sea level change in civil works programs, engineering regulation	USACE	2019
	Procedures to Evaluate Sea Level Change: Impacts, Responses, and Adaptation. Engineering Technical Letter	USACE	2014
Australia	<a href="https://www.coastadapt.com.au/">https://www.coastadapt.com.au/</a>	NCCARF	2022
	Engineering solutions for coastal infrastructure. CoastAdapt Information Manual 7	Webb	2016
	Guidelines for Responding to the Effects of Climate Change in Coastal and Ocean Engineering. Vol. 1 of Guideline Series	NCCOE	2012
India	Climate Change Adaptation Guidelines for Coastal Protection and Management in India	Black y otros	2018
Hong Kong	Climate change and its implications on the design of coastal structures in Hong Kong	Chow y otros	2014
Canadá	Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use: Sea Dike Guidelines	British Columbia Ministry of Environment	2011
	Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use: Draft Policy Discussion Paper	British Columbia Ministry of Environment	2011
	Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use: Guidelines for Management of Coastal Flood Hazard Land Use	British Columbia Ministry of Environment	2011
Internacional	EnviCom WG Report n° 178-2020: Climate change adaptation planning for ports and inland waterways	PIANC	2020
	Managing Climate Change Uncertainties in Selecting, Designing and Evaluating Options for Resilient Navigation Infrastructure – Techn Note No. 1	PIANC	2022
EE. UU.	Climate Resiliency Design Guidelines	City of New York	2020
	Neighborhood Coastal Flood Protection Project Planning Guidance 2021 (Version 1.0)	City of New York	2020
España	Metodología para el Análisis del Riesgo y Adaptación a los efectos del Cambio Climático	ADIF	2020

Del análisis de estos documentos se pueden destacar aspectos como: el uso de tolerancias y medidas de la incertidumbre en datos climáticos; la distinción de impactos según los tipos de actuaciones; el diseño basado en el riesgo; el análisis de la criticidad de los elementos protegidos por las actuaciones; la búsqueda de soluciones adaptables y resilientes así como de horizontes de planificación adecuados; el análisis de los costes y beneficios de la adaptación de las actuaciones; y las servidumbres y niveles actualizados que se deben usar como referencia para construcciones aledañas a la costa.

La **Normativa y las Herramientas de Planificación** que se han identificado son las siguientes, para cada ámbito:

- **Internacional:** Convención Marco sobre Cambio Climático (1994); Acuerdo de París (2015); y el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (en elaboración, 2022)
- **Comunitario:** Pacto Verde Europeo (2019); Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo (2021) y Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático (2021)
- **Estatul:** Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (2013); Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA) Adapta Costas (2017); Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (2020); Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética (2021) y Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto, de modificación del Reglamento General de Costas (2022)
- **Autonómico:** Informes de Riesgos derivados del Cambio Climático en la Costa (en curso, marco del PIMA Adapta Costas)

Ambas revisiones (Estado del arte y marco normativo) se complementan y dan una idea sobre los conceptos más actuales y generalizados, tanto en el aspecto técnico como en el de implementación de políticas sobre el asunto central del estudio.

Las **proyecciones** locales de la SNM muestran que las ubicaciones con la mayor subida media a largo plazo son: La Coruña, Cádiz, Málaga o Almería; Alicante; y Santa Cruz de Tenerife.

El **análisis general de impactos** se ha realizado en base a la información existente en los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) sobre la potencial pérdida de anchura en tramos costeros naturales, la existencia de distintos tipos de actuaciones, la morfología litoral predominante y los aspectos más particulares en cada zona. De los resultados de este análisis, inicial y orientativo, se puede mencionar, para todas las Demarcaciones, que muchas de las actuaciones de obra lineal se encuentran cerca de playas con una mayor potencialidad de retroceso, por lo que se podría esperar un mayor riesgo de socavación, rebase, daño estructural y pérdida de funcionalidad de las actuaciones, sobre todo en aquellas zonas más expuestas al oleaje. De forma particular para algunas Demarcaciones se puede también añadir que:

- **D. Noratlántica:** Se observa un número significativo de playas y actuaciones de la DGCM que se encuentran en el interior de rías y, por tanto, más resguardadas del oleaje y con un potencial riesgo de impacto menor frente a zonas más expuestas.

- D. del Estrecho y Alborán: Existe un gran número de espigones, cuya funcionalidad podría verse afectada por la subida del nivel del mar, entre otros impactos.
- Levantino-Balear: Debido a la presión urbana tan acusada en la costa, cabe esperar impactos de erosión e inundación muy importantes, teniendo en cuenta, además, la existencia de enclaves de interés y de infraestructuras críticas de transporte, etc. También destaca la gran densidad espigones en la costa Valenciana y obras longitudinales en Baleares, pudiéndose esperar una pérdida de su función sobre el control del transporte de sedimentos en el caso de los primeros, y mayor riesgo de impacto en los segundos, en zonas con gran reducción de playa seca.
- D. Canaria: Una alta proporción de las playas de esta Demarcación están asentadas en acantilados, por lo que podría destacarse la dificultad de que se reacomoden hacia tierra adentro.

PO.DAAC. 2021. IPCC AR6 Sea-Level Rise Projections. Version 20210809. (P. O. Centre, Ed.) USA. Accedido online el 12/08/2022: <https://podaac.jpl.nasa.gov/announcements/2021-08-09-Sea-level-projections-from-the-IPCC-6th-Assessment-Report>

## Conclusiones

De la revisión del Estado del Arte, se concluye que aún son escasos los documentos sobre integración efectiva del cambio climático en proyectos costeros pero los que se han encontrado aportan ideas valiosas al respecto, como se ha explicado en el apartado anterior.

Existe una gran integración de la adaptación al cambio climático en la normativa y herramientas de planificación en todos los ámbitos y, para realizar el diseño adaptado de elementos costeros existentes o proyectados de la DGCM, se deberán tener en cuenta, especialmente, los resultados de informes de riesgos realizados por las Comunidades Autónomas y Entidades Locales.

La SNM es el principal factor climático por su mayor efecto en la costa y deben usarse las proyecciones más actualizadas y los datos locales, puesto que permiten identificar las zonas donde se dará un impacto más importante.

La diversidad de la Morfología litoral Española junto con la diferencia de climas marítimos y restricciones en el trasdós, conllevan que los mismos impactos sean distintos en cuanto a magnitud, predominancia de unos tipos u otros, etc., dependiendo de la zona de la que se trate. Además, las restricciones por usos del suelo en el trasdós en zonas con retroceso por subida del nivel del mar afectará a los futuros impactos sobre actuaciones existentes o nuevas. Dada esta complejidad, se ha tomado la delimitación por Demarcaciones Marinas en el análisis de impactos, ya que permite observar las particularidades y facilitar la comprensión de los efectos del cambio climático bajo tal variedad de condicionantes.

## Referencias

MITECO. 2022. Planes de ordenación del espacio marítimo - Anexo III: Planes de Ordenación - DIAGNÓSTICO. Los sectores marítimos: situación actual y previsiones de desarrollo futuro o potencial. Accedido online el 25/08/2022: [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/anexoiiican\\_r\\_tcm30-528995.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/anexoiiican_r_tcm30-528995.pdf)

# Adaptation under extreme events. Predictive maintenance for risk reduction

Sánchez-Arcilla, Agustín Jr.<sup>1</sup>, Altomare, Corrado<sup>1</sup>, Gonzalez, Manuel<sup>2</sup>, Viñes, Manuel<sup>1</sup>, Mösso, César<sup>1</sup>, Gómez, Jesús<sup>1</sup> and Sánchez-Arcilla, Agustín<sup>1</sup>

**Keywords:** Extremes, Climate, Maintenance, Ecosystems, Breakwaters.

## Introduction

Increasing human and climatic pressures on coastal systems and their infrastructure has resulted in cumulative losses for ecosystem services (e.g. Sanchez-Arcilla et al, 2022) and increasing degradation of coastal and harbour structures (e.g. Kong and Frangopol, 2004; Speijker et al 2000). The result has been a steady increase in risk levels, both for infrastructures (Al-Najjar, 2007) and coastal habitats (Coanda et al., 2020), compounded by a lack of bespoke predictive maintenance (Hermans et al., 2013). A predictive maintenance programme, linking observations and inspections with numerical and/or experimental analyses of water-sediment-structure-ecosystem interactions, specially under extreme conditions, would reduce coastal risks during the life cycle of coastal structures or habitats (Yang et al 2004; Yang et al 2006; Okasha and Frangopol, 2009).

By combining in-situ measurements with coupled modelling it should be feasible to assess structural and ecosystem performance before reaching tipping points or ultimate limit states (Sakib and Wuest, 2018). Locally tailored predictive maintenance programs result in monitoring/inspection plans (Orcesi et al, 210) that support a development of adaptation pathways based on objective data and the best level of available knowledge, aggregating past experiences, metocean forecasts (Sanchez-Arcilla et al, 2021) and climatic projections. The added value of these combined approaches should increase under future climate scenarios and extreme conditions (Strauss et al, 2008; Yuan et al., 2013). Moreover, predictive maintenance in other fields has increased socio-economic and natural system productivity, reducing breakdown times and in our case is expected to enhance coastal structural performance and ecosystem status. Predictive maintenance programmes should explicitly address the effect of extremes, both for drivers such as wave heights or storm surges or for responses, such as structural damages or peaks in the morphodynamic response. This is the approach followed in this work, based on extreme analyses for key drivers and responses in the coastal zone, such as incoming wind-waves or functional/resistant failures. From a comparative analysis of wave extremes along

Cantabrian and Mediterranean coasts, we shall assess the sensitivity of extreme distributions to available data, invoked hypotheses and applied statistical techniques. The paper will next discuss how this uncertainty affects coastal risk levels and will conclude with some remarks to bound uncertainty for improving coastal sustainability and the required proactive maintenance.

## Materials and methods

Predictive maintenance, already a common approach in mechanical, electrical and some branches of civil engineering, is based on monetary costs formulated as a function of pre-defined levels of functionality or safety losses (e.g. Chen and Toyoda, 1990; Dey, 2001; de Pater and Mitici, 2021). Depending on structural or ecosystem type and the dominant maritime climate, risk assessment will require different combinations of driving factors (e.g. incident significant wave height, meteorological or astronomic tides) and different limit states, either functional or resistant (e.g. erosion or overtopping). The same applies to ecosystem service delivery, depending on functionality and structure for each coastal habitat. Predictive maintenance is known to reduce costs and impacts under current and particularly future scenarios and where extreme events play a key role due to the non linear formulations that reproduce ecosystem or structural responses (Ran et al, 2019). Non-linearities and uncertainties require monitoring risk levels by a smart combination of observations, inspections and simulations, from which it should be possible to establish an optimal maintenance to minimize risks and costs, while increasing the life time of the considered structure or habitat.

Recent advances in modelling and observations (e.g. Sánchez-Arcilla et al., 2019) have paved the way to increase structural and ecosystem sustainability by means of proactive decisions, particularly urgent under extreme events or the expected acceleration in climate change. This approach is illustrated in the paper by combining a data-driven characterization of wave extremes with some non-linear formulations for the considered structural or ecosystem responses. The data analysed correspond to more than 30 years of wave series from buoys deployed at the Basque, Cantabrian and Catalan coasts. Extremes have been characterized with a number of statistical techniques that present increasing error intervals with return period, showing how the more energetic events, represented by a smaller sample, feature a higher uncertainty level. The error also varies with storm threshold

<sup>1</sup>Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC-BarcelonaTech), Jordi Girona, 1-3, Building D1, Campus Nord, 08034-Barcelona (Spain)

<sup>2</sup>AZTI, Herrera Kaia. Portualdea z/g. 20110-Pasaia-Gipuzkoa (Spain)  
E-mail contact: agustin.arcilla@upc.edu

and prevailing climates, with marked variations between Cantabrian and Mediterranean conditions

Coastal responses, such as structural damages, can be linked to operational or survival conditions, representing functional or resistant failure modes and their corresponding tipping points. Ecosystem responses can be linked to erosion, flooding or water quality degradation, associated to both operational (e.g. background erosion) and survival (e.g. impulsive beach breaching) conditions.

## Results and discussion

The analysis of wave time series shows how uncertainty increases with storm energy level and depends on the selected variable. Nevertheless, this uncertainty can be decreased by propagation effects (Figure 1), raising the threshold to define wave storms or by applying conditional statistics, where Bayesian extreme wave height distributions present lower error bars for the upper distribution tail (Figure 2). These uncertainties also depend on the selected variable, illustrated in the figures by significant wave height and mean wave period (Figure 1), where the latter variable features a higher dispersion (Figure 2).

The resulting risks for coastal systems will increase due to the expected structural and ecosystem degradation, until a threshold is reached. This increase of risk levels can be bounded by a bespoke predictive maintenance (Figure 3) programme, where proactive action is taken whenever risk levels approach some co-designed threshold. Such a predictive maintenance will therefore result in shared benefits for coastal environments and the socio-economic activities they support. Predictive maintenance programmes should also address the interaction between coastal dynamics and infrastructures, with important savings in costs such as, for instance, when siltation closes harbour mouths during energetic storms. These events could be easily prevented by a validated early warning system (Lorente et al, 2021) accompanied by a monitoring and predictive maintenance programme.

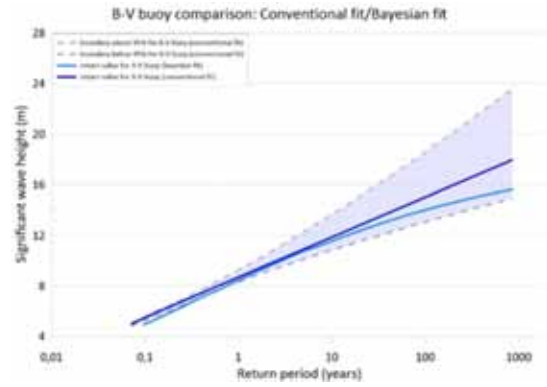


Figure 2. Comparison of conventional and Bayesian extreme distributions showing the reduction of wave heights and uncertainty intervals.

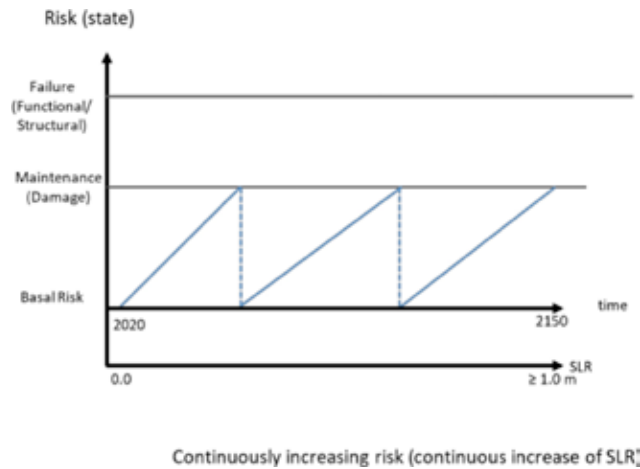


Figure 3. Schematic representation of how a predictive maintenance program can bound time-evolving risk levels.

## Conclusions

A smart combination of observations, modelling and maintenance can result in a significant reduction of coastal risks, both for infrastructures and natural habitats. Predictive maintenance, anticipating the expected degradation of

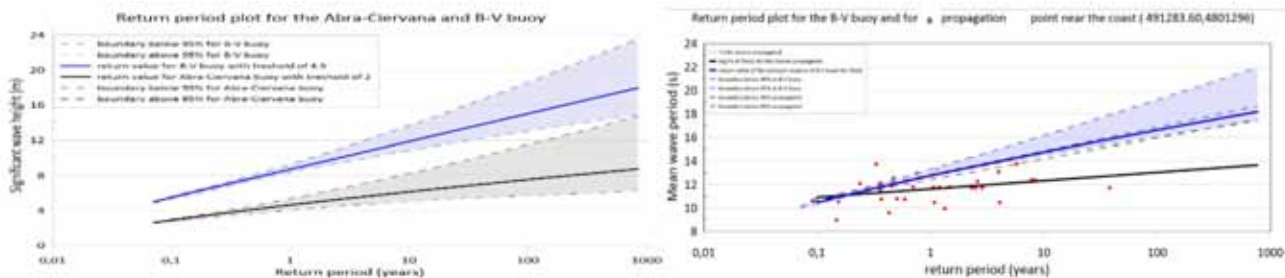


Figure 1. Comparison of 95% confidence intervals for extreme significant wave heights at two depths (left) and for mean wave period (right).



structures and habitats, should lead to a significant reduction of risks and undesired impacts, enhancing ecosystem service delivery, saving costs and reducing the carbon footprint to maintain assets and risk levels under increasing human and climatic pressures. This would, in turn, increase the funding and commitment to maintain these coastal structures and ecosystems in a good status.

The combination of a multi-disciplinary monitoring programme with a continuously validated early warning system that incorporates structural and ecosystem services, could efficiently support proactive decisions to reduce coastal hazards and vulnerabilities, while increasing coastal health. Such an approach, structured along time to tackle climatic variability and socioeconomic changes (e.g. new infrastructure, degradation of existing works or habitat losses), could produce a set of adaptation pathways with tipping points to maintain coastal ecosystems and infrastructures. The support of observations, together with harmonised metrics, to assess the performance of coastal systems, should increase the added value of monitoring and maintenance programmes, particularly urgent under present extremes (e.g. energetic storms) or the expected acceleration of climate change (e.g. for sea level rise).

## References

- Al-Najjar, B., 2007. The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business. *International Journal of Production Economics*, Volume 107, Issue 1, Pages 260-273.
- Chen LN, Toyoda J. Maintenance scheduling based on two level hierarchical structure to equalize incremental risk. *IEEE Trans Power Syst* 1990;5(4):1510–61.
- Coanda, P., Avram, M. and Constantin, V., 2020. A state of the art of predictive maintenance technique. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 997.
- Dey PM. A risk-based model for inspection and maintenance of cross-country petroleum pipeline. *J Qual Maint Eng* 2001;7(1):25–41.
- de Pater, I., Mitici, M., 2021, Predictive maintenance for multi-component systems of repairables with Remaining-Useful-Life prognostics and a limited stock of spare components, *Reliability Engineering & System Safety*, vol 214, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107761>.
- Hermans, L.M., Slinger, J.H., Cunningham, S.W. 2013. The use of monitoring information in policy-oriented learning: Insights from two cases in coastal management. *Environmental Science & Policy*, Volume 29, Pages 24-36.
- Kong JS, Frangopol DM. Cost-reliability interaction in life-cycle cost optimization of deteriorating structures. *J Struct Eng, ASCE* 2004;130(11):1704–12.
- Lorente, P., Lin, Y., Garcia Leon, M., Reyes, E., Fernandes, M., Garcia Sotillo, M., Espino, M., Ruiz, M.I., Gracia, V., Perez, S., Aznar, R., Alonso, A., Alvarez Fanjul, E., 2021, On the Performance of High Frequency Radar in the Western Mediterranean During the Record-Breaking Storm Gloria, *Front. Mar. Sci.*, 10, Sec. Coastal Ocean Processes, <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.645762>
- Okasha NM, Frangopol SM. Lifetime-oriented multi-objective optimization of structural maintenance considering system reliability, redundancy and life-cycle cost using GA. *Struct Saf* 2009;31:460–74.
- Orcesi AD, Frangopol DM, Kim S. Optimization of bridge maintenance strategies based on multiple limit states and monitoring. *Eng Struct* 2010;32:627–40.
- Ran, Y., Zhou, X., Lin, P., Wen, Y., Deng, R., 2019, A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches, *Electr Eng and Systems Science*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.07383>
- Sakib, N. and Wuest, T. 2018. Challenges and Opportunities of Condition-based Predictive Maintenance: A Review. *Procedia CIRP*, Volume 78, Pages 267-272.
- Sanchez-Arcilla, A., Staneva, J., Cavaleri, L., Badger, M., Bidlot, J.R., Sorensen, J.V., Hansen, L.B., Martin, A., Saulter, A., Espino, M., Miglietta, M.M., Mestres, M., Bonaldo, D., Pezzutto, P., Schulz-Stellenfleth, J., Wiese, A., Larsen, X.G., Carniel, S., Bolaños, R., Abdalla, S., Tiesi, A. 2021. CMEMS-Based coastal Analyses: Conditioning, Coupling and Limits for Applications. *Front. Mar. Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.604741>.
- Sánchez-Arcilla, A., Cáceres, I., Le Roux, X., Hinkel, J., Schuerch, M., Nicholls, R.J., Otero, M.M. Staneva, J., de Vries, M., Pernice, U., Briere, Ch., Caiola, N., Gracia, V., Ibáñez, C. and Torresan, S. 2022. Barriers and enablers for upscaling coastal restoration. *Nature Based Solutions* (<https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100032>).
- Speijker, L.J.P., J. M. van Noortwijk, M. Kok, and R. M. Cooke, "Optimal maintenance decisions for dikes," *Probability in Engineering and Informational Sciences*, vol. 14, pp. 101–121, 2000.
- Strauss A, Frangopol DM, Kim S. Use of monitoring extreme data for the performance prediction of structures: Bayesian updating. *Eng Struct* 2008;30:3654–66.
- Yang SI, Frangopol DM, Neves LC. Service life prediction of structural system using lifetime function with emphasis on bridges. *Reliab Eng Syst Saf* 2004;86:39–51.
- Yang SI, Frangopol DM, Kawakami Y, Neves LC. The use of lifetime functions in the optimization of interventions on existing bridges considering maintenance and failure costs. *Eng Syst Saf* 2006;91:698–705
- Yuan, Y., Jiang, X. and Liu, X. 2013. Predictive maintenance of shield tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 38, Pages 69-86.

## Acknowledgements

This project has received funding from the MCIN / AEI /10.13039/501100011033 and from the "Next Generation EU"/PRTR", with contract number PLEC2021-007810 (PI-BREAK project). It has also benefitted from the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101037097 (REST-COAST project).

# Proyecto de refuerzo del dique de abrigo del puerto de Ondarroa

**Urrutxua Miguel, Nestor<sup>1</sup>, Rezabal Arocena, Saioa<sup>2</sup>, Zugasti Bernardo, Borja<sup>2</sup>, Garcia Morales, Alberto<sup>1</sup>, Ramos Gómez, Nerea<sup>1</sup>, Orts Egío, José Luis<sup>3</sup>, Negro Valdecantos, Vicente<sup>3</sup>**

**Palabras clave:** Refuerzo, dique, bloques, oleaje, residuo, valorización.

## Introducción

En la actualidad el dique de abrigo de Ondarroa está conformado por un primer tramo recto de 166 m de longitud paralelo a la alineación de la costa protegido tras las obras de emergencia del año 2016 por bloques de 20 t, y un segundo tramo, también recto de 145 m de longitud construido en sentido perpendicular a la costa y protegido con bloques de hormigón de 40 t. Para un total de 311 m de infraestructura de abrigo con una cota de coronación de +13,00 en el primer tramo (+14,50 desde el refuerzo del año 2017) y +14,00 en el segundo tramo. El primer tramo se podría catalogar como un dique de estructura mixta, mientras que el segundo es un dique en talud con espaldón, siendo su profundidad máxima de 12,00 m respecto al Cero del Puerto.



**Figura 1.** Vista general del puerto de Ondarroa. Fuente: TYPESA (2021).

En este primer tramo con tipología de dique mixto, cuyo espaldón tras el refuerzo corona a la cota +14,50 m, se producen unos rebases muy significativos derivados de los grandes temporales, acentuados tras el año 2014 y de las situaciones de emergencia climática que se están viviendo, agravados por la pérdida continuada de bloques, la existencia de un cañón en la batimetría, un farallón en el quiebro de ambas alineaciones y un oleaje peraltado por los bajos rocosos que afecta a las instalaciones portuarias situadas en el trasdós del dique.

El Gobierno Vasco encargó en el año 2021 el Proyecto de

<sup>1</sup> Técnica y Proyectos, S.A., TYPESA, Barrio Peruri, 33 Planta 2 48940 Leioa

<sup>2</sup> Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos, Gobierno Vasco, Donostia-San Sebastián, 1 01010 Vitoria-Gasteiz

<sup>3</sup> ECOREL – UPM, Laboratorio de Puertos ETSICCP Madrid  
E-mail: murrutxua@typsa.es

refuerzo del dique de abrigo del puerto de Ondarroa donde se contemplaba además de los refuerzos de los taludes, la minimización del rebase dentro de los límites admisibles tanto de sostenibilidad y ambientales como de impacto visual.



**Figura 2.** Rebase sobre el tramo 1 del dique de abrigo. Fuente: Gobierno Vasco (2014).



**Figura 3.** Efecto de los bajos rocosos en el rebase. Fuente: TYPESA (2021).

## Redacción del proyecto

Para conocer con exactitud el estado actual del dique y el comportamiento de la solución proyectada se realizó un ensayo en modelo físico 3D en ECOREL (Environment, Coast and Ocean Research Laboratory Universidad Politécnica de Madrid).

Un aspecto crucial en este proyecto es la compleja batimetría sobre la que se asienta el dique. Pronto se comprendió que la fiabilidad del ensayo 3D dependía en gran manera de una fiel reproducción de la misma en el modelo; los técnicos del Laboratorio lograron realizarlo con gran detalle y, en sí misma, constituye un elemento diferenciador.



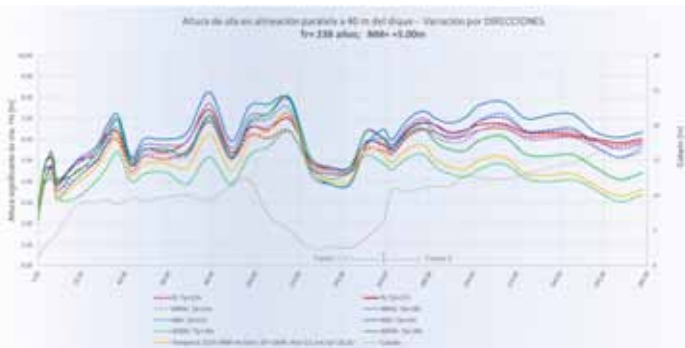
**Figura 4.** Reproducción de la compleja batimetría en el modelo físico.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la precaria situación de estabilidad en la que se encontraba principalmente el Tramo 1, así como los importantes rebases a lo largo del dique. En consecuencia, se planteó un aumento de la cota del espaldón y la colocación de bloques en el manto principal aumentando la cota de coronación de la berma. Al igual que el refuerzo del dique de abrigo del puerto de Bermeo, y continuando con la política de sostenibilidad del Gobierno Vasco, se ha utilizado hormigón de alta densidad con el empleo de áridos siderúrgicos para el diseño de los bloques de protección del manto principal del dique. Con esta medida se pone en valor un residuo (árido siderúrgico proveniente de la valorización de las escorias negras de horno eléctrico en sustitución del árido calizo), proyectándose bloques de menor peso para un mismo Nod (índice de averías).



**Figura 5.** Ensayos en modelo físico en ECOREL, UPM. Fuente: TYPSA (2021).

A partir del análisis del clima marítimo y de la propagación del oleaje, los datos del oleaje de cálculo alcanzan para la dirección más desfavorable en aguas profundas (NW) alturas de ola significativa de 8,26 m en Tramo 1 y 7,80 m en Tramo 2 y periodo de pico de 19 segundos. Estas alturas de ola se obtienen considerando un nivel del mar de diseño a la cota +5,00 m, teniendo en cuenta el efecto de subida del nivel del mar por efecto del cambio climático de 10 cm durante el periodo de vida útil de la obra de 25 años.

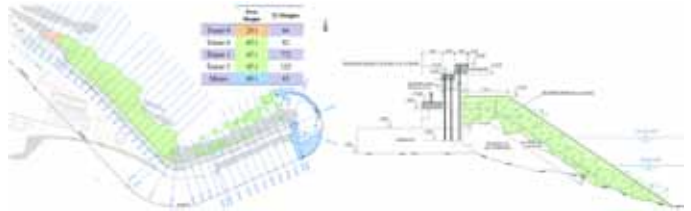


**Figura 6.** Valores del oleaje de diseño a lo largo de las dos alineaciones del dique para diferentes oleajes en aguas profundas.

El proyecto contempla la colocación de bloques de 45 t con densidad 2,75 t/m<sup>3</sup> en el tronco del dique, tanto en el Tramo 1 como en el Tramo 2, y la colocación de bloques de 60 t en el morro

también de densidad 2,75 t/m<sup>3</sup>. Para la colocación de los bloques será necesario el empleo de una grúa de 600 t de capacidad, siendo necesario el empleo de una cimbra o plataforma para los bloques que se coloquen desde el morro.

Para reducir el rebase se plantea el recrocado del espaldón en 1,50 m hasta la cota +16,00, mediante el cosido del espaldón con micropilotes de diámetro de perforación 150 mm. Se calcula una reducción muy significativa del rebase en un rango del 30-40%.



**Figura 7.** Situación proyectada. Fuente: TYPSA (2021).

## Conclusiones

Es evidente que en los últimos años los episodios de eventos extremos relacionados con el oleaje y otros fenómenos meteorológicos debidos al cambio climático están siendo cada vez más frecuentes. En la costa cantábrica, el año 2014 marcó un punto de inflexión al registrarse una serie de temporales cuya energía y capacidad destructora en las infraestructuras portuarias y costeras se dejó notar a lo largo de todo el Cantábrico, ya que a las elevadas alturas de ola registradas se unieron unas condiciones de mareas vivas, altos periodos del oleaje y duración elevada.

La necesidad de preparar las infraestructuras frente a estos episodios, unidos a la política de mantenimiento y refuerzo de las infraestructuras portuarias competencia del Gobierno Vasco, a través de la Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos, han dado lugar a importantes obras de refuerzo de los principales diques de abrigo del País Vasco. Así, se han emprendido en los últimos años los proyectos de refuerzo de diques de abrigo de su competencia: Bermeo, Ondarroa, Orío, Zumaia, Getaria y Hondarribia. De entre todas las actuaciones realizadas, en este artículo se ha descrito el proyecto del dique de abrigo del puerto de Ondarroa.

Es un buen referente de estructuras recientemente dañadas y que han precisado de estudios específicos para el diseño de las soluciones de reparación y refuerzo, incluyendo estudios en modelo físico en 3D para su optimización. Estos modelos, que a veces se piensan como exclusivos de actuaciones más grandes, cobran una especial relevancia también en obras de tamaño pequeño o medio, donde los efectos tridimensionales afectan prácticamente a toda la estructura.

# Uso del modelo físico y numérico para la mitigación del rebase, aplicación particular en la Segunda Playa del Sardinero

**Martin-Hidalgo, Melva<sup>1</sup>, García Oliva, Míriam<sup>1</sup>, Sánchez-González, José Francisco<sup>1</sup>**

**Palabras clave :** rebase, modelo físico, SPH, subida del nivel del mar, inundación

## Introducción

Los muros de los paseos marítimos son una de las estructuras de protección más comunes utilizadas para separa el territorio urbanizado de la playa o el mar. Cuando el oleaje incide directamente sobre la estructura puede producirse el rebase, lo cual puede ocurrir con oleajes extremos con niveles del mar elevados o con oleajes menos energéticos coincidentes con niveles del mar extremos. Debido a la subida del nivel del mar por los efectos del Cambio Climático, este impacto será mayor y más frecuente, por lo que es necesario estimarlo y estudiar medidas para reducirlo.

El fenómeno del rebase está ampliamente estudiado en el ámbito portuario y gracias a herramientas como el Manual de Rebases (EuroTop 2018) y la red neuronal del proyecto CLASH para la mayoría de las geometrías es posible estimarlo. Sin embargo, estas herramientas no son aplicables en el caso de los paseos marítimos, al estar situados en zonas con muy poco calado o emergidas o en geometrías singulares. En estos casos la modelización numérica y los ensayos en modelo físico son necesarios para estudiar los rebases y aplicar medidas para reducirlos.

Como ejemplo de aplicación se presenta dos estudios de los Rebases en la Segunda Playa del Sardinero realizados en el Centro de Estudios y Costas del CEDEX. El primer estudio donde se analizó la eficacia del Proyecto de la DGCM “Corrección del efecto de erosión localizada en el extremo oeste de la Segunda playa del Sardinero, T.M. de Santander (Cantabria)” y que consta de tres espigones perpendiculares al Paseo Manuel García Lago, se detectaron un aumento de los rebases en el entorno del espigón más exterior. Se plantearon varias alternativas al Proyecto para reducir los rebases, sin embargo, la alternativa que resultó más efectiva y que consiste en aumentar el francobordo del Paseo no fue aceptada por razones paisajísticas. En el segundo estudio se analizaron otras alternativas con un modelo físico a escala mayor que el anterior estudio, y también con modelo numérico con el método SPH (SPHERIMENTAL). En este segundo estudio la alternativa que mejor funcionó consiste en reducir la cota del espigón más exterior e incorporar un cuarto espigón más próximo al Mirador y coronado a la +0.14 m respecto al nivel medio local.

*1CEDEX, Antonio Lopez n 31, Madrid, Spain  
E-mail: melva.martin@cedex.es*

## Problemática

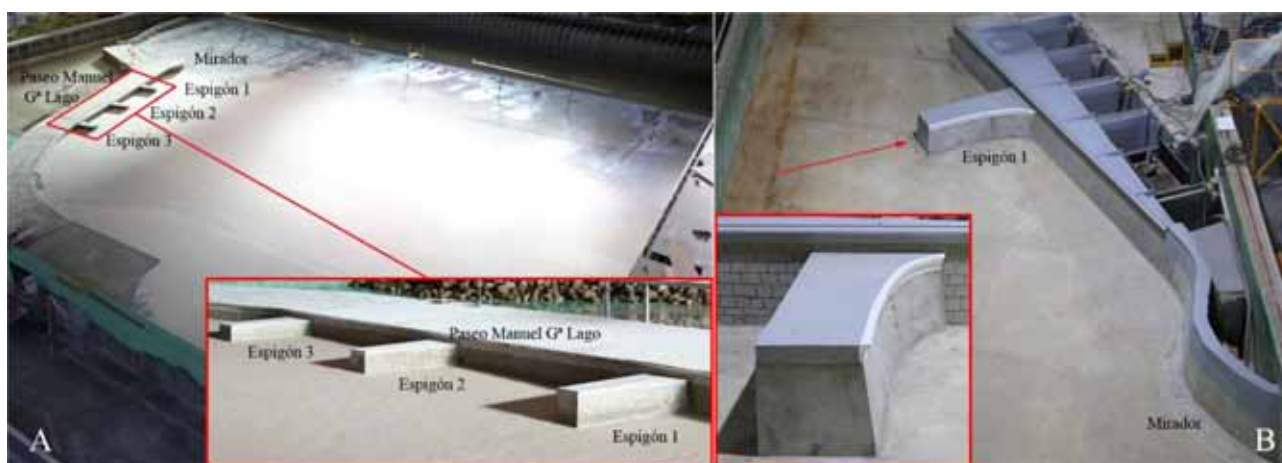
El primer estudio que se presenta y que sirve de ejemplo de estudio de rebases con modelización física, tenía como objeto analizar las obras proyectadas para corregir la erosión en el extremo norte de la Segunda playa de El Sardinero, Santander. El Proyecto propone contruir tres espigones de 15 metros de longitud perpendiculares al muro del Paseo Manuel García Lago. Sin embargo en el desarrollo de los ensayos se comprobó un aumento de los rebases especialmente en el espigón más exterior, aspecto que fue analizado en una segunda fase del estudio, ver Figura 1. A: Modelo físico a escala 1/20 de la situación de proyecto y el detalle de los espigones perpendiculares al Paseo G<sup>a</sup> Lago. B: Modelo físico a escala 1/10 de la situación de proyecto y el detalle del espigón 1. B). Por ello se consideró necesario modificar el Proyecto para reducir este efecto proponiendo varias alternativas. El estudio de los rebases se realizó mediante el ensayo en modelo físico a escala 1/20, comparando los resultados de rebase de la situación actual, sin espigones, la situación proyectada y las diferentes soluciones propuestas.

Dado que la solución propuesta en el primer estudio, que consiste en aumentar el francobordo del paseo, no se consideró aceptable por modificar la estética del Paseo, se realizó un segundo estudio de rebases, para proponer otras alternativas que sin modificar el efecto de los espigones sobre la playa ( ya que estos rompen la onda corredera y controlan la erosión) reduzcan el aumento de los rebases que se producen en el espigón más exterior. En este estudio se ensayó en modelo físico a una escala mayor 1/10 la zona del Paseo más proxima al espigón más exterior, y también se modelizó numericamente, permitiendo aumentar el área de estudio y analizar más alternativas que las ensayadas en el modelo físico.

## Descripción de las modelizaciones

### Geometría de los modelos

El primer modelo se ensayó en el tanque de Oleaje Multidireccional del Laboratorio de Experimentación Marítima del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. El sistema de generación y las dimensiones, permite reproducir correctamente los oleajes seleccionados para el ensayo, así como albergar la zona de estudio con una amplitud suficiente a 1/20 de escala., ver Figura 1. A: Modelo físico a escala 1/20 de la situación de proyecto y el detalle de los espigones perpendiculares al Paseo G<sup>a</sup> Lago. B: Modelo físico a escala 1/10 de la situación de proyecto y el detalle del espigón 1. A). La orientación de las palas de generación se



**Figura 1.** A: Modelo físico a escala 1/20 de la situación de proyecto y el detalle de los espigones perpendiculares al Paseo Gº Lago. B: Modelo físico a escala 1/10 de la situación de proyecto y el detalle del espigón 1.

estableció en N67.5E, reproduciendo el frente de oleaje curvo que llega a la zona. Parte del modelo se contruyó con fondo móvil, sin embargo en la fase de estudio de rebase se hormigonó la zona del Paseo para poder reproducir las mismas condiciones de oleaje en todas las situaciones.

El segundo modelo se ensayó en el Canal de oleaje irregular de 6.5 m de ancho y 45 m de longitud del Laboratorio de Experimentación Marítima del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. Se contruyó el modelo físico a escala 1/10, en una pared del canal, de manera que quedara suficientemente separada de la otra pared. La zona de estudio que se reprodujo fue parte de Mirador y del Paseo Gº Lago, en el entorno del Espigón 1, que es donde se produce el aumento de los rebases, ver Figura 1 A). En este caso la orientación de la pala de generación fue de N75.5E, definiéndose gracias a la modelización numérica con el método SPH (SPHERIMENTAL). Además de para definir la orientación de la pala, la modelización numérica sirvió para probar primero las diferentes soluciones y además se modelizó una zona de estudio mayor incluyendo el espigón 2.

Para medir el rebase se colocaron 5 depósitos en el entorno del Espigón 1. Tenían 10 m de longitud de Paseo en escala de prototipo, situados en ambos modelos en la misma posición. En el primer estudio se obtuvo la tasa de rebase midiendo el volumen rebasado, y en el segundo estudio además de la tasa de rebase se obtuvo el volumen del rebase máximo a partir de la serie temporal de volumen rebasado.

### Soluciones propuestas

En el primer estudio de rebases se propusieron tres alternativas al Proyecto. En la primera se propuso la colocación de un talud de escollera adosado a los espigones, pero esta solución no resultó efectiva. La segunda propuesta de mejora consistió en la colocación, en la zona próxima al Espigón 1, de un muro o espaldón de 80 cm de altura y de 30 m de longitud en el Paseo. Esta alternativa mejoró la situación de Proyecto, obteniendo tasas de rebase incluso por debajo de los valores registrados en la Situación actual. Tras los resultados obtenidos en ésta, se planteó

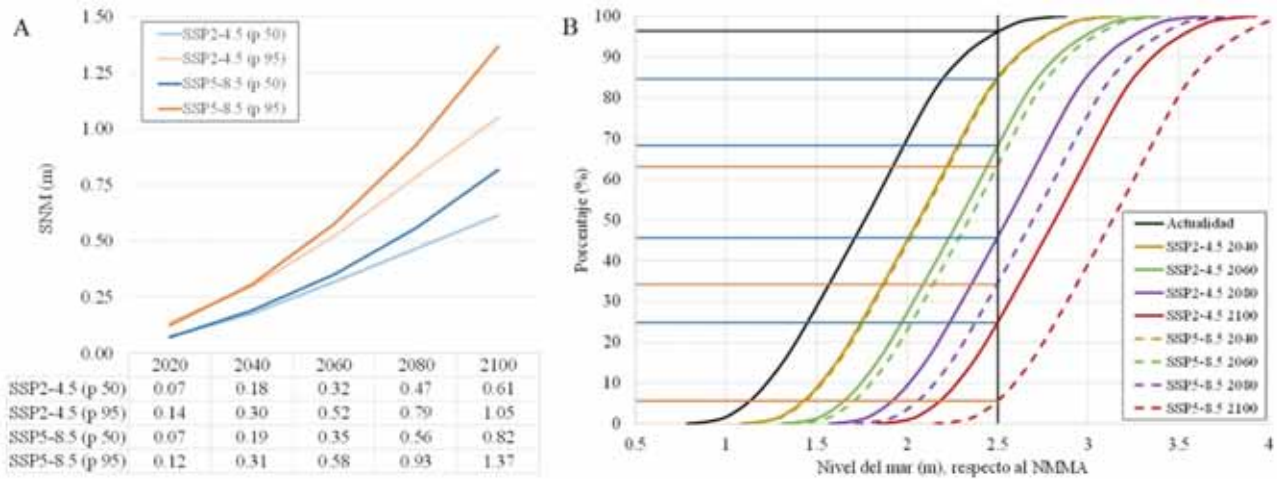
una tercera alternativa incrementando la altura del muro 20 cm.

En el segundo estudio de rebases se ensayaron siete alternativas al Proyecto. En las cuatro primeras alternativas se realizaron modificaciones al botaolas del espigón, sin obtener buenos resultados. En la quinta y sexta alternativa se redujo la cota de coronación del espigón 1, mejorando los resultados en la sexta, donde se redujo la cota de coronación 89 cm, obteniendo menores rebases que en la situación de Proyecto. Por último se propuso una séptima alternativa que consiste, en la misma reducción de la cota de coronación del espigón 1 propuesta en la sexta alternativa añadiendo un nuevo espigón con la misma geometría en planta que los demás espigones proyectados, situado más próximo al Mirador y coronado a la +0.55 m respecto al nivel medio del mar en Alicante, en adelante NMMA, o +0.14 m respecto al nivel medio local.

### Condiciones climáticas

El rebase depende además de la geometría, que en este caso es singular y no está contemplada por ninguna formulación existente, del francobordo y de la altura de ola en la zona. Por este motivo se realizaron una serie de ensayos con alturas de ola crecientes hasta alcanzar la altura de ola significante solo superada 12h al año ( $H_{s12,0} = 7.5 \text{ m}$ ,  $T_p = 16\text{s}$ ).

Para analizar el efecto del francobordo se consideraron varios niveles del mar, ver Figura 2.. A: Proyecciones de la subida del nivel del mar para los percentiles 50 y 95 de dos escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, correspondientes a un escenario intermedio de emisiones medias y a un escenario de Desarrollo basado en combustibles fósiles con emisiones altas. B: Percentiles de pleamares de Santander (1992 a 2013) y de los escenarios SSP2-4.5 y SSP-8.5 en su percentil 95 para los años horizonte 2040,2060, 2080 y 2100., un nivel del mar de 2.5 m sobre el NMMA que actualmente se considera poco frecuente, (solo superado el 3.6 % del tiempo) y dos niveles de pleamar más frecuentes, 2.25 m y de 2.00 m (superado el 13 y 29.6 % del tiempo respetivamente). Sin embargo estos niveles del mar correspondientes a pleamares



**Figura 2.** A: Proyecciones de la subida del nivel del mar para los percentiles 50 y 95 de dos escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, correspondientes a un escenario intermedio de emisiones medias y a un escenario de Desarrollo basado en combustibles fósiles con emisiones altas. B: Percentiles de pleamares de Santander (1992 a 2013) y de los escenarios SSP2-4.5 y SSP-8.5 en su percentil 95 para los años horizonte 2040,2060, 2080 y 2100.

en Santander, con la subida esperada del Nivel del mar pasarán a ser mucho más frecuentes, de hecho el nivel de 2.5 m pasará a superarse un 15% del tiempo en 2040 para ambos escenarios contemplados (SSP2-4.5 y SSP5-8.5, según AEMET y OECC. (2021)), más del 30% en 2040, para 2060 las diferencias entre el escenario más optimista y el pesimista será mayor, siendo superado en más de un 54% y 65 % respetivamente, siendo esta diferencia todavía más acusada en 2100, siendo superado este nivel en más de un 75% para el escenario SSP2-4.5 y del 95% en el caso del escenario SSP5-8.5. Tal y como se indicaba en la introducción los eventos que actualmente se consideran extremos y poco probables pasarán a ser frecuentes a corto-medio plazo (2060).

## Resultados y discusión

En ambos estudios se observa un incremento de los rebases como consecuencia de las obras proyectadas. En la situación actual el mayor rebase se produce en los depósitos más próximos al Mirador, y decrecen con la distancia al mismo, ya que el oleaje al estar limitado por el fondo rompe y pierde altura. Sin embargo en la situación de proyecto los depósitos situados frente al espigón, sufren un aumento brusco del rebase, obteniendo rebases del orden de magnitud de los primeros depósitos, situados a mayor profundidad.

En el primer estudio, con la alternativa al Proyecto que consiste en colocar un espaldón de 80 cm y 30 m de longitud en el entorno del Espigón 1, se reduce la tasa de rebase por debajo de los valores registrados en la situación de proyecto e incluso por debajo de la situación actual. En la tercera alternativa, donde se aumenta la altura del muro en 20 cm los resultados no fueron muy diferentes del anterior, si bien en el entorno del espigón sí se redujeron algo más las tasas de rebase.

En el segundo estudio, solo se disminuyó el rebase cuando se redujo la cota de coronación del espigón 1, siendo la sexta alternativa, con el espigón coronado a +2.36 m respecto al NMMA,

(reducción de 89 cm) la que mejor resultados dio, obteniendo valores de rebase por debajo de los de la situación de proyecto pero por encima de la situación actual. La última alternativa estudiada consiste en reducir la cota de coronación del espigón 1, como en la alternativa anterior, y añadir un nuevo espigón, coronado a la +0.55 m respecto al NMMA, y más próximo al Mirador. Con esta última solución se obtiene una reducción del rebase por debajo de los límites admisibles según el EuroTop 2018.

## Conclusiones

En ambos estudios se ha obtenido alternativas a la solución de proyecto que mejoran su comportamiento respecto a los rebases, de hecho los resultados obtenidos con la alternativa del segundo estudio que consiste en reducir la cota del espigón y colocar un nuevo espigón son similares a los obtenidos en el primer estudio con la colocación de un espaldón de 80 cm de altura y 30 m de longitud en el Paseo Manuel García Lago. En el primer estudio la reducción en el rebase se produce al aumentar el francobordo del Paseo, en el caso del segundo estudio la alternativa que reduce más el rebase se produce al colocar el cuarto espigón que produce la rotura del oleaje por fondo, limitando la altura de ola. La relación entre el aumento del francobordo o la disminución de la altura del ola con la disminución del rebase se refleja en todas las formulaciones del rebase, sin embargo al ser una geometría singular no hay ninguna formulación que permita estimarlo y hay que recurrir a otro tipo de herramientas. Gracias a la modelización física en ambos estudios y además a la modelización numérica en el segundo estudio, se ha podido analizar el rebase para esta geometría. El estudio del rebase se ha realizado considerando unas condiciones climáticas poco habituales en la actualidad (oleajes más o menos energéticos, con niveles del mar elevados y poco frecuentes). Sin embargo estas condiciones climáticas pasarán a ser cada vez más frecuentes, por lo que el estudio del rebase con todas las herramientas existentes será necesario para obtener alternativas para mitigarlo.

## Referencias

- AEMET y OECC. (2021). Cambio climático: Bases Físicas. Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo I. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.
- EurOtop, 2018. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)

## Reconocimientos

Los autores agradecen a la Dirección General de la Costa y el Mar del Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico, por los dos trabajos en el marco de cooperación de la Encomienda de Servicio Técnico al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) para la investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación en materias competencia de la Dirección General (2017-2020).

# La monitorización del riesgo marítimo-costero en Euskalmet

**Gaztelumendi, Santiago<sup>1,2</sup>, Egaña, Joseba<sup>1,2</sup>, Ruiz, Raul<sup>1,2</sup>, Diaz de Arcaya, Aurelio<sup>1,2</sup>, Moreno, Javier<sup>1,2</sup>, Liria, Pedro<sup>3</sup>, González, Manuel<sup>3</sup>, Aranda, José Antonio<sup>1,4</sup>**

**Palabras clave:** monitorización, vigilancia, riesgo, peligro, impacto, marítimo-costero

## Introducción

El Estatuto de Autonomía del País Vasco, aprobado por Ley Orgánica 3/1979, en su artículo 10.32, establece como competencia exclusiva de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) el Servicio Meteorológico. Dicha competencia se concreta mediante el Decreto 158/1990 de creación del Servicio Vasco de Meteorología y el Decreto 311/2003 que da forma a la Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet). En este último se recoge que, en el ámbito de competencias de la administración vasca, corresponde a Euskalmet la ejecución operativa de las actividades meteorológicas de titularidad de la CAPV, incluyéndose “la vigilancia integrada y permanente del tiempo atmosférico y de subáreas derivadas tales como la oceanometeorología”.

Euskalmet está actualmente adscrita a la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología (DAEM) del Departamento de Seguridad de Gobierno Vasco. La DAEM tiene entre sus responsabilidades el seguimiento de situaciones de potencial adversidad y la emisión de avisos de diferente nivel de riesgo (avisos, alertas, alarmas) de acuerdo al procedimiento establecido de predicción, vigilancia y actuación ante fenómenos meteorológicos adversos (GV 2018). Dicho procedimiento, que guía las actuaciones de Euskalmet, recoge tres tipologías de adversidad específicas para el área marítimo-costera; el impacto de galernas en la franja costera; el impacto del estado de la mar sobre la navegación y el impacto del oleaje sobre la franja litoral (Gaztelumendi et al., 2016a). Los sistemas de monitorización y vigilancia continua se orientan hacia esas tipologías de riesgo, sin dejar de lado otros riesgos de carácter más meteorológicos que también afectan al área litoral (baja visibilidad, vientos extremos, etc.).

## Materiales y métodos

En Euskalmet, de forma continua, se desempeñan diferentes tareas de vigilancia sobre la situación hidro-océano-

meteorológica actual que afecta a la CAPV y la que pueda afectarle en el muy corto plazo. Clave en ese proceso de vigilancia operativa y nowcasting es la adecuada explotación de la información recibida en tiempo real por los diferentes sistemas de adquisición de datos. La vigilancia hidro-océano-meteorológica se lleva a cabo de forma continua los 365 días del año y cobra especial relevancia durante los situaciones de potencial impacto (GV 2018, Egaña et al., 2014, 2020, Liria et al., 2014, Gaztelumendi et al., 2016b, 2016c). La monitorización y seguimiento del riesgo, en Euskalmet, se sustenta en diferentes sistemas de alerta temprana y ayuda a la toma de decisiones que están disponibles en la sala de vigilancia y predicción de Euskalmet (Gaztelumendi et al., 2006a, 2006b, 2010).

En esta contribución repasamos los diferentes sistemas de monitorización en el ámbito del riesgo marítimo-costero que hemos implementado, a lo largo de estos últimos años, e incorporado en los sistemas de vigilancia de Euskalmet. Es importante reseñar que, la monitorización en tiempo real es una parte del sistema de alerta temprana de riesgo marítimo costero vasco, en el que se incluyen otros componentes, como diferentes modelos que nos proporcionan capacidad predictiva (Gaztelumendi et al., 2020).

Presentamos una descripción de los sistemas desplegados para el seguimiento del riesgo marítimo-costero en tiempo real. Dichos sistemas nos permiten transformar el flujo de datos en información de valor orientada a la monitorización del riesgo de galerna, al de navegación o al de impacto en costa. En el caso del medio marino y costero, los datos que alimentan actualmente los sistemas de monitorización y vigilancia provienen, fundamentalmente, de la red océano-meteorológica del País Vasco ([www.euskoos.eus](http://www.euskoos.eus), [www.euskalmet.eus](http://www.euskalmet.eus)). Así mismo, presentamos algunas conclusiones en relación a la implementación, la experiencia de uso operativo durante el seguimiento de episodios de riesgo marítimo-costero en los últimos años y su posible evolución en el medio y largo plazo.

## Resultados y discusión

La estrategia de monitorización y vigilancia continua de Euskalmet tiene tres enfoques diferenciados con el objetivo de explotar convenientemente toda la información disponible. Un enfoque orientado al chequeo automático de diferentes reglas de potencial adversidad sobre los datos observacionales (EMER), un enfoque basado en la representación de datos mediante diferentes elementos gráficos y mapas que se monitorizan automáticamente en diferentes soportes de visualización (RT-

<sup>1</sup>Euskalmet, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain

<sup>2</sup>Tecnalia, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain

<sup>3</sup>AZTI, Pasaia, Gipuzkoa, Spain

<sup>4</sup>Basque Government, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain

E-mail: [santiago.gaztelumendi@tecnalia.com](mailto:santiago.gaztelumendi@tecnalia.com)



MON) y un enfoque orientado a la consulta de datos complejos y de detalle basado en diferentes productos disponibles en tiempo cuasi-real en soporte web (INTRANET). Esta triple aproximación nos permite la monitorización y seguimiento operativo, dando soporte a las labores de vigilancia continua (365x24x7) que tenemos encomendadas. Dichos sistemas posibilitan el tratamiento y la explotación óptima en tiempo cuasi-real de las distintas fuentes de información desplegadas en el territorio y, son parte esencial en la ayuda a la toma de decisiones durante los eventos adversos. En relación al riesgo marítimo-costero las fuentes de datos observacionales fundamentales son las estructuras costeras, boyas, estaciones meteorológicas, mareógrafos, radares y videocámaras (Gaztelumendi et al., 2022a, Liria et al., 2021)

EMER es una herramienta de desarrollo propio implementada para la ingesta masiva de datos de todas las estaciones y sensores disponibles, permite procesar esos datos en tiempo real y avisar, en caso de que superen ciertas reglas establecidas, mediante avisos visuales y sonoros; las señales acústicas tienen tres niveles de intensidad diferentes, dependiendo del nivel del aviso. Esta herramienta permite incorporar información de estaciones (series de datos temporales) así como de otro tipo (imágenes radar, etc.). Dispone, a su vez, de una funcionalidad para filtrar/ordenar los datos de todas las fuentes para discriminar mejor la información que se muestra en pantalla y está desarrollada con Visual Studio en C# utilizando el Framework .NET. Además, para la explotación de los datos se apoya en una base de datos MySQL. Los datos brutos se alojan en un repositorio SAMBA ubicado en Gobierno Vasco, al cual se accede a través de una red dedicada. Esta herramienta ha sido desarrollada para un uso ininterrumpido 365x24x7, el núcleo principal del proceso hace un barrido por todas las estaciones y sensores cada minuto, por lo que es crucial la gestión optimizada de la memoria del equipo.

RTMON es una aplicación específicamente desarrollada para la monitorización mediante composiciones de imágenes, textos, PDFs, WebCams, mapas interactivos y otros recursos gráficos. Esta herramienta posibilita la vigilancia en tiempo real mediante la visualización de diferentes elementos en pantalla, permite el diseño, generación, administración y visualización de información en tiempo real, sincroniza, a criterio de usuario, los diferentes elementos cargados en pantalla, reproduciendo en bucle un clip de la situación de las últimas horas observadas según las necesidades de vigilancia. RTMON ha sido desarrollada utilizando metodología web, utilizando para el Front-End jQuery, que permite la utilización de APIs como Highcharts para representación de gráficas y Openlayers para el uso de mapas interactivos, se emplea el servidor de mapas Geoserver donde se almacenan diferentes formatos de productos (NetCDFs, KMLs, etc.). La aplicación está alojada en un servidor específico que hace posible utilizarla en cualquier tipo de máquina (PCs, videowalls, Smartphones). En Euskalmet empleamos diferentes configuraciones (Gaztelumendi et al., 2006) orientadas a vigilancia de situaciones adversas incluyendo las de riesgo marítimo-costero. Actualmente, y de forma continua, está disponible en el panel de vigilancia,

un Video Wall conformado por 16 pantallas Mitsubishi VS-50XL20-50U.

La INTRANET es una de las herramientas más relevantes que apoya las tareas operativas de Euskalmet, especialmente en lo relativo al análisis, predicción y vigilancia. Esta herramienta es un punto clave de acceso a toda la información y productos de modelos y observaciones disponibles, imágenes, gráficos, tablas, mapas, textos generados automáticamente y otros productos de origen humano. Esta información está disponible para análisis, vigilancia, previsión, clima, investigación, validación, etc. En la intranet se ha incluido una sección específica para la consulta completa de información océano-meteorológica en tiempo real y diferido, para apoyar la vigilancia del tiempo severo y el análisis de eventos pasados. Dicha sección consta actualmente de tres apartados con amplia información de diferentes índices, modelos, vigilancia y validación. La INTRANET está desarrollada con metodología web utilizando HTML5 y CSS3 para el entorno visual, jQuery para los controles y PHP para el entorno del servidor y usa el plugin Openlayers y Geoserver para la gestión de capas en la vista de mapas, así como Highcharts para gráficos.

La monitorización a partir de las tres herramientas reseñadas, cubre las tres tipologías de adversidad en el ámbito del riesgo marítimo-costero, centrándose en cada caso en las variables más determinantes (GV, 2018). Para la tipología de galernas (Egaña 2003, Gaztelumendi et al., 2011) los parámetros clave a monitorizar son el viento en el litoral y el estado de la mar en las dos primeras millas, por lo que en su seguimiento se emplea información registrada tanto en la red terrestre, como en la marina (fundamentalmente viento, temperatura, humedad y presión). Para la tipología de navegación (Gaztelumendi et al., 2014) los parámetros clave que monitorizamos son el viento (escala Beaufort) y el estado de la mar, caracterizado por los parámetros de oleaje más relevantes: altura significativa, periodo pico y medio. Para la tipología de impacto en costa (Egaña et al., 2020), los parámetros clave a monitorizar son: el nivel del mar total (marea astronómica y meteorológica o residuo), parámetros de oleaje (principalmente la altura significativa, periodo pico y dirección media), los índices de rebase estimados (que tienen en cuenta el nivel del mar y los parámetros de oleaje) y las imágenes snap y stack de los sistemas de videometría (Gaztelumendi et al., 2022b)

Las herramientas están disponibles en la sala de vigilancia y predicción de Euskalmet y conforman el sistema de vigilancia y monitorización de situaciones severas por riesgo marítimo-costero de la CAPV que opera 365x24x7. En el caso de galerna, EMER emite señales acústicas y visuales en base a la intensificación y cambio brusco de dirección del viento junto con descenso de temperatura de forma automática; en RTMON existen diseños particulares que recogen los elementos más relevantes para su seguimiento y en la INTRANET están disponibles gráficos, mapas y tablas orientados hacia esa tipología de riesgo. En el caso de riesgo para la navegación, EMER, RTMON y la INTRANET incluyen pestañas y elementos gráficos específicos para el seguimiento del oleaje y el viento en los diferentes puntos de muestreo (Gaztelumendi

et al., 2022). En el caso de riesgo de impacto en costa, EMER proporciona información en tiempo real sobre superación de umbrales de rebase, RTMON permite visualizar los parámetros asociados al rebase estimado y registrado en tiempo real y la INTRANET contiene apartados específicos para la consulta de datos de boyas, estructuras, mareógrafos, rebases y sistema de videometría.

## Conclusiones

La implementación en Euskalmet de varias herramientas para el seguimiento y monitorización de eventos de riesgo marítimo-costero, ha seguido la misma filosofía general del resto de elementos y riesgos que se monitorizan en Euskalmet. No obstante, las peculiaridades de la instrumentación de la red océano-meteorológica, en relación a la cadencia de información, el formato de los datos, la disponibilidad, los flujos de información, etc., han supuesto un verdadero reto desde el punto de vista de su implementación e integración operativa. La estrategia, basada en tres enfoques diferenciados, soportados en tres herramientas de desarrollo propio (EMER, RTMON e INTRANET), nos permite disponer de un sistema operativo robusto y eficaz, a la vez que flexible, para la incorporación de mejoras y nuevos elementos.

Especialmente complejo, en tanto en cuanto se aleja de la visión clásica de monitorización de series temporales, ha sido la incorporación y automatización de procesos de vigilancia basados en la información del sistema de videometría. En este caso, la información para el seguimiento de impacto se basa en diferentes técnicas de Computer Vision aplicadas a las imágenes previamente tratadas. Las herramientas de monitorización, junto con el expertise humano, además de garantizar las tareas de vigilancia, posibilitan en buena medida el nowcasting (predicción a muy corto plazo) y la imprescindible validación en cuasi tiempo-real de los distintos algoritmos automáticos que pueden estar detectando falsos positivos, o no detectar el impacto real durante una situación concreta.

La experiencia de uso operativo durante episodios de riesgo marítimo-costero en estos últimos años confirma la importancia de mantener sistemas de monitorización en tiempo real orientados hacia tipologías de riesgo específico. Estos sistemas son un soporte esencial para el equipo humano encargado de la vigilancia operativa durante las 24 horas del día y 365 días al año. La automatización de ciertos procesos y la orientación práctica hacia la ayuda a la toma de decisiones, ha permitido la correcta actuación en el seguimiento de eventos de impacto. Cabe reseñar que durante el desarrollo de un evento de impacto la comunicación eficaz es un aspecto crucial (Gaztelumendi et al., 2016d) y, que el nivel de estrés en el equipo encargado del seguimiento puede ser elevado.

Actualmente, además de incluir información de las diferentes redes de observación (océano-meteo e hidro-meteo) y de teledecepción disponible (radares, satélite, etc.), se trabaja con información de otras fuentes relevantes en la CAPV (Puertos del Estado, Eumetsat, Copernicus, etc). Próximamente, el sistema

incorporará nueva información extraída de la videometría, la cual presenta un potencial importante en la vigilancia y monitorización del área litoral. Así mismo, explorarán las nuevas posibilidades que se presentan en el uso de información satelital (Gómez de Segura et al., 2021, 2022, Gaztelumendi et al., 2021) para la vigilancia y monitorización de situaciones de riesgo en el ámbito costero.

## Referencias

- GV. 2018. Protocolo de predicción, vigilancia y actuación ante fenómenos meteorológicos adversos. Procedimiento DAEM PE-005 V10. Departamento de seguridad. Gobierno Vasco. <https://www.euskadi.eus/protocolo-meteorologia-adversa/web01-a2larri/es/>
- Egaña, J. 2003. Las Galernas. Euskonews. <https://www.euskonews.eus/zbk/204/las-galernas/ar-0204001004C/>
- Egaña, J., Gaztelumendi, S., Hernandez, R. 2014 Analysis of 2014 winter patterns and its effects in Basque Country Coastal Area. 14th EMS Annual Meeting & 10th European Conference on Applied Climatology (ECAC) 06 – 10 Oct 2014 Prague, Czech Republic
- Egaña, J., Gaztelumendi, S. 2020. Caracterización océano-meteorológica de eventos adversos por riesgo marítimo-costero: impacto en costa en la CAV. Proceedings Uhinak 2020.
- Gaztelumendi S., Otxoa de Alda K., Egaña J., Gelpi I. R. 2006a. Visual Products for Surveillance in the Basque Meteorology Agency". 6th EMS & 6th ECAM. Ljubljana (Slovenia), 4-8 September. DOI: 10.13140/RG.2.2.23316.58242
- Gaztelumendi S., Otxoa de Alda K., Egaña J., Gelpi I. R. 2006b. Inclusion of Radar information in the surveillance panel of the Basque Meteorology Agency". Proceedings of the 4th ERAD. Barcelona (Spain), 18-22 September 2006, 352-355 pp.
- Gaztelumendi S., Otxoa de Alda K., Egaña J., Gelpi I. R. 2006a. Visual Products for Surveillance in the Basque Meteorology Agency". 6th EMS & 6th ECAM. Ljubljana (Slovenia), 4-8 September. DOI: 10.13140/RG.2.2.23316.58242
- Gaztelumendi S., Otxoa de Alda K., Hernández R., Egaña J., Gelpi I.R. 2010. Meteosat products for surveillance: the euskalmet case". Proceedings EUMETSAT Conference 2010, Córdoba, Spain.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Ruiz, M., Pierna, D. Otxoa de Alda, K. Gelpi, I.R.. 2011. An analysis of Cantabric coastal trapped disturbances. Proceedings 6th EuroGOOS Conference 2011. 4 - 6 October 2011. Sopot, Poland.
- Gaztelumendi S, Egaña J, Gelpi IR, Carreño S, Gonzalez M, Liria P, Rodriguez G, Epelde I, Rubio A, Aranda. JA 2014. Characterization of coastal-maritime severe events in Basque Country. Proceedings 7th EuroGOOS Conference. Lisboa. Portugal.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Liria, P., Gonzalez, M., Aranda, J. A., and Anitua, P. 2016a. The new Euskalmet coastal-maritime warning system, Adv. Sci. Res., 13, 91–96, <https://doi.org/10.5194/asr-13-91-2016>
- Gaztelumendi S. Egaña J., Liria P., Epelde I., González M., Aranda J.A., Anitua P. 2016b. Damages Analysis in Basque Coastal Area. ISOBAY 15 : XV International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay. Bilbao, 22 – 24 June, 2016.
- Gaztelumendi S. 1,2, Egaña J. 1,2, Liria P.3, González M., Aranda J.A. 2016c. Analysis of coastal impact in Basque Country. 16th EMS Annual Meeting 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC). 12–16 September 2016 , Trieste, Italy
- Gaztelumendi, S., Orbe, I., Salazar, O., Lopez, A., Aranda, J. A., and Anitua, P.:2016d. Delivery and communication of severe weather events in Basque Country: the Euskalmet case, Adv. Sci. Res., 13, 87–90, <https://doi.org/10.5194/asr-13-87-2016>.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I.R. Aranda, J.A. 2020. Los avisos/alertas/alarmas por riesgo marítimo-costero en la CAV. Revista de Investigación Marina, 2020, 27(1)| p 62-65.

- Gaztelumendi S., Gomez de Segura J.D., Gelpi, IR, Hernandez R., Egaña J., Otxoa de Alda, K. 2021. An analysis of new opportunities for operational meteorology in Basque Country based on MTG products and services. EUTMESAT Meteorological Satellite Conference 20-24 September 2021 Virtual Edition.
- Gaztelumendi, S., Liria, P., Egaña, J., del Campo, A., Gómez de Segura, J.D., Gonzalez, M., Aranda, J.A. 2022a. La red océano-meteorológica del País Vasco como soporte a actividades operativas de Euskalmet. Proceedings V Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK. Irun, Spain. 16-17 noviembre 2022
- Gaztelumendi, S., Liria, P., Diaz de Arcaya, A., Ruiz, R., Egaña, J., Moreno, J., Epelde, I., Picon, A., Echazarra, J., and Aranda, J. A.: 2022b. Videometry applied to impact weather characterization: coastal risk in Basque Country., EMS Annual Meeting 2022, Bonn, Germany, 5–9 Sep 2022, EMS2022-593, <https://doi.org/10.5194/ems2022-593>.
- Gómez de Segura J.D., Gaztelumendi S., Diaz de Arcaya A., Egaña J., Hernandez R. Ruiz R. (2022). Automatic real time detection of fog in Basque Country based on MSG capabilities. EUTMESAT Meteorological Satellite Conference 19-23 Sep 2022 Brussels
- Gómez de Segura J.D., Gaztelumendi S., Hernandez R. (2022). Diaz de Arcaya A., Egaña J., A preliminary tool for fog characterization in Basque Country using MSG Images. EUTMESAT Meteorological Satellite Conference 20-24 September 2021 Virtual Edition
- Liria, P., Epelde, I., Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I. R., Carreño, S., Gonzalez, M., and Aranda, J.: Los temporales de enero, febrero y marzo de 2014 dentro del contexto del clima marino de la costa vasca, Efectos sobre las infraestructuras costeras y las playas, XVI Congreso y Exposición ECOPLAYAS, Bilbao, 2014.
- Liria P., Epelde I., Santiago I., Garnier R., Abalia A. 2021. Kostasystem, a coastal videometry technology development and applications. 9th EuroGOOS International conference, Shom; Ifremer; EuroGOOS AISBL, May 2021, Brest, France. pp.485-491. hal-03329155v2.

# Caracterización de los riesgos costeros y portuarios debido a los efectos del cambio climático

Ortiz-Angulo, Jared<sup>1</sup>, Calvo, Sara<sup>2</sup>, Torres, Manuel<sup>3</sup>, Hortal, Nicolás<sup>4</sup>

**Palabras clave:** cambio climático, riesgos, puertos, costas, adaptación

## Introducción

La presentación del último informe (AR6) presentado por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (más conocido por sus siglas en inglés, IPCC) comienza con la siguiente frase: “Los cambios recientes en el clima son generalizados, rápidos y cada vez más intensos, y no tienen precedentes en miles de años”. Los entornos portuarios y costeros son sensiblemente vulnerables a dichos cambios, ya que en estos ámbitos es donde se produce la concomitancia de interacciones complejas entre el sistema natural y el socioeconómico. Es por esto que, los efectos del cambio climático pueden llegar a manifestarse de múltiples formas. Para poder identificar las ubicaciones geográficas más expuestas a determinados impactos, comprender sus orígenes, identificar su extensión y severidad, y poder realizar la correcta elaboración de planes de gestión y toma de decisiones, como pueden ser las estrategias de adaptación, es necesario el estudio sobre la adaptación al cambio climático, la caracterización de evaluación de riesgos y el análisis de los impactos.

Los trabajos realizados por MCVALNERA pueden englobarse dentro de dichas estrategias de adaptación y en concreto, se pueden diferenciar dos hitos: el desarrollo de una metodología para la caracterización de los riesgos costeros derivados del cambio climático sobre el sistema socioeconómico y del riesgo integrado; y el desarrollo de una metodología para el análisis del impacto del cambio climático en puertos. La definición y desarrollo de dichas metodologías ha permitido su aplicación práctica, donde cabe destacar su implementación en los puertos de competencia directa de la Comunidad Valenciana, así como en el litoral de la misma.

<sup>1</sup> MCVALNERA, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Máster en Ingeniería Costera y Portuaria. Calvo Sotelo, 19, 2º, 1, 39002, Santander, Cantabria.

<sup>2</sup> MCVALNERA, Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Enrique Mariñas, 36, Edificio Torre de Cristal 3.8, 15009 A Coruña, Galicia.

<sup>3</sup> MCVALNERA, Ingeniero Civil. Máster en Ingeniería Costera y Portuaria. Calvo Sotelo, 19, 2º, 1, 39002, Santander, Cantabria.

<sup>4</sup> MCVALNERA, Ingeniero Civil. Máster en Ingeniería Costera y Portuaria. Calvo Sotelo, 19, 2º, 1, 39002, Santander, Cantabria. E-mail: joc@mcvalnera.com

## Desarrollo

### Metodología para la caracterización de los riesgos costeros

La variable a tener en cuenta para evaluar el impacto que se produce en la costa debido al cambio climático es, principalmente, el incremento del nivel del mar, que permite generar distintos escenarios de inundación. En cada escenario, se dispone de una capa GIS (sistemas de información geográfica) que permite conocer los límites geográficos que alcanzan las zonas de inundación. Una vez se conocen las zonas de inundación en cada escenario, se definen los factores socioeconómicos a evaluar para medir el impacto del cambio climático en las zonas costeras. En la metodología que se propone, se evalúan cuatro factores: turismo, vivienda, agricultura e industria, aunque también sería aplicable a otros factores sociales o culturales.

Para cada uno de los factores propuestos, se determinan los elementos que se verían afectados en cada escenario, como son: viviendas, zonas industriales o de cultivo, playas..., realizando una intersección entre la zona de inundación y una capa GIS con todos los elementos que conforman cada municipio de la zona a estudiar. A cada elemento, se le asigna un valor unitario en términos económicos con el fin de obtener resultados comparables, pudiendo determinar un valor del propio elemento (en el caso de las viviendas), o un valor de la producción (en el caso de las zonas agrícolas). Una vez se calculan los valores económicos de los elementos que quedarían afectados, se expresa el valor total en porcentaje, respecto al total del municipio. Finalmente, con el valor en porcentaje, se identifican los municipios que resultarían más afectados por los efectos del cambio climático, sirviendo también como estimación de lo que supondría la no adaptación a los potenciales efectos del cambio climático. Se ha determinado un indicador de riesgo integrado como combinación de los diferentes factores de riesgo socioeconómicos considerados, definiendo cuatro niveles de riesgo, en función de las pérdidas totales en cada municipio, tomando como referencia los valores máximos de pérdidas en la situación actual, asignando un peso a cada factor analizado en base a un criterio de experto.

### Metodología para la caracterización del impacto en puertos

Los puertos, ubicados en entornos costeros, son centros estratégicos económicos y logísticos expuestos a eventos naturales de riesgo, por lo que es necesario realizar un análisis particular de su vulnerabilidad frente a estos eventos. Es necesario matizar que los sectores económicos considerados en entornos portuarios son

diferentes al resto de entornos costeros.

El primer paso para caracterizar los impactos en los puertos, consiste en analizar la peligrosidad del clima en la zona a estudiar, identificando y regionalizando las principales variables meteocénicas, considerando distintos escenarios climáticos y horizontes temporales. A continuación, se analiza la vulnerabilidad de las infraestructuras y las actividades portuarias, definiendo distintas áreas de interés operacional en la zona portuaria para su evaluación.

Una vez conocido la peligrosidad del clima y la vulnerabilidad del puerto, se realiza una evaluación del riesgo preliminar con el objetivo de organizar el listado de puertos analizados en base a su nivel de riesgo. Obtenida dicha clasificación, se realiza un estudio de alta resolución para los casos de riesgo elevado, ya que merecen un análisis particular detallado. Dicho estudio de alta resolución, abarca el estudio del clima marítimo offshore y la propagación hasta la zona portuaria, donde se realiza la reconstrucción del

oleaje en las zonas de interés, considerando distintos escenarios de cambio climático.

Para establecer las medidas de adaptación o mitigación necesarias, se comienza el desarrollo de los planes de acción, que plantean una propuesta de acciones generales y concretas para dar respuesta a los análisis de riesgos elaborados en cada puerto de estudio, en base a los resultados que se obtienen de los estudios de alta resolución.

## Resultados y discusión

Con el fin de mostrar unos resultados que se obtienen al desarrollar las metodologías anteriormente desarrolladas, se adjuntan a continuación, dos imágenes, la Imagen 1. Zona de inundación ( $T_r=500$  años) en la situación actual ubicando los elementos afectados por municipios. como ilustrativa de la metodología para la caracterización de los riesgos costeros, y la



**Imagen 1.** Zona de inundación ( $T_r=500$  años) en la situación actual ubicando los elementos afectados por municipios.



**Imagen 2.** Integración de los resultados obtenidos en el sistema de información geográfica.

Imagen 2. Integración de los resultados obtenidos en el sistema de información geográfica. como ilustrativa de la metodología para la caracterización del impacto en puertos, ambas en la Comunidad Valenciana.

En la Imagen 1. Zona de inundación ( $T_r=500$  años) en la situación actual ubicando los elementos afectados por municipios., se puede apreciar la capa GIS en color gris oscuro que corresponde a la zona costera inundable para un periodo de retorno de 500 años, y en naranja y rojo, la capa GIS que incluye los elementos dañados en cada municipio, en este caso, Cullera y Tavernes de la Valldigna, respectivamente. En la Imagen 2. Integración de los resultados obtenidos en el sistema de información geográfica., se observa el análisis realizado en el puerto de Oliva, pudiendo apreciar los distintos elementos que conforman el puerto (diques, muelles y viales), así como las zonas vulnerables para el escenario climático a analizar, que en este caso se corresponde al RCP4.5 en 2025 obteniendo un riesgo alto para todas las áreas del puerto.

## Conclusiones

Los trabajos que se han realizado suponen el desarrollo de dos metodologías con aplicación directa en estudios de estrategias de adaptación al cambio climático, que incluyen la caracterización de riesgos derivados del cambio climático en el ámbito costero y la caracterización de impactos por cambio climático en el ámbito portuario.

En concreto, MCVALNERA ha podido desarrollar dichas metodologías en una aplicación práctica en la Comunidad Valenciana, como se muestran en el apartado anterior. Además, se han recogido las dificultades e impedimentos encontrados durante el desarrollo de los trabajos, que pueden resultar de ayuda para la mejora y optimización de esta tipología de estudios.

## Reconocimientos

Los autores agradecen el apoyo inestimado de todos los compañeros de MCVALNERA.

# Metodología para la detección de líneas de costa con la plataforma Google Earth Engine. Aplicación al delta del río Guadalfeo (Granada)

**Santana, Marcus<sup>1</sup>, Otiñar, Pedro<sup>1</sup>, Magaña, Pedro<sup>1</sup>, Cobos, Manuel<sup>1</sup>, Baquerizo, Asunción<sup>1</sup>**

**Palabras clave:** Teledetección, Google Earth Engine, Líneas de costa, Imágenes de satélite

## Introducción

La monitorización de la posición de la línea de costa es esencial para la identificación de tendencias erosivas/acretivas en sistemas costeros (Luijendijk et al., 2018). El conocimiento de su dinámica a diferentes escalas temporales, permite la demarcación de espacios costeros y ayuda en la gestión integral del sistema litoral. Además, la posición de la línea de costa está influenciada por los procesos hidrodinámicos y de transporte de sedimento en la zona de orilla por lo cual su análisis permite profundizar en el conocimiento de la morfodinámica de la playa.

Pueden usarse diferentes métodos para la identificación de líneas de costa y, como norma general, requieren soluciones de compromiso entre las resoluciones espacial y temporal y el área monitorizada y el coste para su implementación/mantenimiento. Por ejemplo, las herramientas de medición local, como el LiDAR, los sistemas de monitorización por vídeo (ej. programa ARGUS) o los sistemas de posición georeferenciada (GPS) suelen presentar alta resolución espacial (así como temporal en el caso de los sistemas de vídeo) pero son limitadas en cuanto al área de cobertura (Short and Jackson, 2013). Por otro lado, herramientas de monitorización remota, como las imágenes satelitales multiespectrales, aunque permiten ampliar el área de cobertura, tienen frecuencias temporales (períodos de revisita), así como resoluciones espaciales y costes/complejidad de su implementación que pueden resultar limitantes (Burnigham and Fernandez-Nunez, 2020).

Más recientemente, el lanzamiento de la plataforma Google Earth Engine (GEE) ha representado un avance en el tratamiento de datos geoespaciales y, en particular, en la monitorización de zonas costeras por imágenes de satélite. En resumen, GEE es una plataforma basada en la nube que facilita el acceso a recursos informáticos de alto rendimiento para procesar grandes conjuntos de datos geoespaciales, sin tener que sufrir los costes informáticos que actualmente les rodean (Gorelick, et.al., 2017). En este trabajo, se presenta un flujo de trabajo escrito en el lenguaje Python para la obtención de líneas de costa a partir de imágenes de satélite

multiespectrales. El algoritmo se vale de la biblioteca interna de GEE y sigue sus directrices de flujo de trabajo. Así, el método presentado permite una extracción masiva de líneas de costa ahorrando costes computacionales locales (todos los cálculos geoespaciales son ejecutados remotamente en los servidores de GEE). Además, se prescinde de parámetros de calibración y de la alimentación de una red neuronal con líneas de costas digitalizadas manualmente (como en el caso de Vos et al. (2019) y Luidjendik et al. (2018)).

El método se ha aplicado a un delta con sedimento heterogéneo y micro-mareal del litoral granadino (desembocadura del río Guadalfeo). La bondad de la teledetección se ha evaluado mediante la comparación con medidas *in-situ*, obteniéndose errores medios inferiores a los de la resolución espacial del satélite y una variabilidad menor que el rango natural del sistema tras el paso de tormentas.

## Materiales y métodos

El flujo de trabajo para la extracción de líneas de costa puede resumirse en los pasos que se indican a continuación y cuyos resultados se ilustran en la figura 1:

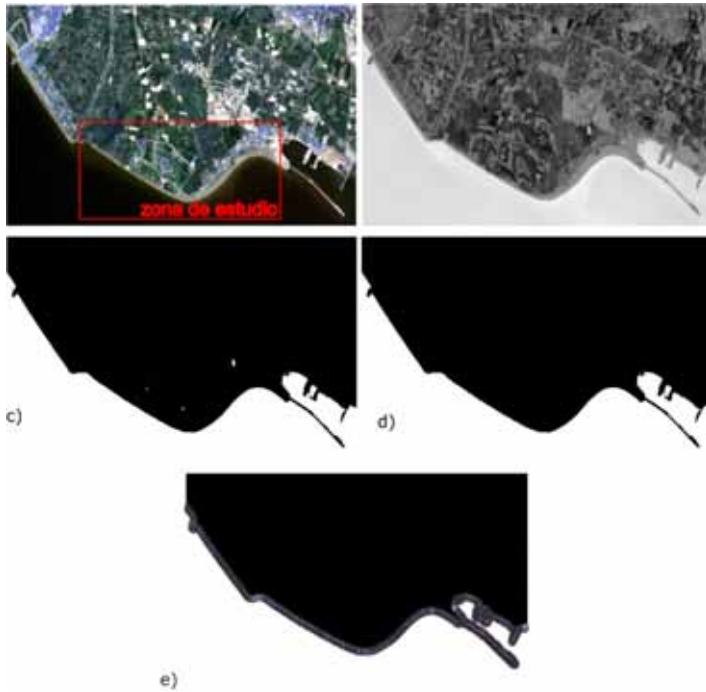
- Selección de imágenes utilizables: Se seleccionan las imágenes libres de nubes para la zona de estudio junto con el rango temporal y el satélite deseado (Figura 1-a).
- Corregistro: Las imágenes son corregistradas utilizando la función propia de GEE *displacement()*. Basándose en la banda de confianza del resultado, se toma como referencia la imagen inmediatamente anterior o la primera imagen de la serie temporal, aumentando así la fiabilidad del proceso.
- Índice: Para clasificar los píxeles de agua y tierra se calcula el índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI), definido de la siguiente manera:  

$$NDWI = (G - NIR) / (G + NIR)$$
donde G corresponde a la banda verde y NIR a la banda del infrarrojo cercano.  
El valor de NDWI varía entre -1 y 1, toma valores negativos para las zonas de agua y valores positivos para la tierra. Se ha utilizado la función *get\_NDWI()* (Figura 1-b).
- Límite agua-tierra: Se ha implementado una rutina para detectar cambios bruscos en el valor del NDWI (ee. *Algorithms.CannyEdgeDetector()*) a continuación se establece un valor umbral del NDWI correspondiente a la interfaz agua-tierra siguiendo el método del umbral adaptativo de Otsu (Otsu, N., 1979). Tras la clasificación,

<sup>1</sup>Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía, Universidad de Granada, Avda. del Mediterráneo s/n, 18078, Granada  
E-mail:marcussantana@ugr.es

se añade a la imagen una banda binaria en la que los valores 0-1 corresponden a las zonas de tierra y agua respectivamente (Figura 1-c).

- Detección de la línea de costa: Se establece un número mínimo de píxeles de agua que deben estar conectados, excluyéndose así pequeños errores de clasificación y posibles lagunas, charcos, etc. presentes en la zona de estudio (Figura 1-d).
- Vectorización: La línea de costa se vectoriza (*ee.Image.reduceToVectors()*) en el límite agua-tierra a partir de la imagen binaria (Figura 1-e).



**Figura 1.** Pasos para la extracción de la línea de costa. a) imagen sin nubes (satélite Sentinel-2A) de la zona de estudio b) aplicación del NDWI c) umbral agua-tierra d) detección de la línea de costa e) línea de costa vectorizada.

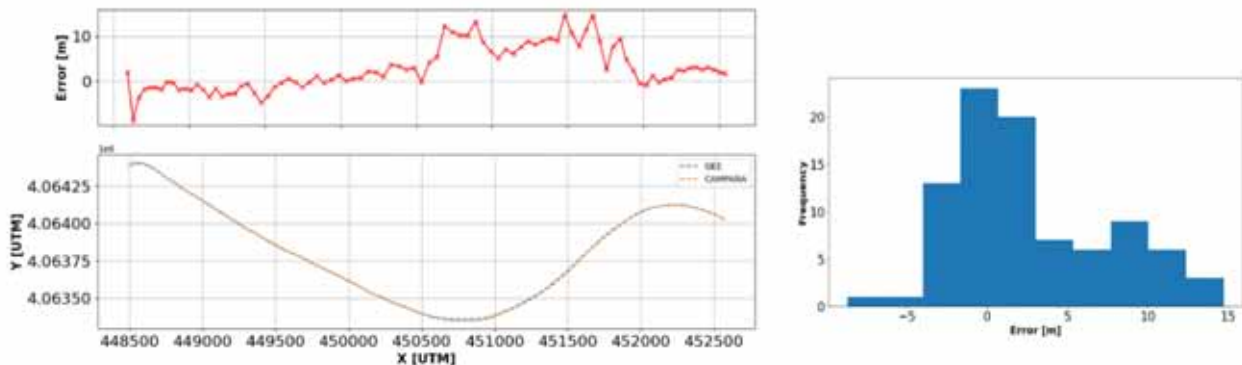
Para evaluar la incertidumbre asociada al método descrito se ha comparado una línea de costa obtenida telemáticamente con una medición *in-situ* realizada con un DGPS. La zona seleccionada corresponde a la parcela central del delta del río Guadalfeo (zona de estudio en la Figura 1-a), ubicado en la costa granadina. El delta presenta sedimentología heterogénea formada por grava y arena y condiciones micromareales (aprox 0.5 m de carrera mareal semidiurna). La línea de orilla se extiende aproximadamente 5 km con dos alineaciones principales: el tramo oeste tiene orientación NW-SE y el tramo este NE-SW, la franja de playa seca tiene una extensión variable a lo largo de la zona de estudio, con anchura de unos 25 m en el tramo oeste y unos 180 m en el tramo este. La pendiente del perfil de playa es pronunciada por lo cual la extensión de las zonas de *surf* y de *swash* son reducidas.

La campaña se realizó el día 04/11/2011 sobre las 11 a.m GMT+2, coincidiendo en día y hora con el paso del satélite Sentinel-2 (resolución espacial 10 m y periodo de revisita de 5 días) por la zona. Así, no se ha aplicado ninguna corrección mareal ni se han referenciado los resultados a un datum, i.e. las líneas son tomadas como medidas de posición instantáneas del límite agua-tierra, por lo cual, la incertidumbre asociada a la escala del oleaje incidente está presente en ambas mediciones.

Como forma de validación, se ha tomado una posición de orilla a cada 50 metros, resultando en un total de 89 puntos. El error se define como la distancia euclidia entre el punto obtenido telemáticamente y el medido con el DGPS. Se ha tomado también la latitud en cada punto de manera que un error positivo corresponde a una posición de la orilla obtenida más al norte que la medición con el DGPS.

## Resultados y discusión

En la Figura 2, se observan algunos resultados de la validación. La línea de costa obtenida telemáticamente presenta un buen ajuste con respecto a la medición, además, el error medio es significativamente menor que la resolución espacial del satélite.



**Figura 2.** Línea de costa extraída telemáticamente y medición *in-situ*.



Como se aprecia en la Figura 2, el error no parece distribuirse de manera aleatoria si no que su distribución depende del tramo de playa (e.g. la zona más a este del delta, concentra los mayores errores de detección). Este comportamiento sugiere que las condiciones hidrodinámicas en la zona de orilla son una fuente de error importante a la hora de extraer la línea de costa telemáticamente. En la Tabla 1 se presentan los valores de algunos estadísticos representativos.

**Tabla 1.** Error del método telemático en comparación a mediciones in-situ

Error medio (m)	Error máximo (m)	RMSE (m)	Shapiro-Wilk test ( $\alpha=0.05$ )
2.64	14.72	4.83	p-value=0.0008

El resultado del test de normalidad (Shapiro-Wilk) sugiere que el error no sigue una distribución normal y que por lo tanto no estaría únicamente compuesto por realizaciones independientes de fenómenos aleatorios, ya el error medio indica que hay una tendencia a que la línea calculada esté por encima de la línea medida (esto es, que el ancho de playa sea menor que la medición). Sin embargo, considerando que los cambios morfológicos más importantes en la zona estudiada se dan tras el paso de tormentas, y que estos son del orden de 10 m en la posición de la línea de costa (Ortega-Sánchez et al., 2017), se observa que la variabilidad media de la línea de costa del flujo de trabajo está por debajo de la variabilidad natural más importante del delta, y que por lo tanto, el método telemático sería capaz de detectar variaciones a esta escala.

## Conclusiones

Se ha desarrollado un flujo de trabajo que se sirve de los beneficios de la plataforma GEE (base de datos geoespaciales, funciones propias para el tratamiento de los datos y cálculo en nube con arquitectura optimizada) para extracción de líneas de costa. Se ha aplicado el flujo de trabajo a un delta heterogéneo y micromareal conjuntamente con una medición *in-situ*, a efectos de validación. El flujo implementado es capaz de extraer la línea de costa con una precisión más grande que la resolución espacial del satélite. Además, los resultados indican que el método sería capaz de detectar cambios a escala de tormenta en la posición de la línea de costa aunque las condiciones hidrodinámicas en la costa pueden tener papel importante en su precisión.

## Referencias

- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R. et al. 2018. The State of the World's Beaches. *Sci Rep* 8, 6641.
- Short, A.D. and Jackson, D.W.T. 2013. Beach Morphodynamics, *Treatise on Geomorphology* 10, 106-129 pp.
- Burningham, H., Fernandez-Nunez, M. 2020. *Shoreline change analysis*. Leiden, Netherlands. Elsevier. 439-460 pp.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S. et al. 2017, Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202:18-27.
- Vos, K., Splinter, K.D., Harley, M.D. et al. 2019. CoastSat: A Google

Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery 122. *Environmental Modelling & Software* 122.

Otsu, N. 1979. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 9: 62-66.

Ortega-Sánchez, M., Bergillos, R.J., López-Ruiz, A., Losada, M.A. 2017. *Morphodynamics of Mediterranean Mixed Sand and Gravel Coasts*. Springer.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos *Gestión del riesgo asociado a la erosión e inundación en un escenario de cambio climático y la toma de decisiones sobre concesiones en el dominio público marítimo-terrestre. Fase I*. Exp. CONTR. 2020 194906. *Trabajos de inundación y erosión en zonas costeras de Andalucía en un escenario de cambio climático (ICCOAST)*. Exp. CONTR 2018 66984 y *Trabajos para el estudio de inundación y erosión en zonas costeras de Andalucía en un escenario de cambio climático. Provincias de Granada y Almería (ICCOAST-GA)*. Exp. CONTR 2020 687686 por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen también la financiación recibida del Programa Operativo FEDER de Andalucía (30BE61F301).

**III. MULTZOA - Klima aldaketa arintzea  
eta biodibertsitatea berrezartzea**

**BLOQUE III – Mitigación del cambio climático  
y restauración de la biodiversidad**

**BLOC III - Atténuation du changement climatique  
et restauration de la biodiversité**

**SESSION III – Mitigating climate change  
and restoring biodiversity**

# Carbono azul: del ecosistema a los mercados

Mateo, Miguel Ángel<sup>1,2</sup>, Serrano, Óscar<sup>1,2</sup>, Lavery, Paul<sup>2,1</sup>, Otero, Mar<sup>3</sup>, Vivas, María Soledad<sup>4</sup>, Mendoza, Rosa<sup>5</sup>

**Palabras clave:** carbono azul, calentamiento global, mitigación, mercados de carbono, ciclo del carbono, servicios de ecosistema.

## Introducción

A pesar de las buenas intenciones y de los elaborados planes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta, el CO<sub>2</sub> continua aumentando habiéndose llegado a medir 415,95 ppm en septiembre de este año (Friedlingstein *et al.*, 2022). En este contexto y en vista de que los esfuerzos globales por reducir las emisiones no dan los resultados deseados, el creciente interés por la conservación y promoción de los sumideros de carbono biosféricos como ayuda para atenuar esa tendencia por parte de las diferentes cumbres del clima, está justificado. Tal interés aparecía ya recogido en el protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998).

En los años 90 se describió por primera vez con un cierto detalle el tamaño potencial del sumidero de carbono asociado a praderas de angiospermas marinas y, en concreto, de la especie endémica Mediterránea *Posidonia oceanica* (L.) Delile (Romero *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 1997). En 2009 la IUCN publica in informe acuñando el término carbono azul (*blue carbon*) en que se aportan los primeros datos globales sobre la capacidad de secuestro y stocks de carbono acumulados por la vegetación costera (ecosistemas de carbono azul, en adelante, ECA): marismas de marea, bosques de manglar y praderas intermareales y sumergidas de angiospermas marinas (UNEP, 2009). A partir de entonces, en virtud de ese nombre pegadizo y de la aparente fácil traslación de esa capacidad de captación y acumulación de carbono a los mercados de carbono, el fenómeno del carbono azul ha venido para quedarse.

Los esfuerzos para cuantificar los stocks y flujos de carbono hacia los ECA han aumentado exponencialmente en la última década y empezaron centrándose en el estudio de la variabilidad en la acumulación de carbono orgánico particulado en estos ecosistemas y, muy en particular, en sus sedimentos (Fourqurean *et al.*, 2012). Posteriormente, se empezó a analizar el posible papel del fenómeno de calcificación en el balance de carbono como posible fuente de emisiones en los ECA (Mateo & Serrano, 2012)

así como el de la contribución de los ECA a los stocks de carbono sedimentario en zonas alejadas del lugar de producción (Santos *et al.*, 2021) o la inclusión de los bosques de macroalgas en la familia de los ECA (Krause-Jensen *et al.*, 2018). Paralelamente, se iniciaron estudios sobre la viabilidad de monetizar los flujos y stocks de carbono de estos ecosistemas en los mercados voluntarios de carbono.

En esta ponencia, se proporciona un contexto muy sintetizado sobre los grandes números del CA que se barajan en la actualidad, las principales lagunas de conocimiento y trabas identificadas para establecer el papel de los ECA como sumideros de carbono biosféricos, así como el potencial y la complejidad de integrar estos flujos y stocks de carbono en los esquemas actuales de comercio de carbono.

## Algunos grandes números

Simplificando de Friedlingstein *et al.* (2022), el ser humano ha emitido en 2021 unas 38 GtCO<sub>2</sub> a la atmósfera. Sin tener en cuenta el descuadre en el balance global, se puede aproximar que, de este total de emisiones, el 45% (17 GtCO<sub>2</sub>) se almacenan en la atmósfera, el 29% (11 GtCO<sub>2</sub>) en los ecosistemas terrestres (vegetación + suelos) y el 26% (10 GtCO<sub>2</sub>) restante en los océanos.

Las mejores estimas actuales muestran que los ECA ocuparían unos 50 millones de hectáreas en todo el planeta (aunque algunos autores estiman esta extensión en tres veces más) y que esta extensión sería responsable del enterramiento anual de entre 308 y 857 millones de toneladas (Tg) de CO<sub>2</sub> equivalente (McLeod *et al.*, 2011). De estas tasas de enterramiento anual, las marismas de marea serían responsables de entre el 5 y el 37%, los bosques de manglares entre el 15 y el 37%, y las praderas de angiospermas marinas entre el 48 y 58%. La amplitud de los rangos ya es indicativa del tamaño de la laguna de conocimiento asociada a cada uno de los miembros de los ECA, siendo las marismas de marea las menos estudiadas de forma global hasta la fecha. Para ponerlo en el contexto más global posible, estas tasas indican que los ecosistemas dominados por vegetación en las costas de nuestro planeta retirarían entre el 0,8 % y el 2,2 % del CO<sub>2</sub> antropogénico que emitimos cada año. Este rango contribuiría a ese 26% que se atribuye a los océanos del planeta.

Marismas, manglares y praderas marinas, por su ubicación, son ecosistemas especialmente vulnerables a la actividad humana. Su ritmo de deterioro se ha estimado entre el 1 y el 2% anual (Lovelock & Reef, 2020). Esta pérdida se cree que podría suponer unas emisiones anuales netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de unos 450 Millones de toneladas (0,45 PgCO<sub>2</sub>), lo que representa un 2,5% de las emisiones antropogénicas y casi la mitad de las emisiones que se atribuyen al cambio de usos del suelo globalmente (Macreadie *et al.*, 2021).

<sup>1</sup>Grupo de Ecología de Macrófitos Acuáticos, Centro de Estudios Avanzados de Blanes, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Acceso Cala S. Francesc 14. 17300, Blanes, España.

<sup>2</sup>School of Science and Centre for Marine Ecosystems Research, Edith Cowan University, Joondalup, WA, Australia.

<sup>3</sup>IUCN Center for Mediterranean Cooperation, C/Marie Curie 22, Campanillas, 29590, Málaga, España.

<sup>4</sup>Junta de Andalucía, AMAYA, Almería, España;

<sup>5</sup>Junta de Andalucía, CMAOT, Sevilla, España.

E-mail: mateo@ceab.csic.es

Hasta aquí, se han puesto en un contexto global los flujos de entrada y salida de CO<sub>2</sub> de los ECA. A diferencia de la mayoría de ecosistemas dominados por vegetación (como, por ejemplo, los bosques terrestres o las grandes extensiones de macroalgas), fruto de ese balance entre entradas y salidas, los ECA forman un depósito de carbono orgánico que puede permanecer durante siglos o milenios (Mateo et al., 1997). Este elevado tiempo de residencia y su escasa vulnerabilidad a fenómenos atmosféricos (erosión, desertificación, etc.) o incendios, les convierte en sumideros de carbono altamente resilientes. Los ECAs, de forma global, almacenarían 30 GtCO<sub>2</sub> (30 Pg o 30 x 10<sup>15</sup> gramos), lo que representa unas 3 veces las emisiones globales anuales (Macreadie et al., 2021).

De lo expuesto, se deriva que el servicio ‘mitigación del calentamiento global’ que prestan los ECA tiene una doble vertiente. Por un lado, el secuestro anual de carbono y, por otro, el mantener en forma orgánica estable un notable stock de carbono sedimentario durante miles de años. Ambos procesos pueden ser objeto de proyectos de compensación de carbono (ver más adelante).

En la Unión Europea contamos fundamentalmente con unas 500.000 ha de marismas de marea (Dijkema et al., 1984) y unas 30.000 ha de praderas de angiospermas marinas (Airoldi & Beck, 2007; Short et al., 2007), que almacenarían 0,3 y 7,5 GtCO<sub>2</sub> equivalente (GT=10<sup>15</sup> g), respectivamente; en total, un 26% de los stocks globales de CO<sub>2</sub> equivalente en los sedimentos bajo los ECA del planeta. De igual manera, el flujo anual de entrada de carbono a estos sumideros europeos se estima en unos 11 y 3 millones de toneladas para angiospermas marinas y marismas, respectivamente. En su totalidad, esos 14 Tg CO<sub>2</sub> anuales representan entre el 1,6 y el 4,5 % del secuestro anual de todos los ECA del planeta. Si asumimos unas pérdidas del 2% anual de ECA en Europa, se estarían re-emitiendo unas 90 MtCO<sub>2</sub> anuales, cuya evitación podría generar unos 100 millones de euros anuales en los mercados regulados de carbono (asumiendo un valor de 80€ por tonelada) además de contribuir a reducir el CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Mateo, 2018; ver más adelante).

## Principales lagunas de conocimiento

La difícil accesibilidad a los ECA y la gran variabilidad espacial en los flujos y stocks de carbono observados (ver, por ejemplo, Lavery et al., 2013) son solo algunos de los importantes retos que hay que afrontar en la tarea de cuantificar con precisión el impacto de los ECA en el ciclo global del carbono. El caso de las marismas de marea es especialmente notable (Dijkema et al., 1984). Una gran parte de las marismas del norte de Europa no está cartografiada o lo está de manera muy grosera sin distinguir tipologías (como, por ejemplo, elevación, potencia, o estado de conservación). Por su parte, en el Mediterráneo, una gran parte del arco sur no es accesible para el cartografiado de praderas marinas (como las costas correspondientes a Libia y Egipto). En el caso de las praderas marinas, además, se añade la dificultad del cartografiado mediante imagen aérea de las zonas profundas, haciendo que gran parte del resto de praderas mediterráneas no estén adecuadamente cartografiadas en zonas inferiores a los 10m

de profundidad.

Una de las incertidumbres con el impacto potencialmente mayor en la cuantificación del tamaño del sumidero de carbono asociado a praderas de angiospermas marinas es el referente al papel de los carbonatos. La regla estequiométrica del 0,6 dicta que por cada mol de carbonato que precipita, tiene lugar una liberación neta de 0,6 moles de CO<sub>2</sub> hacia el medio (Frankignoulle et al., 1994). Los bosques de manglares y, muy especialmente, las praderas marinas, mantienen ricas comunidades de organismos calcificantes gracias al pH elevado que provoca la intensa retirada de CO<sub>2</sub> del medio durante la fotosíntesis. En principio, este carbonato queda almacenado en los sedimentos en grandes cantidades sin aparente redisolución (lo que volvería a ‘captar’ CO<sub>2</sub>). Puesto que de momento no se ha encontrado la manera de determinar sin ambigüedad el origen de la totalidad de estos carbonatos (Saderne et al., 2019), se hipotetiza que en algunas praderas la calcificación podría llegar incluso a compensar o superar las tasas de secuestro de carbono convirtiéndolas en fuentes y no en sumideros de carbono (Mateo & Serrano 2012).

En una línea similar, hoy por hoy, estudios que presenten tasas de emisión de gases de efecto invernadero (metano y óxidos de nitrógeno) en los ECA son virtualmente inexistentes o de escala muy local (Rosentreter et al., 2021). También en la misma línea, el todavía prácticamente nulo hábito de incluir muestras de sedimento en zonas adyacentes a los ECA pero sin vegetación (controles) hace que cuantificar la adicionalidad en los flujos de carbono hacia el sumidero derivados de la presencia de los ECA quede como la gran asignatura pendiente.

En el apartado analítico también existen dificultades críticas a la hora de cuantificar el carbono orgánico total en las muestras. Hay dos metodologías extendidas por los diferentes laboratorios del mundo: el analizador elemental y la combustión en mufla. El primero, además del elevado coste, tiene el inconveniente de necesitar la eliminación previa de los carbonatos de la muestra mediante acidificación, proceso que a menudo queda incompleto. El segundo, a pesar de su menor coste y rapidez, puede sobreestimar más que significativamente el contenido de carbono orgánico por eliminación de agua estructural, carbonatos lábiles o sales durante la combustión (Dahl et al., in prep.).

Esta es solo una muestra de los principales retos por resolver, pero la lista es considerablemente más larga, incluyendo incertidumbres asociadas a las dataciones del sedimento (para calcular los flujos), la corrección para la compresión que experimenta el sedimento durante los sondeos, o las aproximaciones a la hora de obtener estimas globales a partir de muestras puntuales (escalado).

## El difícil camino hacia los mercados

En el punto 2. se han presentado algunos grandes números que hacen referencia a la cantidad de carbono que capturan y almacenan los ECA. En el sistema actual de mercados de carbono (*cap and trade*), al amparo de diversas convenciones e instituciones internacionales certificadoras (como por ejemplo, Naciones Unidas), es posible comerciar con créditos de carbono mediante mecanismos de desarrollo limpio o mediante proyectos de compensación de

carbónico, entre otros (European Commission, 2018). Todo aquel proyecto que conlleve la retirada neta de CO<sub>2</sub> de la atmósfera o que reduzca (evite) su liberación, son susceptibles de ‘canjearse’ por créditos de carbono certificados, con un valor variable en los mercados de carbono, sujetos a la ley de la oferta y la demanda. Existen dos tipos de mercados, los regulados, que son los únicos que generan créditos de carbono oficiales para compensar emisiones de CO<sub>2</sub> en el esquema internacional *cap and trade*, y los voluntarios, en los que el valor del carbono depende de lo que el ‘cliente’ quiera pagar. A este último tipo de mercados concurren empresas que aspiran a mejorar su imagen corporativa mediante su implicación en proyectos de conservación y restauración de ecosistemas.

Actualmente y, a todas luces durante mucho tiempo, los créditos de carbono generado mediante proyectos de compensación basados en CA, no son válidos en los mercados oficiales. Y esto es así por la complejidad del camino hacia la certificación de créditos en los mercados regulados. Los pasos son: 1. Concepción y diseño del proyecto; 2. Elaboración de una Nota de Idea de Proyecto (PIN, según las siglas en inglés); 3. Elaboración de la memoria completa del proyecto, consultas con los actores locales, estudio de impacto ambiental del proyecto, cálculo de su huella de carbono, etc.; 4. Comprobación de la viabilidad y elegibilidad del proyecto; 5. Auditoría de la validación; 6. Implementación del proyecto; 7. Monitorización (en varias fases del proyecto); 8. Verificación (auditado) de la marcha del proyecto (para cada evento de monitorización); 9. Registro y emisión de los créditos de carbono; 10. Venta y/o canje de los créditos (Verra, Verified Carbon Standard: <https://verra.org/project/vcs-program/>). En el mejor de los casos, el proceso puede durar unos 3 años, en el peor, podría superar ampliamente los 5. El coste de verificación y certificación oscilaría entre decenas y cientos de miles de euros por cada proyecto, sin contar el coste propiamente dicho de la realización de este.

Es la enorme complejidad y variabilidad de los ECA, así como su difícil accesibilidad y los costes de realización de los proyectos de compensación, lo que contribuye a elevar desproporcionadamente el coste de la monitorización y verificación haciendo bastante incierto e improbable un futuro en los mercados regulados para el carbono retenido por los ECA. Gracias a su relativa accesibilidad y doble naturaleza (arbórea y formadora de depósitos subterráneos), los proyectos basados en manglares podrían tener posibilidades más elevadas.

## Referencias

- Airoldi, L. & Beck, W. M. Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. 2007. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 45: 345–405.
- Dahl, M., Lavery, S.P., Mazarrasa, I., et al., *In prep.* Strengthening Blue Carbon research.
- Dijkema, K S, Beeftink, W. J., Doody, J. P., Gehu, J. M., Hydemann, B. and Rivas- Martinez, S. 1984. Saltmarshes in Europe. *Nature and Environment Series No. 30.* Council of Europe, Strasbourg.
- European Commission, 2018. Consolidated version of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J., & Serrano, Ó. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7): 505–509.
- Frankignoulle, M., Canon, C., & Gattuso, J. P. 1994. Marine calcification as a source of carbon dioxide: Positive feedback of increasing atmospheric CO<sub>2</sub>. In *Limnology and Oceanography* 39: 458–462.
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O’Sullivan, et al. 2022. Global Carbon Budget 2021. *Earth Syst. Sci. Data* 14: 1917–2005.
- Krause-Jensen, D., Lavery, P., Serrano, O., Marba, N., Masque, P., & Duarte, C. M. 2018. Sequestration of macroalgal carbon: The elephant in the Blue Carbon room. *Biology Letters*, 14(6).
- Lavery, P. S., Mateo, M. Á., Serrano, Ó., & Rozaimi, M. 2013. Variability in the Carbon Storage of Seagrass Habitats and Its Implications for Global Estimates of Blue Carbon Ecosystem Service. *PLoS ONE*, 8(9): 158–162.
- Lovelock, C. E., & Reef, R. 2020. Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon. *One Earth*, 3(2): 195–211.
- Macreadie, P. I., Costa, M. D. P., Atwood, T. B., Friess, D. A., Kelleway, J. J., Kennedy, H., Lovelock, C. E., Serrano, O., & Duarte, C. M. (2021). Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2(12): 826–839.
- Mateo M.A., Romero J., Pérez M., Littler M.M., Littler D.S. 1997. Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 44: 103-110
- Mateo, M. A., & Serrano, Ó. (2012). Carbon sinks associated with *Posidonia oceanica* meadows. In Pergent, G. et al., (Eds.), *Mediterranean Seagrass Meadows: Resilience and Contribution to Climate Change Mitigation* (pp. 31–34). IUCN.
- Mateo, M.-Á. 2018. A context for the Blue Carbon ecosystems in the EU: initial results coming from the project LIFE Blue Natura. Blue Carbon in EU Climate Policy - European Parliament Intergroup on “Climate Change, Biodiversity & Sustainable Development - European Parliament, Brussels. 27 November 2018.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. In *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 552–560.
- Naciones Unidas, 1998. Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. FCCC/INFORMAL/83\*, GE.05-61702 (S), 130605, 24pp.
- Romero J., Pérez M., Mateo M.A., Sala E. 1994. The belowground organs of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink. *Aquatic Botany*, 47: 13-19
- Rosentreter, J. A., Al-Haj, A. N., Fulweiler, R. W., & Williamson, P. 2021. Methane and nitrous oxide emissions complicate coastal blue carbon assessments. *Global Biogeochemical Cycles*, 35, e2020GB006858.
- Saderne, V., Gherini, N. R., Macreadie, P. I., Maher, D. T., Middelburg, J. J., Serrano, Ó., Almahasheer, H., Arias-Ortiz, A., Cusack, M., Eyre, B. D., Fourqurean, J. W., Kennedy, H., Krause-Jensen, D., Kuwae, T., Lavery, P. S., Lovelock, C. E., Marbà, N., Masqué, P., Mateo, M. A., Duarte, C. M. 2019. Role of carbonate burial in Blue Carbon budgets. *Nature Communications* 15.
- Santos, I. R., Burdige, D. J., Jennerjahn, T. C., Bouillon, S., Cabral, A., Serrano, O., Wernberg, T., Filbee-Dexter, K., Guimond, J. A., & Tamborski, J. J. (2021). The renaissance of Odum’s outwelling hypothesis in “Blue Carbon” science. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 255: 107361.
- Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., & Waycott, M. (2007). Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350(1–2): 3–20.
- United Nations Environment Programme (2009). Blue carbon: the role of healthy oceans in binding carbon. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7772>.

# Monitoring *Zostera noltei* seagrass meadows as an indicator of estuarine resilience

Valle, Mireia<sup>1</sup>, Garmendia, Joxe Mikel<sup>2</sup>, Franco, Javier<sup>2</sup>, Chust, Guillem<sup>1</sup>

**Keywords:** climate change, *Zostera noltii*, Basque coast, blue carbon, intertidal community

## Introduction

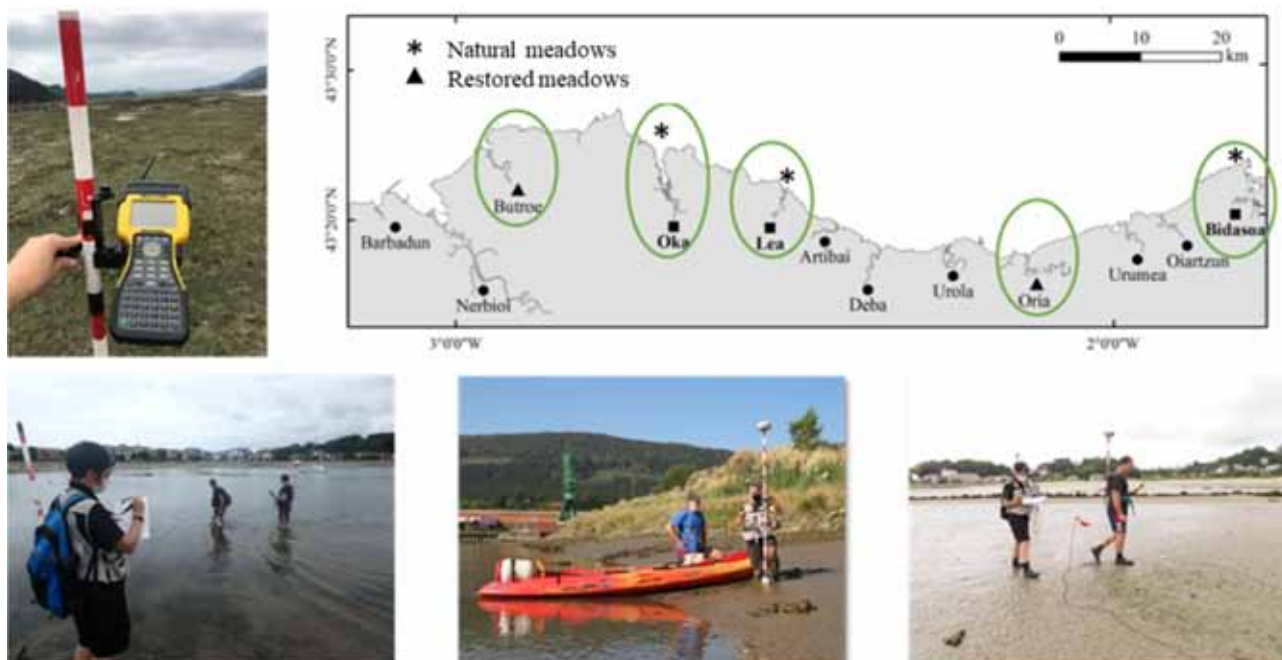
Seagrass meadows reduce coastal risks and help building ecosystem resilience. They act as ecosystem engineers and provide coastal protection by dissipating wave energy. Their canopies alter the flow of water, which facilitates sediment deposition, thereby enhancing water quality and carbon sequestration within seagrass sediment creating important carbon stocks. *Zostera noltei* is the unique seagrass species occurring in the Basque estuaries (SE Bay of Biscay) and is listed as an endangered species within the Basque Catalogue of Threatened species of Wild and Marine Fauna and Flora. The intertidal nature of *Z. noltei*, together with its current restricted distribution within the Basque coast (Garmendia et al. 2013) and the reported low genetic connectivity among its populations (Chust et al. 2013), make this seagrass particularly vulnerable to climate change derived effects (Valle et al. 2014).

In the last four decades, temperature of sea surface water in

the Bay of Biscay has increased 0.10 - 0.25 °C and it has been documented a sea level rise of 1.5 - 3.5 cm per decade since 1990s (Chust et al. 2022). Thus, considering *Z. noltei* seagrass vulnerability to climate change, we started monitoring the species as a resilience indicator. Within this monitoring framework, we mapped the species distribution in 2021, in order to assess the evolution with respect to previous cartographies in 2008 and 2012.

## Materials and methods

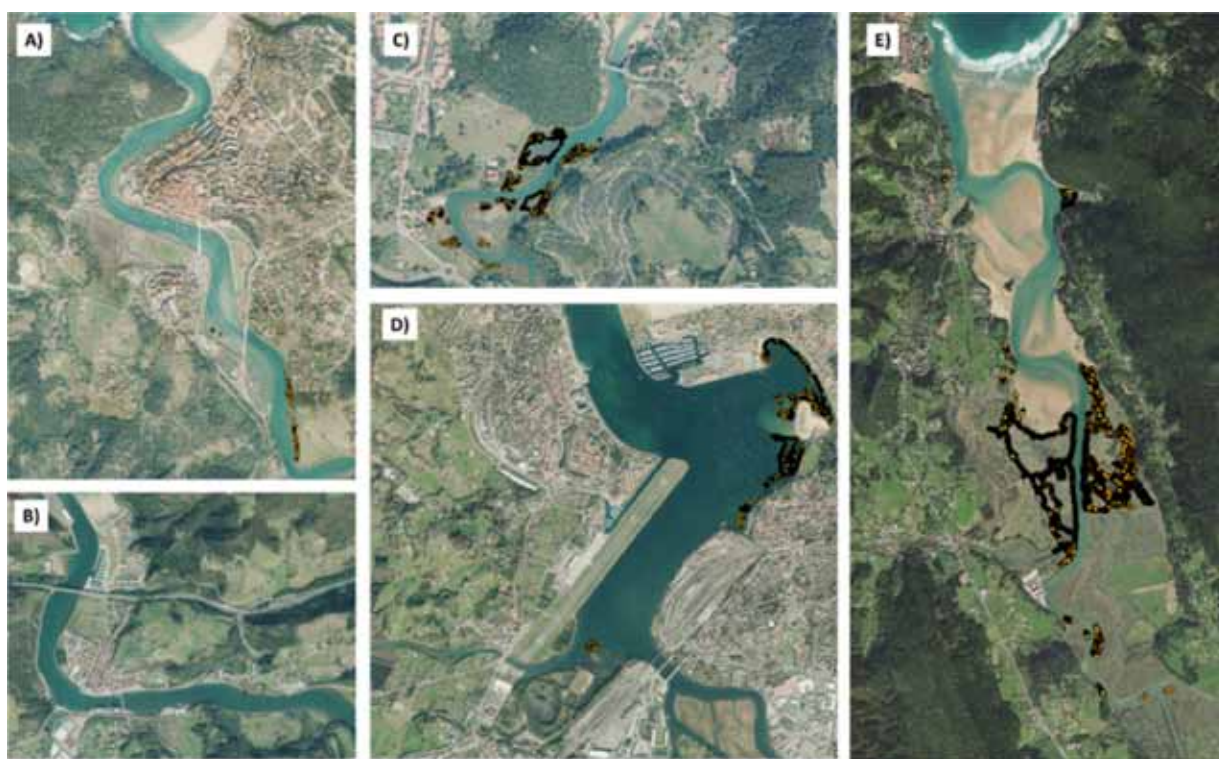
The area of distribution of *Z. noltei* seagrass meadows in the Basque coast is being mapped through on-ground surveys since 2008 (Garmendia et al. 2013). In 2021, samplings were carried out in those estuaries where the species occurs naturally (Oka, Lea and Bidasoa estuaries) and where it has been introduced through restoration works from rootstocks and seed planting (Butroe and Oria estuaries) (Figure 1. Images taken during the field survey to obtain the area of distribution of *Zostera noltei* using a GPS Trimble R6. The map shows the Basque estuaries highlighting within green circles the sampled estuaries where *Z. noltei* occurs.). During the field surveys, observed distribution was acquired delineating the species meadows at



**Figure 1.** Images taken during the field survey to obtain the area of distribution of *Zostera noltei* using a GPS Trimble R6. The map shows the Basque estuaries highlighting within green circles the sampled estuaries where *Z. noltei* occurs.

<sup>1</sup>AZTI, Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA). Txatxarramendi ugarteia z/g, 48395 Sukarrieta - Bizkaia, Spain

<sup>2</sup>AZTI, Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA). Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110 Pasaia - Gipuzkoa, Spain  
E-mail contact: [mvalle@azti.es](mailto:mvalle@azti.es)



**Figure 2.** Orthophotography of each of the sampled estuaries where the area of distribution of *Zostera noltei* have been mapped (in orange on the maps the data points collected are shown). Estuaries of A) Butroe; B) Oria; C) Lea; D) Bidasoa; E) Oka.

patch level using a high precision differential GPS (Trimble R6 GNSS system, maximum horizontal position error of 1.5 cm and maximum vertical position error of 2 cm); which enables the assessment of distributional change in both dimensions (horizontal and vertical). Apart from position (longitude, latitude and height) data, meadow coverage and relative shoot density data were also collected. The meadow coverage value was assigned following the Seagrass Watch coverage estimation guide (McKenzie 2003) by placing 25 x 25 cm quadrants on the meadow. Shoot density was sampled deploying a 10 x 10 cm quadrat and counting the number of shoots.

Field surveys were carried out during summer period. Once all estuaries were sampled, the GPS data were incorporated into a geographic information system (GIS) where the polygons corresponding to each meadow were delimited and the coverage and densities observed in the field were assigned to each polygon.

Once all the meadows were mapped, we analysed the changes comparing the cartographies from 2008, 2012 and 2021. In particular, we identified (1) stable areas, (2) new colonized areas, and (3) areas where the species has disappeared. Performing this analysis enabled us making a detailed evaluation of the changes on the distribution.

## Results

In contrast to a slight declining trend from 2008 to 2012 (with 22,67 ha in total in 2008 against 19,79 ha in 2012), a very significant

increase has been observed in 2021 (56,46 ha) (Table 1). Considering the area covered by *Z. noltei* meadows in 2012, the distribution of the species has increased 65%. The highest increase was documented for Kanala area within the Oka estuary, where the increase has been of 91%. Lea estuary and Arketas area within Oka estuary showed the same increase (43%). In the Bidasoa estuary an increase of 70% was found and in San Kristobal area within Oka estuary the documented increase summed up 56% of previously mapped area.

**Table 1.** Comparative table of the area occupied by *Z. noltei* in the cartographies carried out in 2008, 2012 and 2021.

Estuary	Site	2008	2012	2021
		Area (ha)	Area (ha)	Area (ha)
BIDASOA	Irun/Hendaia	1.8362	1.9675	6.6386
	LEA	0.1385	0.624	1.0933
	OKA	1.8766	0.5542	0.9669
	OKA	17.8927	15.6015	35.2806
	OKA	0.923	1.0446	11.4602
	OKA	-	-	0.981
	OKA	-	-	0.0171
	OKA	-	-	0.0186
		22.67	19.79	56.46

## Discussion

The mapping of the *Z. noltei* distribution since 2008 to 2021 has detected a significant increase of the area in the three estuaries. Further analysis are need to identify the potential drivers of this recovery over time, which may include water quality, habitat availability, and direct anthropogenic pressures such as shellfishing (Garmendia et al. 2017, Garmendia et al. 2021). For instance, water quality in the Basque estuaries has been improving in recent years and changes in the species distribution might be related to local changes in the marine environment. Other authors are also finding steady and linear increase in *Z. noltei* meadow areas (Marques et al. 2003, Barillé et al. 2010, Dolch et al. 2013), attributing the expansion to tidal flat accretion or to the decline of nutrient loads, which demonstrates that seagrasses can recover from the stress of eutrophication when measures are put in place to manage the system. However, apart from water quality improvement, management measures to reduce the threat by climate change and other antropogenic impacts also must be taken.

## References

- Barillé, L., M. Robin, N. Harin, A. Bargain, and P. Launeau. 2010. Increase in seagrass distribution at Bourgneuf Bay (France) detected by spatial remote sensing. *Aquatic Botany* **92**:185-194.
- Chust, G., A. Albaina, A. Aranburu, Á. Borja, O. E. Diekmann, A. Estonba, J. Franco, J. M. Garmendia, M. Iriondo, I. Muxika, F. Rendo, J. G. Rodríguez, O. Ruiz-Larrañaga, E. A. Serrão, and M. Valle. 2013. Connectivity, neutral theories and the assessment of species vulnerability to global change in temperate estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **131**:52-63.
- Chust, G., M. González, A. Fontán, M. Revilla, P. Alvarez, M. Santos, U. Cotano, M. Chifflet, A. Borja, I. Muxika, Y. Sagarminaga, A. Caballero, I. de Santiago, I. Epelde, P. Liria, L. Ibaibarriaga, R. Garnier, J. Franco, E. Villarino, X. Irigoien, J. Fernandes-Salvador, A. Uriarte, X. Esteban, D. Orue-Echevarria, T. Figueira, and A. Uriarte. 2022. Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Sci Total Environ* **803**:149622
- Dolch, T., C. Buschbaum, and K. Reise. 2013. Persisting intertidal seagrass beds in the northern Wadden Sea since the 1930s. *Journal of Sea Research* **82**:134-141.
- Garmendia, J. M., M. Valle, Á. Borja, G. Chust, and J. Franco. 2013. Cartografía de *Zostera noltii* en la costa vasca: cambios recientes en su distribución (2008-2012). *Revista de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia* **20**:1-22.
- Garmendia, J. M., M. Valle, Á. Borja, G. Chust, D.-J. Lee, J. Germán Rodríguez, and J. Franco. 2017. Effect of trampling and digging from shellfishing on *Zostera noltei* (Zosteraceae) intertidal seagrass beds. *Scientia Marina* **81**:121-128.
- Garmendia, J. M., M. Valle, Á. Borja, G. Chust, J. G. Rodríguez, and J. Franco. 2021. Estimated footprint of shellfishing activities in *Zostera noltei* meadows in a northern Spain estuary: Lessons for management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **254**:107320.
- Marques, J. C., S. N. Nielsen, M. A. Pardal, and S. E. Jørgensen. 2003. Impact of eutrophication and river management within a framework of ecosystem theories. *Ecological Modelling* **166**:147-168.
- McKenzie, L. J. 2003. Draft guidelines for the rapid assessment of seagrass habitats in the western Pacific (QFS, NFS, Cairns).43.
- Valle, M., G. Chust, A. del Campo, M. S. Wisz, S. M. Olsen, J. M. Garmendia, and Á. Borja. 2014. Projecting future distribution of the seagrass *Zostera noltii* under global warming and sea level rise. *Biological Conservation* **170**:74-85.

## Acknowledgements

The authors thank to the following projects and agencies: “Protección y recuperación experimental de las praderas marinas del País Vasco”- Agencia Vasca del Agua URA; “Urban Klima 2050” (LIFE+, Unión Europea) and “Servicios de Asistencia técnica para el seguimiento y análisis de indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa”- Naturklima.



# Ocean acidification in the Bay of Biscay: literature review and pH measurements

**López, Ander, Larreta, Joana, González, Manuel, Cuesta, Luis, Irigoien, Xabier and Chust, Guillem**

Key words: CO<sub>2</sub>, pH, Ocean Acidification, Bay of Biscay

## Introduction

The increase in the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub>, resulting from the use of fossil fuels as a source of energy, has led to an increase in the dissolved levels of this carbonic gas in seawater. This has in turn triggered a decrease in the pH value of seawater (Webb 2019), a process known as Ocean Acidification (OA). According to the *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), OA is defined as “a reduction in the pH of the oceans over an extended period, typically decades or longer, caused primarily by the uptake of atmospheric carbon dioxide” (Bellerby 2013).

The OA has become one of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (UN) due to the impacts produced on marine ecosystems, thus being recognised as a main indicator of climate change due to its relationship with the increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration (Tilbrook et al. 2019).

The main objective of this study is to determine the AO status of the waters of the Bay of Biscay and the influence of the restoration of polluted estuaries in pH. To this end, an analysis of the variability of pH in Basque estuarine and coastal waters has been carried out. In addition, in order to compare the local variation of pH for the Basque continental shelf with AO trends in different parts of the world, pH data (mean values, trends and projections) for the global ocean and the Atlantic Ocean have been collected (Table 1).

**Table 1.** Average values, trends, and projections of pH.

	Global Ocean	Atlantic Ocean	Bay of Biscay
Average pH value	8.132 pH units		8.055 pH units
pH Trends	Decline of 0.0199 pH units per decade	Decline of 0.0131 pH units per decade	Decline of 0.0162 pH units per decade
Projections	Decrease of 0.2525 pH units per decade by the end of the 21 <sup>st</sup> century, with respect to the current period.		

AZTI Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Txatxarramendi ugarteia z/g, Sukarrieta (Bizkaia) Spain  
E-mail contact: gchust@azti.es

## Materials and methods

A time series on pH was obtained from the marine stations of the “Network for monitoring transitional and coastal waters of the Basque Autonomous Community” (Borja et al. 2021). From the CTD (Conductivity, Temperature, Depth) measurements, 10 stations (Figure 1) at different depths (Table 2) were selected: 5 stations located in the Nervión estuary (E-N10, E-N15, E-N17, E-N20 and E-N30), which was a highly polluted estuary that has been restored, 2 stations located on a shallow coastline (L-N10 and L-N20) next to the estuary mouth, and 3 stations located on open sea not (or very low) influenced by coastal and river discharges (L-RF10, L-RF20 and L-RF30).

**Table 2.** Depth at which pH samples have been taken at the different stations of the study.

Station	E- N10	E- N15	E- N17	E- N20	E- N30	L- N10	L- N20	L- RF10	L- RF20	L- RF30
Depth (m)	6	9	11	17	23	31	35	100	100	100

The data provided by the CTD have been supplemented by quarterly measurements obtained in winter, spring, summer and autumn. In addition, it should be noted that, for the data from the Nervión estuary the time series covers the period 1995-2021; for the data from the shallow coastal stations the time series covers the period 1995-20021 and; for the data from the deep coastal stations the time series covers the period 2002-2021.

The analysis of pH variability was carried out separately for each dataset using R language. For this, the construction of generalised additive models (GAM, Generalized Additive Model) has been carried out, allowing the study of the trend of pH through the years, taking into account seasonal variability (see Figure 1)

## Results and discussion

The analysis of time series of pH in the Basque coastal waters showed different trends associated to water type. In the case of the Nervión estuary stations (E-N10, E-N15, E-N17, E-N20 and E-N30), an increase in the pH value has been estimated for the period 1995-2021 (Figure 2. pH time series for the Nervión estuary stations E-N10, E-N17 and E-N17.), except for E-N17 where a decrease in this variable has been recorded. One of the explanations of this increase in pH is the cleaning up processes and the improvement in the environmental quality of the water that took place in the Nervión estuary in the last three decades (Borja et al. 2021). This environmental water quality improvement has been carried out through chemical processes such as oxygenation, releasing oxygen into the marine environment and removing CO<sub>2</sub> from it, thus reducing pH values (see Figure 2).



Figure 1. Map showing the location of estuarine stations, shallow coastal stations and deep coastal stations.



Figure 2. pH time series for the Nervión estuary stations E-N10, E-N17 and E-N17.

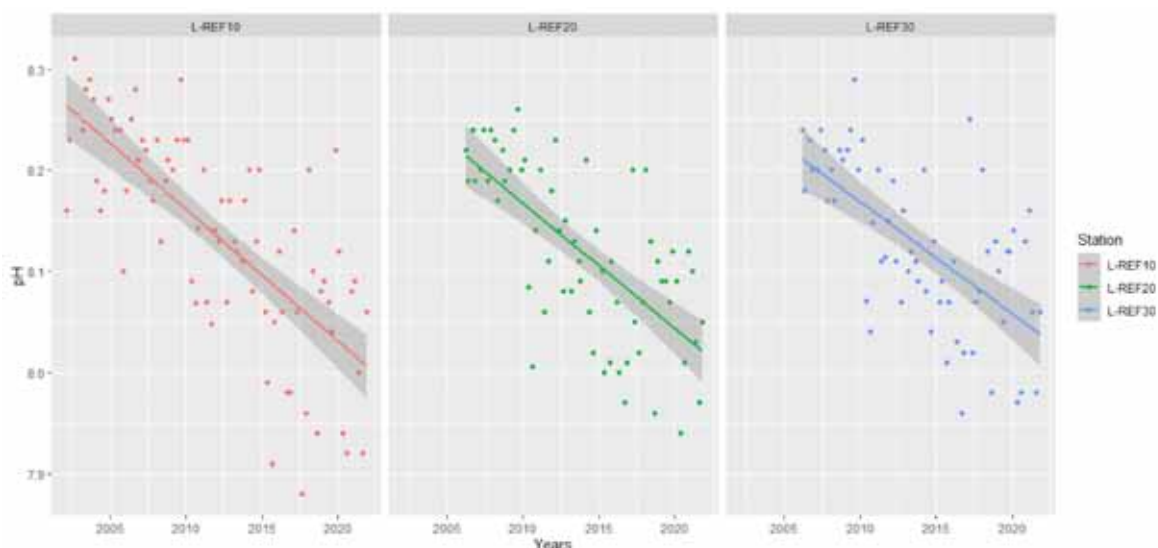


Figure 3. pH time series for deep shore stations L-REF10, L-REF20 and L-REF30.

The shallow coastal stations (L-N10 and L-N20) have shown a positive trend as the estuarine stations. As these are located at the mouth of the Nervión estuary, they have a certain similarity to the estuarine stations located in the Nervión estuary. Therefore, the observed increase in pH is again attributed to the improvement in the oxygenation of the estuary, due to the different improvement actions carried out in the cleaning up of the water.

Finally, in the deeper littoral stations (L-RF10, L-RF20 and L-RF30) located on the continental shelf, a completely different trend to that observed in the estuaries has been revealed. These stations have shown a decrease in pH over the whole time period analyzed. (Figure 3. pH time series for deep shore stations L-REF10, L-REF20 and L-REF30.). All three stations have shown a decrease of ~0.2 pH units from 2002 to 2021, showing rates of decrease of ~0.12 pH units per decade. Comparison these trends with those from the literature review (e.g., Global Ocean, Atlantic Ocean) confirms the existence of the OA process in the Bay of Biscay. (see Figure 3)

## Conclusions

The most relevant conclusions regarding the state of OA in the Bay of Biscay can be synthesised as follows:

From the study carried out, a pH decline rate of 0.111-0.130 units per decade has been identified on the Basque coast during the last two decades, which is slightly higher than the rate over larger periods in the North Atlantic (0.013 units per decade in the period 1956-2011) and the global scale (0.020 units per decade in the period 1961-2015). This result indicates that pH decrease observed on the Basque coastal waters is associated with the global ocean acidification process.

On the other hand, it has been observed that the variability of pH in Basque estuaries does not show the same trend as in deep coastal stations. In the Nervión estuary, the pH value has increased in the period 1994-2021, probably due to the greater oxygenation of the water produced by the restoration and improvement of the general estuary environmental status.

## References

- Archibald, K. M.; Siegel, D. A. and Doney, S. C. 2019. Modeling the Impact of Zooplankton Diel Vertical Migration on the Carbon Export Flux of the Biological Pump. *Global Biogeochemical Cycles* 33:181-199.
- Bach, L. T.; Mackinder, L. C. M.; Schulz, K. G.; Wheeler, G.; Schroder, D. C.; Brownlee, C. and Riebesell, U. 2013. Dissecting the impact of CO<sub>2</sub> and pH on the mechanisms of photosynthesis and calcification in the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. *New Phytol* 199:121-134.
- Borja, Á.; Bald, J.; Uyarra M. C.; Franco, J.; Larreta, J.; Menchaca, I.; Muxika, I.; Pouso, S.; Garmendia, J. M.; Lanzén, A.; Revilla, M.; Rodríguez, J. G.; Sagarmínaga, Y.; Solaun, O.; Uriarte, A.; Zorita, I.; Adarraga, I.; Aguirrezabalaga, F.; Sola, J. C.; Cruz, I.; Marquiegui, M. A.; Martínez, J.; Ruiz, J. M.; Cano, M.; Laza-Martínez, A. and Manzanos, A. 2021. Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe de resultados. Campaña 2020.
- Chester, R. 1990. *Maine Geochemistry*. Academic Division of Unwin Hyman LTD.
- Doney, S. C.; Fabry V. J.; Feely, R. A. and Kleypas, J. A. 2009. Ocean

- acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Ann Rev Mar Sci* 1:169-192.
- Herring, J.; Campbell, A. K.; Whitfield, M. and Maddock, L. 1990. *Light and Life in the Sea*. Marine Biological Association of the United Kingdom.
- Tilbrook, B.; Jewett, E. B.; DeGrandpre, M. D.; Hernandez-Ayon, J. M.; Feely, R. A.; Gledhill, D. K.; Hansson, L.; Isensee, K.; Kurz, M. L.; Newton, J. A.; Siedlecki, S. A.; Chai, F.; Dupont, S.; Graco, M.; Calvo, E.; Greeley, D.; Kapsenberg, L.; Lebec, M.; Pelejero, C.; Schoo, K. L. and Telszewski, M. 2019. An Enhanced Ocean Acidification Observing Network: From People to Technology to Data Synthesis and Information Exchange. *Frontiers in Marine Science* 6.
- Webb, P. 2019. *Introduction to Oceanography*. Rebus Community.

## Acknowledgements

This study has been supported by Naturklima (<https://naturklima.eus>) and the Urban Klima 2050 – LIFE 18 IPC 000001 project which has been received funding from European Union's LIFE programme.

# Biobased ropes (BIOGEARS) use in longline vs. raft mussel (*Mytilus galloprovincialis*) aquaculture: towards lower impact aquaculture

**Arantzamendi, Leire<sup>1</sup>, Andrés, Marga<sup>1</sup>, C. Basurko, Oihane<sup>1</sup>, Martín, Inma<sup>1</sup>, Zorita, Izaskun<sup>1</sup>, Larreta, Joana<sup>1</sup>, Suárez, M<sup>a</sup> José<sup>2</sup>, Pocheville, Ainara<sup>2</sup>, Van der Schueren, Lien<sup>3</sup>, Maher, Jane<sup>4</sup>, Aguinaga, Mikel<sup>5</sup>.**

**Keywords:** Biobased ropes, sustainability, aquaculture carbon footprint.

## Introduction

Low trophic aquaculture, such as bivalve species, can be candidate species for the minimization of environmental impact of worldwide growing aquaculture, while providing consumers with high quality and nutritive seafood. Nowadays, mussels are cultured suspended mainly in raft and longline systems, using ropes made of non-biodegradable petrol-based plastic, currently estimated in 1,600,000 to 3,300,000 metres/year. The current growth estimations of mussel offshore productions would correspondingly increase the use of petrol-based plastic ropes. Inadequate waste collection facilities at harbours and end of life (EoL) management possibilities of these ropes, may result in augmenting marine litter and microplastics entering the oceans. EU BIOGEARS project addresses the challenge of minimizing the use of petrol-based plastics in the sea by developing biobased and compostable ropes, or BioGears. At the end of life, biogears are being validated to entering in-land organic recycling circuits, hence greatly reducing carbon footprint along the whole value chain. The aim of this study is to assess and compare the aquaculture performance and quality of mussel cultured suspended in two biogears prototypes vs. commercial rope counterparts in an offshore longline and in a raft.

After assessing the functionality of biobased rope prototypes (BioGears) in mussel suspended culture in a longline systems along one production cycle their environmental assessment is being carried out, focused on two aspects: on one hand, to evaluate their disintegrability and biodegradability to consider composting as an EoL option with potential to generate circular economy; and on the other hand, to calculate the reduction of the carbon footprint and climate change impact of BioGears with respect to conventional fossil-source plastic aquaculture ropes. Their carbon

footprint is under calculation with the Life Cycle Analysis (LCA) methodology and finally the cost-effectiveness of BioGears will be finalized by the end of the project.

## Materials and methods

Biogears prototypes of two different compounds based on commercially available biobased polymers, B1 and B2, with adequate durability and functionality for mussel productions, were manufactured with currently used industrial processes for aquaculture rope manufacturing. For one production cycle (July 2021-July 2022), the rope effect on mussel grow-out in longline vs. in raft will be assessed and compared. Bimonthly, growth and survival of the mussels, condition index and meat yield, proximal composition and fatty acid profiles are being assessed in both locations (SE Bay of Biscay).

The following parameters were monitored during the experimental period:

- Environmental parameters (nutrients, physicochemical, sanitary status)
- Growth performance (length, weight), mortality
- Quality parameters: Condition Index, meat yield, composition

## Results and discussion

Preliminary results of the mussel growth performance in the experimental period from September 2021 to March 2022 are shown in Figure 1. After the conditioning period B1 mussel showed a higher shell length and body weight than mussel from the rest of groups (B2 and GR mussel showing similar size, in body weight and shell length). Correspondingly, mussel abundance (in weight of individuals) was also higher in B1 group. Over the six months in culture the overall mussel growth was higher in longline than in raft cultured mussel, both in shell length (~ 5 mm), body weight (~ 4g) as well as in mussel abundance (~ 750 g), irrespective of the rope type. Mussel shell length was not affected by rope type either grown-out in longline or in raft after six months. However, B1 and GR mussels grown-out in longline and B1 grown in raft systems showed higher individual body weights. An overall loss of mussel occurred in all types of ropes over the experimental period. In longline, biobased ropes B1 and B2 showed higher mussel final weight per linear meter of rope than the commercial counterpart (GR). In the raft, the final abundance of mussel was higher in B1

<sup>1</sup>AZTI, Txatxarramendi Ugarteia z/g, 48395 Sukarrieta (Bizkaia) Spain

<sup>2</sup>GAIKER, Parque Tecnológico, Edificio 202, 48170 Zamudio (Bizkaia) Spain

<sup>3</sup>CENTEXBEL, Rue Montoyer 24/2, 1000 Bruxelles (Bruxelles) Belgium

<sup>4</sup>ERINN Innovation, Olympic House, Pleasants Street, Dublin 8 Dublin (Leinster) Ireland

<sup>5</sup>ITSASKORDA, S.L., Polig. Kareaga 1 Pab.2, 48270 Markina-Xemein (Bizkaia) Spain

E-mail contact: larantzamendi@azti.es

than in the rest of groups, observing similar values among B2 and GR ropes.

Overall, these preliminary results may suggest rope type effect on mussel growth and abundance. Biobased rope B1 promoted a higher mussel growth and abundance than commercial fossil-source plastic ropes (GR) in raft. In longline, B1 and B2, promoted higher mussel abundances, which could be due to a better attachment of mussel to biobased ropes. Attachment to ropes is a critical aspect that influences mussel crop loss especially in offshore productions in high energy environments. Composition and quality parameters are being analyzed..

## Conclusions

According to the results obtained so far biobased ropes could lead to more promising production yields than GR ropes in raft and especially in longline systems.

BIOGEARS is funded under EMFF-01-2018 *Blue Labs: Innovative Solutions for Maritime Challenges* programme by CINEA.



**Figure 1.** Growth performance of mussel in shell length (a, b), body weight (c, d) and abundance (e, f) cultured in biobased B1 and B2 ropes and commercial petrol-based plastic ropes suspended in longline and raft systems

# BIOGEARS: Sustainability assessment of biobased ropes for use in mussel and seaweed to reduce aquaculture carbon footprint and generate circular economy

**Pocheville, Ainara<sup>1</sup>, Suárez, M<sup>a</sup> José<sup>1</sup>, Arantzamendi, Leire<sup>2</sup>, Andrés, Marga<sup>2</sup>, Van der Schueren, Lien<sup>3</sup>, Aguinaga, Mikel<sup>4</sup>, Maher, Jane<sup>5</sup>**

**Keywords:** Biobased ropes, sustainability, aquaculture carbon footprint.

## Introduction

Offshore mussel culture is a promising sector for the expansion and growth of the European aquaculture. Currently, this sector makes use of oil-based ropes and a growth in that industry will require more rope production, which could significantly contribute to generate plastic waste and marine litter, thus increasing pollution in the marine environment and the footprint of the aquaculture sector. To boost a more sustainable European aquaculture with a reduced carbon footprint along the whole value chain, BIOGEARS is challenging the development and validation of innovative biobased gears for mussel and algae culture. The potential use and further application of BioGears ropes is evaluated by assessing the sustainability of ropes, in terms of their technical, economic and environmental performance at sea for mussels and seaweed culture, with the aim at comparing the benefits of using biobased instead of conventional fossil-based materials in the whole life cycle of the aquaculture gears.

The technical assessment involves monitoring periodically the mechanical properties of the rope prototypes tested in a production cycle of mussel in longline facilities for one year. In the economic evaluation, the cost-effectiveness of BioGears products in terms of production yield and product quality is under study. The environmental assessment of the BioGears prototypes is focused on two aspects: on one hand, to evaluate the disintegrability and biodegradability of the biobased prototypes to consider composting as an End-of-Life (EoL) option with potential to generate circular economy; and on the other hand, to calculate the reduction of the carbon footprint and climate change impact of BioGears with respect to conventional fossil-source plastic gears. The lifecycle inventory data for the BioGears prototypes has been compiled for the economic and environmental assessments, including data

related to the production, distribution, use and end-of-life stages. The cost-effectiveness of BioGears products will be finalized at the end of the project and their carbon footprint is under calculation with the Life Cycle Analysis (LCA) methodology.

## Materials and methods

The technical performance of the biobased ropes in a production cycle of mussels in long line facilities during one year was evaluated, by monitoring the mechanical properties of the BIOGEARS prototypes for one year. Samples of B1 and B2 prototypes were taken from the sea culture at different times (months 2, 8 and 12) and the load at break and linear density was measured with the tensile test.

The disintegration and/or biodegradation rates of biobased prototypes in different environments (composting conditions, soil, seawater) have been evaluated conducting several tests following recognised standards at laboratory scale: Aerobic biodegradability of BioGears ropes in composting conditions (UNE-EN ISO 14855); Disintegrability of biobased materials simulating industrial composting conditions at laboratory scale (UNE-EN-ISO 20200); Soil burial test (BS 6085-2), to evaluate the resistance of developed biomaterials to microbiological deterioration, and finally, the degradation rate of BioGears with the sediment/seawater interface degradation method (ISO 23832:2021).

The following materials have been used in these tests:

- Reference materials: cellulose, polylactide acid (PLA).
- Gears samples: GROPE rope (commercial fossil-based rope), BIOGEARS prototypes (B1 and B2 biobased yarns/ropes).

## Results and discussion

In the technical assessment of the biobased rope prototypes tested in longline for mussels culture (Figure 1), monitoring results of the mechanical properties showed that: a) conventional rope GROPE kept a constant value and b) in the case of BIOGEARS prototypes (B1 & B2), although a slight decrease was observed in the first 2 months, afterwards they kept a similar value and the load at break was good enough to ensure the durability and functionality of these ropes.

<sup>1</sup> GAIKER, Parque Tecnológico, Edificio 202, 48170 Zamudio (Bizkaia) Spain

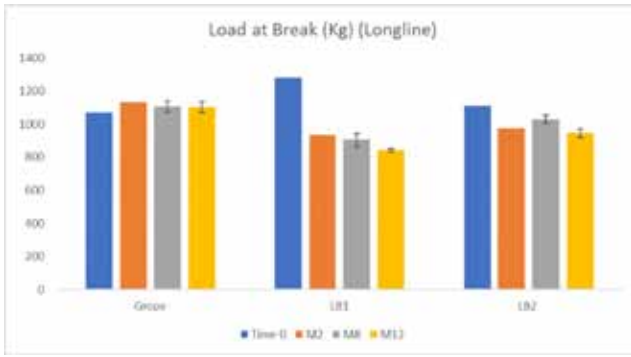
<sup>2</sup> AZTI, Txatxarramendi Ugarte a z/g, 48395 Sukarrieta (Bizkaia) Spain

<sup>3</sup> CENTEXBEL, Rue Montoyer 24/2, 1000 Bruxelles (Bruxelles) Belgium

<sup>4</sup> ITSASKORDA, S.L., Polig. Kareaga 1 Pab.2, 48270 Markina-Xemein (Bizkaia) Spain

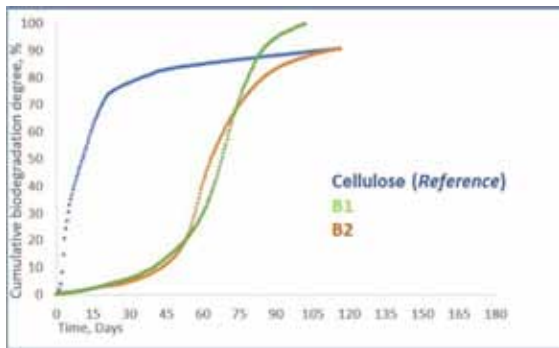
<sup>5</sup> ERINN Innovation, Olympic House, Pleasants Street, Dublin 8 Dublin (Leinster) Ireland

E-mail contact: [pocheville@gaiker.es](mailto:pocheville@gaiker.es)



**Figure 1.** Monitoring tensile of ropes in the sea culture for 1 year in longline. Load at break (kg) vs. months (M).

The biodegradation and disintegration study of BIOGEARS prototypes following recognised standards has been conducted to determine the potential compostability of the biobased ropes. In the biodegradability in composting conditions test (UNE-EN ISO 14855) the aerobic biodegradation of a material is measured, that is, the Total Organic Carbon (TOC) converted into carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and water. The biodegradation degree of BIOGEARS prototypes (B1 and B2) against the cellulose (reference material) was more than 90% after 89 days, and both biobased materials reached the stationary phase in 116 days (Figure 2).



**Figure 2.** Biodegradation degree of BIOGEARS prototypes vs. Cellulose (reference).

In the disintegrability test in simulated lab composting conditions (UNE-EN ISO 20200), ropes that had been used in

mussels culture during 6 months at sea (longline) were tested. As a result, more than 90% of the BIOGEARS ropes were disintegrated to a particle size  $\varnothing < 2\text{mm}$  in less than 45 days, showing fast disintegration under industrial composting conditions ( $T = 58\text{C} \pm 2\text{C}$ ), and leading to the disintegration of more than 95% of the biobased rope prototypes after 60 days. By contrast, the commercial fossil-based rope GROPE remained unchanged (Figure 3. Disintegrability test in simulated lab composting conditions. BIOGEARS (B1&B2) vs. GROPE (ref.).).

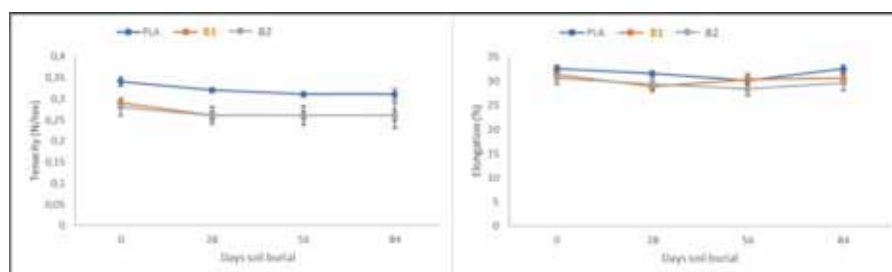
Considering the results of the biodegradability tests in composting conditions obtained at laboratory scale, it is expected that BIOGEARS ropes will be potentially compostable in industrial composting facilities. However, other chemical parameters like volatile solids, heavy metals content, total nitrogen content NTK and salinity of compost (UNE-EN 14995), and compost ecotoxicity (EN 13432) are under study to complete the evaluation of the compostability of the biobased prototypes.

Next, different tests were conducted to study the degradation rate of BIOGEARS prototypes in different environments (soil and marine) at laboratory conditions to determine the durability of prototypes. Soil burial test (BS 6085-2) was conducted to evaluate the resistance of developed biomaterials to microbiological deterioration in soil under mesophilic conditions (28 C, relative humidity >95%). In this test, the mechanical properties of tenacity and elongation of BIOGEARS materials and the reference PLA were monitored during 84 days (Figure 4. Soil burial test. Monitoring of tenacity and yarn elongation (BIOGEARS prototypes vs. PLA as reference)). Regarding tenacity, although an initial small drop was observed after 28 days, then it remained constant. No effect on the yarn elongation was detected and no deterioration of the materials was observed under the microscope. According to these results, BIOGEARS prototypes will not biodegrade in soil at ambient temperature.

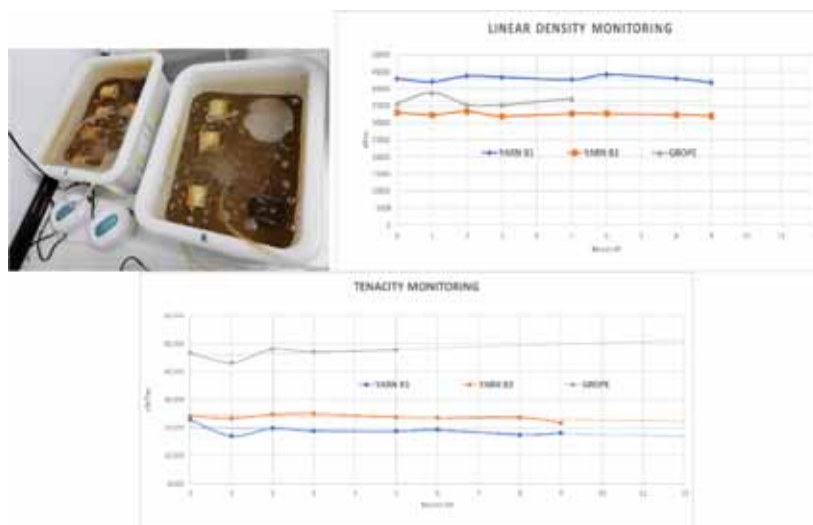
The degradation rate of BIOGEARS yarns exposed to marine environments matrices under laboratory conditions is currently under study following the sediment/seawater interface degradation method (ISO 23832:2021). This test will be running for one year, but no changes in the linear density and tenacity of ropes have been observed after 9 months (Figure 5. Degradation of BIOGEARS exposed to marine environments at lab scale: Monitoring linear density and tenacity during 1 year.). Considering these preliminary results, BIOGEARS prototypes will not be degraded in seawater.



**Figure 3.** Disintegrability test in simulated lab composting conditions. BIOGEARS (B1&B2) vs. GROPE (ref.).



**Figure 4.** Soil burial test. Monitoring of tenacity and yarn elongation (BIOGEARS prototypes vs. PLA as reference).



**Figure 5.** Degradation of BIOGEARS exposed to marine environments at lab scale: Monitoring linear density and tenacity during 1 year.

## Conclusions

According to the results obtained so far in the sustainability assessment of the BIOGEARS prototypes for mussel and algae culture, it can be concluded that: a) loss in mechanical properties of BIOGEARS has not been detected in soil and seawater; and b) BIOGEARS ropes could be potentially treated in industrial composting facilities, being composting an alternative EoL option for biobased ropes. These experimental results are being considered in the LCA study to calculate the impact on climate change generated in the whole life cycle of BIOGEARS ropes and to evaluate the influence of using biobased materials in the carbon footprint of aquaculture. Final results of the sustainability assessment will be obtained at the end of the BIOGEARS project in upcoming months.

## References

- EN ISO 20200:2016. Plastics - Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test (ISO 20200:2015).
- BS 6085-2. Methods for determination of the resistance of textiles to microbiological deterioration (1992).
- ISO 23832:2021. Plastics — Test methods for determination of degradation rate and disintegration degree of plastic materials exposed to marine

environmental matrices under laboratory conditions.

UNE-EN 14995. Plastics - Evaluation of compostability - Test scheme and specifications.

EN 13432:2001. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging.

## Acknowledgements

The authors thank BIZKAIKO KONPOSTEGIA for gently providing industrial compost for experimental tests.

BIOGEARS is funded under EMFF-01-2018 *Blue Labs: Innovative Solutions for Maritime Challenges* programme by CINEA.



**IV. MULTZOA – Gobernantza, kudeaketa tresnak eta komunikazioa**  
**BLOQUE IV – Gobernanza, herramientas de gestión y comunicación**  
**BLOC IV – Gouvernance, outils de gestion et communication**  
**SESSION IV – Governance, management tools and communication**

# Lidiar con los riesgos costeros en las regiones transfronterizas del Atlántico

**Rebotier, Julien<sup>1</sup>**

**Palabras clave:** Territorio; Ordenamiento; Adaptación; Erosión; Regiones costeras

## Introducción

Esta comunicación es el fruto de un trabajo preparatorio para solicitar fondos de investigación a la mancomunidad vasca de Francia (CAPB). El primer eslabón del trabajo consiste en identificar oportunidades y obstáculos de gestión del espacio en el territorio de la CAPB, de cara a la gestión de los riesgos costeros. Luego de ese trabajo liminar y exploratorio, se trata de ampliar tanto el perímetro problemático como geográfico del estudio a regiones transfronterizas del arco atlántico europeo.

El contexto de esta solicitud a la CAPB consta de 4 elementos principales: las discusiones en curso relacionadas con el antropoceno, el « nivel del mar » y los riesgos costeros (IPCC 2019 – capítulo 4; Generalitat de Catalunya, 2021) ; la distribución de los elementos esenciales de la CAPB y sus dinámicas territoriales altamente centrados en la banda litoral (Gayon, 2016) ; la historia de los desastres recientes en Francia (con Xynthia, Chauveau *et al.*, 2011) y la presión creciente del Estado para fomentar una gestión de los riesgos costeros más proactiva ; las iniciativas locales de la CAPB para diseñar estrategias de gestión e iniciar procesos de adaptación, en particular en la parte costera.

Si bien las dinámicas de los procesos físicos involucrados en los riesgos costeros son importantes, las dinámicas de los sistemas territoriales también cuentan. En ningún momento los desastres dependen de los procesos físicos solamente (Pigeon y Rebotier 2016). De ahí la oportunidad de contemplar los retos planteados por los riesgos costeros desde la tierra y el mundo social, las dinámicas territoriales, la organización institucional, las oportunidades y limitaciones de los actores que operan, desde diferentes niveles, en el territorio (Reghezza 2015). De las palabras propias de un funcionario de los servicios desconcentrados del Estado francés, el retroceso de la línea de costa representa a mediano plazo un golpe para los territorios tan fuerte como fue el cierre de las minas de carbón en el norte de Francia.

Sabemos que importantes transformaciones territoriales en la costa se nos acercan. Pero no sabemos cuáles son, ni como se darán. También, aparece que dichas transformaciones serán el producto de elecciones políticas para las cuales ni la ciencia ni la técnica podrán servir de último árbitro. En consecuencia, decidimos partir de las herramientas disponibles (y por inventar), de los contextos territoriales y de los desafíos planteados al ordenamiento y a la gestión del espacio.

## Materiales y métodos

La metodología de investigación consiste en establecer un doble panorama: 1) de los dispositivos de gestión y de ordenamiento disponibles para pensar las respuestas espaciales a los riesgos costeros, y 2) de los dispositivos de gestión de riesgos a disposición de los territorios costeros.

¡Y en muchos casos, las posibilidades resultan restringidas! Más de la mitad del territorio de la municipalidad de Biarritz cuenta con una obligación reglamentaria que enmarca sus opciones de ordenamiento (perímetro de conservación ambiental, patrimonial, ley de protección litoral, corredor aéreo, etc.). El margen disponible para una recomposición territorial resulta cuanto más reducido. En el ámbito de la gestión de riesgo, el contexto de descentralización en Francia solicita siempre más las autoridades públicas locales en ese tema. Pero también diseña los contornos de lo posible e imposible. La ley “Clima y resiliencia” (2019) no considera la erosión costera como un riesgo mayor (por ser previsible, está excluida la erosión de algunos dispositivos de respuesta, solidaridad nacional, e inversión para la prevención), mientras que la submersión marina sigue siendo parte del dispositivo nacional de catástrofe natural.

La construcción metódica de ambos panoramas de documentos / dispositivos (tanto de gestión del espacio como de gestión de riesgos) enseña cuán importantes pueden ser los obstáculos pero también las posibilidades ofertadas por los mecanismos disponibles a la hora de pensar en concreto la recomposición anticipada de los territorios costeros. Ya es objeto de informes y reflexiones dispersas (Buchou, 2019; Depresle *et al.*, 2019), pero que ponen todos en evidencia algunos callejones sin salida o paradojas sumamente sensibles.

Más allá de la CAPB, y para dar perspectiva a las problemáticas territoriales en torno a los riesgos costeros, las regiones transfronterizas ofrecen casos particularmente adecuados. Contemplar un mismo problema en territorios tan cercanos, pero de lado y otro de una frontera estatal evidencia cuanto los problemas con los cuales lidiar para la gestión de riesgos costeros no se relacionan solamente con el material del acantilado, la física del océano o los regímenes de precipitación. También tienen que ver con la gobernanza, la reglamentación, las doctrinas vigentes o las relaciones político-territoriales imperantes. Es por ello que pretendemos ampliar, en un segundo tiempo, el marco de investigación a regiones transfronterizas del arco atlántico europeo.

## Problemáticas y discusión

Debido al estatuto programático de esta comunicación, más bien que « resultados » en esta sección se comparten preguntas

<sup>1</sup>CNRS, UMR TREE – 6031, Bayonne, France  
E-mail: [julien.rebotier@cnrs.fr](mailto:julien.rebotier@cnrs.fr)

y paradojas en base a 2 casos, de tal manera que aparecen perspectivas prácticas de investigación, por explorar.

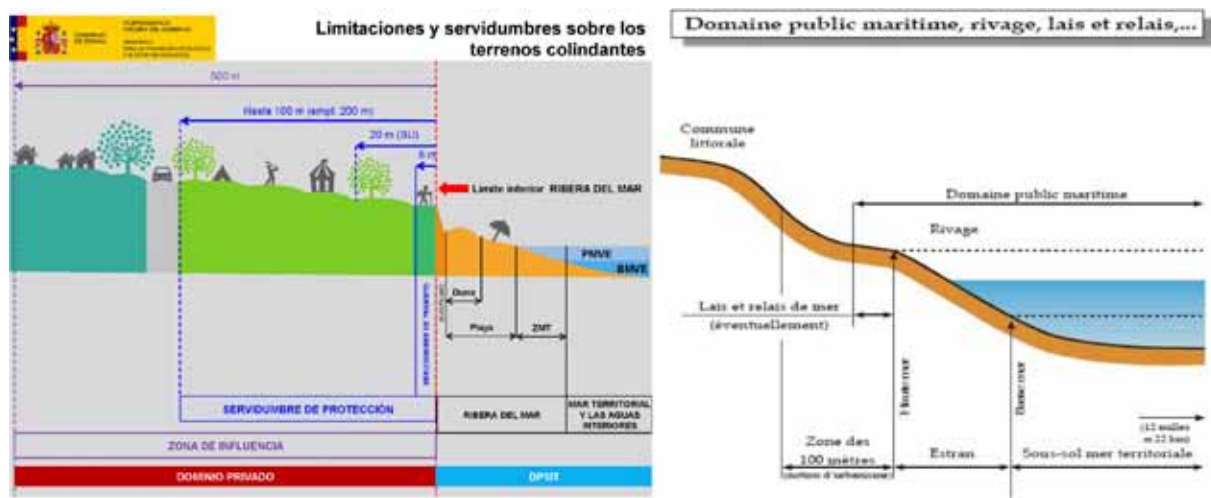
En primer lugar, se puede mencionar el caso de una operación excepcional de ordenamiento (Figura 1) que asocia varios actores desde la municipalidad de Donibane Lohizune hasta los servicios del Estado. El dispositivo “PPA” para Proyecto conjunto de ordenamiento toma sus raíces tanto en el plan de dinamización económica del Estado (a raíz de la pandemia de COVID) como en las oportunidades ofrecidas por la ley “Clima y resiliencia” reciente. Tiene como objetivo explorar nuevas formas de intervención en el espacio, asociando diferentes actores. En este caso, se trata de inventar caminos inéditos para solucionar ecuaciones imposibles de resolver frente a la dinámica de la línea de costa, considerando las restricciones vigentes y la disponibilidad de recursos. Se exploran tanto posibilidades reglamentarias, institucionales o legales como dispositivos de financiación y de seguro. Con ese tipo de dispositivo excepcional se abre de forma

controlada una caja de Pandora: ¿Hasta qué punto revisamos los marcos de intervención en un espacio tan sensible como el litoral? ¿Cómo garantizar condiciones de financiación del ordenamiento litoral equiparables – y sostenibles – en todo el territorio nacional? Esas preguntas (y muchas otras) quedan por ser respondidas (y en muchos casos, por ser formuladas).

En segundo lugar, podemos recalcar el interés de contemplar regiones transfronterizas, en particular en el caso de Francia y España (Rebotier y Olcina, 2021). Permite explorar aspectos importantes pero poco visibles al mantener la reflexión en un único entorno nacional o territorial. Por ejemplo, la mera identificación de las regiones costeras y de los actores en responsabilidad difiere de lado y otro de la frontera (Figura 2). En España, la ley de Costa (estado español) rige los 500 primeros metros desde el mar, mientras que el “litoral” corresponde a las autoridades locales (comunidades). No existe tal división en Francia, y la identificación es otra. ¿Qué aporta? ¿Qué permite?



**Figura 1.** Perímetro del Proyecto conjunto de ordenamiento en Donibane Lohizune (2021-2024)  
 Fuente: <https://www.saintjeandeluz.fr/fr/vie-quotidienne/ville-durable/adaptation-au-recul-du-trait-de-cote/>



**Figura 2.** Diferentes delimitaciones del dominio público marítimo terrestre en España (izquierda) y en Francia (derecha)  
 Fuente: Ministerio de la transición ecológica y [https://aida.ineris.fr/consultation\\_document/35220](https://aida.ineris.fr/consultation_document/35220)

¿Qué evidencia esa situación? También las dinámicas territoriales y el ordenamiento corresponden a cronologías nacionales eminentemente contextuales. Se insertan en agendas propias, que sean políticas, institucionales o de las opiniones públicas.

## Conclusiones

La oportunidad de una investigación comparada entre contextos territoriales, reglamentarios, institucionales, fiscales, económicos (entre otros) distintos no tiene como objetivo realizar un *benchmark* de las iniciativas o dinámicas vigentes en las regiones costeras frente a la erosión y al retroceso de la línea de costa. El objetivo principal radica más bien en entender y hacer más explícitos aún, en cada contexto, los mecanismos y las dinámicas más significativas de los sistemas territoriales (necesariamente complejos) en dos perspectivas :

A la hora de sufrir desastres (rupturas, grandes pérdidas, cuando los sistemas sociales están puestos bajo tensión). Los desastres no se relacionan directamente con las características de las amenazas. A fuertes estragos del mar, grandes tormentas o retrocesos masivos de la línea de costa pueden corresponder daños y pérdidas leves, mientras fenómenos físicos de características relativamente menores o moderadas pueden estar asociados con desastres trágicos y de fuerte intensidad de daños (GAR, 2015).

A la hora de acompañar cambios y de anticipar transformaciones físicas cuyos efectos nefastos no se pueden erradicar (las costas rocosas no pueden sino retroceder). Las intervenciones en el territorio son regidas por una gran cantidad de leyes, normas, reglas, y prácticas que varían a diferentes escalas, desde el espacio europeo hasta el nivel de las intervenciones concretas, en el terreno. Es fundamental reconocer la sensibilidad de la adaptación de las regiones costeras a estos contextos complejos de intervención para fomentar cuantas opciones y alternativas fueran posibles para una recomposición territorial inevitable.

Tanto para anticipar los desastres y reducir los daños y pérdidas, como para anticipar los grandes movimientos necesarios de la planificación y del pilotaje de los territorios en las regiones costeras, el estudio comparado de regiones transfronterizas ofrece un dispositivo tipo observatorio de experiencias potencialmente enriquecedoras. Fuera de las especificidades físicas y a gran escala de los sitios costeros, ni las dinámicas del océano ni la calidad del material rocoso pueden polarizar por sí solos la atención, los recursos y las posibles soluciones de cara a los desastres y a la planificación. Comparar los sistemas territoriales de lado y otro de la frontera lo evidencia, y ofrece potencialmente pistas de adaptación pragmáticas y territorializadas. Ello no significa que se descartan las dimensiones físicas de la erosión costera o de los riesgos de desastres en general, sino que es posible llevar adelante un estudio sobre el tema a partir de las dinámicas de los mundos sociales y de los territorios, involucrando las dimensiones físicas (Duvat *et al.*, 2021).

Desgraciadamente, el apoyo al primer eslabón de trabajo que preveía contemplar los desafíos de la erosión costera en el territorio de Iparralde ha sido denegado por la mancomunidad vasca de Francia. Tales circunstancias no afectan ni la pertinencia

ni la especificidad del planteamiento de la investigación, sino que impide ejecutarla y empezar a producir conocimientos en el sentido de esta propuesta, por ahora.

## Referencias

- Buchou, S. 2019. Quel littoral pour demain ? Rapport remis à M. le Premier Ministre. France, Assemblée Nationale. 113 p.
- Chauveau, E., Chadenas, C., Comentale, B., Pottier, P., Blanlœuil, A., Feuillet, T., Mercier, D., Pourinet, L., Rollo, N., Tillier, I., Trouillet, B. 2011. *Xynthia : leçons d'une catastrophe. Cybergeog: European Journal of Geography, documento 538*. En línea: <http://journals.openedition.org/cybergeog/23763>
- Depresle, B., Galibert, T., Rocchi, J-F, Garnier, F, Menanteau, J-P, Audenis, C, Houldsworth, J. 2019. Recomposition spatiale des territoires littoraux. Paris, CGEDD, IGA, IGF. 234 p.
- Duvat, V., Volto, N., Stahl, L., Moatty, A., Defossez, S., Desarthe, J., Grancher, D., Pillet, V. 2021. Understanding interlinkages between long-term trajectory of exposure and vulnerability, path dependency and cascading impacts of disasters in Saint Martin (Caribbean). *Global Environmental Change* 67: 102236.
- GAR. 2015. Global Assessment Report. Making Development Sustainable. Ginebra, UNISDR. 316 p.
- Gayon, B. 2016. Le foncier au pays basque. Un territoire d'expérimentations. Bayonne, Elkar. 91 p.
- Generalitat de Catalunya. 2021. Un litoral al límit. Informe 1. En línea: <http://cads.gencat.cat/ca/detalls/detallnoticia/Presentacio-de-linforme-Un-litoral-al-limit>
- IPCC. 2019. Climate Change and Land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.). En línea: <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Pigeon, P., Rebotier, J. 2016. Disaster Prevention Policies. A Challenging and Critical Outlook. Londres, UK. ISTE, Elsevier. 220 p.
- Rebotier, J., Olcina, J. 2021. Les défis de la gestion des régions côtières à l'heure du réchauffement climatique. Regards croisés France – Espagne. *Sud-Ouest Européen* 52: 149-164.
- Reghezza, M. 2015. Territorialiser ou ne pas territorialiser les risques et l'incertitude. *L'espace politique* 26(2). En línea: <https://journals.openedition.org/espacepolitique/3543>

## Reconocimientos

El autor agradece a los colegas de Francia y España involucrados en la reflexión y en la elaboración de la propuesta dirigida a la CAPB. El mero hecho de tomar en serio la oportunidad de un planteamiento alternativo de los riesgos costeros de cara a una adaptación justa y sostenible de los territorios nos ha abierto ya perspectivas de trabajo a largo plazo.

# La adaptación de la costa al cambio climático tras la Ley de cambio climático y la modificación del Reglamento General de Costas

Pons Cànovas, Ferran<sup>1</sup>

**Keywords:** cambio climático, adaptación, costa, concesión, prórroga extraordinaria, duración.

## La prórroga extraordinaria de las concesiones de dominio público marítimo-terrestre supone prolongar la exposición y la vulnerabilidad de infinidad de construcciones situadas en la costa

Esta comunicación tiene por finalidad exponer los efectos en la adaptación de la costa al cambio climático que pueden desprenderse de las previsiones contenidas en el artículo 20 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, y de la modificación del Reglamento General de Costas de 2014 (en adelante RGC), aprobada por Real Decreto 668/2022, de 1 de agosto. Se centra la atención en las modificaciones producidas en el régimen de la prórroga extraordinaria de las concesiones de ocupación del dominio público marítimo-terrestre (en adelante DPMT) otorgadas antes de la entrada en vigor de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (en adelante LC).

A través del artículo 2 de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (en adelante Ley 2/2013), se introdujo la posibilidad de prorrogar las concesiones otorgadas antes de la Ley 22/1988, prórroga que -en sí misma- podía alcanzar hasta los setenta y cinco años, dependiendo de los usos. De esta manera se desmontaba el “sistema de recuperación de la integridad” del dominio público marítimo-terrestre diseñado en la Ley 22/1988, consistente en prever que a medida que se extinguieran las concesiones con ocupaciones que resultaran contrarias a la Ley se demolerían las construcciones, y como mucho, las concesiones se entenderían otorgadas por el plazo máximo de treinta años, a contar desde la entrada en vigor de la Ley, es decir, hasta el mes de julio de 2018. Como complemento, las concesiones prorrogadas pasaban a ser transmisibles por actos inter vivos (no solo mortis causa), y mientras estén vigentes, sus titulares pueden realizar obras de reparación, mejora, consolidación y modernización siempre que no impliquen aumento de volumen, altura ni superficie de las construcciones existentes. El artículo 2 de la Ley 2/2013 fue desarrollado con detalle por los artículos 172 a 178 del RGC. Entre otros aspectos, tales preceptos transformaron en

reglado el otorgamiento de la prórroga y reforzaron la posibilidad de prorrogar las concesiones con usos contrarios a la LC, como el de la vivienda o habitación. Este “nuevo sistema” suponía, en consecuencia, alargar la “vida” de infinidad de obras situadas en la costa y, de manera implícita, prolongar su exposición y vulnerabilidad a los riesgos de inundación.

Por medio del art. 20.3 y 4 de la Ley 7/2021 y del Real Decreto 668/2022 se han modificado tres cuestiones clave del régimen de la prórroga extraordinaria de las concesiones de ocupación del dominio público costero: se ha limitado su duración, se ha previsto una serie de criterios que deben tenerse en cuenta para otorgar las prórrogas y modular sus plazos, y se ha señalado expresamente que no pueden otorgarse prórrogas de concesiones con usos contrarios a la ley de Costas.

## Los cambios en el régimen de la prórroga extraordinaria se fundamentan en la necesidad de adaptar la costa a los efectos del cambio climático

La regulación de la prórroga extraordinaria de las concesiones prevista por la Ley 2/2013 y el RGC 2014 entraba claramente en tensión con el reto de adaptar la costa a los efectos del cambio climático. Si cuando se aprobaron estas normas ya eran bastante claras las evidencias acerca del potencial aumento de la cota de inundabilidad costera derivada del incremento del nivel del mar en los cada vez más frecuentes fenómenos meteorológicos extremos así como de la necesidad de reducir la exposición y la vulnerabilidad de las obras e instalaciones construidas en la costa, resulta que tales disposiciones instaban a que se otorgaran prórrogas de concesiones con una duración de hasta setenta y cinco años respecto de obras que, ya en aquel entonces, bajo temporales ordinarios, eran susceptibles de ser alcanzadas por el mar.

Ahora, en cambio, la modificación normativa objeto de tratamiento se enmarca expresamente en la necesidad de adaptar la costa a los efectos del cambio climático. Por un lado, es a través del apartado cuarto del artículo 20 de la Ley de cambio climático y transición energética, por tanto en un artículo dedicado a establecer previsiones sobre la consideración del cambio climático en la planificación y gestión del medio marino y de la costa, donde se fija en setenta y cinco años el plazo máximo de duración de los títulos de ocupación del DPMT a efectos de su aplicación a la prórroga extraordinaria de las concesiones. Y en cuanto al Real Decreto 668/2022, justo al principio de su preámbulo se justifica el necesario tratamiento de la regulación del DPMT desde la perspectiva de la adaptación a los impactos del cambio

<sup>1</sup>Área de Derecho Administrativo. Universidad Autónoma de Barcelona  
E-mail contact: Ferran.pons@uab.cat

climático, señalando en relación a la prórroga extraordinaria de las concesiones que el DPMT «no es solo un patrimonio colectivo, ambientalmente frágil y valioso, sino que también constituye una de las porciones de nuestro territorio más expuestas a los efectos del cambio climático. Por ello, este real decreto establece de modo inequívoco que el plazo máximo de duración de las concesiones sobre el dominio público marítimo-terrestre es de 75 años, y que ese plazo máximo incluye tanto el inicial como todas sus posibles prórrogas ...».

## La duración de la prórroga no excederá de setenta y cinco años, computando el plazo inicial de la concesión

El artículo 20.4 de la Ley 7/2021 establece de manera clara e inequívoca que para el cómputo del plazo máximo de setenta y cinco años de duración de las concesiones de DPMT, el plazo de la prórroga -de ser ésta posible- debe sumarse al plazo inicial ya transcurrido, si bien esta previsión no tiene carácter retroactivo respecto a las prórrogas ya otorgadas que superen dicho plazo. Teniendo en cuenta que el plazo inicial de muchas concesiones puede alcanzar actualmente los cincuenta, sesenta o setenta años, y que infinidad de solicitudes de prórroga presentadas están pendientes de resolución, en caso de otorgarse la prórroga será por plazos mucho menores que los que permitía el art. 2.3 de la Ley 2/2013, que ha sido derogado tácitamente por el referido art. 20.4. La STC 90/2022, de 30 de junio, ha validado la constitucionalidad de este precepto, desestimando el recurso de inconstitucionalidad

planteado por la Xunta de Galicia por supuesta vulneración del principio de seguridad jurídica (art. 9.3 CE).

Respecto del Reglamento General de Costas, el Real Decreto 668/2022 suprime sus arts. 174 a 177, introduce en diversos preceptos (arts. 135.3 y 172.1 y 2) la regla del cómputo máximo del plazo de setenta y cinco años, e incorpora (art. 135.4) los siguientes criterios que deberán evaluarse para determinar la duración de cada concesión y sus posibles prórrogas, teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad objeto de la solicitud y las características del tramo de costa donde se pretenda ubicar:

- a) Posibles impactos sobre las especies y ecosistemas marinos y costeros
- b) Efectos sobre la erosión costera
- c) Dinámica costera del tramo de costa
- d) Efectos previsibles del cambio climático en el tramo de costa
- e) Impacto acumulativo de las ocupaciones en el tramo de costa
- f) Integración de la actividad o instalación en el paisaje
- g) Ubicación en ribera del mar o fuera de ésta
- h) Aportación a la conservación del dominio público marítimo-terrestre
- i) Volumen de la inversión a amortizar.

Finalmente, el art. 172.3 establece que la prórroga no «podrá amparar actividades o instalaciones que contravengan lo dispuesto en el artículo 32 de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas». Según este precepto, «[únicamente se podrá permitir la ocupación del dominio público marítimo-terrestre para aquellas actividades o instalaciones que, por su naturaleza, no puedan tener otra ubicación».



**Figura 1.** Imágenes del Balneario de La Magdalena (playa de La Magdalena, Cantabria), y del ya desaparecido restaurante Cormorán (en la actualidad El Serbal)(segunda playa de El Sardinero), cuyas concesiones de ocupación fueron prorrogadas a mediados de 2018 por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (BOE núm. 129, de 28 de mayo y núm. 194, de 11 de agosto).



**Figura 2.** Imagen de la papelera ENCE (Pontevedra). Si tenemos en cuenta que la concesión se otorgó por Orden de 13 de junio de 1958, que la prórroga se otorgó por Resolución de 20 de enero de 2016 por un plazo de sesenta años, que el plazo de la prórroga se computó desde la fecha de la presentación de la solicitud el 31 de mayo de 2013 (es decir, el mismo día de la entrada en vigor de la Ley 2/2013), y que la concesión se extinguiría el 31 de mayo de 2073, se llega a la conclusión que la suma del período inicial de la concesión más el de la prórroga se elevaba a ciento quince (115) años. Tres sentencias de la Audiencia Nacional de 15 de julio y de 21 de septiembre de 2021 anularon dicha prórroga, por ser contraria al art. 32 de la Ley de Costas.

# Adaptation options at the fishing enterprise scale and governance modes in response to climate change effects in a changing political environment. Case of New Aquitaine (France) southern fleets

Caill-Milly, Nathalie<sup>1</sup>, Carter, Caitriona<sup>2</sup>, Kermorvant, Claire<sup>1</sup>, Lissardy, Muriel<sup>1</sup> and Bru, Noëlle<sup>3</sup>

**Keywords:** global changes, Bay of Biscay, fisheries, adaptive management, Brexit

## Introduction

The European Union (EU) has developed a consistent regulatory framework to ensure sustainability of the exploitation of natural resources in the Northeast Atlantic [Common Fisheries Policy EU 1380/2013; Johannesburg World Summit on Sustainable Development in 2002; 1995 UN Fish Stocks Agreement and European plan for maximum sustainable yield COM (2006) 360 final]. These documents have set the conditions that are not likely to lead to a collapse of the stocks (precautionary approach) and/or those that allow the maximum sustainable yield to be reached (MSY approach). This has resulted in regulating access to resources and the setting of conservation measures aimed at reducing fishing effort, applying technical rules, and limiting catches.

However, this regulatory framework is now applied to marine ecosystems impacted by climate change (one of several phenomena leading to global change). Climate change induces modifications in biological and physico-chemical parameters within water bodies. These will in turn have a greater or lesser impact on a species depending on its habitat requirements, life cycle characteristics of their life cycle and its trophic position (Rijnsdorp et al., 2009). Changes in latitudinal distribution or depth and/or changes in abundance have already been identified, impacting human activities that depend on these resources (Branders, 2010; Perry et al., 2005). It is therefore necessary to develop legislation, particularly in terms of borders and access rights, while also considering political changes. These can be variable and the cause of socio-economic uncertainties and tensions over maritime activities in shared spaces.

In this context, marine resources exploited by vessels of the southern Bay of Biscay are no exception. These resources are made up of populations present within vast distribution areas, far beyond the limits of the region of New Aquitaine (where the vessels are registered) and living in various habitats. A recent review of thirteen species of importance for New Aquitaine fishermen indicated that modifications impacting related stocks

and seen through the climate change prism, are mainly related to temperature, marine productivity, river flow regimes and, more incidentally, current and swell regimes (Le Treut, 2018). Among these modifications, changes in biogeographical limits with northward movements are the best documented such as for European hake (*Merluccius merluccius*) and anglerfish (*Lophius piscatorius*, *Lophius budegassa*).

This paper focuses on the impact of these changes for fishing fleets that are highly dependent on these resources and on the possible options for adaptations without forgetting to take into account the need for a new political framework in relation to Brexit.

## Materials and methods

In New Aquitaine, hake and anglerfish constitute almost 50% of the income of all the 495 fishing vessels for the period 2013-2015 (Le Treut, 2018). For the 143 vessels registered in the Bayonne maritime district, this dependence even rises to slightly more than 60% (excluding seaweed exploitation) in 2006, corresponding to 73 million euros (Gallet et al., 2019). Depending on the technical characteristics of the vessels and the fishing gears used, there are strong disparities in importance of these resources with some vessels displaying a dominant small-scale coastal fishing activity and others operating in more deeply offshore fishing grounds, particularly in the Celtic Sea and the west of Ireland. For the vessels registered in Bayonne and based on the typology described in Gallet et al. (2019), the most dependent fleets are trawlers over 25m for anglerfish, gillnetters over 20m and longliners over 15m for hake (~ 40 vessels).

For these fleets, SACROIS is considered as the most complete available fishery database regarding production and fishing effort. Developed by Ifremer in connection with the French DG Maritime Affairs, fisheries and aquaculture, it is provided by an algorithm which cross-checks information from fishing forms, fishing fleet registers, logbooks, sales notes, VMS data and the scientific census of fishing activity calendars (Mateo et al., 2016). The SACROIS data were used, with a spatiotemporal aggregation of the landings by ICES statistical rectangles and years over 2005-2019 for the vessels belonging to the three fleets described above. Per fleet and for the 50 rectangles contributing the most to the catches, we first analyzed the evolution of the annual total catch per rectangle over the period. To do this, a normalized principal components analysis on the aggregated data was performed, followed by a hierarchical clustering on principal components (5 components,

<sup>1</sup> Ifremer, LITTORAL, 1, allée du Parc Montaury, Anglet, France

<sup>2</sup> INRAE, UR ETTIS, Centre de Nouvelle Aquitaine, Cestas, France

<sup>3</sup> Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, LMAP, Anglet, France

E-mail contact: Nathalie.Caill.Milly@ifremer.fr

euclidian distance, Ward criterion). This resulted in a clustering of the rectangles in 3 or 4 groups, each one contains rectangles with similar dynamics and identified significant years of catches. Then, for the first paragon of each cluster, catch evolutions were displayed per fleet. This information was used to fuel the discussion in terms of adaptation not only at the fishery company scale but also regarding governance in a context of redefined maritime borders following Brexit.

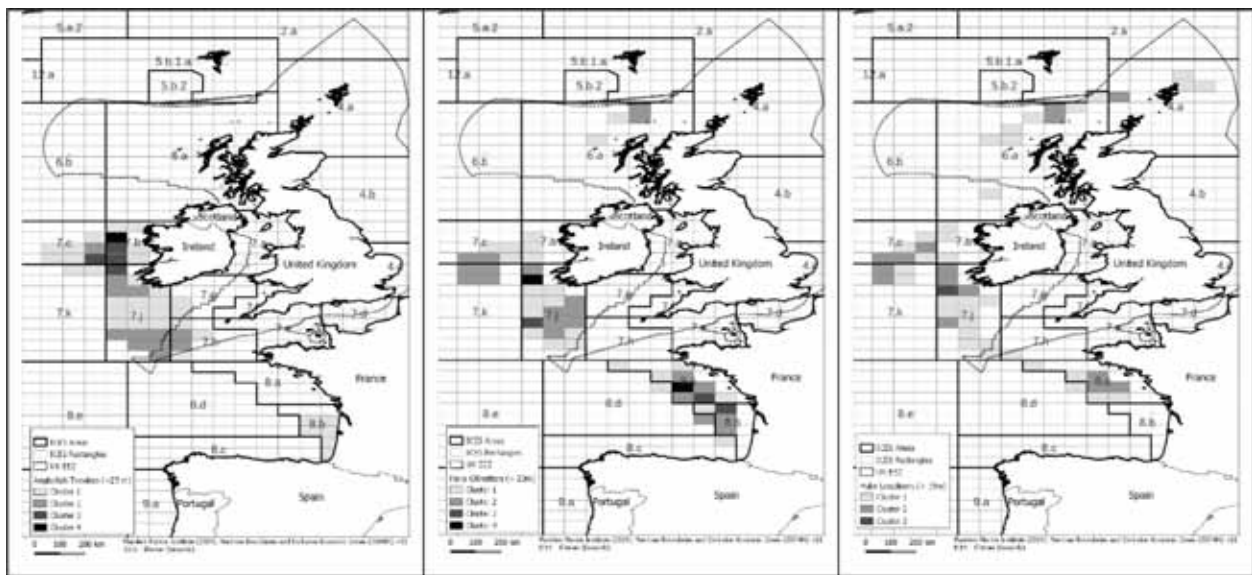
## Results and discussion

For anglerfish, the analysis of fishing statistics of trawlers above 25m exhibits spatial patterns (Figure 1). Rectangles belonging to cluster 1 are characterized by catches under the average for each year of the studied period except 2006. They are located in the middle of Great Sole Bank, to the west of Porcupine Bank and to the north, close to the coast in the west of Ireland and in the south Biscay. Regarding the southwest French coast, these results corroborate what is observed by fishermen (Henneveux, pers. comm) and are in line with Solmundsson et al's (2007 and 2010) observations: a recent decline in numbers near the coast and a "sinking" of the populations further offshore and at a greater depth. Regarding the decreasing trend observed in the southeast of Ireland, it could be linked to measures on other species such as cod or other Gadidae species related technical measures in some specific area. Cluster 2 characterized rectangles with catches above averages for years 2011, 2012, 2015, 2017 and 2019. They are located mainly to the south and to the north of Great Sole Bank. Cluster 3 and cluster 4 includes rectangles with catches at very high levels for years 2007 to 2019 for the first and for years 2005-2012 and 2016-2019 for the second. For these clusters, the rectangles are located between the west of Ireland (7b) and Porcupine Bank

(7c) and to the north of Great Sole Bank (7j). For this species and for the studied rectangles, the highest catches are located in the north of area 7. For 2019, the percentage of the French quota for zone 7 is 61% of the total French quota, while that for areas 6 (EU) and 5b (international waters), areas adjacent to area 7 to the north, is 16%. The ICES areas with catches intersecting with the new exclusive economic zones of the UK are 7j, 7h and 7g.

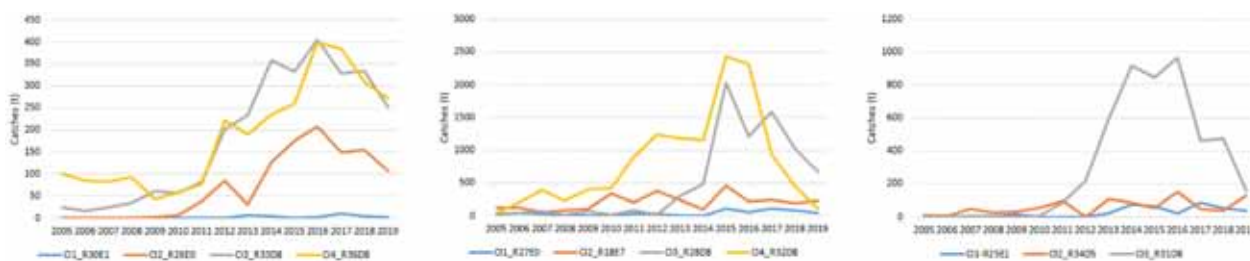
For hake, gillnetter and longliner statistical analysis do not exhibit a very clear spatial pattern except that the continental slopes are mostly characterized by the lower catch levels for the different years. The two fleets present a cluster 1 characterized by catches lower each year compared to the average. For gillnetters, cluster 2 depicts rectangles with catches above average between 2005 and 2011; cluster 3 represents areas where above average catches have been observed since 2014 and cluster 4 displays two rectangles with very high catches from 2005 to 2017. For longliners, cluster 2 illustrates rectangles with higher catches for years 2005, 2007-2012 and 2019; cluster 3 depicts a rectangle with very high catches from 2012 to 2018 (Figure 1). More than half of the rectangles studied have each year lower than average catches. The rectangles with catches well above averages are located in Great Sole Bank (7j) (north and centre) and on the continental shelf of South Brittany (8a) and South Biscay (8b) fishing grounds. For 2019, the percentage of the French quota in areas 6 and 7; EU and international waters of 5b; international waters of 12 and 14 on one side and in areas 8a, 8b, 8d and 8e on the other side are similar (46%). The ICES areas with catches intersecting with the new exclusive economic zones of the UK are 6a and to a less extend 7j for gillnetters and 6a, 4a and to a less extend 7j and 7h for longliners. (Figure 1)

Catch evolution for the paragons shows an increasing trend from about 2012 onwards, followed by a marked decrease for the clusters characterized by high levels. For anglerfish this is



**Figure 1.** Spatial distribution of clusters for anglerfish/trawlers over 25m (left), hake/gillnetters over 20m (center), hake/longliners over 15m (right).





**Figure 2.** Evolution of the catches of the first paragon of each cluster [for anglerfish/tracters over 25m (left), hake/gillnetters over 20m (center), hake/longliners over 15m (right)].

concomitant with the arrival of several vessels from the group in the middle of the period. This is not the case for hake; most of the vessels in the two selected fleets have been active since the beginning of the period. (Figure 2)

What do these changes in catch distributions imply for vessels of the southern Bay of Biscay? Given the economic interdependency which exists between European (and EU-UK) fishers (shared stocks, waters and markets), governance solutions encouraging a ‘collectivisation’ (rather than an ‘individualization’) of the climate problem require some thought. Yet, there has been limited effective consideration of how to ensure both ‘just’ and ‘sustainable’ fisheries management (JSFM) taking account of climate change. Indeed, how to institutionalise JSFM depends on adaptation scenarios.

In scenario 1, fleets continue fishing the same fish. When fished within EU waters, ecosystem governance approaches apply (Gormley et al, 2015), potentially granting French fishers a voice over access in domestic management committees and in EU marine region Advisory Councils (ACs) (e.g., providing collective advice on stock & fleet climate management) (post Brexit, UK fishers are only observers on ACs). When vessels choose to continue fishing in British waters (e.g., for anglerfish, hake) following Brexit, specific challenges arise on stability of access. Temporary access has been authorised under the rules of the UK-EU Trade and Cooperation Agreement (TCA) (2020) based on quotas and historic track records for non-quota species (2012-2016): 90% of French licences have been authorised (Stewart et al, 2022) (including 53 vessels registered in Bayonne). A new Specialised Committee on Fisheries (SCF) has been created (Article 508 TCA) to ensure sustainable co-management of stocks: this is, however, a formal, ‘old fashioned’ intergovernmental style committee (30 EU & 45 UK officials) likely to generate UK-EU ‘stand-offs’ (and trade-offs) over access and stock management. From the EU side, fishers have established a new ‘inter-AC Brexit forum’ and have asked to feed their views into SFC discussions. Consequently, although new rules and organisations exist which now govern this scenario (and in which fishers from southern Bay of Biscay might participate), nonetheless fishing the same fish will likely position vessels in a potentially turbulent political situation, with a risk of delays in rule application, conflicts (UK-France; UK-EU) and hence continued uncertainty over access (especially after the transition period). In addition, there are also regulatory considerations for landings which differ between EU and UK

(traceability, customs ...).

In scenario 2, fleets decide to fish new stocks. Yet, here too, several JSFM challenges emerge. The current CFP norm of relative stability determining quotas and access (as well as national regulations) can create rigidity and barriers to access for newcomers. An alternative zonal attachment mechanism might seem appealing (this is the proposal of the UK, cf. Stewart et al, 2022), but does not solve all problems for JSFM of mobile stocks. Fleets cannot ‘just change’ to catch the fish now in their waters: fleet adaptation requires technical flexibility or acquisition of appropriate vessels/gear, as well as new skills for skippers (Mahévas, et al, 2011). Additionally, current co-habitation agreements regulating different professions fishing a common stock (using different gear) might need revision. In either case, new financial mechanisms are required accompanying adaptation. Finally, although thinking about production adaptation to climate change is sometimes separated from thinking about the market, the two are interconnected. Although fish migrate, food culture tends to be territorially attached. New political work will therefore be required to create new markets (either locally or globally), and this could be collectivised (e.g., via POs or local fishers guilds and associations).

## Conclusions

For this preliminary analysis, we have chosen to work on catches of three fleets to understand future changes in enterprise strategy and governance. We identified potential future spatial issues (UK EEZ, distribution of quotas by area) which are different for anglerfish and for hake. Choices for data processing were made (selection of 50 rectangles per fleet, grouping of data at the fleet scale, etc.). It seems interesting to us, for example, to continue this work by looking at things at the vessel level and incorporating other species.

## References

- AcclimaTerra, Le Treut, H. (dir), 2018. Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires. Éditions Région Nouvelle-Aquitaine, 488 pp.
- Branders, K., 2010. Impacts of climate changes on fisheries. *Journal of Marine Systems* 79(3): 389-402. doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.12.015
- Gallet, F., Ducommun-Rigole, L., Caill-Milly, N., Lesueur, M., Gueguen, A., Lissardy, M., Morandeau, G. and Le Grand, C., 2019. Étude du

- poids socio-économique de la filière pêche dans le quartier maritime de Bayonne. Rapport final du projet EPOSE (Étude du Poids Socio-Economique de la filière pêche dans le quartier maritime de Bayonne). CIDPMEM64-40/Ifremer/Agrocampus Ouest/CRPMEM Nouvelle-Aquitaine, 56 pages.
- Gormley et al, 2015 Adaptive management, international co-operation and planning for marine conservation hotspots in a changing climate, *Marine Policy*, 53: 54-66.
- Mahévas, S., Trenkel, V., Doray, M., Peyronnet, A. Hake catchability by the French trawler fleet in the Bay of Biscay: estimating technical and biological components, *ICES Journal of Marine Science* (2011), 68(1), 107–118. doi:10.1093/icesjms/fsq140.
- Mateo, M., Pawlowski, L. and Robert, M., 2016. Highly mixed fisheries: fine-scale spatial patterns in retained catches of french fisheries in the celtic sea. *ICES Journal of Marine Science* 74: 91–101. doi:10.1093/icesjms/fsw129.
- Perry, AL., Low, PJ., Ellis, JR., Reynolds, JD., 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308(5730). 1912-1915. doi: 10.1126/science.1111322
- Rijnsdorp, AD., Peck, MA., Engelhard, GH., Möllmann, C. and Pinnegar, JK., 2009. Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science*, 66:1570–1583.
- Stewart, B. D., Williams, C., Barnes, R., Walmsley, S. F., & Carpenter, G. (2022). The Brexit deal and UK fisheries—has reality matched the rhetoric?. *Maritime Studies*, 21(1), 1-17.

## Acknowledgements

The authors thank Margo Paris, Leo Ball, Thomas Bienenfeld and Mallaury Chemin (UPPA students - Dynea Master 2) for their groundwork on the subject and Sciences Po Bordeaux students (GTE Master 2) for their participation as pedagogic applications. They also thank A. Henneveux (OP Pêcheurs d'Aquitaine) for information and views as a professional in the sector.

# LAKET: Euskal kostaldeko laket-arrantza jardueraren datu-bilketarako lehen urratsak

**Bachiller, Eneko<sup>1</sup>, Korta, Maria<sup>1</sup>, Mateo, Maria<sup>1</sup>, Mugerza, Estanis<sup>1</sup> eta Zarauz, Lucia<sup>1</sup>**

**Gako-hitzak:** laket-arrantza, tokian-tokiko laginketa, datu-bilketa parte-hartzailea, laket-arrantzalearen profila, harrapaketen konposizioa.

## Sarrera

Aisialdiko itsas-arrantza, edo laket-arrantza, oso jarduera ezaguna da Euskal Autonomia Erkidegoko (EAE) kostaldean eta eragin nabarmena du tokiko ekoizpenean, errentan eta baita enpleguan ere. Parte-hartzaile kopurua handia du eta azken urteetan gora egin badu ere, luzaroan laket-arrantzak arrain-populazioetan eta itsasoko ekosisteman izan duen eragina ez da kontuan hartu (Pita et al., 2017; Hyder et al., 2020). Hala ere, asko dira jarduera honek itsasertzean izan dezakeen eragina garrantzitsua izan daitekeela erakusten duten ikerketak, bereziki artisau-arrantzarekin izan ditzaken elkarrekintzei erreparaturaz gero (Hyder et al., 2017; Radford et al., 2018; Dedeu et al., 2019; Gordo et al., 2019; Lewin et al., 2019) European MRF catches are only quantified for a small number of stocks, so it is unclear whether a significant part of fishing mortality is excluded from stock assessments. This study estimated: (i. Beraz, itsas baliabideen iraunkortasuna bermatzeko, arrantzaren ebaluazio-prozesuan arrantza komertzialaz gain laket-arrantza ere aintzat hartuko duen kudeaketa egitea beharrezkoa da (EU, 2013, 2021).

Azken hamarkadan laket-arrantzaren jarraipenerako Europako araudiak espezie gutxi batzuen harrapaketen inguruko informazioa eskatu izan du, hala nola, lupiarena, hegaluzearena eta itsas-aingirarena (EU, 2016). Honen inguruko informazioa biltzeko, 2015-2018 urteetan zehar, AZTI 'off-site' zeharkako metodoen bidez (telefono eta posta elektronikoko bidezko inkestak) laginketak egiten aritu da, laket-arrantzaren modalitate ezberdinetan (lehorretik edo kostatik egindakoan, itsasontzitik egindakoan eta urpeko-arrantzan; Bachiller et al., 2022) off-site surveys were carried out from 2015 to 2019 to estimate captures of the main targeted species by shore fishing, boat fishing and spearfishing. Phone calls got better response rates (>50%). Haatik, modu honetan jasotako informazioa mugatua izan da, laket-arrantzaleen lizentziadunen erdia baino gutxiago kontaktatu delarik, erantzun-tasa are txikiagoa izanik (adib., <10% emailez). Gainera, badira hainbat espezie, laket-arrantza mota ezberdinen helburu izanik, arrantza-ebaluaziorik ez dutenak. Beraz, orain arte bildutako datuekin oraindik ere zaila da gure kostaldeko laket-arrantzaren

jarduera modu egokian karakterizatzea.

Etorkizun hurbilean erronka kalitatezko datuak eskuratzuz (Pita et al., 2020) laket-arrantzaren jardueraren diagnostiko ahalik eta fidagarriena egitea den heinean, 2021az geroztik AZTIko laginketa-diseinuan tokian tokiko 'on-site' metodoak txertatu dira. Horrela, Euskal kostaldeko portu ezberdinetan inkestak burutzen dira, laket-arrantzaleen profil (adina, esperientzia, eta abar) eta eguneko arrantzaren informazioa jasotzeko. Bestalde, teknologia garapenak datu-bilketa zabaltzeko eta errazteko baliabide berriak eskaintzen dituen heinean, aurki AZTIk mugikorrenzkat eta bestelako dispositibo elektronikoenzkat LAKET aplikazioa jarriko du martxan. Horrela, laket-arrantzan dabilen komunitateak, bolondreski, modu aktiboan eta errazean, profil nahiz eguneko jardueraren inguruko informazioa eskaintzeko tresna berria izango du eskuragarri.

Lehen ikerketa fase honetan, LAKET laginketa programa laket-arrantzaleei tokian-tokiko eta aurrez-aurreko galdetegiaren bitartez burututako datu-bilketan oinarritu da. Horrela, lehorreko (edo kostako) arrantzan, itsasontzitatik egindakoan, edota urpekaritzan aritutako laket-arrantzaleak aintzat hartuz, arrantzaleen profila eta harrapaketen deskribapen orokorra burutzeko lehen urratsak eman dira. Lan honetan aurkezten dena datu-bilketa berri honetatik lortutako laket-arrantzaren behin-behineko deskribapena da, datuak biltzen jarraitu ahala, osatzen joango dena, baina orain arte ezagutu gabeko laket-arrantzaren hainbat ezaugarri azaltzen dituen bederen.

## Material eta metodoak

LAKET programa honetako lehen fasea, 2021eko Abuztutik 2022ko Abuztura arte burututako tokian-tokiko galdetegiaren oinarritzen da. Datu-bilketa honetan sei lagintzaile ezberdinek hartu zuten parte, Euskal kostaldeko portu ezberdinetan zehar arrantzaleak topatu ahala aurrez-aurreko galdetegiak eginaz. Guztira 211 galdetegi burutu ziren, 14 portu ezberdinetan: Getxon, Armintzan, Bakion, Bermeon, Elantxoben, Lekeitioan, Ondarroan, Mutrikun, Zumaian, Getarian, Zarautzen, Donostian, Pasaian eta Hondarribian. Helburua, arrantzalearen profilaren inguruko informazioaz gain (adina, jatorria, esperientzia-maila, laket-arrantza jarduera-maiztasuna, eta abar), eguneko jardueraren inguruko informazioa jasotzea izan zen: arrantza-mota, helburutzat hartutako espeziea, txanku-mota, arrantza-efortzua (hots, jardunaldiko ordu kopurua), eta noski, hartutako (edota bizirik nahiz hilik uretara berriro askatutako) espezie, neurri-tarte, eta kopurua. Informazio guztia bolondreski eta anonimoki jasotakoa izan zen kasu guztietan.

Portuetan lagindu ahal izan zen arrantzaleen gehiengo altua

<sup>1</sup> AZTI, Arrantza-kudeaketa Jasangarria, Basque Research and Technology Alliance (BRTA).  
Txatxarramendi Uhartera z/g, 48395 Sukarrieta, Bizkaia  
E-mail: ebachiller@azti.es

lehorreko arrantzan zebilen (N = 178); laket-ontzietan porturatzen ari ziren hainbat arrantzaleei ere galdetegi ahal izan zitzairen, baina askoz kopuru txikiagoan (N = 34). Urpekaritzan aritutako laket-arrantzaleen kasuan ere, oso gutxi izan ziren lagintzaileentzat eskuragarri eta beraz laginketa kopuru txikia burutu ahal izan zen (N = 4).

## Emaitzak eta eztabaida

Laginketa-kopuruari erreparatuz gero, galdetegi gehienak lehorretik arrantzan dabiltzan pertsoneri egindakoak izateak (laginketen %82 izan ziren), laket-arrantzaren komunitatearen ezaugarritzea isladatzen du; izan ere, Eusko Jaurlaritzak igorritako laket-arrantza baimen kopuruari dagokionez, haiek baitira gehienak: 2020eko zentsuaren arabera, 46471 arrantza-lizentzia (iturria: Eusko Jaurlaritzak). Urpekariei dagokionez, hauek lizentzia berezia eskuratu behar dute eta zentsuaren arabera ere, 985 lizentzia daude, EAE-n bizilekua dutenak; ez da harritzekoa beraz, datu-bilketan ere urpekarien informazioa eskuratzeko lana zaila izatea. Azkenik, laket-ontzietan dabiltzan arrantzaleen jardueraren inguruko datu-bilketan ere badago erronka. Batetik, zaila da ontzietako arrantza-efortzua estimatzea, eta ontzi bakoitzean egon den arrantzale edo txanku kopurua jakitea. Honetaz gain, laket-ontzietan joateko beharrezko lizentzia, lehorretik arrantzatze behar den berbera da; arrantzale asko daude lehorretik arrantzan dabiltzanak, eta noizean behin laket-ontzietan ere ateratzen direnak. Bestalde, ontzietan porturatzen diren arrantzaleengandik jasotako harrera ere itxiagoa izan da galdetegiak erantzuteko orduan; galdetegian zehar ez daude lehorretik arrantzan daudenak bezela, egonean, baizik eta portura itzultzen, hainbat ordu itsasoan ibili ostean, etabar. Horregatik, kasu batzuetan hurrengo egunean ere jaso izan da aurretiko jardunaldiaren inguruko informazioa, modu eraginkorragoan.

Urtean zehar ikusitako arrantza-garai ezberdinen inguruan ere, behin-behineko emaitza hauek ezin ditugu errealtatearen adierazgarritzat jo; aldeak laginketa-efortzuari baitagozkie benetako arrantzale banaketa bati baino gehiago. Adibidez Otsaila aldera, berdel sasoian jende asko aritu ohi da portuetan, eta beraz laginketa-kopurua nabarmen handitu zen une horretan (1. irudia). Uztailean laginketarik ez egoteak ere ez du esan nahi laket-arrantza jarduerarik ez dagoekik; kontrakoa, udan espero izaten da laket-arrantza esfortzu handiena, batez ere laket-ontzietan dagokionez (bereziki tunidoen arrantzan, honek arrantza komertzialari suposatuta dakiokkeen elkarrekintzen ondorio guztiekin), baina baita urpeko laket-arrantza nahiz lehorretik egindakoari dagokionez ere.

Arrantzaleen profilari dagokionez, orain arte egindako galdetegietan oinarrituz gero, lehorretik arrantzan dabiltzanak adin tarte zabalena erakutsi dute, 20 urte ingurutik 80 urtetik gorako arrantzaleak barnebilduz (1a. irudia). Hau bat dator aurreko urteetan telefono eta email bidez egindako inkestetan (“off-site” laginketatuta) oinarritutako laginketek erakutsi zutenarekin (Bachiller et al., 2022) off-site surveys were carried out from 2015 to 2019 to estimate captures of the main targeted species by shore fishing, boat fishing and spearfishing. Phone calls got better response rates (>50%. Gehienak 60 urtetik gorakoak dira, ziurrenik

erretiratutako jendea, arrantzarako denbora gehiago duena. Hala ere, adin tarte gazteko jendea ere ugari agertzen da, ziurrenik berdel sasoian portuetan pilatutako arrantzale horien artean egindako laginketen ondorioz. Esperientzia-mailari dagokionez, lehorretik arrantzan zebiltzanean artean maila ezberdineko adierazpenak jaso ziren; askok 1-2 urteko esperientzia zutela adierazi bazuten ere, sarritan jaso ziren 20 urtetik gora, edota bizitza osoan arrantzan aritu zirela adierazi zutenen datuak. Esperientzia-maila baxuko arrantzaleak batez ere uda partean lagindutakoak izan ziren, eta kasu batzuetan, berdel sasoian (Otsailean). Laket-ontzietan porturatutako arrantzaleen kasuan, nabarmen egin ohi du adinak gora, aurreko urteetako joerari jarraiki (Bachiller et al., 2022) off-site surveys were carried out from 2015 to 2019 to estimate captures of the main targeted species by shore fishing, boat fishing and spearfishing. Phone calls got better response rates (>50%; kasu honetan zailagoa da gazteak ikustea, eta gehien dabiltzanak 40 urtetik gorako arrantzaleak diren zantzuak atzematen dira, laginketa gutxi batzutan oinarrituta beti ere (1b. irudia). Arrantzale hauek gainera, esperientzia-maila altuagoa adierazi ohi dute (Bachiller et al., 2022) off-site surveys were carried out from 2015 to 2019 to estimate captures of the main targeted species by shore fishing, boat fishing and spearfishing. Phone calls got better response rates (>50%, normalean 20 urtetik gora, eta agertu izan dira 50 urtetik gorako esperientziadunak ere. Hauek guztiak, ziurrenik, ‘bizitza osoan arrantzan aritutakoak’ izango dira, ez laket-ontzietan beti, baina bai lehorretik egindako arrantzan. Urpeko arrantzan dabiltzanen inguruan, oraindik, ezin da ondorio argirik atera, oso lagin txikia eskuratu baita orain arte (1c. irudia).

Laginketa-kopurua orekatua ez izateak gaur-gaurkoz ez digu harrapaketa eta arrantza-jardueraren estima fidagarriak egiteko baimentzen. Hala ere, bada informazio garrantzitsua oraindik ere eskuragarri, eta laket-arrantzaren karakterizazioari dagokionez lehen zantzuak eskaintzen dituzten datuak jada eskuragarri ditugu.

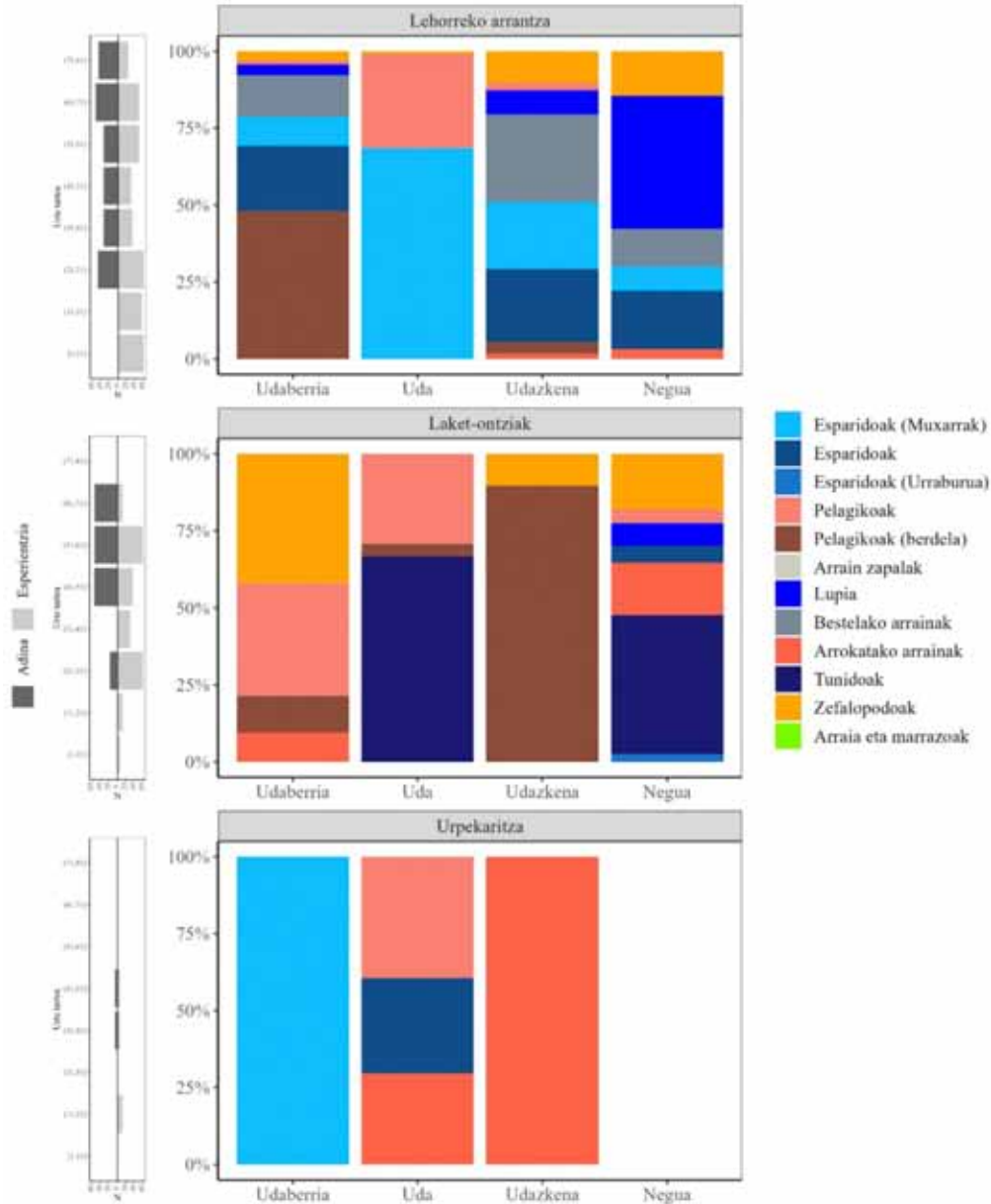
Adibidez, arrantza-mota bakoitzak helburutzat izan ohi dituen espezieei dagokionez, besteak beste, joera nahiko argiak ageri dira (3. irudia). Lehorreko (kostako) arrantzan, udaberriaren gehienak berdelak arrantzatzen joan ohi dira, urteko sasoi nagusietako bat dela adieraziz. Berdelez gain, badira muxarrak (*Diplodus* spp.) bilatzen dituzten arrantzale ugari ere. Hauek uda garaian ere jarraitzen dute, baina hemen arrantza-jardura dibertsifikatu egin ohi da, esperientzia-maila eta teknika ezberdineko arrantzaleak aktibo dauden garaia baita. Udazkenean, opor-garaia amaitzean, denetik egon ohi da, batzuk muxarrak bilatzen dituzten bitartean, besteek mota ezberdineko arrainak harrapatzen joaten dira, normalean arrantza orokorra delarik (hots, espezie jakinetara baino, edozein espezie jo-puntuak dituztenak). Neguan ordea, esperientzia-maila eta arrantza aisialdi nagusitzat dutenak dira laket-arrantzan dabiltzanak; kasu gehienetan, lupiak (*Dicentrarchus labrax*) dituzte helburu (1. irudia).

Laket-ontzietan arrantzara joaten direnek ordea, udaberriaren gehienak berdeletara joaten badira ere, bada zefalopodoen (txipiroi, *Loligo* spp., edo txibiak, *Sepia* spp.) bila ere joaten denik (1. irudia). Uda partean ordea, ia denak tunidoak harrapatzeko saiakeran ibili ohi dira (hegaluzea, *Thunnus alalunga*, edota bestelako tunidoak, *Sarda sarda* edo *Katsuwonus pelamis*, besteak beste). Joera hau nabarmena izan da azken urteotan,

aurreko hamarkada amaieran egindako “off-site” laginketek ere erakutsi bezela (Bachiller et al., 2022) off-site surveys were carried out from 2015 to 2019 to estimate captures of the main targeted species by shore fishing, boat fishing and spearfishing. Phone calls got better response rates (>50%). Udazkenean arrain pelagiko ezberdinak harrapatu ohi dituzte. Neguan ordea, zefalopodoek berriro ere garrantzia hartzen dute, arrokako bestelako arrainekin batera (adib. krabarrokak, *Scorpaena* spp.; 1. irudia).

Urpekaritzan laket-arrantzan dabilzan eta datuak eman

dituzten kasu gutxi horietan oinarrituz, esan genezake muxarrak, bestelako esparidoak eta arrokakako espezieak (krabarrokak) direla haien helburu nagusia, urte osoan zehar (1. irudia). Izan ere, urpekariak dira laket-arrantzan hautakorrenak diren arrantzaleak, arraina banaka hautatu eta arpoiarekin harrapatzeko aukera duten bakarrak baitira (Bachiller et al., 2022) off-site surveys were carried out from 2015 to 2019 to estimate captures of the main targeted species by shore fishing, boat fishing and spearfishing. Phone calls got better response rates (>50%).



**1. Irudia.** Eskuinaldeko grafikatan: laket-arrantza mota ezberdin bakoitzerako (lehorreko arrantza, laket-ontzietako eta urpekaritza arrantza), urteko urtaro bakoitzeko harrapaketen komposizio espezifikoa, arrantzaleek adierazitako datuetan oinarritua eta portzentaietan adierazia. Ezkerraldeko grafikatan: lagindutako arrantzaleen banaketa, adinaren (ezkerralderantz, gris ilunez adierazita) eta adierazitako esperientzia-mailaren (eskuinerantz aurkeztutako zutabeak, gris argiz) arabera urte-tarte ezberdinetarako; lehorreko (edo kostako) arrantza (goian); laket-ontzietako arrantza (erdian); urpekaritza-arrantza (behean).

## Ondorioak

LAKET programaren lehen fase honetan identifikatutako zailtasunak zailtasun, tokian tokiko galdetegiak egiten jarraitu beharra dago. Izan ere, sarritan modu bakanetakoa baita laket-arrantzaleen jardunaren inguruko datu objektiboak eskuratzeko. Unean uneko informazioa fidagarria da, ez baitirudi arrantzaleei momentuan edo denbora tarte laburrean harrapatutakoaren inguruko datuak ematea hain zaila egiten zaienik. Bestalde, telefono edota email bidezko galdetegiak eginez, laginaren tamaina handitu daiteke, eta lizentziadun komunitatearekiko profila modu zehatzagoan karakterizatu. Harrapaketen estimazioak egiteko ordea, ezin da tokian tokiko laginketan bezainbesteko fidagarritasuna eskuratu, arrantzaleek esandakoaren baitan eraikiko lirakekeelako estima hauek.

Egiten den datu-bilketa mota egiten dela, garrantzitsua da laginketa adierazgarria lortzea, erronka zailenetakoa, beti ere. Beraz, laket-arrantzaleen komunitatearen adierazle izango den lagin multzoa aukeratzeko laginketa-diseinua erabakigarria izango da. Bai “off-site” laginketak (telefonoz, emailaz edota aplikazio bidezko galdetegi bidez), bai “on-site” laginketak (tokian tokiko aurrez-aurreko galdetegiak) behar beharrezkoak izango dira, hauek guztiak konbinatuz soilik lortuko baita kalitatezko datu-bilketa. Aurrez-aurrekoak gainera funtzio garrantzitsua beteko dute laket-arrantzaleen komunitatearen eta komunitate zientifikoaren arteko gertutasuna handitzeko. Bestalde, LAKET aplikazioko erabiltzaileek haien jardueraren informazioa anonimoki emanaz, egiazko datuak biltzeko bermetik hurbilago kokatzen gara, beti ere honetarako interesa duenak soilik eskainiko baitio galdetegiak behar bezala betetzeko denbora. Edozein kasutan, laket-arrantzaren kudeaketa ongi egin ahal izateko, datu onak ezinbestekoak dira; eta kudeaketa hobetzeak ez ditu zertan laket-arrantzaleen baldintzak okertu, baina gizarteak hau barneratzeko ezinbestekoa da arrantzaleen kontzientziatzea. Azkenik, laginketak sasoi edota eremu zehatzetara egokitu beharko dira, adibidez sasoi zehatzetan esfortzua handituz, hainbat leku edota arrantza-motatarako.

## Erreferentziak

- Bachiller, E., Korta, M., Mateo, M., Mugerza, E., and Zarauz, L. (2022). Assessing the unassessed marine recreational fishery in the Eastern Cantabrian coast. *Front. Mar. Sci.*, 1–15. doi:10.3389/fmars.2022.975089.
- Dedeu, A. L., Boada, J., and Gordo, A. (2019). The first estimates of species compositions of Spanish marine recreational fishing reveal the activity's inner and geographical variability. *Fish. Res.* 216, 65–73. doi:10.1016/j.fishres.2019.03.025.
- EU (2013). Regulation (EU) No 1380/2013 of the European Parliament and of the Council, on the Common Fisheries Policy, amending Council Regulations (EC) No 1954/2003 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulations (EC) No 2371/2002 and (EC) No 639/2004 and Council Decision 2004/585/EC. *Off. J. Eur. Union L* 354, 28.12.2013, 22–61.
- EU (2016). Commission Implementing Decision (EU) 2016/1251 of 12 July 2016 adopting a multiannual Union programme for the collection, management and use of data in the fisheries and aquaculture sectors for the period 2017–2019. *Off. J. Eur. Union L* 207, 1.8.2016, 113–177.
- EU (2021). Commission Delegated Decision (EU) 2021/1167 of 27 April 2021 establishing the multiannual Union programme for the

collection and management of biological, environmental, technical and socioeconomic data in the fisheries and aquaculture sectors from 2022. *Off. J. Eur. Union L* 253, 16.7.2021, 51–90.

- Gordo, A., Dedeu, A. L., and Boada, J. (2019). Recreational fishing in Spain: First national estimates of fisher population size, fishing activity and fisher social profile. *Fish. Res.* 211, 1–12. doi:10.1016/j.fishres.2018.10.026.
- Hyder, K., Maravelias, C. D., Kraan, M., Radford, Z., and Prellezo, R. (2020). Marine recreational fisheries — current state and future opportunities. *ICES J. Mar. Sci.* 77, 2171–2180. doi:10.1093/icesjms/fsaa147.
- Hyder, K., Weltersbach, M. S., Armstrong, M., Ferter, K., Townhill, B., Ahvonen, A., et al. (2017). Recreational sea fishing in Europe in a global context-Participation rates, fishing effort, expenditure, and implications for monitoring and assessment. *Fish. Fish.* 19, 225–243. doi:10.1111/faf.12251.
- Lewin, W.-C., Weltersbach, M. S., Ferter, K., Hyder, K., Mugerza, E., Prellezo, R., et al. (2019). Potential Environmental Impacts of Recreational Fishing on Marine Fish Stocks and Ecosystems. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 27, 287–330. doi:10.1080/23308249.2019.1586829.
- Pita, P., Alós, J., Antelo, M., Artetxe, I., Biton-Porsmoguer, S., Carreño, A., et al. (2020). Assessing Knowledge Gaps and Management Needs to Cope With Barriers for Environmental, Economic, and Social Sustainability of Marine Recreational Fisheries: The Case of Spain. *Front. Mar. Sci.* 7. doi:10.3389/fmars.2020.00023.
- Pita, P., Artetxe, I., Diogo, H., Gomes, P., Gordo, A., Hyder, K., et al. (2017). Research and management priorities for Atlantic marine recreational fisheries in Southern Europe. *Mar. Policy* 86, 1–8. doi:10.1016/j.marpol.2017.08.030.
- Radford, Z., Hyder, K., Zarauz, L., Mugerza, E., Ferter, K., Prellezo, R., et al. (2018). The impact of marine recreational fishing on key fish stocks in European waters. *PLoS One* 13, e0201666. doi:10.1371/journal.pone.0201666.

## Esker onak

Egileek LAKET laginketa-programan, lagintzaile modura nahiz arrantzale modura parte hartu duen pertsona oro eskertzen dute. Haien lan eta prestutasunari esker soilik lortu ahal izango delako kalitatezko datu-bilketa.

Lan hau Eusko Jaurlaritzako Ekonomiaren Garapen, Jasangarritasun eta Ingurumena Sailak eta Europako Data Collection Framework Komisioak kofinantziatua izan da.



MEMBER OF  
BASQUE RESEARCH  
& TECHNOLOGY ALLIANCE

**/ HEADQUARTERS**

Txatxarramendi Ugarte z/g  
E-48395 Sukarrieta - BIZKAIA (Spain)

Parque Tecnológico de Bizkaia  
Astondo Bidea, Edificio 609  
E-48160 Derio - BIZKAIA (Spain)

Herrera Kaia - Portualdea z/g  
E-20110 Pasaia - GIPUZKOA (Spain)

**/ t. (+34) 946 574 000**

**/ e-mail: [info@azti.es](mailto:info@azti.es)**

**/ [www.azti.es](http://www.azti.es)**

