



MEMBER OF
BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE

www.azti.es

Revista de
Investigación Marina
[30.1]

UHINAK 2024

Ficoba, Irun
Urriak 23-24 • 23-24 Octubre
23-24 Octubre • October 23-24

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

VI Congreso transfronterizo
sobre Cambio Climático y Litoral.
Resúmenes extendidos

VI Congrès transfrontalier sur
le Changement Climatique et
Littoral. Abstract étendus

VI Cross border conference on
Climate Change and the Coast.
Extended abstracts

Uhinak 2024. Ficoba, Irun. Urriak 23-24. 23-24 Octubre. 23-24 Octubre. October 23-24. Klima Aldaketa eta Itsasertzari buruzko Mugaz gaindiko VI. Biltzarra. Laburpen zabalak. VI Congreso transfronterizo sobre Cambio Climático y Litoral. Resúmenes extendidos. VI Congrès transfrontalier sur le Changement Climatique et Littoral. Abstract étendus. VI Cross border conference on Climate Change and the Coast. Extended abstracts. Revista de Investigación Marina, AZTI, 30(1): 01-64.

DOI: 10.34838/rim.2024.ajad-9p54

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. Un comité de selección revisará las propuestas y sugerirá los cambios pertinentes antes de su aceptación definitiva.



Edición: 1.^a Octubre 2024

© AZTI

ISSN: 1988-818X

Unidad de Investigación Marina

Internet: www.azti.es

Edita: Unidad de Investigación Marina de AZTI

Herrera Kaia, Portualdea z/g

20110 Pasaia

Foto portada: Cristina Claver. Carabela portuguesa (*Physalia physalis*).

© AZTI 2024. Distribución gratuita en formato PDF a través de la web: www.azti.es/RIM

Uhinak

Klima Aldaketa eta Itsasertzari buruzko mugaz gaindiko VI. Biltzarra.

2024ko Urriak 23 – 24
FICOPA, IRUN

Hitzaurrea

Klima-alaketari eta arku atlantikoko itsasertzari buruzko mugaz gaindiko bi urtez behingo biltzarra da Uhinak, eta Ficopak eta AZTIk sustatzen dute. Klima-alaketak eta muturreko fenomenoek itsasertzean duten eraginari buruzkoa da kongresua, eta kudeatzaileen beharrak ezagutzea eta horiek konpontzeko zientziak zer ekarpen egin dezakeen ikustea ditu ardatz. Horretarako, Uhinak-ek itsasoko eta kostaldeko aditu, kudeatzaile eta erabiltzaileen arteko sare bat indartu nahi du, muturreko klimaren eraginak arintzeko irtenbideak bilatzea erraztuko duena.

Planetaren mugak ezartzea eta horiei aurrea hartzea dira gizartearen erronka handienetako bi, klima-alaketak itsasoetan eta kostaldean dituen ondorioei aurre egiteko. Planetaren mugetako bat tenperatura globalaren atalaseari lotuta dago, eta muga hori gainditzeak, klimaren itzulerarik gabeko puntura eramango gaitu. Atlantikoaren hegoaldeko iraulketa-zirkulazioa (AMOC) inflexio-elementu garrantzitsua da klima-sisteman, eta kolapso batek ondorio larriak izango lituzke Ipar Atlantikoko kliman. Peter Ditlevsen doktoreak, Kopenhageko Unibertsitateko katedradunak, hitz egingo digu arazo horri buruz. Izan ere, kongresuaren inaugurazio hitzaldian, P. Ditlevsen-ek azken urteetan zirkulazio hori ahuldu egin dela eta etorkizunean izan dezakeen bilakaeraren ondorioak azalduko dizkigu. Planetaren muga horiei aurrea hartzeko, beharrezkoa da, gainera, giza jarduerak kontuan hartuta, tresna berritzaileak izatea klima-alaketak itsas ekosistemaren konplexutasunean dituen ondorioak ebaluatzeko. Institut de Ciències del Mar-eko zuzendariorde den Marta Coll Doktoreak hitz egingo digu horretaz, bigarren jardunaldiko irekieran. Bereziki, M. Collekk klima-alaketaren agertokiak eta egiten diren kudeaketa-esku-hartzeen ondorioak azalduko ditu, biodibertsitatean, ekosistemen funtzionamenduan eta Europako itsasoen zerbitzu-horniduran.

Bierronka nagusi horien inguruan arituko dira urriaren 23an eta 24an egingo den Uhinak kongresuaren seigarren edizioako hitzaldi gehienak. Gonbidatutako 8 hitzaldi eta ahozko 54 komunikazio izango ditugu, lau bloketan egituratuta. Bloke horiek planetaren itzulerarik gabeko puntuak, kostaldeko muturreko fenomenoetara egokitzeak neurriak, itsas biodibertsitatea leheneratzeak klima-alaketa arintzean eta harekiko erresilientzian duen eragina, karbono urdina, berrikuntza gobernantzan, kudeaketa-tresnak eta komunikazioa aztertzen dituzte.

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

UHINAK

VI Congreso transfronterizo sobre Cambio Climático y Litoral.

23–24 Octubre 2024

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 la comunidad científica para solucionarlas. Para ello, Uhinak pretende reforzar una red entre personas expertas, gestoras y usuarias del mar y de la costa que facilite la búsqueda de soluciones para la mitigación de los efectos del clima extremo.

El establecimiento de los límites planetarios y cómo anticiparse a ellos son dos de los mayores retos de la sociedad para abordar los efectos del cambio climático en los mares y costas. Uno de los límites planetarios está asociado al umbral de la temperatura global, cuyo rebase nos lleve a un punto de no retorno climático. La circulación de vuelco meridional del Atlántico (AMOC) es un importante elemento de inflexión en el sistema climático y un futuro colapso tendría graves repercusiones en el clima del Atlántico Norte, problemática de la que nos hablará el Dr. Peter Ditlevsen, catedrático de la Universidad de Copenhague. En su conferencia inaugural del congreso, P. Ditlevsen nos expondrá las observaciones del debilitamiento de esta circulación en los últimos años y las posibles consecuencias de su evolución futura. Para anticiparse a estos límites planetarios, es además necesario disponer de herramientas innovadoras para evaluar las consecuencias del cambio climático en la complejidad del ecosistema marino, teniendo en cuenta las actividades humanas. De ello nos hablará la Dra. Marta Coll, vicedirectora del Institut de Ciències del Mar, que abrirá la segunda jornada. En particular, M. Coll expondrá las consecuencias de los escenarios de cambio climático e intervenciones de gestión sobre la biodiversidad, el funcionamiento de los ecosistemas y la provisión de servicios de los mares europeos.

Estos dos grandes retos son el contexto sobre el cual versarán gran parte de las ponencias de la sexta edición de Uhinak, que tendrá lugar el 23 y 24 de octubre. Contaremos con 8 ponencias invitadas y 54 comunicaciones orales, estructurados en cuatro bloques que cubren los puntos de no retorno planetarios, 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, el carbono azul, la innovación en la gobernanza, las herramientas de gestión y la comunicación.

Guillem Chust, Julien Mader - AZTI

Adolfo Uriarte – Gobierno Vasco

UHINAK

VI Congrès transfrontalier sur le Changement Climatique et Littoral

23 – 24 Octobre 2024

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 se concentre sur la façon 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 comme réponse. À cette fin, Uhinak vise à renforcer un réseau de personnes expertes, les gestionnaires et usagers de la mer et de la côte afin de faciliter la recherche de solutions pour atténuer les effets des conditions climatiques extrêmes.

L'établissement des limites planétaires et la manière de les anticiper sont deux des plus grands défis de la société face aux effets du changement climatique sur les mers et les côtes. L'une des limites planétaires est associée au seuil de température globale, dont le dépassement conduira à un point de non-retour climatique. La circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (AMOC) est un point de basculement important dans le système climatique et son effondrement futur aurait de graves répercussions sur le climat de l'Atlantique Nord, ce dont parlera Peter Ditlevsen, professeur à l'université de Copenhague. Dans sa conférence d'ouverture, Dr. Ditlevsen présentera ses observations sur l'affaiblissement de cette circulation au cours des dernières années et les conséquences possibles de son évolution future. Afin d'anticiper ces limites planétaires, il est également nécessaire de disposer d'outils innovants pour évaluer les conséquences du changement climatique sur la complexité de l'écosystème marin, en tenant compte des activités humaines. Dr. Marta Coll, directrice adjointe de l'Institut de Ciències del Mar, qui ouvrira la deuxième journée, en parlera. En particulier, M. Coll présentera les conséquences des scénarios de changement climatique et des interventions de gestion sur la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et la fourniture de services des mers européennes.

Ces deux défis majeurs constituent le contexte sur lequel se baseront la plupart des présentations de la sixième édition d'Uhinak, qui aura lieu les 23 et 24 octobre. Il y aura 8 communications invitées et 54 présentations orales, structurées en quatre blocs couvrant les points de non-retour planétaires, 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, le carbone bleu, l'innovation dans la gouvernance, les outils de gestion et la communication.

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

UHINAK

VI Climate change and Littoral cross border Symposium

23–24 October 2024

FICOBA, IRUN

Introduction

Uhinak is a biennial cross-border symposium on climate change and the Atlantic Arc coastline promoted by Ficoba and AZTI. The symposium focuses on how climate change and extreme phenomena affect the coastline, focusing on the needs of managers and how the scientific community can contribute to solve them. To this end, Uhinak aims to strengthen a network among experts, managers and users of marine and coastal areas to facilitate the search for solutions to mitigate the effects of extreme weather.

Establishing and anticipating planetary boundaries are among society's greatest challenges in addressing the effects of climate change on seas and coasts. One critical boundary is the global temperature threshold; exceeding this limit could lead to a climatic point of no return. The Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) is an important tipping point in the climate system and a future collapse would have a major impact on the North Atlantic climate, which will be discussed by Dr Peter Ditlevsen, Professor at the University of Copenhagen. In his opening lecture at the symposium, Mr Ditlevsen will present his observations of the weakening of this circulation in recent years and the possible consequences of its future evolution. To anticipate these planetary boundaries, it is also necessary to have innovative tools to assess the consequences of climate change on the complexity of the marine ecosystem, taking into account human activities. Dr. Marta Coll, deputy director of the Institut de Ciències del Mar, will open the second day with a discussion on this topic. Specifically, M. Coll will discuss the impacts of climate change scenarios and management interventions on biodiversity, ecosystem functioning, and the provision of services in European seas.

These two major challenges will form the basis for most presentations at the sixth edition of Uhinak, scheduled for October 23 and 24. The event will feature 8 invited papers and 54 oral communications, organized into four blocks: planetary points of no return, adaptation measures to extreme coastal phenomena, the role of marine biodiversity restoration in climate change mitigation and resilience, blue carbon, and innovations 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

Virginia Elvira - ADEGI

Rafael Sardá - CEAB CSIC

Malake Muñoz - IHOBE

Carlos Castillo - IHOBE

Nerea Egia - 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 - Euroregion Nueva Aquitania - Euskadi
– Navarra

Jon Sáenz, Elisa Sainz de Murieta – Euskal Herriko

Unibertsitatea/Universidad del País Vasco

Antolaketa batzarra / Comité organizador / Comité organisateur / Organizing committee

Irantzu Zubiaur - AZTI

Meritzel González - 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

LIFE – Urban Klima 2050

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

I. MULTZOA – Planeten itzulerarik gabeko puntuak

BLOQUE I – Puntos de no retorno planetarios

BLOC I - Points de non-retour planétaires

SESSION I - Planetary tipping points

09

Arevalo, E., Aldanondo, N., Santos Mocoroa, M., Uriarte, A., Taboada, F., Ibaibarriaga, L., Cotano, U., Sagarminaga, Y., Chust, G.

Effect of water temperature on growth rates of early life stages of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay

10

II. MULTZOA - Muturreko gertakariak 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

14

Almécija, C., Allen-Perkins, S., Álvarez-Chaver, P., Ayensa, G., Bernal, T., Calviño, J., Calvo, S., Couñago, E., Garrido-Faustino, S., González-Liaño, I., Martín-Moreira, C., Montero, P., Piedracoba, S., Salsón, S., Simoes, C., Taboada, J., Torres, S., Vazquez, M.

Trazando un rumbo: el papel del Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia en las necesidades de la sociedad gallega

15

Cantergiani, C., Garnier, R., Delpey, M., Cipriani, L., Gonçalves, C., García, I., Del Campo, A.

Enhancing coastal resilience: cross-border collaboration and innovation in the Regions4Climate project

19

Slamovitz, D., Delpey, M., Morichon, D., Abadie, S., Morales-Hernández, M., Lizarazu, P., Roeber, V.

Análisis numérico de la dinámica del oleaje en Belharra

22

Gaztelumendi, S., Egaña, J., Castaño-Tierno, A., Liria, P., Gonzalez, M., Aranda, J. A.

El nivel del mar en la costa vasca: caracterización y casos de estudio

25

Castaño-Tierno, A., Gómez de Segura, J. D., R. Gelpi, I., Gaztelumendi, S.

Avances en la predicción de residuos y rebases en Euskalmet

29

Castaño-Tierno, A., R. Gelpi, I., Gómez de Segura, J. D., Ruiz, I., Manso, I., Rubio, A., Gaztelumendi, S.

Implementación de una herramienta para el seguimiento de objetos y sustancias a la deriva: EuskalDrift

32

III. MULTZOA - Klima-aldaketaren arintzea itsasertzean eta ozeanoan

BLOQUE III – Mitigación del cambio climático en el litoral y el océano

BLOC III - Atténuation du changement climatique côtier et océanique

SESSION III – Coastal and ocean climate change mitigation

35

Moreau, R., Adam, A., Jimenez, H., Valmassoni, M., Leiceaga, A., Monperrus, M.

Assessing the influence of seagrasses and salt marshes on blue carbon stock in sediments

36

Houghton, T., Olmo, M., Mestres, M., Cos, P., Soret, A., Espino, M.

Assessing future wave climate in the Ebro Delta using SWAN nested modelling and CMIP6 wind projections

38

Gómez Gómez, A., García Rodríguez, J., Mansilla Piñón, A.

La importancia de la valorización y economía circular de los residuos MARPOL ante el reto de la lucha contra la contaminación

41

Alberdi Inza, M.

Diseño de la infraestructura verde desde una perspectiva de sistemas socio ecológicos

44

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	47
 Beillouin, T., Le Roy, L., Galand, P.	
Le serious game comme lien entre concertation et stratégie opérationnelle d’adaptation: le cas de TACC’tic	48
 Gaztelumendi, S., Egaña, J., R. Gelpi, I., Gómez de Segura, J. D., Aranda, J. A.	
El sistema de acción temprana frente al riesgo marítimo-costero en Euskalmet	xx
 Revilla, M., Aspichueta, E., Fontán, A., González, M., Hernani, F., Larreta, J., Laza-Martínez, A., Sagarminaga, Y., Zorita, I.	
The impact of the discharges from Wastewater Treatment Plants on coastal ecosystems in a context of global change	52
 Peña, L., Ametzaga-Arregi, I.	
Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas que ofrecen las áreas recreativas costeras de Bizkaia	60
 García, I., Larbide, G., Jiménez, C., Mendikute, L., Yarzabal, A., Juaristi, A., Tolosa, E., Miguelez, J. M., Ortiz de Salido, C., Hernández, R.	
Criterios de actuación de la Dirección de Salud Pública del Gobierno Vasco frente a carabelas portuguesas en verano de 2023 en Euskadi	63

I. MULTZOA – Planeten itzulerarik gabeko puntuak
BLOQUE I – Puntos de no retorno planetarios
BLOC I - Points de non-retour planétaires
SESSION I - Planetary tipping points

Effect of water temperature on growth rates of early life stages of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay

Arevalo, Elorri¹, Aldanondo, Naroa¹, Santos Mocoroa, Maria¹, Uriarte, Andrés¹, Taboada, Fernando², Ibaibarriaga, Leire¹, Cotano, Unai¹, Sagarminaga, Yolanda¹ & Chust, Guillem¹

Keywords: juveniles, otolith, fish growth, gompertz model, sea surface temperature, marine heatwaves

Introduction

Global ocean warming has cascading effects on marine environment such as increased stratification, acidification, deoxygenation, a diminution of nutrient supply and productivity (Henson et al., 2016). Extreme events, such as Marine Heat Waves (MHWs), are becoming increasingly frequent, persistent and severe (Hobday et al., 2016). These anomalously warm water events result in rapid shifts and restructuring of entire ecosystems (Jacox et al., 2022).

Recently, the observed decline in adult anchovy size in the Bay of Biscay (BoB) have been associated to anchovy abundance and sea temperature (Taboada et al. 2024), according to temperature size rule (Atkinson and Sibly, 1997; Daufresne et al., 2009). This rule states that individuals reared at warmer temperatures increase juvenile growth rates and decrease adult size, with respect to conspecifics developed in colder waters. Here, we aimed to test the effect of temperature on growth of anchovy juveniles using daily increments deposition in otoliths. European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) is a short-lived species with a maximum lifespan of 4 years (Aldanondo et al., 2011), fast development and growth, and spring-summer spawning (Peck et al., 2013). In the BoB, the spawning season occurs between March and August and peaks in May. Egg development generally lasts for 3 days and larval development takes around 30–40 days (Aldanondo et al., 2011). For anchovy early stages, growth is boosted up to 22°C (Aldanondo et al., 2008) but the increasingly warm temperatures observed in the BoB combined with the occurrence of extreme temperatures during marine heatwaves may limit the growth of early stages and have long-term consequences on population dynamics.

The aim of our study was to better understand the effect of temperature on growth trajectories of anchovy juveniles. The otoliths of 537 juveniles were analysed to estimate hatching dates, ages and daily increment widths of juveniles. Using a Gompertz model, we evaluated juvenile growth rates according to (i) the hatching date, (ii) the mean yearly Sea Surface Temperature (SST), and (iii) the cumulative yearly SST anomalies.

Materials and methods

Juveniles of anchovy were sampled during Juvena surveys in the southeastern BoB (limited to 8°W and 48°N) during the months of August and October over a period of 7 years (Table 1). The sampling scheme was based on independent transects (Figure 1) (Boyra et al., 2013). Juveniles were caught with purse seines or with a combination of purse seines and pelagic trawls. Sampled juveniles were separated by length ranges (every 0.5 cm), freezing up to a maximum of 10 individuals per range and per haul. Then, juveniles were measured and weighted before the otoliths were extracted.

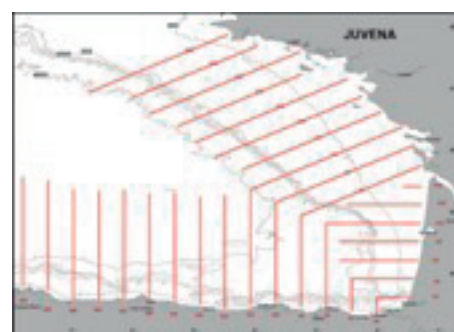


Figure 1 Location of the anchovy samples in the Bay of Biscay.

To estimate daily growth, a minimum of three juveniles per 0.5 cm length range were selected. The otoliths were individually mounted and were analysed with an optical microscope coupled to an image analyser (Visilog, TNPC Software, v.3.2, Ifremer, France). All increments were counted from the hatching increment (Aldanondo et al., 2008) and the distance between increments was measured along the same axis from the core to the edge of the otolith on the post-rostrum side. The number of increments was considered a proxy of age in days (Aldanondo et al., 2008). A total of 537 otoliths were analysed (Table 1).

SST were provided from 1981 to present by NOAA Optimal Interpolation SST high resolution. Daily SST were pooled across the sampling area. Mean SST from the start of the hatching season to the end of the sampling period were associated with each year. Similarly, we cumulated daily SST anomalies, calculated as the difference between daily SST and a reference, daily climatology over the period 1981-2022, from the start of the hatching season to the end of the sampling period.

The relationship between juvenile standard length (L) and otolith radius (O) was described by a power regression equation:

¹AZTI Marine Research, BRTA, Txatxarramendi Ugarte a z/g, 48395 Sukarrieta, Vizcaya, Spain

²Depto. Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, 33071 Oviedo, Asturias, Spain

E-mail contact: elorri.arevalo@gmail.com

Table 1 Number of juvenile anchovies from which otoliths were analysed (N), start and end of the hatching and sampling periods and mean Sea Surface Temperatures (SST) and SST cumulative anomalies (°C) from the beginning of hatching season to the end of sampling by year. Years defined as cold, intermediate and warm (or with few, moderate and massive anomalies) appear in blue, orange and red, respectively.

Years	N	Hatching		Sampling		Mean SST (°C)	SST cumulative anomalies (°C)
		Start	End	Start	End		
2004	54	04/07/2004	14/08/2004	22/09/2004	06/10/2004	19.6	28.1
2005	112	11/06/2005	06/08/2005	12/09/2005	07/10/2005	19.6	70.2
2006	81	19/06/2006	09/08/2006	13/09/2006	09/10/2006	20.1	108.3
2009	47	01/06/2009	22/07/2009	27/08/2009	22/09/2009	19.2	48.6
2013	66	08/05/2013	15/07/2013	02/09/2013	24/09/2013	18.0	-15.5
2014	107	12/05/2014	06/08/2014	03/09/2014	29/09/2014	18.9	88.3
2022	70	14/05/2022	02/08/2022	19/08/2022	01/10/2022	19.3	136.9

. This equation was used to estimate the standard length of individuals each day from daily otolith radius. To evaluate growth trajectories, length-at-age data were fitted to a Gompertz model (Doll and Jacquemin, 2019): where L_t was the estimated total length (cm) at age t , L_∞ was the asymptotic length (cm), k was a dimensionless parameter, and G was the instantaneous growth rate at age 0. Then, absolute growth rate at age t (g_t) may be computed as follows (Basilone et al., 2018):

The estimated parameters were grouped according to mean SST into “cold”, “intermediate” and “warm” years or according to SST cumulative anomalies into “few”, “moderate” and “massive” yearly anomalies (Table 1). Analyses were conducted using a Bayesian inference framework with “uninformative” priors using the R software (R-Core-Team, 2022) and the R2jags package.

Results and discussion

Juveniles sampled during the surveys were individuals that survived until autumn in the BoB. In some years, both early- and late-hatched individuals survived (hatching from May to July), while in other years, only late-hatched individuals survived (from mid-June to July; Table 1). However, analysis of gonad weight of females and sampling of anchovy eggs showed that spawning was already occurring in May every year (Erauskin-Extramiana et al., 2019). Thus, spawning phenology remains more or less constant between years and other mechanisms may explain differences in survival depending on the hatching date. Intra- and inter-specific competition could partly explain this differential survival (Garrido and van der Lingen, 2014; Fonseca et al., 2022).

Growth curves of the juveniles showed a similar increasing pattern until the age of 40-60 days after hatching (Figure 2), which corresponded to the metamorphosis from larval to juvenile stage (Schismenou et al., 2016). Then, growth rates sharply declined. Globally, the average growth rate was $0.063 \text{ cm day}^{-1}$ for individuals between 0 and 30 days old. This growth rate is similar to those observed by Aldanondo et al. (2011), Cermeño et al. (2008) and Cotano et al. (2008) in the same area and lifetime, which estimated mean growths of 0.60, 0.65 and 0.61 mm day^{-1} respectively.

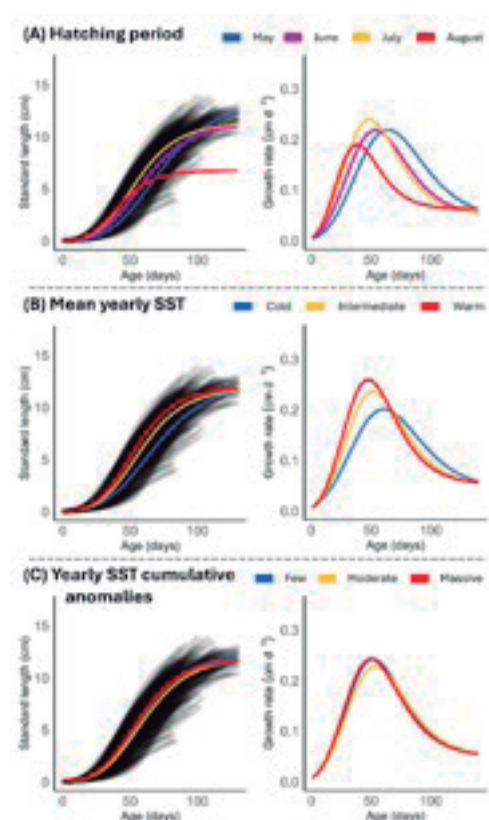


Figure 2 Estimated standard length (cm) according to age (days) and growth rate (cm day^{-1}) according to age (days). Growth trajectories were estimated from a Gompertz model and model parameters were estimated or grouped according to hatching periods (A), mean yearly SST (B) and yearly SST cumulative anomalies (C).

Growth rates differed according to hatching date (Figure 2A). Considering the first 50 days (until metamorphosis), the average growth rates were 0.08, 0.11, 0.13 and 0.12 cm day^{-1} in May, June, July and August, respectively. Late-born individuals grew faster than early-born individuals but late-born individuals faced

a slowdown in their growth. Theoretical asymptotic length of late-born individuals (especially for individuals born in August) was smaller than for the others hatching dates. Thus, late-born individuals are smaller in length than early-born individuals. This abrupt slowdown could be linked to physiological constraints linked to fast growth in warm waters (Sheridan and Bickford, 2011) or bottom-up controls (prey-predator phenological mismatch, quantity or quality of prey; Chauvelon et al., 2015; Schmidt et al., 2020).

The mean yearly SST estimated allowed to identify 2013 and 2014 as cold years (means of 18.0 and 18.9°C, respectively), 2009 and 2022 as intermediate years (19.2 and 19.3°C) and 2004, 2005 and 2006 as warm years (19.6, 19.6 and 20.1°C) (Table 1). Mean SST calculation depended strongly on the start of hatching: in years dominated by late-born individuals, the mean SST were warmer. Conversely, in years with early-born individuals, the mean SST were colder because the mean SST included the months of May and June, which are colder than July and August.

Temperature is a major factor in determining the growth of anchovy (Taboada et al., 2024) and especially early life stages (Petitgas et al., 2012). Favourable temperatures for the development of eggs and larvae are around 22°C (Aldanondo et al., 2008). As mean yearly SST did not exceed 22°C, an increase in the mean yearly SST boosted growth rates, with a mean growth rate (over the 0-50 day period) of 0.09 cm day⁻¹ in cold, 0.12 in intermediate and 0.14 in warm years (Figure 2B). This result is in line with the temperature size-rule stating that warmer temperatures lead to rapid growth in early life stages (here, the first 50 days).

There were few SST cumulative anomalies in 2004 and 2013 (28.1 and -15.5°C, respectively), moderate cumulative anomalies in 2005, 2009 and 2014 (70.2, 48.6 and 88.3°C), and massive cumulative anomalies in 2006 and 2022 (108.3 and 136.9°C) (Table 1). Growth rates of individuals did not seem to be unambiguously influenced by SST cumulative anomalies (Figure 2C), probably because the period considered for each year depended strongly on the start of hatching. Studies on early stages showed that the growth of some species was reduced by the occurrence of a MHW (e.g. walleye pollock; Rogers et al., 2020), while the growth was boosted for other species (round sardinella; Sabatés et al., 2006). It seems to depend largely on both the quality and quantity of prey and on larval energy requirements (Madeira et al., 2020). Additionally, natural variability can overcome and hide the substantial deleterious ecological effects of MHWs (Fredston et al., 2023).

Conclusions

Analysis of the daily otolith increment widths of 537 anchovy juveniles enabled us to better understand the variability of growth within the same cohort and also between years. In some years, both early- and late-hatched individuals survived, while in other years only late-hatched individuals survived. This may be due to varying biotic (e.g. intra/interspecific competition, prey) or abiotic (e.g. temperatures, oceanic currents) factors leading to different survival rates of early life stages. Considering the thermal

conditions in the BoB, years with higher mean SST boosted the early growth of anchovy juveniles. However, we were unable to identify an unequivocal effect of marine heatwaves on growth, probably because growth period considered were different among years. This issue is crucial, as the multiplication of these extreme events in the future will probably impact population dynamics and the whole marine ecosystem.

References

- Aldanondo, N., Cotano, U., Etxebeste, E., 2011. Growth of young-of-the-year European anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) in the Bay of Biscay. *Scientia Marina* 75, 227-235.
- Aldanondo, N., Cotano, U., Etxebeste, E., Irigoien, X., Álvarez, P., de Murguía, A.M., Herrero, D.L., 2008. Validation of daily increments deposition in the otoliths of European anchovy larvae (*Engraulis encrasicolus* L.) reared under different temperature conditions. *Fisheries Research* 93, 257-264.
- Basilone, G., Ferreri, R., Mangano, S., Pulizzi, M., Gargano, A., Barra, M., Mazzola, S., Fontana, I., Giacalone, G., Genovese, S., Aronica, S., Bonanno, A., 2018. Effects of habitat conditions at hatching time on growth history of offspring European anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the Central Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 821, 99-111.
- Boyra, G., Martínez, U., Cotano, U., Santos, M., Irigoien, X., Uriarte, A., 2013. Acoustic surveys for juvenile anchovy in the Bay of Biscay: abundance estimate as an indicator of the next year's recruitment and spatial distribution patterns. *ICES Journal of Marine Science* 70, 1354-1368.
- Cermeño, P., Uriarte, A., Morales-Nin, B., Cotano, U., Álvarez, P., 2008. Setting up interpretation criteria for ageing juvenile european anchovy otoliths. *Scientia Marina* 72, 733-742.
- Cotano, U., Irigoien, X., Etxebeste, E., Alvarez, P., Zarauz, L., Mader, J., Ferrer, L., 2008. Distribution, growth and survival of anchovy larvae (*Engraulis encrasicolus* L.) in relation to hydrodynamic and trophic environment in the Bay of Biscay. *Journal of Plankton Research* 30, 467-481.
- Chauvelon, T., Violamer, L., Dessier, A., Bustamante, P., Mornet, F., Pignon-Mussaud, C., Dupuy, C., 2015. Small pelagic fish feeding patterns in relation to food resource variability: an isotopic investigation for *Sardina pilchardus* and *Engraulis encrasicolus* from the Bay of Biscay (north-east Atlantic). *Marine Biology* 162, 15-37.
- Daufresne, M., Lengfellner, K., Sommer, U., 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106, 12788-12793.
- Doll, J.C., Jacquemin, S.J., 2019. Bayesian Model Selection in Fisheries Management and Ecology. *Journal of Fish and Wildlife Management* 10, 691-707.
- Erauskin-Extramiana, M., Alvarez, P., Arrizabalaga, H., Ibaibarriaga, L., Uriarte, A., Cotano, U., Santos, M., Ferrer, L., Cabré, A., Irigoien, X., Chust, G., 2019. Historical trends and future distribution of anchovy spawning in the Bay of Biscay. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 159, 169-182.
- Fonseca, P., Silva, A.D., Angélico, M.M., Garrido, S., 2022. Seasonal and spatial variability of Atlanto-Iberian pelagic fish diet with estimates of intraguild predation. *Marine Ecology Progress Series* 687, 95-111.
- Fredston, A.L., Cheung, W.W.L., Frolicher, T.L., Kitchel, Z.J., Maureaud, A.A., Thorson, J.T., Auber, A., Merigot, B., Palacios-Abrantes, J., Palomares, M.L.D., Pecuchet, L., Shackell, N.L., Pinsky, M.L., 2023. Marine heatwaves are not a dominant driver of change in demersal fishes. *Nature*.
- Garrido, S., van der Lingen, C.D., 2014. Feeding biology and ecology. *Biology and ecology of sardines and anchovies*, 122-189.
- Henson, S.A., Beaulieu, C., Lampitt, R., 2016. Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: when and where. *Glob Chang Biol* 22, 1561-1571.

- Hobday, A.J., Alexander, L.V., Perkins, S.E., Smale, D.A., Straub, S.C., Oliver, E.C.J., Benthuisen, J.A., Burrows, M.T., Donat, M.G., Feng, M., Holbrook, N.J., Moore, P.J., Scannell, H.A., Sen Gupta, A., Wernberg, T., 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography* 141, 227-238.
- Jacox, M.G., Alexander, M.A., Amaya, D., Becker, E., Bograd, S.J., Brodie, S., Hazen, E.L., Pozo Buil, M., Tommasi, D., 2022. Global seasonal forecasts of marine heatwaves. *Nature* 604, 486-490.
- Madeira, D., Madeira, C., Costa, P.M., Vinagre, C., Portner, H.O., Diniz, M.S., 2020. Different sensitivity to heatwaves across the life cycle of fish reflects phenotypic adaptation to environmental niche. *Mar Environ Res* 162, 105192.
- Maynou, F., Sabatés, A., Raya, V., 2020. Changes in the spawning habitat of two small pelagic fish in the Northwestern Mediterranean. *Fisheries Oceanography* 29, 201-213.
- Peck, M.A., Reglero, P., Takahashi, M., Catalán, I.A., 2013. Life cycle ecophysiology of small pelagic fish and climate-driven changes in populations. *Progress in Oceanography* 116, 220-245.
- Petitgas, P., Grellier, P., Duhamel, E., Masse, J., Doray, M., 2012. Variability and controls of otolith growth in the anchovy of the Bay of Biscay, ICES Annual science conference.
- R-Core-Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing.
- Rogers, L.A., Wilson, M.T., Duffy-Anderson, J.T., Kimmel, D.G., Lamb, J.F., 2020. Pollock and “the Blob”: Impacts of a marine heatwave on walleye pollock early life stages. *Fisheries Oceanography* 30, 142-158.
- Sabatés, A.N.A., Martín, P., Lloret, J., Raya, V., 2006. Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global Change Biology* 12, 2209-2219.
- Schismenou, E., Palmer, M., Giannoulaki, M., Alvarez, I., Tsiaras, K., Triantafyllou, G., Somarakis, S., 2016. Seasonal changes in otolith increment width trajectories and the effect of temperature on the daily growth rate of young sardines. *Fisheries Oceanography* 25, 362-372.
- Schmidt, K., Birchill, A.J., Atkinson, A., Brewin, R.J.W., Clark, J.R., Hickman, A.E., Johns, D.G., Lohan, M.C., Milne, A., Pardo, S., Polimene, L., Smyth, T.J., Tarran, G.A., Widdicombe, C.E., Woodward, E.M.S., Ussher, S.J., 2020. Increasing picocyanobacteria success in shelf waters contributes to long-term food web degradation. *Glob Chang Biol* 26, 5574-5587.
- Sheridan, J.A., Bickford, D., 2011. Shrinking body size as an ecological response to climate change. *Nature Climate Change* 1, 401-406.
- Taboada, F.G., Chust, G., Santos Mocoroa, M., Aldanondo, N., Fontan, A., Cotano, U., Alvarez, P., Erauskin-Extramiana, M., Irigoien, X., Fernandes-Salvador, J.A., Boyra, G., Uriarte, A., Ibaibarriaga, L., 2024. Shrinking body size of European anchovy in the Bay of Biscay. *Glob Chang Biol* 30, e17047.

Acknowledgements

This study has been supported by Naturklima (Reference project 2023/02-OMC). The JUVENA surveys and the derived data sets used in this study have been funded by the European Commission (Data Collection Framework), by the Department of Economic Development and Infrastructure of Basque Government (projects MPDH and JUVENA) and by the General Secretariat for Fisheries of the Spanish Government, which contributed with the RV Emma Bardán since 2003 and RV Vizconde de Eza since 2020.

II. MULTZOA - Muturreko gertakariak eta egokitze neurriak

BLOQUE II - Eventos extremos y medidas de adaptación

BLOC II - Événements extrêmes et mesures d'adaptation

SESSION II - Extreme events and adaptation measures

Trazando un rumbo: el papel del Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia en las necesidades de la sociedad gallega

Almécija, Clara¹; Allen-Perkins, Silvia²; Álvarez-Chaver, Pablo¹; Ayensa, Garbiñe²; Bernal, Teresa³; Calviño, Jesús³; Calvo, Silvia²; Couñago, Elena¹; Garrido-Faustino, Soledad¹; González-Liaño, Ignacio¹; Martín-Moreira, Christian¹; Montero, Pedro²; Piedracoba, Silvia¹; Salsón, Santiago³; Simoes, Cristian¹; Taboada, Juan³; Torres, Silvia¹ and Vazquez, Marta¹

Palabras clave: Oceanografía Operacional, Observatorio Costero, Galicia, Usuarios/as finales

Introducción y contexto

La oceanografía operacional se centra en la medición, interpretación y difusión de datos sobre el océano y la atmósfera de manera sistemática y continua, para la obtención de una visión precisa y anticipada de su estado. Estos datos son fundamentales para optimizar la gestión de los recursos marinos y los servicios ecosistémicos, mejorar los planes de contingencia frente a accidentes marítimos y eventos climáticos extremos, promover el desarrollo de Conocimiento y Economía Azul, y fortalecer la resiliencia de las poblaciones costeras frente a los desafíos del cambio climático.

Debido a su importancia, es crucial que todas las entidades responsables de la gobernanza de las zonas marinas implementen y refuerzen sus sistemas de observación y predicción. Esto permitirá mejorar notablemente la calidad de la información disponible y apoyar una toma de decisiones más informada y efectiva imprescindible en sectores relacionados o dependientes del mar que requieren de una vigilancia y gestión avanzadas para asegurar su sostenibilidad y efectividad como la acuicultura, el marisqueo, la pesca, actividades portuarias, el tráfico marítimo, actividades de ocio y turismo costero y marítimo o energías renovables.

En Galicia, situada en el noroeste de la Península Ibérica, se encuentra casi el 20% del litoral de dicha península. Esta extensa costa le confiere una importancia significativa en términos sociales, ambientales y económicos, que influye directamente en el estilo de vida de sus habitantes que desenvuelven su actividad profesional en los sectores costeros y marítimos, contribuyendo a su sostenibilidad.

Con el fin de abordar y gestionar de manera eficaz estos aspectos, el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia (www.observatoriocosteiro.gal) se ha posicionado como líder de la oceanografía operacional en Galicia. Este trabajo presenta sus capacidades existentes y acciones futuras para difundir su actividad y construir de modo participativo su futuro.

Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia

Desde hace 15 años el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia está a la vanguardia del desarrollo de sistemas avanzados para la observación y predicción de este entorno marino dada su gran importancia, aunque su trabajo en esta área comenzó hace 30 años con el inicio de algunas de las observaciones sistemáticas del medio. En la actualidad tres instituciones públicas trabajan para fortalecer sus capacidades y enfoque, permitiéndole implementar una gama completa de servicios y productos orientados a mejorar la comprensión del océano y su comportamiento, convirtiéndose así en un ejemplo destacado de cooperación interinstitucional.

En el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia trabajan la *Dirección Xeral de Enerxías Renovables e Cambio Climático* dependiente de la *Consellería de Medio Ambiente e Cambio Climático* de la Xunta de Galicia mediante el trabajo de su *Subdirección Xeral de Cambio Climático e Ordenación del Litoral-METEOGALICIA*. Esta entidad tiene la responsabilidad de realizar las observaciones meteorológicas de Galicia y su evolución climática. Además, se encarga de elaborar predicciones tanto meteorológicas como marinas, proporcionando información esencial sobre el estado del tiempo y del mar a corto plazo, fundamental para una planificación segura de las actividades que se llevan a cabo en el mar de Galicia.

Dependientes de la *Consellería do Mar*, trabajan para el Observatorio dos instituciones: el *Instituto Tecnolóxico para o Control do Medio Mariño de Galicia-INTECMAR* y el Centro Tecnológico del Mar-Fundación CETMAR. El primero de ellos, INTECMAR, centra su actividad en hacer el seguimiento, el control y la investigación de la calidad ambiental de las aguas costeras de Galicia, en la que se incluyen la monitorización de las condiciones oceanográficas y el asesoramiento al Plan Territorial de Contingencias por Contaminación Marina Accidental de Galicia, Plan Camgal. CETMAR es una fundación pública que se dedica a la mejora del medio marino y sus recursos promoviendo activamente

¹ Organización, Dirección Unidad de Tecnologías Marinas, Centro Tecnológico del Mar-Fundación CETMAR, Eduardo Cabello s/n, 36208 Vigo (Pontevedra)

² Unidade de Documentación e Apoio Científico e Unidade de Modelado Oceanográfico, Instituto Tecnolóxico para o Control do Medio Mariño de Galicia-INTECMAR, Peirao de Vilaxoán, s/n, 36611 Vilagarcía de Arousa (Pontevedra)

³ Subdirección xeral de Cambio Climático e Ordenación del Litoral-Metegalicia, Dirección Xeral de Enerxías Renovables e Cambio Climático, Consellería de Medio Ambiente e Cambio Climático, Xunta de Galicia, Rúa Roma 6, 15707 Santiago de Compostela (A Coruña)
E-mail: utmar@cetmar.org

la innovación en los sectores relacionados con el mar, fomentando la sostenibilidad y trabajando para asegurar un futuro próspero y equilibrado para las comunidades costeras y los ecosistemas que las sustentan. Posee, además, una larga experiencia en el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de monitorización marina en tiempo real.

Las tres principales áreas de actuación del Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia incluyen la observación del medio marino, la predicción de sus dinámicas y el acceso a la información mediante la implementación de servicios y productos especializados que faciliten el uso de los datos a quien precise emplearlos en su actividad profesional o de ocio. Toda la información generada por el Observatorio es abierta y está disponible en la página web del Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia www.observatoriocosteiro.gal. No obstante, para asegurar su accesibilidad y usabilidad, se encuentra también en las principales plataformas europeas de agregación de datos, como CMEMS o EMODnet, contribuyendo así a dar respuesta a las diferentes necesidades y desafíos globales.

Además, el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia forma parte del Observatorio RAIA (www.marnaraia.org), situado en la Eurorregión Galicia-Norte de Portugal, que se ha convertido en un referente a nivel europeo en cooperación transfronteriza. Esta colaboración refuerza los lazos entre Galicia y Portugal, permitiendo un intercambio constante de datos, infraestructuras, conocimientos y experiencias que son vitales para la gestión eficaz de los recursos marinos compartidos. De este modo, el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia no solo contribuye a la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos a nivel local, sino que también desempeña un papel clave en el ámbito internacional, fortaleciendo la resiliencia y el desarrollo sostenible en la Eurorregión.

Sistema de Observación Marina

Para observar el medio marino el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia gestiona diferentes infraestructuras y redes en su área geográfica de actuación: plataformas automáticas, estaciones oceanográficas, red de radares costeros de alta frecuencia y estaciones meteorológicas situadas por el litoral.

Concretamente en Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia tiene desplegadas seis plataformas automatizadas ubicadas en la zona de las Rías Baixas, algunas de las cuales están en operación desde 2007. Estas plataformas transmiten datos en tiempo real, cada diez minutos, sobre diversos parámetros de interés oceanográfico como la temperatura del agua, la salinidad –en algunos casos a varias profundidades–, los niveles de oxígeno, la velocidad y la dirección de las corrientes –en varias de las instalaciones–, así como datos meteorológicos como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento.

Un exhaustivo proceso automatizado de control de calidad de los datos tiene como objetivo mejorar la fiabilidad y la utilidad de los datos recopilados. Incluye pruebas que evalúan los límites físicos de los sensores, comparativa con los valores históricos, pruebas de datos máximos y mínimos y análisis de tasas de cambio. Se realizan también, generalmente en la serie anual completa, verificaciones manuales de la correcta aplicación de estos filtros y también visuales que permiten afinar más el código de validación de cada dato.

Por otro lado, con periodicidad semanal, se llevan a cabo perfiles de CTD en 43 estaciones oceanográficas distribuidas por Rías Baixas y Golfo Ártabro. Estos perfiles proporcionan información detallada sobre parámetros de interés en toda la columna de agua: temperatura, salinidad, conductividad, oxígeno, fluorescencia, pH, transmitancia, irradiancia y densidad del agua, complementando



Figura 1. Áreas de actuación del Observatorio Costeiro da Xunta y su relación.

así los datos obtenidos mediante análisis y pruebas de laboratorio en muestras de agua que se realizan fuera del observatorio. Estas series de mediciones, que comenzaron en 1992, son algunas de las más extensas y prolongadas a nivel mundial.

Cerca de 50 estaciones meteorológicas costeras registran en tiempo real datos sobre el viento, la temperatura, la humedad, la precipitación, la presión atmosférica y la radiación solar, aunque algunas de ellas pueden tener implementados parámetros adicionales como calidad lumínica de cielo.

Finalmente, existe una red de radares de alta frecuencia -HF Radar-, compuesta por cinco estaciones que interoperan entre sí, cuatro en Galicia (dos pertenecientes a Puertos del Estado y dos al Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia) y una en Portugal (perteneciente al Instituto Hidrográfico). Esta red permite la creación de mapas de corrientes superficiales en un radio de hasta 100 millas náuticas. La red de radares desempeña un papel crucial en la supervisión del tráfico marítimo, de especial importancia en el Corredor Marítimo de Fisterra, y es un claro ejemplo de la cooperación transfronteriza en la Eurorregión Galicia-Norte de Portugal.

Sistema de Predicción

El Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia realiza un complejo y completo espectro de predicciones numéricas del medio marino y atmosférico que ejecuta diariamente. Estas se validan y mejoran continuamente mediante observaciones oceánicas, lo que asegura su alta fiabilidad, convirtiendo además al observatorio en el usuario final de los datos que genera.

Entre estas predicciones se encuentran los modelos hidrodinámicos como el ROMS, utilizado para la costa gallega con una resolución de 2 km, y el MOHID, aplicado a las rías con una resolución de 300 m. Estos modelos permiten predecir variables esenciales como nivel del mar, corrientes, salinidad y temperatura. Además, el modelo atmosférico WRF genera previsiones diarias de temperatura, viento, presión, precipitación y otras variables para Galicia. Este modelo opera con una resolución de 1 km en sus previsiones diarias y de 4 km en las previsiones cada 12 horas (dos veces al día). Por otro lado, los modelos de olas como WaveWatch III (WW3) para el mar abierto y SWAN para la zona costera (con una cuadrícula no estructurada y resolución menor a 50 m) ofrecen predicciones sobre la altura, el período y la dirección de las olas significativas.

Al mismo tiempo, para situaciones de contaminación accidental u otro tipo de accidente marino o marítimo se emplean modelos lagrangianos desarrollados a partir de los modelos hidrodinámicos y atmosféricos para asistir a las autoridades marítimas en una toma de decisiones informada para gestión y respuesta ante estos incidentes.

Productos y Servicios del Observatorio

A partir de toda la información generada por el observatorio se desarrollan varios productos y servicios que añaden valor y facilitan el acceso y uso de sus datos. Los boletines diarios de predicción

océano-meteorológica acercan la información a perfiles muy diversos de usuarios/as finales, perfectamente complementadas por visores específicos que proporcionan información detallada sobre puntos geográficos de interés, como playas y puertos.

Entre los servicios especializados se encuentra la aplicación Percegurú, disponible también para teléfono móvil, diseñada para acercar información de utilidad a percebeiros/as en el rango de horas de faena. Otro servicio importante desarrollado por el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia es el Xescamgal o gestor operativo de la información del Plan Camgal, que recopila en una única herramienta una gran cantidad de información fundamental para la toma de decisiones ante un evento de emergencia. Existen también visores asociados a las medidas de corrientes de superficie realizadas por el HF radar y a otros parámetros que se derivan de las medidas del radar: índices de afloramiento y medidas de altura de ola, que facilitan información simultánea en toda el área suponiendo una revolución para os usuarios/as de la misma, y que complementan información de procedencia satelital.

El observatorio dispone, además, de una herramienta de detección, identificación y visualización de sonidos submarinos naturales producidos por cetáceos o ruidos submarinos de origen antropogénicos, gracias a un hidrófono instalado en una de las plataformas automáticas para la monitorización de sonidos ambiente submarino y un sensor de calidad de cielo.

Otras actividades del Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia

Además de las actividades enmarcadas dentro de cada una de las áreas de actuación que corresponden a la oceanografía operacional, el Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia mantiene dos líneas de trabajo importantes para su integración como infraestructura esencial en Galicia.

Actividades de difusión y concienciación social son llevadas a cabo al menos una campaña al año en centros de enseñanza públicos de diferentes niveles educativos, desde educación infantil hasta bachillerato (3-17 años), en las zonas costeras de influencia del Observatorio, priorizándose los entornos rurales con actividades tradicionalmente vinculadas al mar y la costa. A lo largo de 2024 se realizaron dos campañas vinculadas a la Iniciativa 11F “Mujer y Niña en la Ciencia” y al “Día Mundial de los Océanos” donde se visitaron 10 centros escolares impartiendo casi 30 charlas a un total de 700 personas.

Por otro lado, se mantiene una comunicación fluida con partes interesadas y usuarios/as finales, reales y potenciales, en el ámbito marino y marítimo para evaluar su conocimiento y uso de la información generada por el observatorio y presentarles el catálogo de capacidades oceanográficas que ahora mismo existe para ampliar su uso. Además, se identifican nuevas demandas de información complementaria que serían de gran utilidad para la actividad profesional o de ocio de diversos colectivos. Se detecta también en estas interacciones la necesidad de mejorar la difusión y acompañamiento a los usuarios/as en el uso de la información y de trabajar en la mejora de la accesibilidad, normalización y armonización de datos para optimizar su usabilidad.

Conclusiones

El Observatorio Costeiro de la Xunta de Galicia trabaja día a día para consolidarse como una herramienta al servicio de la sociedad de Galicia, alineándose con sus necesidades y demandas, en un contexto de incertidumbre ante la vulnerabilidad de la costa y las actividades que en ella se realizan, donde la adaptación y la resiliencia de la población y sus recursos juega un papel clave.

Así, mejorar y ampliar las capacidades existentes del observatorio, teniendo en cuenta la demanda de quien emplea esa información, y hacerla llegar de la forma sencilla y útil posible a toda la sociedad es el reto que tiene por delante el Observatorio Costeiro de la Xunta de Galicia, que traza el rumbo de su actividad futura.

Reconocimientos

Los autores agradecen al Programa Interreg VI-A España–Portugal 2021-2027 por financiar el proyecto CAPTA, al Fondo Europeo Marítimo, de Pesca y de Acuicultura (2021-2027) y al apoyo de la Xunta de Galicia al Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia.

Enhancing coastal resilience: cross-border collaboration and innovation in the Regions4Climate project

Cantergiani, Carolina¹, Garnier, Roland², Delpey, Matthias³, Cipriani, Luigi⁴, Gonçalves, Catarina⁵, García, Igone¹, Del Campo, Andrea²

Keywords: climate resilience, climate adaptation, coastal resilience, nature-based solutions, monitoring & evaluation.

Introduction

The EU Mission on Adaptation to Climate Change, through its Adaptation Strategy, emphasizes “fast adaptation” as a core goal, advocating for a swift and thorough response to climate impacts. The Regions4Climate EU project (R4C, GA101093873) aims to collaboratively develop and demonstrate a socially just transition to climate resilience, involving twelve regions that are addressing their climatic threats by sharing experiences and developing innovative solutions to enhance climate resilience.

The regions in R4C are organized into three so-called Challenge Suites, each focusing on a different societal innovative theme: Faster Adaptation, Smarter Adaptation and Systemic Adaptation. Challenge Suite 1 (CS1) brings together the Basque Country, South Aquitaine, Tuscany, and the Azores. These regions are focusing on coastal protection and restoration, developing and implementing adaptation solutions to minimise climate-related risks and increase climate protection.

Materials and methods

Regions and their innovation actions

The main pillars are: (i) **coastal protection and restoration**, including biodiversity and considering opportunities for blue-carbon credits; (ii) **citizen education and engagement** in resilience building, to promote a smooth transformation; (iii) **multi-scale monitoring**, using advanced modelling techniques; and (iv) **multisectoral adaptation planning** as the basis for change. While the four cases have their own unique characteristics, they have all established individual actions

aligned with these dimensions.

Basque Country: This region in northeastern Spain, on the French border, is focusing on restoration actions at the Txingudi estuary. Approximately 5.5 hectares of saltmarsh will be restored to recover to revive the natural tidal dynamics and ecosystems. The project will contribute to strengthening local governance and planning structures, and to establish a monitoring program. The monitoring of extreme events and long-term changes starts to be upscaled to regional/cross-border scale.

South Aquitaine: Located also on the France-Spain border and neighbouring the Basque Country, the work conducted on this French region focuses on Saint Jean de Luz shoreline, which counts several urbanised and populated waterfronts where energetic storms from the Atlantic Ocean pose significant flooding risks. The innovation actions include developing an Adaptive Use Strategy for waterfronts based on real-time risk knowledge, enhancing local monitoring and forecasting of ocean storm impacts, and establishing sustainable, innovative coastal defence system management.

Tuscany: Central Italy's region, particularly the municipality of Piombino, faces challenges with its dune systems due to coastal erosion and flooding during storms. The actions here aim to restore the coastal dune system to control erosion enhancing ecosystem services, create models for understanding coastal morpho dynamics, and develop resilience plans based on coastal monitoring data and stakeholders' engagement. Tuscany's previous project experiences provide insights into effective strategies for the R4C initiative.

Azores: A Portuguese autonomous region consisting of nine volcanic islands in the mid-Atlantic, the Azores face significant coastal erosion challenges, compounded by increasing tourism and population pressures on natural resources. The region's goals include improving climate literacy through an app (Azorean Footprint) and developing a digital coastal vulnerability map to support decision-making.

Monitoring resilience: common challenges and indicators

According to the European Commission (EC, n/d), Nature-based Solutions (NbS) are locally adapted, cost- and resource-efficient, systemic interventions, which can simultaneously provide environmental, social, and economic benefits and build resilience to climate change. The main goal of NbS implementation is to use nature to solve a specific challenge and generate optimal impacts and co-benefits for the environment, market, and society. In R4C, we assume NbS implemented at the local level, when successfully upscaled, contribute to

¹ TECNALIA Research & Innovation, Parque Científico y Tecnológico de Gipuzkoa, Mikeletegi Pasealekua, 2 - E-20009 Donostia, Gipuzkoa, Spain

² AZTI, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Herrera Kaia. Portualdea, 20110 Pasaia, Gipuzkoa, Spain

³ Center Rivages Pro Tech, SUEZ Eau France, Technopôle Izarbel - 2 allée Théodore Monod 64210 Bidart, Nouvelle Aquitaine, France

⁴ Region of Tuscany, Directorate Soil Defense and Civil Protection, Via di Novoli, 26 - 50127, Firenze, Italy

⁵ Fundo Regional da Ciência e Tecnologia, Largo da Matriz, 45-52 - 9500-094 Ponta Delgada, Azores, Portugal

E-mail contact: carolina.cantergiani@tecnalia.com

minimising the climate risk at the regional level by potentially modifying its components: hazard, exposure, vulnerability (sensitivity and coping capacity), and response (IPCC, 2023).

One of the biggest challenges in the NbS implementation process is defining their effectiveness, that is, to assess their impacts and benefits, since they are usually local in scope, time-dependent, and socially constrained. Measuring these variables is not trivial, and a robust selection of KPIs (Key Performance Indicators) is necessary for that.

The primary role of monitoring in R4C is to inform decision-making processes at different scales and provide evidence of the impacts generated by the NbS. For that, a monitoring framework was proposed, which starts by defining a Regional Monitoring Team and a baseline, followed by identifying specific challenges and expected impacts, and finalising with the design of a set of KPIs and proceedings with the pre- and post-measurements. The final step is the impact assessment and, whenever possible, linking it with a reflexive monitoring process.

After considering a series of EU frameworks for monitoring effectiveness of NbS, the expert team decided to base the proposal on the exhaustive list of KPIs of the EC (2021). The presented indicators are scientifically accepted and cover a wide range of challenges and exemplify their related metrics.

The regions have recently defined their set of KPIs, and are currently starting the pre-monitoring, although each region's timeline may slightly differ. The process of selecting the most appropriate indicators and their corresponding metrics is based on some considerations:

- The selected indicators are based on the EC ones (EC, 2021) to assure robustness.
- The final set of KPIs leaves room for necessary customisations to better fit regional and local specificities.
- The same KPIs need to be measured with the same metrics, and in both pre- and post- scenarios in each innovation action in the Regions.
- The metrics were based on the SMART approach: Scientific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound.
- Metrics to calculate the same KPI may differ from region to region.
- Some aspects were out of the project scope and, although relevant, were not considered (such as trade-offs, multicriteria, uncertainty, and impacts of behavioural change).

Results and discussion

During the monitoring process, commonalities and complementarities will be analysed to foster knowledge exchange, promote cross-border actions among the regions, and generate lessons learnt (either positive or negative). By now, this comparison has been done only over the selected Societal Challenges and KPIs (Figure 1).

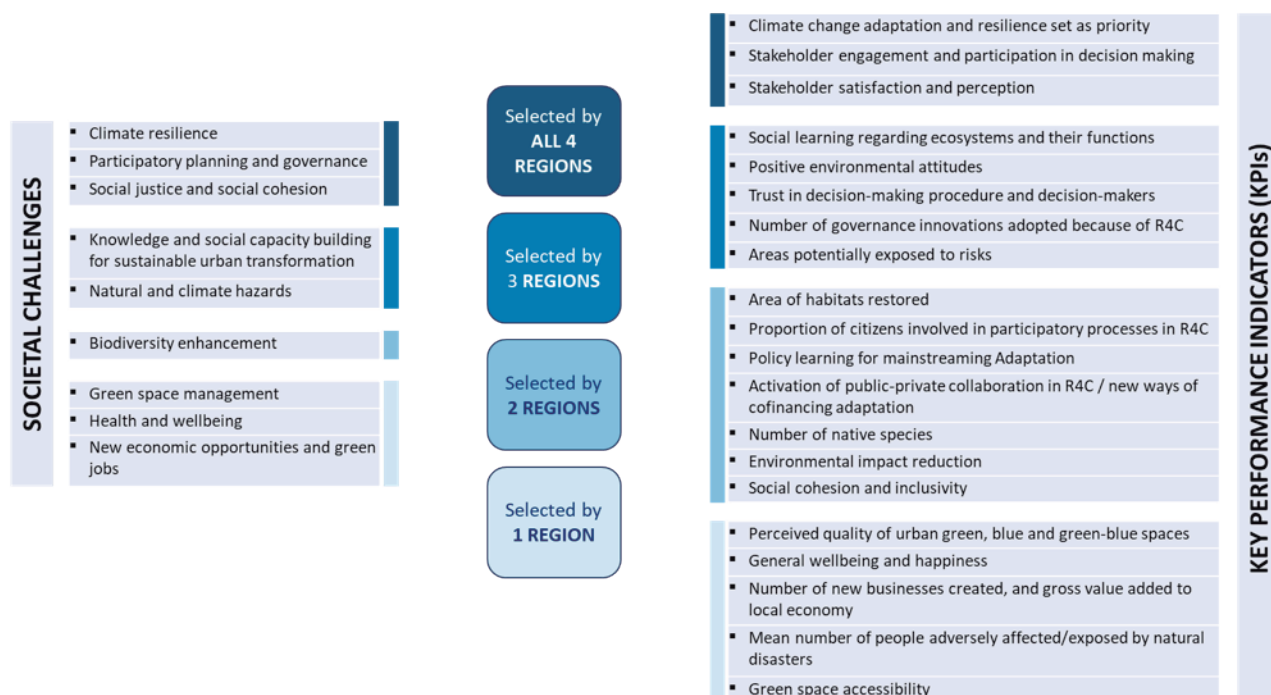


Figure 1. Selection of Societal Challenges and KPIs by the four R4C-CS1 regions.

Regarding the challenges, it is not surprising that the most common ones are focused on climate resilience – the primary goal of R4C – and that many of the selections cover, as expected, a wide spectrum of issues across social, environmental, and economic dimensions. In relation to the KPIs, besides climate change resilience and the typical environmental indicators, the regions opted for measuring social impacts, often linked with governance and planning.

It may be early to interpret without having the results, but some preliminaries assumptions based on this comparison show that generating impacts on social aspects is among the major interests of the R4C-CS1 regions

Conclusions

In summary, the collaboration among these regions allows for the exchange of knowledge and experiences, enhancing the effectiveness of their actions. They are committed to developing cross-border strategies, including scalable and replicable outcomes that enhance regional climate resilience, contributing to the overarching goal of the EU Adaptation Strategy.

This communication offers an overview of those actions, as well as of the targeted results and related impacts on climate resilience, with special focus on the initial stage of their monitoring journey and expected realisations for the coming year.

References

- EC, 2021. European Commission – Directorate-General for Research and Innovation: *Evaluating the impact of nature-based solutions – A handbook for practitioners*, Publications Office of the European Union, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577>
- IPCC, 2023. Climate Change 2023: *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (2023). Core Writing Team: H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115. <https://dx.doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Acknowledgements

This article has been written as part of Regions4Climate (R4C) - Building Resilient Communities EU Project, Grant agreement ID: 101093873, funded under HORIZON 2.5 - Climate, Energy and Mobility programme (Call: HORIZON-MISS-2021-CLIMA-02-04 - Large scale demonstrators of climate resilience creating cross-border value). The authors thank all the members of the Challenge Suite 1 of R4C project for their participation and contribution on the regular discussions, especially those who actively contributed on the selection of the indicators, and are involved in any of the steps of the monitoring journey. Also, we thank the coordinator of the project who supported the team, and motivated the presentation of this extended abstract.

Análisis numérico de la dinámica del oleaje en Belharra

Slamovitz, Diego¹, Delpy, Matthias², Morichon, Denis¹, Abadie, Stéphane¹, Morales-Hernández, Mario³, Lizarazu, Peyo, Roeber, Volker¹

Palabras clave: Procesos costeros, Oleaje extremo, Modelo espectral, Modelo de tipo Boussinesq

Introducción

Este trabajo busca comprender mejor la dinámica del oleaje en Belharra, un lugar reconocido a nivel mundial por el tamaño y la calidad de sus olas. Mediante simulaciones numéricas se analiza cómo las condiciones regionales y locales responden a diversas combinaciones de mar de fondo y marea. También se incluyen comparaciones entre los resultados numéricos y datos de geolocalización registrados por Peyo Lizarazu.

Belharra se encuentra a 2.5 km del acantilado de Socoa, en la costa vasca francesa, sobre un bajo marítimo con 15 m de profundidad. Mares de fondo muy energéticos se requieren para que las olas rompan allí. Esto no ocurre frecuentemente, a pesar de que condiciones energéticas son habituales en la región, especialmente durante invierno. Los mares de fondo típicos de invierno presentan alturas de ola significativas (H_s) de 2 a 5 m, y períodos pico (T_p) de 10 a 15 s (ABADIE et al., 2006). Estos son generados por el viento en el océano abierto. A medida que las olas viajan hacia aguas menos profundas, interacciones con el lecho oceánico disminuyen su velocidad y aumentan su altura. Dependiendo de la batimetría, la refracción puede llevar a grandes variaciones en altura de ola a lo largo de la costa. Estos procesos afectan significativamente la dinámica costera (MUNK & TRAYLOR, 1947; CHOI et al, 2015). La altura e intensidad con que las olas rompen son parámetros clave para describir su calidad (MEAD & BLACK, 2001). La intensidad se puede caracterizar de acuerdo a la producción de energía cinética turbulenta (TKE), como se explica en la siguiente sección.

Metodología

Utilizando un modelo espectral, SWAN (BOOIJ et al, 1999), y uno de tipo Boussinesq, BOSZ (ROEBER & CHEUNG, 2012), se analiza cómo diferentes combinaciones de mar de fondo y marea afectan a las condiciones en Belharra. Se simulan escenarios combinando los parámetros de mar de fondo en los siguientes rangos: H_s en [3 m, 8 m], T_p en [12 s, 20 s], D_p (dirección pico) en [275°, 345°], y niveles de marea en [0 m, 4 m] (ABADIE et al., 2006).

¹ Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S-UPPA, SIAME, 64600 Anglet, France.

² SUEZ Eau France, Rivages Pro Tech, 33600 Pessac, France.

³ Universidad de Zaragoza, I3A, 50001 Zaragoza, Spain.

E-mail de contacto: dslamovitz@univ-pau.fr

Se utiliza un dominio para SWAN de 25 km por 20 km, con una malla uniforme de celdas cuadradas de 100 m de lado, y datos batimétricos del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico Naval de Francia. Las condiciones de entrada de oleaje se establecen como espectros Pierson-Moskowitz a lo largo de las fronteras norte y oeste del dominio. De estas simulaciones se obtienen datos de densidad espectral que son utilizados por el generador de olas de BOSZ. Se utilizan dominios de 3.5 km por 4 km para BOSZ, con mallas uniformes de celdas cuadradas de 5 m. Para cada caso, el dominio se orienta de forma que la frontera externa sea aproximadamente ortogonal a D_p . BOSZ considera que las olas rompen cuando el número de Froude superficial (Fr_s) excede 0.9, buscando representar que la velocidad superficial es superior a la de la ola. Esto técnicamente ocurre cuando $Fr_s > 1$, pero se ha demostrado que cuando Fr_s alcanza 0.85, la ola pasa un punto de no retorno y romperá pronto (ROEBER & CHEUNG, 2012; VARING et al., 2021). El TKE se interpreta como espuma marina virtual. Es producido localmente cuando se supera el criterio de Fr_s , y luego permanece en el sistema durante un tiempo, de acuerdo a un modelo de una ecuación que determina su variación espacial y temporal (NWOGU, 1996; KALISCH et al, 2023).

Estudios previos han demostrado que SWAN y BOSZ generan buenos resultados en diversos escenarios (BOOIJ et al, 1999; ROEBER & CHEUNG, 2012; KALISCH et al, 2023). Esto no asegura su capacidad para reproducir lo que sucede en Belharra, dada la complejidad de este lugar. Peyo Lizarazu proporcionó registros de su latitud, longitud y altitud al surfear allí. Este estudio incluye comparaciones de estos datos con los resultados numéricos. No se pretende replicar exactamente las olas que el surfista corrió, ni validar los modelos numéricos de esta forma, pero esta comparación proporciona una idea sobre el realismo de la ubicación donde las olas rompen en las simulaciones.

Resultados

Como muestra la Figura 1, a escala regional se identifica una fina zona de alta concentración de energía de unos 15 km de largo, que apunta directamente hacia Belharra. En todos los casos, la refracción modifica D_p para acercarlo a ~320°. Olas provenientes de direcciones más occidentales se refractan hacia el sur, y olas provenientes de direcciones más del norte se refractan hacia el este. Este efecto es mas importante para períodos mayores.

Los valores máximos de TKE en cada simulación se usan como indicadores de la intensidad con la que rompen las olas. Como ilustra la Figura 2, la amplificación de las olas ($H_{s, Belharra}/H_{s, offshore}$) y la producción de TKE aumentan con T_p . Además, D_p más cercanas a 300° producen mayores amplificaciones, y D_p más cercanas a 315° producen mayores valores de TKE. Mayor H_s produce más TKE, pero menores amplificaciones. De forma

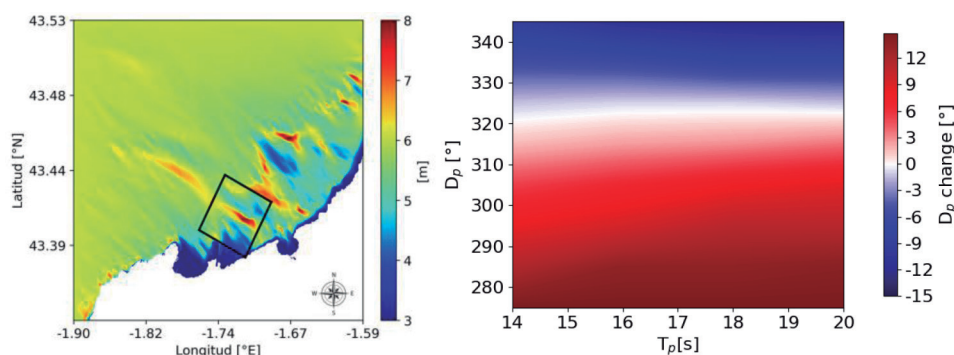


Figura 1. Resultados de SWAN. Izquierda: distribución regional de H_s [m], para mar de fondo de $H_s = 6$ m, $T_p = 16$ s, $D_p = 305^\circ$. El rectángulo negro ilustra las fronteras del dominio de BOSZ para este caso. Derecha: cambio en D_p [°] desde la frontera exterior del dominio de SWAN hasta la del dominio de BOSZ, para mar de fondo de $H_s = 6$ m

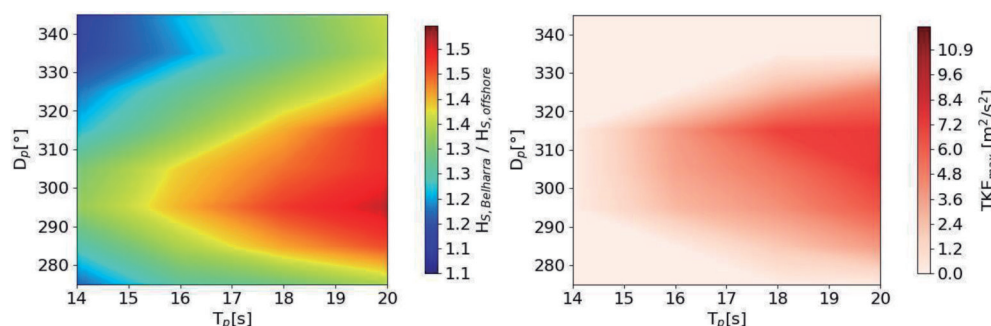


Figura 2. Izquierda: amplificación del oleaje. Derecha: máximos valores de TKE [m^2/s^2]. Para mar de fondo de $H_s = 6$ m

similar, cuando la marea baja, los valores de TKE aumentan, pero las amplificaciones son más débiles.

Se comparan los datos documentados por Lizarazu con resultados de simulaciones con potencial para presentar olas similares a las registradas. Se espera que el surfista esté justo delante de la cresta y del extremo derecho de la traza de TKE (al surfear una ola izquierda). La Figura 3 presenta una de las trayectorias registradas superpuesta con los resultados para un caso en que la coincidencia es notable durante unos 20 s y 230 m. La variación registrada en la altitud es de 11.8 m. La altura de la ola representada es de 13.3 m (obtenida con un método de cruce por cero).

Conclusiones

Direcciones de mar de fondo entre 300° y 315° maximizan la concentración de energía en Belharra. El extremo occidental de esta ventana direccional produce mayores amplificaciones, y el extremo norte produce olas que rompen más intensamente. Los valores de TKE y la amplificación del oleaje aumentan con el período pico. Al aumentar la altura significativa, las olas rompen más energéticamente y más tempranamente, teniendo menos tiempo para crecer, y las amplificaciones son más débiles. Lo mismo sucede al bajar la marea. A escalas regional y local, la batimetría gobierna la dinámica del oleaje en el área estudiada. Regionalmente se identifica una dorsal menor que

apunta directamente hacia Belharra, desde una dirección cercana a 300° . Inicialmente tiene una profundidad de unos 60 m, rodeada de profundidades superiores a 90 m, y se extiende por unos 20 km hasta alcanzar el punto donde rompen las olas. Esta cresta parece jugar un rol fundamental en la refracción del oleaje y la concentración de energía en Belharra. Esto muestra que los procesos que llevan a la formación olas grandes en este lugar comienzan en aguas profundas, consistente con la importancia del período del mar de fondo. A nivel local, un arrecife rocoso de poca profundidad relativa (15 m) acentúa el crecimiento de las olas y provoca que estas rompan intensamente.

La comparación con la trayectoria documentada por Peyo Lizarazu muestra que la ubicación donde las olas rompen según el modelo parece realista. Sumado a los patrones encontrados, esto sugiere que la metodología utilizada parece ser capaz de reproducir razonablemente bien lo que ocurre en Belharra. Esto motiva a validar los métodos mediante comparaciones cuantitativas con más observaciones.

5. Referencias

- Abadie, S., Butel, R., Muriel, S., Morichon, D., Dupuis, H. 2006. Wave climate and longshore drift on the south Aquitaine coast. *Continental Shelf Research* 26:1924–1939. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.06.005>
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L. H. 1999. A third generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation.

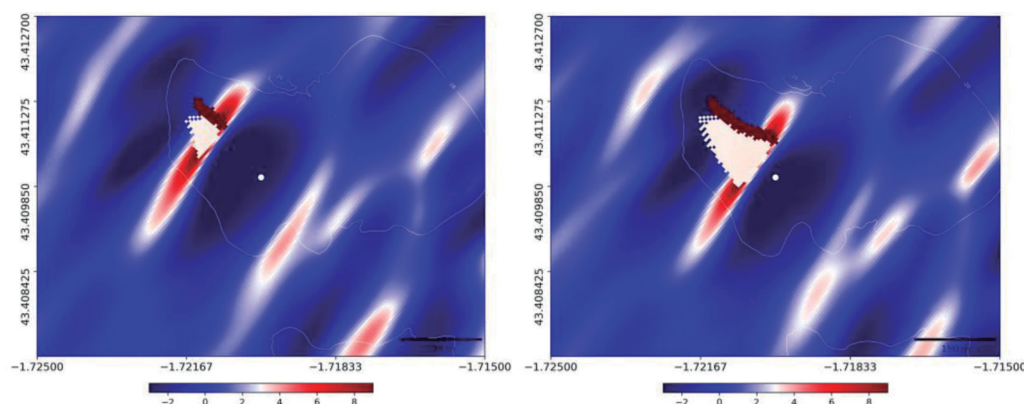


Figura 3. Rojo oscuro: evolución temporal de la trayectoria del surfista. Escala azul-rojo: altura de superficie libre. Traza blanca: TKE no nulo. Para mar de fondo de $H_s = 6$ m, $T_p = 16$ s y $D_p = 315^\circ$. Diferencia de tiempo entre figuras: 5 s

Journal of Geophysical Research: Oceans 104, 7649-7666. <https://doi.org/10.1029/98JC02622>

Choi, J., Kirby, J. T., Yoon, S. B. 2015. Boussinesq modeling of longshore currents in the SandyDuck experiment under directional random wave conditions. *Coastal Engineering* 101:17-34. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.04.005>

Kalisch, H., Lagona, F., Roeber, V. 2023. Sudden wave flooding on steep rock shores: a clear but hidden danger. *Natural Hazards*:1-21. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06319-w>

Mead, S., Black, K. 2001. Field studies leading to the bathymetric classification of world-class surfing breaks. *Journal of Coastal Research*:5-20.

Munk, W. H., Traylor, M. A. 1947. Refraction of ocean waves: a process linking underwater topography to beach erosion. *The Journal of Geology* 55:1-26. <https://doi.org/10.1086/625388>

Nwogu, O. G. 1996. Numerical prediction of breaking waves and currents with a Boussinesq model. *Coastal Engineering*:4807-4820. <https://doi.org/10.1061/9780784402429.374>

Roeber, V., Cheung, K. 2012. Boussinesq-type model for energetic breaking waves in fringing reef environments. *Coastal Engineering* 70:1-20. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.06.001>

Varing, A., Filipot, J.-F., Grilli, S., Duarte, R., Roeber, V., Yates, M. 2021. A new definition of the kinematic breaking onset criterion validated with solitary and quasi-regular waves in shallow water. *Coastal Engineering* 164:103755. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103755>

Agradecimientos -

Este estudio se llevó a cabo en el marco del grupo E2S HPC-Waves y del Laboratoire Commun KOSTARISK. Los autores agradecen el apoyo del programa I-SITE Energy & Environment Solutions (E2S), de la Communauté d'Agglomération Pays Basque (CAPB) y de la Communauté Région Nouvelle Aquitaine (CRNA) para el grupo E2S HPC-Waves. El proyecto ha recibido apoyo del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo Marie Skłodowska-Curie No 945416.

El nivel del mar en la costa vasca: caracterización y casos de estudio.

Gaztelumendi, Santiago¹, Egaña, Joseba¹, Castaño-Tierno, Antonio¹, Liria, Pedro², Gonzalez, Manuel², Aranda, José Antonio¹

Palabras clave: marea, residuo, impacto, rebase, riesgo

Introducción

El País Vasco se enfrenta regularmente a diferentes eventos océano-meteorológicos de potencial riesgo en el ámbito marítimo costero. Dichos eventos pueden desencadenar diferentes niveles de impacto afectando diversas actividades en el mar y áreas costeras, suponiendo un riesgo para la integridad de personas y sus bienes. Las consecuencias habituales de dichos fenómenos van desde las pequeñas perturbaciones de la vida cotidiana en los lugares expuestos al embate del mar hasta los importantes daños materiales e incluso personales. Este tipo de impacto asociado a los temporales de mayor intensidad afecta con especial relevancia a puertos e infraestructuras costeras. En este contexto la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología (DAEM) del Departamento de Seguridad de Gobierno Vasco, mantiene un sistema específico de vigilancia y predicción océano-meteorológica que identifica tres tipos principales de riesgos (GV 2023) (1) Galernas: Fuertes giros de viento en el litoral, más comunes en verano, afectando la actividad en playas y la primera milla de mar. (2) Navegación: cuando el estado de la mar es adverso (viento y oleaje) y puede afectar a la seguridad de la navegación en las dos primeras millas (3) Impacto en la Costa: Cuando las condiciones del mar (nivel y oleaje) afectan la actividad costera produciendo desperfectos o inundaciones.

En este trabajo, enfocamos hacia uno de los factores más importantes para la caracterización del impacto por riesgo marítimocostero: Impacto en costa; como es el nivel del mar. Uno de los ingredientes más relevantes, que incluso en ausencia de oleaje puede producir cierto nivel de impacto por la exclusiva acción de la inundación mareal independientemente del empuje del oleaje, es decir, aunque los índices de rebase estén por debajo de los umbrales de referencia (GV 2023, Gaztelumendi et al 2016)). El objetivo del trabajo que aquí se presenta es la caracterización del nivel del mar en la costa vasca mediante el análisis de datos de mareógrafos y el estudio de dos casos recientes de cierto impacto en los que el nivel del mar alcanzó valores extremos en la comunidad autónoma de Euskadi (CAE) nuestro territorio, viéndose afectados además de los habituales puntos del litoral expuestos al embate de las olas, otros puntos por efecto de la subida del nivel del mar.

Materiales y métodos

Para la caracterización del nivel del mar, se emplean las series de datos disponibles registradas en los mareógrafos de Pasaia, Bermeo y Bilbao. Dichos datos, convenientemente tratados y filtrados, son empleados para obtener mediante descomposición de armónicos las series de nivel de marea astronómica, de los que a su vez se extraen las series de residuos que convenientemente filtrados nos proporcionan la marea meteorológica (Gaztelumendi et al 2019). La caracterización de las series se hace aplicando técnicas de análisis exploratorio y visual (diagramas de densidad, histogramas, box-plots, etc.) y calculando estadísticos para agregaciones mensuales, estacionales y anuales, que se disponen en diversas tablas y gráficos a modo de resumen. También se efectúan diferentes análisis espectrales mediante transformada rápida de Fourier sobre las series de nivel del mar, analizando los diferentes periodogramas.

Los casos de estudio se centran en dos episodios ocurridos en febrero y marzo de 2024 en los que se registraron diversas incidencias en diferentes puntos de la CAE, en un contexto en el que se emitieron diferentes avisos/alertas de riesgo marítimo costero por impacto en costa y en el que el nivel del mar alcanzó niveles históricos superando los 5 metros (respecto a la referencia operativa de Euskalmet) con mareas astronómicas históricas dentro del periodo de referencia (30 años). Para ambos episodios se presenta un análisis de las condiciones océano-meteorológicas, nivel del mar registrado, marea astronómica, residuos e índices de rebase, así como el impacto durante dichos episodios.

Resultados y discusión

Caracterización del nivel del mar

Los diferentes mareógrafos disponibles en la costa vasca permiten obtener información en tiempo real de la altura instantánea de la superficie libre del mar. La recopilación de información de series de cierta longitud temporal permite caracterizar las componentes astronómica y meteorológica de la marea en diferentes ubicaciones como Bermeo, Pasaia o Bilbao. Esta información se emplea de forma rutinaria para el seguimiento del nivel del mar en Euskalmet, así mismo ha sido aplicada en diferentes estudios como por ejemplo los desarrollados dentro del proyecto MAREA (Gaztelumendi et al 2019) o en el contexto de evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral (IHOBE 2019). A partir de los diferentes registros del nivel del mar se calcula la marea meteorológica y el residuo que se emplean junto con ciertos parámetros de oleaje, para estimar los índices de rebase y el

¹ Euskalmet, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain

² AZTI, Pasaia, Gipuzkoa, Spain

E-mail: s-gaztelumendi@euskalmet.eus

impacto en costa (Gaztelumendi et al 2016, 2020).

En este trabajo se emplean series de datos de nivel del mar 5-minutarios disponibles para Bilbao (1992-2024), Pasaia (2019-2024) y Bermeo (2018-2024). El análisis de descomposición en armónicos (Pugh, 1987, Stephenson 2016) mediante 114 armónicos, permite descomponer la señal en las diferentes componentes astronómicas constatando su importancia relativa (ver figura 1). En la costa vasca, la señal de marea está condicionada fundamentalmente por la componente semidiurna lunar principal M2 (12,42 h de período) y semidiurna solar principal S2 (12,00 h de período), la N2 o elíptica lunar (12,65 h de período) y la K2 declinación lunar-solar (11,97h); las dos componentes diurnas más importantes son la K1 diurna declinación lunar-solar (23,93 h) y la O1 diurna principal lunar (25,82 h). En la figura 1 se muestra un ejemplo de análisis espectral de frecuencias de la señal de nivel del mar, se marcan 114 componentes de la marea astronómica (en rojo las seis más relevantes, en gris las 108 restantes).

El análisis llevado a cabo muestra amplitudes de marea que van de 1,5 m en mareas muertas a 4 m en mareas vivas, con un rango máximo anual que supera los 4,5 m situándose en la categoría mesomareal (Borja & Collins, 2004). En la tabla 1 podemos apreciar como los máximos absolutos más bajos se dan en may-jun-jul, siendo 20-30 cm inferiores a los de marzo o septiembre, meses en los que se registran los valores más altos. Por otro lado en set-oct-nov-dic la media de marea astronómica se sitúa 5-10 cm por encima de otras épocas del año. En cuanto a los máximos, el porcentaje de días en el que la marea astronómica supera los 440 cm ronda el 10-12% en ago-set-oct y el 7-8% en feb-mar-abr lo que supone que entre un 0,5-0,8% del tiempo total, la marea astronómica está por encima del umbral señalado.

En relación al residuo los resultados del análisis estadístico (ver tabla 1) muestran que los máximos absolutos en oct-nov o marzo son superiores en 40 cm a los máximos de ago-set. La media de los máximos es 20 cm superior en marzo que en ago-set. El residuo mínimo absoluto en marzo es 28 cm más alto que en agosto. El %

de días en los que algún residuo es superior a 40 cm es del 12% en marzo, el 9% en octubre y el 0% de mayo a septiembre y en diciembre.. En cuanto a los valores negativos en ene-feb-may-oct-nov estos suponen más del 50% de los residuos.

En cuanto al nivel total su comportamiento es el derivado de la combinación de marea astronómica y residuo. En la tabla 1 podemos apreciar como los máximos absolutos se producen en febrero y marzo siendo más de 60 cm superiores a los de junio, no obstante, la media de los máximos diarios es mayor en oct-nov. El % de tiempo en el que el nivel del mar supera los 440 cm solo supera el 1% en feb-mar-abr-set-oct, siendo prácticamente 0 en may-jun-jul.

Estudio de casos

Evento 10-12 Febrero de 2024

Una depresión atlántica bautizada como Karlotta se profundiza en el Atlántico durante los días previos, al oeste de las Islas Británicas, desplazándose hacia el este a través del sur de las Islas Británicas. Genera un temporal de mar y viento, además de generar una marea meteorológica relevante, que se suma a un nivel del mar astronómico muy alto, llegando así a niveles del mar totales superiores a 5 m. Los niveles más altos se producen en las pleamares de las madrugadas y se detallan a continuación. El día 10 el nivel del mar se sitúa en torno a 5,14 m (4,79 m + 0,35 m), los índices de rebase no son relevantes (5,7 m y 5,9 m). En Pasaia Hs sube durante el día y se sitúa en 3-3,5 m por la tarde, llegando a 4-5 m al final. El día 11 el nivel del mar se sitúa en torno a 5,17 m (4,95 m + 0,22 m). Los índices de rebase estimados son 6,9 m y 7,4 m. En Pasaia Hs se sitúa durante la primera mitad en 4-5 m, superando puntualmente los 5 m. Por la tarde se sitúa en 4 m y baja de 3,5 m por la noche. Se producen más de 40 rebases totales en el malecón de Zarautz en la zona más sensible, pero se contabilizan también 30 rebases en una zona con cota en torno a 7 m. El día 12 el nivel del mar se sitúa en torno a 5,19 m (4,99 m + 0,20 m). Los índices de rebase estimados son 6,1 m y 6,3 m. En las

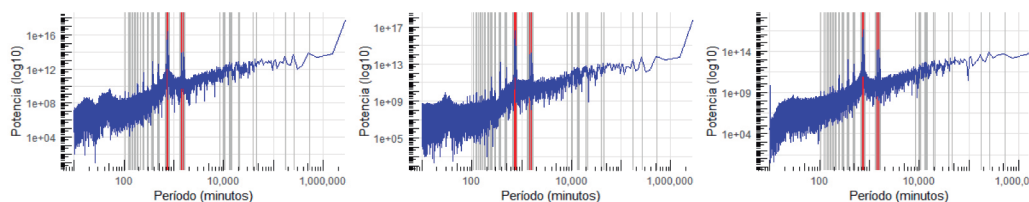


Figura 1. Espectro de frecuencias (periodograma) de Bilbao, Pasaia y Bermeo (de izq a dech), con componentes principales de marea.

Tabla 1: Características del nivel del mar (NM), marea astronómica (AST) y residuos (RES) en la costa vasca. Los valores se expresan de forma relativa respecto al valor mínimo registrado en un mes, los porcentajes de días y tiempos se expresan respecto a los días y tiempos disponibles cada mes.

	Nivel del mar (cm)						Marea astronómica (cm)						Residuo (cm)									
	max	mmax	min	mmín	mmed	%Días NM>440	%tiempo NM>440	max	mmax	min	mmín	mmed	%Días AST>440	%tiempo AST>440	max	mmax	min	mmín	mmed	%Días RES>40	%tiempo RES>40	%tiempo RES<00
ene	28	6	107	8	3	9,9	0,5	21	4	123	13	2	5,4	0,2	30	5	15	7	2	3,6	1,0	55,4
feb	65	6	101	2	0	14,2	1,2	31	5	112	5	0	8,0	0,5	31	4	10	11	4	3,5	1,2	51,4
mar	62	10	106	0	4	11,7	1,3	36	6	105	0	0	9,7	0,6	43	19	28	7	9	11,7	3,1	29,3
abr	49	7	103	3	3	11,8	1,3	30	4	104	5	1	6,9	0,6	24	10	23	10	6	3,9	0,4	32,8
may	3	0	108	3	0	1,6	0,0	8	3	125	9	3	1,6	0,0	10	1	11	8	0	0,0	0,0	51,4
jun	0	4	132	8	2	0,0	0,0	0	2	131	10	1	0,0	0,0	9	8	21	13	6	0,0	0,0	26,8
jul	11	0	0	6	0	6,5	0,2	9	0	0	10	1	1,6	0,0	11	4	13	11	3	0,0	0,0	37,7
ago	44	6	107	3	2	11,3	0,9	30	6	116	6	2	10,5	0,6	1	0	0	8	0	0,0	0,0	39,2
set	44	15	106	5	8	17,8	1,3	39	13	115	8	7	12,2	0,8	0	1	4	9	2	0,0	0,0	38,7
oct	48	19	115	8	11	17,8	1,7	27	17	120	11	9	11,1	0,6	40	6	17	2	0	8,9	2,9	62,6
nov	22	20	149	15	15	11,2	0,7	23	15	130	16	11	4,5	0,4	40	9	17	0	0	5,6	2,1	57,1
dic	34	15	140	16	11	8,6	0,6	13	10	136	16	7	3,2	0,1	4	3	7	8	2	0,0	0,0	45,6

imágenes de Zarautz se observan cerca de 40 rebases completos en la zona más sensible, en cambio en la cota de 7 m se observan 2 rebases completos. En Pasaia Hs sube de forma temporal en horas centrales llegando hasta los 4,5 m a las 15 horas. El impacto más relevante se produce la madrugada del día 11. Además del impacto generado en primera línea por el oleaje, se producen problemas por las mareas en diferentes puntos de varias rías de la costa vasca, con desbordamientos que generan pequeñas inundaciones y balsas de agua (Irún, Pasaia, Zumaia, Bilbao (Zorrozaurre), Erandio, Oria, etc). En comparación con el día anterior y el día posterior, en esas zonas donde se producen desbordamientos, esa madrugada el nivel del agua alcanza su mayor altura. El día 12 el impacto de las olas es mucho menor, y a pesar del nivel del mar, los problemas generados por los desbordamientos son algo inferiores al día anterior. Durante el evento Euskalmet activa diferentes avisos amarillos por viento y riesgo marítimo-costero tanto para navegación como por impacto en costa, siendo el más relevante el nivel naranja por impacto en costa activado la madrugada del día 11 entre las 3 y las 7 horas.

Evento 10-12 Marzo de 2024

Una borrasca atlántica se sitúa al oeste del Cantábrico, desplazándose hacia el este durante el día 10, a medida que se va rellenando. Esta borrasca genera oleaje y viento. Además, el día 10 también genera una marea meteorológica relevante, aunque posteriormente pierde importancia. En esta ocasión, también la marea astronómica es excepcionalmente alta, incluso más alta que en el evento de febrero, por lo que el nivel del mar es también similar a lo que sucede en febrero y también genera problemas. El oleaje y la marea meteorológica en general en esta ocasión son menores que en el caso de febrero. Como sucede en el caso de febrero los niveles del mar más altos se producen durante las madrugadas. El día 10 el nivel del mar se sitúa en torno a 5,18 m (4,9 m + 0,28 m), con índices de rebase de 6,4 m y 6,8 m. En Pasaia Hs sube de forma brusca en torno a las 15 horas y se sitúa en torno a 3 m. y baja por la tarde-noche situándose en torno a 2-2,5 m. El día 11 el nivel del mar se sitúa en torno a 5,21 m (5,06 m + 0,15m), con índices de rebase estimados de 6,5 m y 6,9 m. En Pasaia Hs se sitúa en torno a 2-3 m, bajando al final a 2 m. El día 12 el nivel del mar se sitúa en torno a 5,19 m (4,99 m + 0,20 m) y los índices de rebase estimados son 5,9 m y 6,2 m. El oleaje es poco relevante. El impacto por el oleaje no es tan relevante como en febrero. En cambio, en las zonas donde la marea genera problemas, el día 11 de marzo se producen de nuevo varios desbordamientos que generan pequeñas inundaciones y balsas de agua, de nuevo en las zonas habituales que sufren este tipo de incidencias, prácticamente en las mismas zonas que las que presentan incidencias en febrero. Durante el evento Euskalmet activa diferentes avisos amarillos, el día 10 por viento y riesgo marítimo-costero para navegación e impacto en costa, y el día 11 y 12 por impacto en costa en las madrugadas. El día 11 el aviso por impacto en costa es de 4 a 6 horas.

Tabla 3: Características de los dos eventos seleccionados.

Fechas	Astronómica (m)	Residuo (m)	NM (m)	Hs (m)	Tp (s)	I (m)	Imax (m)
11-febrero-2024	4,95	0,22	5,17	4-5	14	6,9	7,4
11-marzo-2024	5,06	0,15	5,21	2-3	10	6,5	6,9

Conclusiones

Los eventos de febrero y marzo de 2024 son ejemplos claros de la importancia de la marea astronómica y meteorológica en el impacto costero. En ambos casos el nivel del mar rondó los 5,2 metros, lo que generó desbordamientos e inundaciones puntuales en diversas localidades del territorio. El análisis de estos eventos demuestra que, aunque el oleaje contribuye al impacto en la primera línea de costa, las mareas excepcionalmente vivas son igualmente peligrosas, provocando inundaciones incluso sin condiciones de oleaje adverso. Durante estos episodios el sistema de alerta temprana de Euskalmet (Gaztelumendi et al 2024) se mostró eficaz en relación a la vigilancia, monitorización y comunicación del riesgo.

Una de las motivaciones de este trabajo ha sido aportar luz en las discusiones internas que se están produciendo en la Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet) en relación con la forma más conveniente de considerar, dentro del sistema de avisos/alertas/ alarmas por riesgo marítimo-costero, los eventos de impacto que pueden producirse en áreas más o menos protegidas del embate directo del oleaje durante episodios de niveles de mar extremos. Actualmente, este tipo de riesgos se encuentran englobados dentro del concepto de impacto en costa, ideado originalmente para predecir con mayor fidelidad el nivel de impacto esperado por efecto combinado del nivel del mar y el oleaje. Es importante reseñar, que estas situaciones excepcionales, se verán especialmente incrementadas en magnitud o frecuencia como consecuencia del aumento del nivel medio del mar asociado a los efectos del cambio climático, y a la aceleración del ritmo de esta subida que probablemente se produzca en las próximas décadas.

Otra conclusión adicional de este trabajo es la necesidad de establecer referencias de nivel del mar con significado operativo, de forma que puedan ser empleadas en un contexto similar al que se opera con otras variables como por ejemplo los niveles de los ríos o los índices de rebase, estableciendo umbrales asociados al impacto. Así mismo es necesario incorporar nuevos sistemas de análisis, vigilancia/monitorización y predicción con el grado de detalle suficiente que permita caracterizar correctamente el comportamiento de las masas de agua en zonas de ría/estuarios, donde se producen interacciones mareales complejas que pueden desencadenar cierto grado de impacto por inundación.

Referencias

- Borja A and Collins M (Edited by). 2004. Oceanography and Marine Environment of the Basque Country. Elsevier Oceanography Series 70. Elsevier B.V., Amsterdam. ISBN 0-444-51581-X. ISSN 0422-9894 (Series).
- 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., Hernandez R. R., Gelpi I., Otxoa de Alda K., Carreño S., Ruiz R., Moreno, J., Gomez de Segura J. 2019 Estudio e Implementación Operativa de la Predicción del nivel del mar. Entregable Proyecto POCTEFA-MAREA. M-0148/17
- 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. AZTI, 2020, 27(1)| p 62-65.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., R.Gelpi I., Gómez de Segura J.D., Aranda, J.A. 2024. El sistema de acción temprana frente al riesgo marítimo-costero en Euskalmet. Proceedings VI Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK. Irun, Spain. 23-24 octubre 2024.
- GV 2023. Protocolo de predicción, vigilancia y actuación ante fenómenos meteorológicos adversos. Procedimiento DAEM. PE-005 V-12. Departamento de seguridad. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/proto_meteo/es_proto/adjuntos/PE-005-Avisos-de-Meteorologia-Adversa-V12-es.pdf
- Pugh, D.T., 1987. Tides, surges and mean sea-level. Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, 472 pp.
- Stephenson, A. G. 2016. Harmonic Analysis of Tides Using TideHarmonics. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=TideHarmonics>.
- 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.

Avances en la predicción de residuos y rebases en Euskalmet

Castaño-Tierno, Antonio¹, Gómez de Segura, José Daniel¹, R. Gelpi, Iván¹, Gaztelumendi, Santiago¹

Palabras clave: schism, nivel del mar, residuos, rebases

Introducción

En el contexto general de emergencia climática en el que se encuentra la CAPV, el área marítimo-costera es un área sensible a un posible incremento de los eventos extremos. Entre las principales medidas de adaptación a esta situación, se encuentran los sistemas de acción temprana que permitan minimizar el impacto (Gaztelumendi et al. 2024). Una de las piezas fundamentales dentro de dichos sistemas son las herramientas de predicción en el ámbito marítimo-costero. En particular, en la Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet) se vienen desplegando, desde hace más de 15 años, diferentes modelos de oleaje y océano (WW3, SWAN, WAM, ROMS) para dar soporte a nuestras necesidades operativas (Gaztelumendi et al. 2009, 2024, Ferrer et al. 2009). Estas necesidades, han ido creciendo en complejidad y detalle a lo largo de los años, incluyen el aumento de resolución en la parte más cercana a la costa, en aguas poco profundas y estuarios posibilitando una mejora de la predicción del impacto a nivel local (Egaña and Gaztelumendi, 2020).

En esta contribución presentamos una de las estrategias abordadas para conseguir los objetivos planteados, en particular la incorporación de un nuevo componente a dicho sistema de modelización marítimo-costera para el ámbito vasco, el SCHISM (Zhang et al. 2016).

El sistema de modelización SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) es un sistema de modelización de código abierto y colaborativo. Está basado en mallas no estructuradas, diseñado para la simulación de la circulación baroclínica a través de cualquier escala espacial desde arroyo a océano. Utiliza un método semiimplícito de elementos finitos/volumen finito con algoritmo euleriano-lagrangiano para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes (en forma hidrostática), con el fin de abordar una amplia gama de procesos físicos y biológicos. La conservación de la masa se aplica con el algoritmo de transporte de volumen finito.

Dos de las principales características de SCHISM, y las que lo hacen atractivo para Euskalmet, son a) su uso de mallas irregulares, que permite utilizar, en una misma ejecución, diferentes resoluciones de malla a diferentes distancias de la costa (más fina en la orilla y más gruesa mar adentro) y b) la posibilidad de integrar flujo de ríos e incluso predecir el comportamiento río arriba, lo que potencialmente permitiría

emplearlo en el estudio de inundaciones marea-fluviales.

En esta contribución, presentamos los principales pasos acometidos para la implementación operativa del sistema, incluyendo la selección de parametrizaciones, las pautas a seguir en el pre-proceso y post-proceso de los datos y diferentes ejercicios de validación y verificación del sistema. Se presta especial atención a aquellos aspectos relevantes para la mejora en la predicción del residuo y su influencia en la determinación de los índices de rebase en el contexto del riesgo marítimo-costero: impacto en costa.

Objetivo

Históricamente, las herramientas de predicción de residuo meteorológico costero y de rebases en la costa de Euskalmet se han basado en dos sistemas. Por un lado, se emplean ecuaciones de pronóstico basadas en regresiones lineales que utilizan diversas variables meteorológicas observadas y predichas (presión atmosférica, temperatura y viento) en diferentes distancias de la costa y horizontes temporales para calcular el residuo meteorológico (marea meteorológica) en puntos específicos del litoral, como Pasaia, Bilbao y Bermeo. Este residuo, sumado a la marea astronómica, proporciona el nivel del mar (Gaztelumendi et al. 2019). Por otro lado se dispone de cálculo de índices de rebases, establecidos a partir de estudios realizados por Euskalmet y Azti (Gaztelumendi et al., 2014) en los que se identificaron los factores más relevantes que provocan impactos en la costa. Los índices de rebase son función del nivel del mar y del run-up del oleaje, el cual está condicionado por las características del oleaje (altura significativa, periodo pico y dirección de las olas) y por los factores de configuración costera (Liria et al., 2014, Stockdon et al., 2006). Este método permite ofrecer un horizonte de predicción de seis días en dichas localizaciones, que es extrapolable a la mayor parte del litoral. Sin embargo, es difícil pronosticar rebases concretos en puntos de la costa, debido a lo abrupto y variado de la orografía costera vasca. Para llevar a cabo predicciones operativas de mucha mayor precisión, Euskalmet ha llevado a cabo la implementación del modelo SCHISM.

La implementación operativa de SCHISM permitirá estimar el nivel del mar en la costa con una alta resolución tanto temporal como espacial, gracias a su uso de mallas irregulares y a la posibilidad de suministrarle datos obtenidos de modelos operativos de atmósfera y océano de menor resolución actualmente operativos en Euskalmet.

Materiales y métodos

Este trabajo se centra en los pasos dados para poner en

¹EUSKALMET, Vitoria-Gasteiz, Basque Country
E-mail: a-castanotierno@euskalmet.eus

marcha de forma operativa el modelo SCHISM (Zhang et al. 2016) en el ecosistema de datos y modelos de Euskalmet. La particularidad del modelo SCHISM es su uso de una malla que varía en forma y resolución según su distancia a la costa, lo que permite representar procesos de mar abierto, costeros e incluso estuarinos y de río arriba en una misma simulación, sin que sea computacionalmente excesivamente costoso. Esto tiene la contrapartida de que es necesario ajustar la malla y datos de entrada a la región concreta que se quiere estudiar, lo que resulta costoso en tiempo y puede dar lugar a errores, pues es un trabajo iterativo con un alto contenido de ensayo-error que solo puede ser automatizado de forma parcial.

Resultados y discusión

Preprocesado de datos

Para el preprocesado de archivos de entrada en el modelo SCHISM, el primer paso es generar la malla o grid del dominio. Hemos utilizado el programa SMS (Surface-water Modeling System), que permite crear mallas no estructuradas y ajustar la resolución en áreas críticas. A partir de la topografía costera de la región de estudio, obtenida de los datos LIDAR de 5 metros de resolución disponibles en el portal OpenDataEuskadi, y ayudándonos de imágenes satelitales, llevamos a cabo un seguimiento de la línea de costa, incluyendo espigones, puertos y demás obstáculos artificiales. El programa SMS, junto con la utilidad xmgrd5, permite exportar esta malla bidimensional a formato .gr3, utilizado por el modelo. Este formato consiste en una topología de nodos interconectados, que juntos definen la distribución de los polígonos (triángulos o cuadriláteros) en la superficie del agua.

A partir de este archivo grid.gr3 se elabora la batimetría, que tiene la misma cantidad de nodos, solo que a cada uno se le asigna una profundidad. Ambos se comprueban con la utilidad schismcheck, de forma iterativa. Esta tarea es la más costosa, pues hay imperfecciones que deben ser revisadas una y otra vez.

Los datos de marea son obtenidos del modelo TPXO (Egbert and Erofeeva, 2002), y adaptados con PySCHISM (Calzada et al. 2023) para forzar SCHISM en los límites abiertos de la malla. Se han utilizado ocho modos de marea, aunque es posible obtener resultados con menos modos.

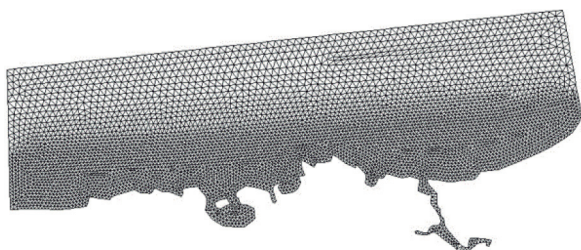


Figura 1. Ejemplo de malla de densidad variable en la costa de Gipuzkoa

Postprocesado de datos

La ejecución de SCHISM se lleva a cabo mediante la asignación de una serie de nodos, de los cuales varios se designan como “nodos escriba”, encargados de transcribir los resultados a archivos de salida. Aunque algunos de los archivos de salida, en formato NetCDF, pueden interpretarse directamente, la mayoría corresponden a un solo nodo de escritura, por lo que hay que combinarlos para poder leerlos y representarlos. Los archivos pueden visualizarse con ParaView o schismview, aunque se ha recurrido a PySCHISM para combinarlos en archivos NetCDF que luego pueden ser representados con R, Python o cualquier herramienta de uso habitual.

Verificación y validación de schism

Para verificar el modelo SCHISM, hemos llevado a cabo los siguientes pasos:

Pruebas con benchmarks: simulamos casos conocidos y comparamos los resultados con soluciones analíticas y datos validados.

Validación de resultados: contrastamos las salidas del modelo con datos observacionales y verificamos el balance de masas y energía para descartar pérdidas o ganancias espurias.

Revisión de logs y paralelización: examinamos los archivos de log para detectar errores, y probamos el rendimiento del modelo tanto en ejecuciones prolongadas como en modos de paralelización.

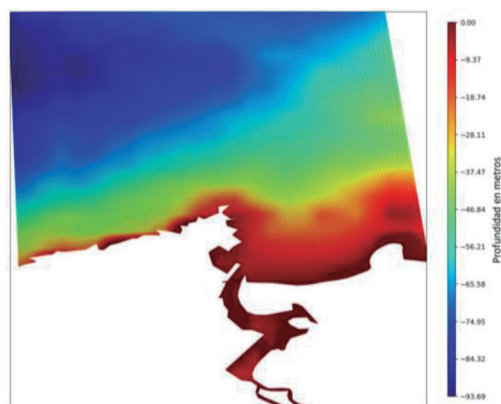


Figura 2. Ejemplo de batimetría y malla (Bahía de Txingudi)

Conclusiones

El objetivo principal de esta implementación de SCHISM en Euskalmet es disponer de una herramienta para predecir rebases en costa, uno de los principales impactos océano-meteorológicos que afectan al litoral de la CAPV. SCHISM, al permitir introducir un perfil costero muy detallado (se han realizado pruebas con una resolución de 5 metros), tiene un gran potencial para ser integrado en la rutina de predicción y avisos de Euskalmet.

Así mismo esta herramienta puede ser empleada en el estudio de diferentes procesos de impacto en contextos

complejos como canales de puertos, bahías y desembocaduras de ríos, como en el caso del Bidasoa y la Bahía de Txingudi (fig 2).

El uso de SCHISM para estudiar y predecir residuo e impactos costeros ya ha sido evaluado con éxito a nivel global (Zhang et al. 2023). Nuestra implementación particulariza estos resultados para la costa vasca. Aunque todavía queda mucho trabajo por delante, los resultados preliminares muestran que SCHISM tiene un buen comportamiento en el pronóstico de los niveles del mar medios y las variaciones estacionales del nivel del mar en la costa vasca..

Agradecimientos

Nuestro más profundo agradecimiento a todas las instituciones que financian la red instrumental y otros servicios operativos, y en particular a la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología del Departamento de Seguridad de Gobierno Vasco. Así mismo nuestro más sincero reconocimiento a nuestro compañeros de AZTI con quién llevamos desarrollando e implementando en Euskalmet soluciones operativas en el ámbito marítimo-costero desde hace más de 20 años. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por fondos propios y fondos del proyecto Regions4Climate (<https://regions4climate.eu/>).

Referencias

- Calzada, J. R., Cui, L. & Zhang, Y. J. (2023). schism-dev/pyschism: v0.1.5 (v0.1.5). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7623122>
- Egaña, J., Gaztelumendi, S. Caracterización océano-meteorológica de eventos adversos por riesgo marítimo-costero: impacto en costa en la CAV. IV Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral. 4-5 Noviembre 2020. FICOBIA-IRUN.
- Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva. "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2 (2002): 183-204.
- Ferrer, L., González, M., Fontán, A., Mader, J., Uriarte, Ad., Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I.R., Otxoa de Alda, K., Morais, A., and Aranda, J. A.: Towards a future strategy in oceanography and meteorology for the Basque Country. GLOBEC International Newsletter, Vol. 15, No. 1, April 2009, pp. 54-55.
- Gaztelumendi, S., González, M., Egaña, J., Rubio, A., Gelpi, I.R., Fontán, A., Otxoa de Alda, K., Ferrer, L., Alchaarani, N., Mader, J., and Uriarte, Ad.: Implementation of an operational oceanometeorological system for the Basque Country. *Thalassas*, 26 (2),2009, pp. 151-167
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I.R., Carreño, S., Gonzalez, M., Liria, P., Rodríguez, J.G., Epelde, I., Rubio, A. and Aranda, J. A.: Characterization of coastal-maritime severe events in Basque Country. 7th EuroGOOS Conference. 28-30 October 2014. Lisbon, Portugal
- Gaztelumendi S., Egaña J., Hernandez R. R.Gelpi I., Otxoa de Alda K., Carreño S., Ruiz R., Moreno, J, Gomez de Segura J. 2019 Estudio e Implementación Operativa de la Predicción del nivel del mar. Entregable Proyecto POCTEFA-MAREA. M-0148/17
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., R.Gelpi I., Gómez de Segura J.D., Aranda, J.A. 2024. El sistema de acción temprana frente al riesgo marítimo-costero en Euskalmet. Proceedings VI Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK. Irun, Spain. 23-24 octubre 2024.
- Liria, P., Epelde, I., Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I. R., Carreño, S., Gonzalez, M., and Aranda, J.A., 2014. 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. 5-7 november. Bilbao, Spain.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., and Sallenger, A. H., 2006. Empirical parametrization of setup, swash and run up, *Coast.Eng.*, 53,573–588.
- Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016) Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
- Zhang, Y. J., Fernandez-Montblanc, T., Pringle, W., Yu, H.-C., Cui, L., and Moghimi, S.: Global seamless tidal simulation using a 3D unstructured-grid model (SCHISM v5.10.0), *Geosci. Model Dev.*, 16, 2565–2581, <https://doi.org/10.5194/gmd-16-2565-2023>, 2023.

Implementación de una herramienta para el seguimiento de objetos y sustancias a la deriva: EuskalDrift

Castaño-Tierno, Antonio¹, R. Gelpi, Iván¹, Gómez de Segura, José Daniel¹, Ruiz, Irene², Manso, Iván², Rubio, Anna², Gaztelumendi, Santiago¹

Palabras clave: drift, search and rescue, oil spills, Lagrangian

Introducción

La Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet) tiene entre sus responsabilidades proporcionar información relevante para la gestión de situaciones de emergencia, que pueden afectar a nuestro territorio en el ámbito atmosférico y/o marino. En este contexto ha implementado y mantiene operativas diferentes sistemas y herramientas de pronóstico para dar soporte a la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología (DAEM) de Gobierno Vasco. En el caso océano-meteorológico se trabaja con diferentes implementaciones de modelos de oleaje y corrientes (Gaztelumendi et al, 2009, Ferrer et al, 2009), principalmente orientados en el pronóstico de variables relacionadas con el impacto del mar en la navegación y en la costa (Gaztelumendi et al 2020). Estos sistemas de pronóstico son utilizados en los procesos de toma de decisiones para minimizar los efectos de los fenómenos océano-meteorológicos severos en la población y las infraestructuras (Gaztelumendi et al 2024).

En Euskalmet hemos estado históricamente involucrados en los problemas de contaminación atmosférica y marina que afecten a la CAPV. Situaciones relacionadas con la catástrofe del Prestige (Gonzalez et al 2005), afectaciones a la calidad del aire por incendios forestales e industriales en la CAPV o transfronterizos, volcán de Islandia y más cercano en el tiempo el vertido de pellets en el Atlántico. En esta contribución presentamos EuskalDrift, una herramienta desarrollada a modo de servicio web que permite analizar y predecir trayectorias de objetos y sustancias a la deriva en el entorno marino. Esta herramienta proporciona el soporte necesario en operaciones de rescate y recuperación en el mar, así como en escenarios de accidentes o vertidos contaminantes marinos.

EuskalDrift es un desarrollo basado en el modelo lagrangiano OpenDrift que permite ejecutar simulaciones de trayectorias para diferentes tipos de objetos a la deriva y sustancias vertidas, con opciones específicas para caracterizar dichas sustancias. Una vez el usuario establece el estado inicial (ubicación, tiempo, etc.), el sistema permite estimar las posiciones finales más plausibles para diferentes horizontes

temporales. La herramienta dispone de una interfaz para la introducción de datos y selección de opciones, generando diferentes gráficos, mapas y otros recursos para la explotación óptima de los resultados, así como capacidades de exportación de estos. La validación del sistema se ha llevado a cabo mediante la comparación de resultados de diferentes escenarios simulados con registros de datos de boyas de deriva. Desde su implementación operativa a finales de 2023, se ha empleado de forma continuada en el episodio de seguimiento de pellets de finales de 2023 e inicio de 2024 y de forma puntual para diferentes operaciones de recuperación.

Materiales y métodos

EuskalDrift es una herramienta basada en OpenDrift (Dagestad et al. 2017), un framework desarrollado en Python por el Instituto Noruego de Meteorología, basado en un modelo lagrangiano de desplazamiento de partículas.

Las herramientas lagrangianas se dividen en dos grandes categorías: o bien las trayectorias se calculan simultáneamente a los campos de velocidad como parte del modelo de circulación oceánica o atmosférica (por ejemplo, los flotadores en el Sistema Regional de Modelado Oceánico (ROMS), Shchepetkin y McWilliams 2005), lo que se conoce como cálculos de trayectorias online, y tiene la ventaja de que se integran en el modelo. En el otro enfoque, el adoptado por OpenDrift, las trayectorias se pueden calcular offline después de la finalización de las simulaciones del modelo euleriano. Este enfoque más útil para un marco genérico, ya que las trayectorias dependen en muchos casos de forzamientos de varios campos que provienen de más de un solo modelo euleriano. Para la preparación ante emergencias, los modelos offline son la única opción lo suficientemente rápida para cumplir con los requisitos operativos.

OpenDrift fue diseñado para generar simulaciones de trayectorias tanto oceánicas como atmosféricas, el esquema de funcionamiento es igual en ambas. Como primer paso hay que obtener los datos de forzamiento meteorológico y/o oceánico que son los que afectan en la propagación de los elementos en el medio marino o atmosférico. Incluye mecanismos que permiten y configurar las opciones de simulación y definir la siembra de elementos (localización inicial de los elementos a ser simulados). Dispone de herramientas de postproceso que permiten visualizar y analizar los resultados y exportarlos a un archivo.

¹ EUSKALMET, Vitoria-Gasteiz, Basque Country

² AZTI, Pasaia, Basque Country

E-mail: a-castanotierno@euskalmet.eus

Resultados y discusión

La implementación que aquí presentamos denominada EuskalDrift consiste en, por un lado, una interfaz web basada en R-Shiny (Chang et al. 2024) en la que los usuarios pueden configurar, ejecutar y consultar los experimentos. La interfaz permite seleccionar entre tres tipos de experimento (vertidos de plásticos, vertido de petróleo y objetos a la deriva), que a su vez permiten elegir el vertido u objeto concreto entre una amplia variedad de casos (diésel, gasolina o crudo en el caso de petróleo, plásticos de diferentes tamaños, y personas o embarcaciones de diferente tipo y afectadas de varias formas por corrientes y viento). Al solicitar la ejecución, la interfaz en Shiny ejecuta un script en Python, que es el que contiene el código de OpenDrift y aplica la configuración deseada. Este backend es la versión pública del EuskalDrift disponible internamente en Euskalmet, que corre de forma diaria con varias configuraciones dedicadas a varias situaciones posibles, de forma que siempre haya una predicción mínima disponible en caso de vertido o accidente marítimo.

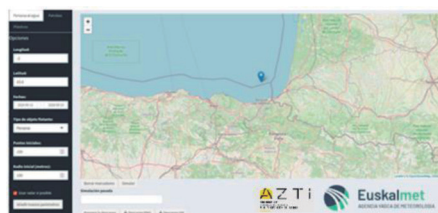


Figura 1. Pantalla principal de EuskalDrift

Puede ser utilizado tanto en modo pronóstico, como en modo análisis para simular eventos pasados utilizando en este caso datos históricos. Cuando se trabaja en modo pronóstico el horizonte de predicción viene definido por el horizonte de los datos de forzamiento. La cobertura geográfica de la herramienta se extiende entre las latitudes 40° y 50°, y las longitudes -10° y 0°. Mediante la introducción de coordenadas o marcando en el mapa, se selecciona los puntos de origen del vertido o naufragio y cuántas partículas se emiten en cada punto, y la distancia entre ellas. El proceso, una vez se lanza la ejecución, tarda entre uno y tres minutos, dependiendo de la longitud de la simulación, la cantidad de partículas y los productos que se quieran generar. Las posibilidades, aparte de la representación en pantalla de las trayectorias, son un gif con todas las trayectorias, un png con las trayectorias finales y un archivo NetCDF que contiene toda la información de la simulación. Es posible, además, recuperar simulaciones hechas anteriormente por parte del mismo usuario para obtener productos que no se solicitaran inicialmente.

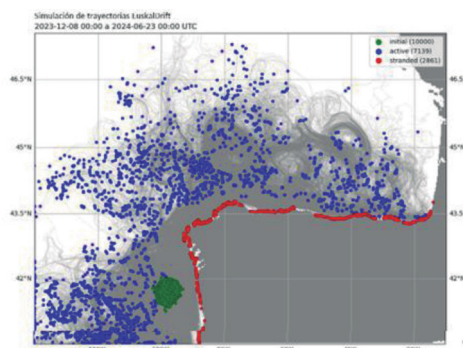


Figura 2. Ejemplo de simulación de trayectorias del vertido de pellets en la costa portuguesa.

Uno de los puntos fuertes de la herramienta es que, de forma transparente al usuario, utiliza como fuente de datos para realizar la simulación la de resolución más alta disponible en el periodo y región solicitada. Las variables utilizadas son corriente en la superficie en dirección zonal y meridional, y componentes zonal y meridional del viento en superficie. Las fuentes de datos para las corrientes son el modelo CMEMS de Copernicus, a resolución de 0.083° (disponible para todo el dominio y hasta 9 días en el futuro), el CMEMS a 0.027° (todo el dominio y hasta 3 días en el futuro) y el radar de alta frecuencia Euskoos (disponible hasta dos horas antes del presente y para la zona comprendida entre la costa vasca y 44.6° al norte y -3.2° al oeste). Para viento, disponemos del modelo GFS a resolución de 18 km, que nos proporciona datos para todo el dominio espacial y hasta 9 días en el futuro, el reanálisis ERA5 con resolución de 0.25° en el caso de datos históricos, y el modelo WRF, con resolución de hasta 1 km para simulaciones con un horizonte de 3 días.

La herramienta se probó por primera vez con el vertido de pellets de plástico que tuvo lugar frente a la costa portuguesa en diciembre de 2023, y se realizó un seguimiento diario durante los siguientes dos meses para al Dirección de Atención de Emergencias y Meteoerología (DAEM) del departamento de seguridad, ante el riesgo (correctamente pronosticado como riesgo bajo por parte de EuskalDrift) de que llegaran pellets a las costas vascas (Fig 2). Este seguimiento se llevó a cabo en colaboración con AZTI quién a su vez empleó otras herramientas. Durante dicho seguimiento se constató el potencial operativo de este tipo de sistemas y la necesidad de implementar soluciones propias más flexibles.

Se ha realizado la validación del modelo con la ayuda de los experimentos realizados por AZTI en enero de 2024. Estos consistieron en la suelta de una serie de boyas, tanto afectadas por el viento como de bajo perfil, y su seguimiento a lo largo de varias semanas. En el caso del experimento reflejado en este trabajo, llamado TOCONAO, se soltaron seis boyas, tres con perfil alto (1, 2, y 3) y tres de perfil bajo (4, 5, y 6), Fig. 3. Se ha comparado su desplazamiento con el previsto por EuskalDrift, utilizando varias fuentes de datos.

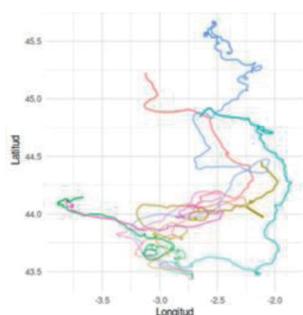


Figura 3. Experimento TOCONAO.

Para validar EuskalDrift, se ha recurrido a varias medidas de bondad del ajuste, siguiendo lo utilizado en validaciones de OpenDrift en el mar de Korea (Kim et al. 2023), el Báltico (Pärt et al. 2024). La más novedosa de estas medidas es la Separación Lagrangiana Acumulativa Normalizada, definida por Liu y Weisberg (2011) para evaluar la bondad del modelo global HYCOM en el golfo de México. La utilizamos junto con medidas ya conocidas como el RMSE (Dominicis et al. 2013) y el MAE y distancia euclídea (Nam y Kim 2018). Los resultados muestran un buen ajuste durante los primeros cinco días para los plásticos individuales, independientemente de los modelos utilizados como fuente de datos (Fig. 4).

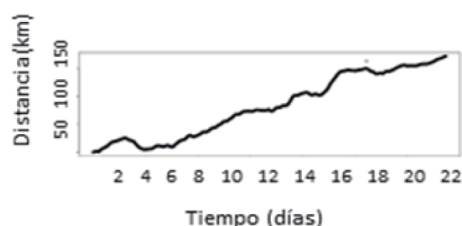


Figura 4. Distancia entre PELLET4 y experimento EuskalDrift.

Conclusiones

EuskalDrift ha mostrado ser una herramienta eficaz y fiable, que permite aprovechar la potencia de los modelos utilizados en Euskalmet (WRF en diferentes dominios, ROMS, además del radar costero de alta frecuencia) y otros productos disponibles (CMEMS, GFS, ERA5) para realizar análisis y predicciones rápidas y de calidad en la costa vasca. Ya ha mostrado su eficacia en casos reales como el vertido de pellets frente a la costa portuguesa en diciembre de 2023, además de haber sido validada con casos experimentales, mostrando un buen acuerdo con los resultados reales, sobre todo en los primeros días, lo que es fundamental en operaciones de salvamento en la mar. La facilidad de uso y modificación la convierten, además, en un producto accesible para instituciones y autoridades políticas, que puede ser adaptado rápidamente para ser utilizado en cada crisis o escenario en que se necesite.

La operatividad de EuskalDrift está condicionada por la disponibilidad de buenas fuentes de datos, tanto en el ámbito marino como en el atmosférico. La disponibilidad de datos

de corrientes (radar costero) así como la proveniente de diferentes simulaciones de alta resolución en el ámbito marino y atmosférico vasco es fundamental para garantizar el correcto desempeño del sistema aquí presentado.

Referencias

- Chang W, Cheng J, Allaire J, Sievert C, Schloerke B, Xie Y, Allen J, McPherson J, Dipert A, Borges B (2024). shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.9.1.9000, <https://github.com/rstudio/shiny>, <https://shiny.posit.co/>.
- Dagestad, K.-F., Röhrs, J., Breivik, Ø., and Ådlandsvik, B.: OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modelling, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1405–1420, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1405-2018>, 2018.
- Dominicis, M. D., Pinardi, N., Zodiatis, G., & Archetti, R. (2013). MEDSLIK-II, a Lagrangian marine oil spill model for short-term forecasting - Part 2: Numerical simulations and validations. *Geoscientific Model Development Discussions*, 6, 1999-2043.
- Ferrer, L., González, M., Fontán, A., Mader, J., Uriarte, Ad., Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I.R., Otxoa de Alda, K., Morais, A., and Aranda, J. A.: Towards a future strategy in oceanography and meteorology for the Basque Country. *GLOBEC International Newsletter*, Vol. 15, No. 1, April 2009, pp. 54-55.
- Gaztelumendi, S., González, M., Egaña, J., Rubio, A., Gelpi, I.R., Fontán, A., Otxoa de Alda, K., Ferrer, L., Alchaarani, N., Mader, J., and Uriarte, Ad.: Implementation of an operational oceanometeorological system for the Basque Country. *Thalassas*, 26 (2),2009, pp. 151-167
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I.R., and Aranda, J. A.: Los avisos/alertas/alarmas por riesgo marítimo-costero en la CAV IV Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral. 4-5 Noviembre 2020. FICOPA-IRUN.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., R.Gelpi I., Gómez de Segura J.D., Aranda, J.A. 2024. El sistema de acción temprana frente al riesgo marítimo-costero en Euskalmet. *Proceedings VI Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK*. Irun, Spain. 23-24 octubre 2024.
- 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*.
- Kim, Ji-Chang & Yu, Dae & Sim, Jung-eun & Son, Young-Tae & Bang, Ki-Young & Shin, Sungwon. (2023). Validation of OpenDrift-Based Drifter Trajectory Prediction Technique for Maritime Search and Rescue. *Journal of Ocean Engineering and Technology*. 37. 145-157. 10.26748/KSOE.2023.018.
- Liu, Y., and R. H. Weisberg (2011), Evaluation of trajectory modeling in different dynamic regions using normalized cumulative Lagrangian separation, *J. Geophys. Res.*, 116, C09013, doi:10.1029/2010JC006837.
- Nam, Yong-Wook & Kim, Yong-Hyuk. (2018). Prediction of Drifter Trajectory Using Evolutionary Computation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2018. 1-15. 10.1155/2018/6848745.
- Pärt S, Björkqvist JV, Alari V, Maljutenko I, Uiboupin R. An ocean-wave-trajectory forecasting system for the eastern Baltic Sea: Validation against drifting buoys and implementation for oil spill modeling. *Mar Pollut Bull.* 2023 Oct;195:115497. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115497. Epub 2023 Sep 21. PMID: 37741166.

III. MULTZOA - Klima-aldaketaren arintzea itsasertzean eta ozeanoan
BLOQUE III – Mitigación del cambio climático en el litoral y el océano
BLOC III - Atténuation du changement climatique côtier et océanique
SESSION III – Coastal and ocean climate change mitigation

Assessing the influence of seagrasses and salt marshes on blue carbon stock in sediments

Moreau, Rémy¹, Adam, Adeline¹, Jimenez, Haizea¹, Valmassoni, Marc¹, Leiceaga, Ainhoa², Monperrus, Mathilde²

Keywords: bluecarbon, zostera, spartina, isotopy, carbon, climate change

Introduction

The salt marshes and the seagrasses have numerous ecological functions which are important to consider for mitigation and adaptation to the effects of climate change (Barbier et al. 2011; Macreadie et al. 2021; Bertram et al. 2021). These ecosystems are very effective carbon sinks and have been labeled along with mangroves “blue carbon ecosystems”. Average number of their organic carbon stock in their sediments has been established but studies have mostly focused in tropical ecosystems. There is need for more studies in local scale to be able to quantify it more precisely and have a better understanding of inter and intra ecosystem’s variability in temperate areas (Macreadie et al. 2019). This improvement of scientific knowledge is needed to include efficiently blue carbon ecosystems in local, national and international politics to tackle climate change (Siikamäki et al. 2013). In addition of a more precise quantitative evaluation of organic carbon stocks, there is also a need to get a better understanding of the origin and the becoming of these stocks to get a better picture of biogeochemical cycles in blue carbon ecosystems (Gerald et al. 2019; Kennedy et al. 2010) mangrove forests, and tidal marshes.

This study gave a first assessment of blue carbon stock value, origin and becoming in an estuary in the Bay of Biscay.

Materials and methods

This study aimed to evaluate carbon stock in the first 50 cm of depth in sediment seagrass areas (covered with *Zostera nana*), salt marsh areas (covered with *Spartina*) and in adjacent bare sediment areas in the Bay of Txingudi in Hendaye, Pyrénées-Atlantiques, France. Another objective is to identify the main source of the sediment carbon stock in each of areas by using stable isotopes methods. Two different samplings campaigns have been conducted: one in 2023 and one in 2024. Three cores in each area have been sampled with

a Russian peat corer. Plants of *Zostera nana* and *Spartina* and upstream river sediments has also been sampled.

The weight and the mass water content has been measured to calculate the dry bulk density of the sediment. Lyophilized, sieved and manually mashed sediment was analysed through elemental analyser and mass spectrometer to obtain $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, total and organic carbon and total nitrogen. The blue carbon stock has been obtained by using organic carbon content, dry bulk density and volume of the peat corer via formula given in (Howard et al. 2014).

Results and discussion

Organic carbon stocks found in sediments covered by *Spartina alterniflora* with an organic carbon stock at 50 cm depth of $41 \pm 7 \text{ Mg.C}_{\text{org}}.\text{ha}^{-1}$ in 2023 and of $45 \pm 10 \text{ Mg.C}_{\text{org}}.\text{ha}^{-1}$ in 2024 are greater than the ones in bare sediment (respectively $31 \pm 9 \text{ Mg.C}_{\text{org}}.\text{ha}^{-1}$ and $25 \pm 5 \text{ Mg.C}_{\text{org}}.\text{ha}^{-1}$ in 2023 and 2024) (Figure 1). These greater stocks in sediment covered by *Spartina alterniflora* show that its presence has a positive influence on carbon sequestration.

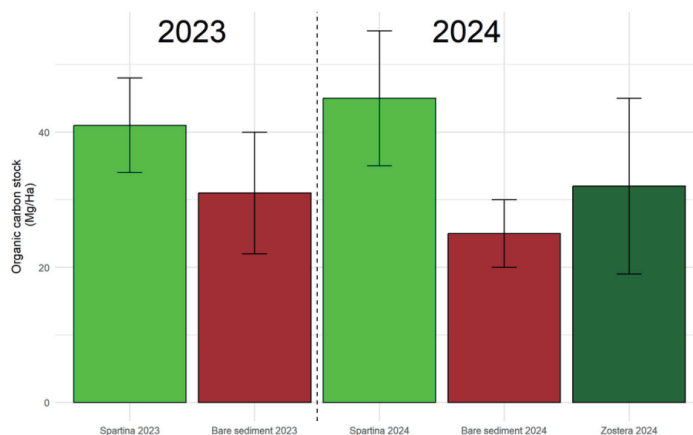


Figure 1. Organic carbon stock in sediment in the first 50cm of depth depending on the vegetation on the surface (in light green, stocks under *Spartina alterniflora*, in brown, stocks under bare sediment and in dark green stocks under *Zostera nana*)

Organic carbon stocks in sediment covered by *Zostera nana* ($32 \pm 13 \text{ Mg.C}_{\text{org}}.\text{ha}^{-1}$) (Figure 1) are not greater than the ones in adjacent bare sediment. *Zostera nana* seems to not have a positive influence on carbon stock in the sediment compartment and therefore that *Zostera nana* does not function as an efficient carbon sink.

Isotopic signature of sediments covered by *Zostera nana* in the first 10cm of depth is $\delta^{13}\text{C}$ of $-15,7 \pm 0,6 \text{ ‰}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of

¹ Surfrider Foundation, 33 Allée du Moura, 64200 Biarritz, France

² Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, CNRS, IPREM UMR 5254, 1 Allée du Parc Montauray, 64600 Anglet, France
E-mail contact: rmoreau@surfrider.eu

$2,7 \pm 0,2 \text{ ‰}$ (Figure 2). This is very close to isotopic signatures of the one of *Zostera nana* plants sampled on site ($\delta^{13}\text{C}$ de $-15,4 \pm 0,4 \text{ ‰}$ et un $\delta^{15}\text{N}$ de $2,13 \pm 0,2 \text{ ‰}$) which could indicate that the activity of *Zostera nana* is the main source of carbon in the sediment in the area covered by it.

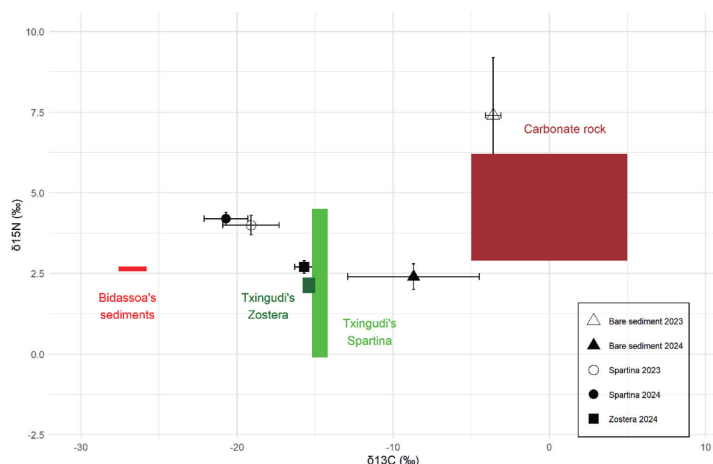


Figure 2. Isotopic signatures of sediment in the first 10 cm of depth (the light area box indicates isotopic signature of Txingudi's *Spartina* plants, the dark green area indicates isotopic signature of Txingudi's *Zostera*, the red box area indicates isotopic signature of Bidassoa's sediment, the brown box indicates isotopic signature of carbonate rock ((Keith et Weber 1964; Kang et al. 2023)

Isotopic signatures of sediments covered by *Spartina alterniflora* in the first 10cm of depth are very close between campaigns in 2023 and 2024 (respectively $\delta^{13}\text{C}$ of $-19,1 \pm 1,8 \text{ ‰}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of $4,2 \pm 0,2 \text{ ‰}$ and of $-20,7 \pm 1,4 \text{ ‰}$ and $4,2 \pm 0,2 \text{ ‰}$) (Figure 2). The plants of *Spartina alterniflora* sampled on site have an isotopic signature $\delta^{13}\text{C}$ of $-14,7 \pm 0,5 \text{ ‰}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of $2,2 \pm 2,3 \text{ ‰}$ and the surface sediments of Bidassoa have an isotopic signature $\delta^{13}\text{C}$ of $-26,7 \pm 0,9 \text{ ‰}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of $2,64 \pm 0,07 \text{ ‰}$ (Figure 2). Thus, the isotopic signature of sediments covered by *Spartina alterniflora* in the first 10cm of depth are comprised between the one of sediments of Bidassoa and the one of the plants of *Spartina alterniflora*. This could indicate a significative share of allochthon carbon brought by the sediments of Bidassoa in the sediment covered by *Spartina alterniflora*.

This more important input of allochthon carbon in sediment covered by *Spartina alterniflora* than in sediment covered by *Zostera nana* could be one of the factors explaining the difference of sediment organic carbon stock between these two covers.

Isotopic signatures of sediments covered by bare sediments in the first 10cm of depth vary between campaigns 2023 and 2024 (respectively $\delta^{13}\text{C}$ of $-3,6 \pm 0,5 \text{ ‰}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of $7,4 \pm 1,8 \text{ ‰}$ and of $-8,7 \pm 4,2 \text{ ‰}$ and $2,4 \pm 0,4 \text{ ‰}$) (Figure 2). These could be an indicator of different sediment input between the years. However, in both case the isotopic signature is not that far from the one of carbonate rock showing the influence of carbonate in the origin of the carbon stock in bare sediment.

Conclusions

The salt marshes of the bay of Txingudi characterized by a vegetation of *Spartina* has higher belowground organic carbon stock than unvegetated area and therefore meet its function of carbon sink and contribute to sequester allochthon and autochthon carbon in the underground sediments. The belowground organic carbon stock in area covered by *Spartina* is of $43 \text{ Mg.C}_{\text{org}}.\text{ha}^{-1}$ in the area sampled of the Bay of Txingudi. The area covered by *Zostera nana* has not a higher belowground organic carbon stock than unvegetated area and seem to act as an efficient carbon sink.

This study gives a first estimation of the blue carbon stocks in the Bay of Txingudi and could be used as a basis for further examination of the functions of these ecosystems.

References

- Barbier, Edward B., Sally D. Hacker, Chris Kennedy, Evamaria W. Koch, Adrian C. Stier, et Brian R. Silliman. 2011. « The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services ». *Ecological Monographs* 81 (2): 169-93. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>.
- Bertram, Christine, Martin Quaa, Thorsten B. H. Reusch, Athanasios T. Vafeidis, Claudia Wolff, et Wilfried Rickels. 2021. « The Blue Carbon Wealth of Nations ». *Nature Climate Change* 11 (8): 704-9. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01089-4>.
- Geraldi, Nathan R., Alejandra Ortega, Oscar Serrano, Peter I. Macreadie, Catherine E. Lovelock, Dorte Krause-Jensen, Hilary Kennedy, et al. 2019. « Fingerprinting Blue Carbon: Rationale and Tools to Determine the Source of Organic Carbon in Marine Depositional Environments ». *Frontiers in Marine Science* 6 (mai):263. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00263>.
- Howard, J, S Hoyt, K Isensee, E Pidgeon, et M Telszewski. 2014. « Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrass Meadows. » Arlington, Virginia, USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. <https://www.thebluecarboninitiative.org/manual>.
- Kang, Junyao, Benjamin Gill, Rachel Reid, Feifei Zhang, et Shuhai Xiao. 2023. « Nitrate Limitation in Early Neoproterozoic Oceans Delayed the Ecological Rise of Eukaryotes ». *Science Advances* 9 (12): eade9647. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade9647>.
- Keith, M.L., et J.N. Weber. 1964. « Carbon and Oxygen Isotopic Composition of Selected Limestones and Fossils ». *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28 (10-11): 1787-1816. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90022-5).
- Kennedy, Hilary, Jeff Beggins, Carlos M. Duarte, James W. Fourqurean, Marianne Holmer, Núria Marbà, et Jack J. Middelburg. 2010. « Seagrass Sediments as a Global Carbon Sink: Isotopic Constraints: SEAGRASS MEADOWS AS CARBON SINKS ». *Global Biogeochemical Cycles* 24 (4): n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2010GB003848>.
- Macreadie, Peter I., Andrea Anton, John A. Raven, Nicola Beaumont, Rod M. Connolly, Daniel A. Friess, Jeffrey J. Kelleway, et al. 2019. « The Future of Blue Carbon Science ». *Nature Communications* 10 (1): 13. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11693-w>.
- Macreadie, Peter I., Micheli D. P. Costa, Trisha B. Atwood, Daniel A. Friess, Jeffrey J. Kelleway, Hilary Kennedy, Catherine E. Lovelock, Oscar Serrano, et Carlos M. Duarte. 2021. « Blue Carbon as a Natural Climate Solution ». *Nature Reviews Earth & Environment* 2 (12): 826-39. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00224-1>.
- Siikamäki, Juha, James N. Sanchirico, Sunny Jardine, David McLaughlin, et Daniel Morris. 2013. « Blue Carbon: Coastal Ecosystems, Their Carbon Storage, and Potential for Reducing Emissions ». *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 55 (6): 14-29. <https://doi.org/10.1080/00139157.2013.843981>.

Assessing future wave climate in the Ebro Delta using SWAN nested modelling and CMIP6 wind projections

Houghton, Tobias^{1,2}, Olmo, Matías², Mestres, Marc^{1,3}, Cos, Pep², Soret, Albert², Espino, Manuel^{1,3}

Keywords: wave projections, CMIP6, SWAN, Ebro Delta, nested modelling

Introduction

Coastal communities and ecosystems around the world are currently facing serious threats including flooding and erosion, which will be exacerbated by climate change in the coming century. While many studies focus on sea level rise, altered wind-wave climates will also play an important role in the evolution of future coastal hazards. Projected changes in wave patterns vary by location, with some areas expecting more frequent and intense wave events and others expecting calmer wave climates. As a result, studies at local or regional scales focusing on specific vulnerable coastal areas are extremely important. Intense wave storms including Storm Gloria in 2020 have caused serious flooding and erosion in the Ebro Delta in southern Catalonia. Understanding the future evolution of the wind-wave climate near the Ebro Delta is, therefore, critical for planning future mitigation and adaptation strategies to protect the area's population, infrastructure, and ecosystems.

To project future wave climate, wind-wave models such as the Simulating Waves Nearshore (SWAN) model can be forced with wind projections from global climate models (GCMs). As GCMs are improved, additional data is collected, and new climate change scenarios are analyzed, incorporating the most recent wind projections into wave climate studies is important. Currently, research using projections from CMIP6, the latest phase of the Coupled Model Intercomparison Project, is lacking, particularly in the Western Mediterranean. In this study, wave projections were generated in three domains—the Western Mediterranean, the Catalan Coast, and the Ebro Delta—using SWAN nested models forced with wind projections for two climate scenarios, SSP2-4.5 and SSP5-8.5, from 20 different GCMs developed under CMIP6. The findings of this research provide insight into future changes in wave climate in the Western Mediterranean, with a particular focus on the Ebro Delta.

Materials and methods

Before generating wind projections, a SWAN nested model first needed to be configured and validated in the study area. In addition, to determine which models were most likely to produce reliable wave projections required assessing and comparing the performance of SWAN models forced with historical outputs of the 20 different GCMs. This study, therefore, consisted of three main parts: model validation, assessment of historical model performance, and generation of wind projections.

A nested SWAN model composed of three domains with increasing computational grid resolution was used in this study (Figure 1). Simulated wave conditions in larger domains served as boundary conditions for smaller domains. Initial configuration of model parameters was based on previous work off the Catalan Coast (Pallares et al., 2014) fetch-limited conditions. This applies particularly to the wave period, in semi-enclosed domains with highly variable wind patterns as along the Catalan coast. The wave model SWAN version 40.91A is used here in three nested grids covering all the North-western Mediterranean Sea with a grid resolution from 9 to 1km, forced with high resolution wind patterns from BSC (Barcelona Supercomputing Center).

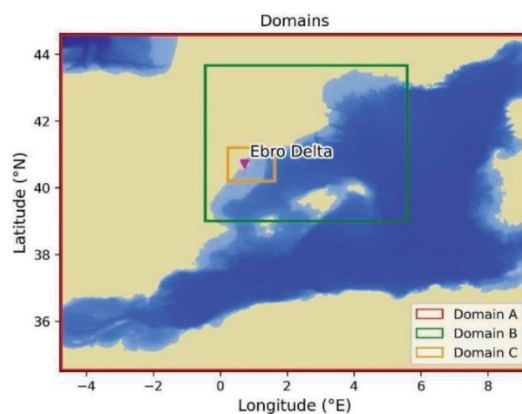


Figure 1. Domain A (Western Mediterranean), Domain B (Catalan Coast), and Domain C (Ebro Delta) of the SWAN nested model.

The validation model was forced with ERA5 wind reanalysis data and run for a historical period from 1999–2014. Model outputs were compared with measured data at seven wave buoys located in the Western Mediterranean considering three integral wave parameters: significant wave height (H_s), mean period (T_m), and mean direction (θ_m). As discussed later in the

¹ Maritime Engineering Laboratory, Universitat Politècnica de Catalunya, Carrer de Jordi Girona 1–3, Campus Nord, 08034, Barcelona, Spain

² Barcelona Supercomputing Center, Plaça d'Eusebi Güell, 1–3, Les Corts, 08034, Barcelona, Spain

³ International Centre for Coastal Resources Research, Carrer de Jordi Girona 1–3, Campus Nord, 08034, Barcelona, Spain
E-mail contact: tobias.dillon.houghton@estudiantat.upc.edu

Results and Discussion section, validation model results were acceptable, and the initial model configuration was used for generating wave projections.

Following model validation, the performance of models forced with historical wind outputs for the period 1985-2014 from the 20 GCMs was assessed. Historical models were ranked based on performance across all buoys considering H_s , T_m , and θ_m . Model performance was assessed by comparing average daily outputs from the historical models and validation model using the Distance between Indices of Simulation and Observation (DISO; Equation 1) index for H_s and T_m and by comparing overall distribution of θ_m between the historical and validation models using the Kuiper test (Equation 2).

Equation 1

$$\text{DISO}_{ij} = \sqrt{((R_{ij}-1)^2 + \text{NMB}_{ij}^2 + \text{NRMSE}_{ij}^2)}$$

Where R_{ij} , NMB_{ij} , and NRMSE_{ij} are the correlation coefficient, normalized mean bias, and normalized root mean squared error for model i at buoy j (Hu et al., 2019).

Equation 2

$$V_{ij} = \sup_{\theta} (F_{s,ij}(\theta_m) - F_{M,ij}(\theta_m)) + \sup_{\theta} (F_{M,ij}(\theta_m) - F_{s,ij}(\theta_m))$$

Where V_{ij} is the Kuiper statistic, $F_{s,ij}(\theta_m)$ is the empirical cumulative distribution function (CDF) of simulated θ_m , $F_{M,ij}(\theta_m)$ is the empirical CDF of measured θ_m , and the supremum function denoted by $\sup$ determines the upper boundary of a set of numbers (Jammalamadaka & Sengupta, 2001).

After assessing historical model performance, wind projections were generated between 2070-2099 using GCM data from two climate change scenarios, SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Wave projections were analyzed considering both mean changes in wave climate, and changes in extreme H_s for 1-yr, 10-yr, and 100-yr return periods. Extreme wave heights were determined by fitting a generalized Pareto distribution (Equation 3) to a set of extreme events identified using a peaks above threshold approach for each dataset.

Equation 3

$$F(x) = 1 - [1 + \xi((x-u)/\sigma)]^{(-1/\xi)}$$

where ξ is a shape parameter, σ is a scale parameter, and u is the sample mean (Wilks, 2019).

Results

Outputs from the validation model showed high correlation with measured data, with correlation coefficients above 0.9 for H_s at almost all buoys. However, persistent negative biases were also observed for both H_s and T_m , with normalized mean bias values of -26% and -2.3% respectively at the Tarragona buoy, closest to the Ebro Delta. While model results showed significant levels of error, they were comparable to a previous study off the Catalan Coast (Pallares et al., 2014) fetch-limited conditions. This applies particularly to the wave period, in semi-enclosed domains with highly variable wind patterns as along the Catalan coast. The wave model SWAN version

40.91A is used here in three nested grids covering all the North-western Mediterranean Sea with a grid resolution from 9 to 1km, forced with high resolution wind patterns from BSC (Barcelona Supercomputing Center). As a result, the initial model configuration was used when assessing historical model performance and generating wave projections.

Historical models generally had even greater negative biases for H_s and T_m when compared with the validation model. However, historical models were able to simulate seasonal trends in H_s and T_m well, with high H_s and T_m values in the winter and low values in the summer. Most models failed almost completely in simulating past distribution of θ_m , with the exception of a few models with relatively high resolution. In general, higher resolution models performed the best with the four top-performing models also being the four models with the highest resolution wind data.

Wind projections indicated reductions in mean H_s and T_m for the SSP2-4.5 scenario with even greater reductions in mean H_s and T_m for SSP5-8.5 across all but three models. The only models showing increases in wave height in future scenarios also performed poorly in historical scenarios. Results showing reductions in H_s in the Western Mediterranean are in agreement with earlier studies using wind projections based on previous CMIP phases (Aznar Lecocq et al., 2016; Ramírez Pérez et al., 2019).

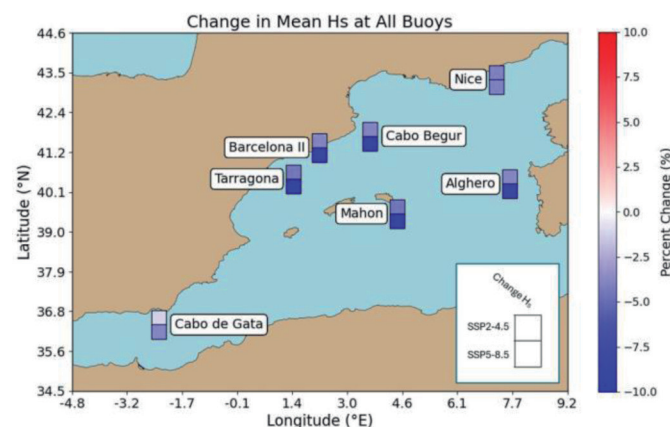


Figure 2. Mean change in H_s between historical and SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios averaged across the four top-performing models.

When considering extreme H_s , model results showed significantly more disagreement. However, for the four top-performing models, results still indicated decreases in extreme H_s for all three return periods along the Catalan Coast. At buoys located in other parts of the Western Mediterranean, model results indicated smaller decreases or even increases in extreme H_s for some return periods.

Changes in extreme H_s generally resemble results from Ramírez Pérez et al. (2019) who found large decreases in 99th percentile H_s off the Catalan Coast when forcing wind-wave models with CMIP5 based wind projections, but smaller reductions in H_s in other locations in the Western Mediterranean.

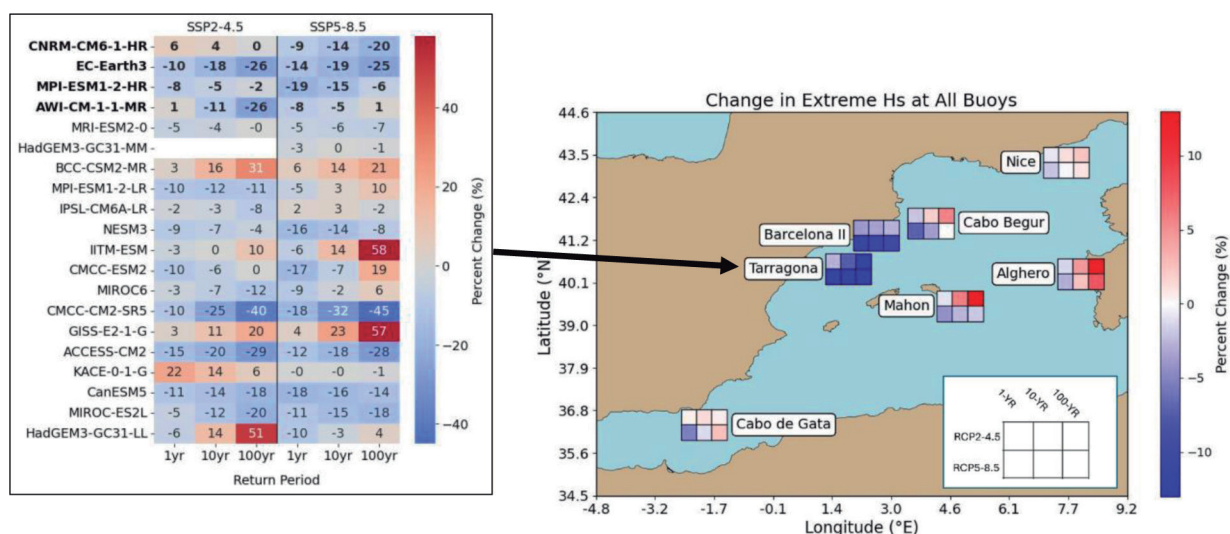


Figure 3. Change in extreme H_s between historical and SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios averaged across the four top-performing models. The heatmap to the left shows results for all 20 models at the Tarragona buoy.

Conclusions

This study provides valuable insight into future wave climate in the Western Mediterranean, Catalan Coast, and Ebro Delta using a large ensemble of CMIP6 wind projections. Results indicate decreases in both mean and extreme H_s off the Catalan Coast. While results indicating reductions in mean H_s are consistent across almost all models, more variation is observed when considering extreme H_s , with several models showing increases in extreme H_s near the Tarragona buoy.

Wind data resolution was low for both the validation model (0.25°) and the historical models (0.5 - 2.82°). Results from the historical model evaluation indicate the importance of wind data resolution with the models forced with the highest resolution wind data performing best. Dynamic or statistical downscaling of GCM data could significantly improve wave projections. In addition, results from both the validation and historical models exhibit significant negative biases that would likely persist even if higher resolution data were used. Bias correction should be applied to model outputs in the future to improve wave projections.

Acknowledgements

This research has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the REST-COAST project (grant agreement No 101037097).

References

Aznar Lecocq, R., Padorno Prieto, M. E., Pérez Gómez, B., Gómez Lahoz, M., García Sotillo, M., Álvarez Fanjul, E., Pérez Jordán, G., Marcos Moreno, M. I., Martínez Asensio, A., Llasses, J., Gomis, D., Sánchez

- Perrino, J. C., Rodríguez González, J. M., Rodríguez Camino, E., Somot, S., Sevault, F., Adloff, F., & Compte, A. (2016). *Vulnerabilidad de los puertos españoles ante el cambio climático. Vol. 1: Tendencias de variables físicas oceánicas y atmosféricas durante las últimas décadas y proyecciones para el siglo XXI*. <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/8809>
- Hu, Z., Chen, X., Zhou, Q., Chen, D., & Li, J. (2019). DISO: A rethink of Taylor diagram. *International Journal of Climatology*, 39(5), 2825–2832. <https://doi.org/10.1002/joc.5972>
- Jammalamadaka, S. R., & Sengupta, A. (2001). *Topics in Circular Statistics* (Vol. 5). World Scientific.
- Pallares, E., Sánchez-Arcilla, A., & Espino, M. (2014). Wave energy balance in wave models (SWAN) for semi-enclosed domains—Application to the Catalan coast. *Continental Shelf Research*, 87, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.03.008>
- Ramírez Pérez, M., Menéndez García, M., Camus Braña, P., & Losada Rodríguez, I. (2019). *Tarea 2: Proyecciones de Alta Resolución de Variables Marinas en la Costa Española* (Elaboración de La Metodología y Bases de Datos Para La Proyección de Impactos de Cambio Climático a Lo Largo de La Costa Española). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/costas/temas/proteccion-costa/tarea_2_informe_pima_adapta_mapama_tcm30-498855.pdf
- Wilks, D. S. (Ed.). (2019). Front Matter. In *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (Fourth Edition)* (pp. i–ii). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815823-4.09987-9>

La importancia de la valorización y economía circular de los residuos MARPOL ante el reto de la lucha contra la contaminación

Gómez Gómez, Antonio¹, García Rodríguez, Julián¹, Mansilla Piñón, Ana¹

Palabras clave: MARPOL, economía circular, desechos, valorización, buque, puertos

los desechos, junto con la aplicación de principios de economía circular y contribución a la mitigación del cambio climático..

Introducción

En los últimos años, la lucha contra la contaminación marina ha sido impulsada con la participación crucial de los puertos, siendo España un ejemplo destacado debido a su conciencia ecológica, extensa costa y compromiso del sector portuario en la gestión de desechos MARPOL.

El Marco Estratégico del Sistema Portuario de Interés General busca convertir los puertos en “*puertos verdes*”, integrando la economía circular y la gestión de residuos, incluyendo los del servicio MARPOL, a través de la Línea Estratégica 10 “*Puertos ambientalmente sostenibles*”. Este enfoque se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 14 de la ONU, abordando la contaminación marina y el cambio climático para promover la sostenibilidad de los puertos españoles. La legislación ha evolucionado para ajustarse a las necesidades cambiantes de la gestión de desechos, buscando mejorar la calidad de los servicios y reducir los vertidos al mar.

La anticipada adaptación de la legislación española a normativas comunitarias, como el Real Decreto 1381/2002, y el principio de “*quien contamina paga*” establecido en el Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante (TRLPEMM), posicionaron a los puertos españoles como referentes internacionales en la gestión de desechos MARPOL. Posteriormente, la implementación de la Directiva (UE) 2019/883 y el Real Decreto 128/2022 ha generado ajustes en las indicaciones del TRLPEMM, impulsando una nueva fase en la gestión de desechos MARPOL a nivel comunitario. Aunque los puertos españoles están ventajosamente alineados con cambios previos en la normativa nacional, la necesidad de cumplir con la nueva Directiva nivelará las condiciones en todos los puertos de la UE, posiblemente resultando en un reajuste en la demanda del servicio. La continua y ambiciosa mejora en la gestión del servicio de desechos MARPOL indica que los puertos españoles deben seguir liderando la lucha contra la contaminación. Esto requiere una estrategia clara centrada en la monitorización, segregación, valorización y tratamiento de

Gestión de los desechos MARPOL

El modelo actual de gestión de desechos MARPOL en puertos españoles implica que los buques pagan una tarifa fija al hacer escala, independientemente del volumen de desechos generado o utilizado. Este servicio, proporcionado por empresas con licencia otorgada por las Autoridades Portuarias, se basa en un Pliego de Prescripciones Particulares. Aunque el pago se realiza por adelantado, las Autoridades Portuarias compensan a los prestadores por los desechos entregados, generalmente mediante la presentación del certificado de entrega del buque. Sin embargo, este sistema enfrenta desafíos relacionados con la recuperación de costes.

El análisis a lo largo de los años ha mostrado que el equilibrio económico del servicio portuario MARPOL está estrechamente relacionado con la tipología y características del tráfico en los puertos. A nivel global, se recaudan más de 30 millones de euros en tarifas fijas, mientras que los servicios efectivamente abonados alcanzan unos 27 millones de euros, generando un saldo positivo. Sin embargo, al examinar casos individuales, algunas autoridades portuarias enfrentan déficits significativos mientras que otras experimentan lo contrario.

Por este motivo, se han implementado ajustes en la tarifa fija para mitigar desequilibrios en el balance económico del servicio MARPOL, y se espera que la Directiva (UE) 2019/883 impacte en el volumen de descargas, reduciendo la demanda en puertos españoles y aumentándola en otros países como Italia o Francia. Para mejorar la eficiencia y calidad del servicio, así como proteger el medio marítimo y avanzar hacia la sostenibilidad y economía circular, es crucial impulsar acciones relacionadas bajo dos perspectivas:

El control y monitorización de las entregas de desechos de los buques, asegurando la continuidad de la separación de desechos a bordo de los buques determinada por la categorización establecida en el Modelo de Libro de Registro de Basuras, fijado en la RESOLUCIÓN MEPC.277(70) de la Organización Marítima Internacional.

El establecimiento de requisitos de disponibilidad de instalaciones receptoras adecuadas para asegurar la realización de actividades de revalorización de los desechos entregados, fomentando la economía circular en el sector.

¹ MCVALNERA. C/Avenida Reina Victoria, nº12 – Bajo, 39004 Santander

E-mail: agg@mcvalnera.com

Monitorización del servicio portuario

Una de las primeras acciones enfocadas a lograr una mayor eficiencia y una adecuada prestación del servicio es la monitorización del mismo. Tal y como se ha indicado, el modelo actual de gestión de los desechos MARPOL en el ámbito comunitario se basa en el precepto de “quién contamina paga”; de forma que todos los que todos los buques que hacen escala en un puerto europeo deben abonar una tarifa fija, hagan uso del servicio o no, de forma que se desincentiven los vertidos de los residuos al mar, los cuales son una de las principales amenazas al medio marino. La principal particularidad, por lo tanto, del servicio portuario es el régimen económico: el cliente (buque) abona una tarifa fija, independientemente de si solicita servicio o no o del volumen de desechos entregados, y la Autoridad Portuaria abona al prestador por los volúmenes declarados, no siendo cliente.

Esta particular característica ha incentivado la descarga de desechos en los puertos españoles, derivando en algunos casos en entregas excesivas de desechos generados, no relacionados con la operativa normal del buque. Asimismo, el hecho de la posibilidad de abono de una tarifa fija independiende del volumen entregado, ha derivado en los últimos años en la necesidad de las Autoridades Portuarias de establecer un servicio de control y monitorización de estas entregas, desde el punto de vista de la la calidad los servicios prestados, los volúmenes entregados, así como, la gestión documental y administrativa del servicio.

El desarrollo de esta nueva función por parte de las Autoridades Portuarias han derivado en resultados favorables

evidenciados al poco tiempo de funcionamiento, logrando un mayor equilibrio económico del servicio, un alto estándar de calidad en la prestación, una reducción de incidencias y de episodios de contaminación, una trazabilidad de los desechos, el control de volúmenes y del cumplimiento de lo indicado por el Convenio MARPOL, etc. En definitiva, favoreciendo la consecución de los objetivos de sostenibilidad y “puerto verde”.

Además, por último, este cambio en el modelo de gestión del servicio de las Autoridades Portuarias, dotándose de nuevas actividades de control e inspección han ayudado a la consecución de las mejoras anteriores, sino también a asegurar una correcta segregación de desechos en el momento de la entrega, permitiendo en las diferentes etapas de la actividad del tratamiento y gestión del residuo facilitar la revaloración del mismo, fomentando la economía circular y optimizando la prestación del servicio.

Segregación y valoración de residuos

En relación a lo anterior, tal y como se ha indicado anteriormente, otra de las medidas impulsadas por autoridades portuarias en los últimos años alineadas totalmente con el enfoque de “puerto verde” y el desarrollo de proyectos de economía circular con una perspectiva hacia la lucha contra el cambio climático, ha sido el desarrollo de plantas de tratamiento y de segregación de desechos MARPOL en los puertos.

De esta forma, el tratamiento de residuos ha optimizado su gestión, tal y como confirman los datos de las plantas de

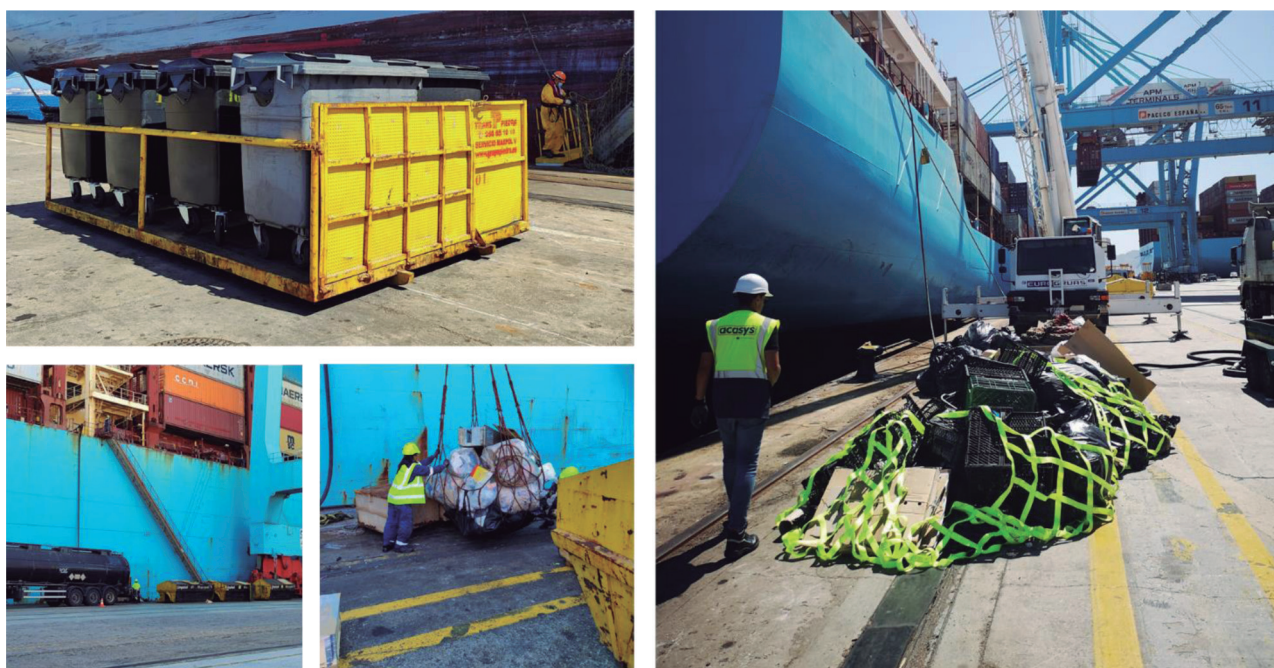


Figura 1. Descarga de desechos sólidos generados por buques (Anexo V del Convenio MARPOL) y monitorización del servicio en la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras

tratamiento ya existentes en algunos puertos, alcanzando reducciones de hasta un 80% del volumen de desechos de MARPOL I, siendo finalmente tratado el 20% restante, eliminando la mayoritaria fracción acuosa del residuo. De esta forma, se han conseguido reducir costes de gestión y la huella de carbono asociada, especialmente en aquellos servicios en los que la cadena de valor del servicio portuario se encuentra formada por una elevada componente de transporte terrestre entre puerto y planta de tratamiento final.

En segundo lugar, conviene destacar que los desechos MARPOL I son residuos con un relevante valor tras su tratamiento, por lo que una correcta gestión promoverá la economía circular, alineándose de manera directa con la lucha contra el cambio climático y el fomento de la lucha contra la contaminación. Por lo tanto, cobran especial relevancia estos los desechos oleosos procedentes de sentinas de buques (concretamente, los desechos del Anexo I-C) en relación a su potencial reutilización como combustible marítimo, según las indicaciones realizadas por la Orden APM/206/2018, de 22 de febrero, por la que se establecen los criterios para determinar cuándo el fuel recuperado procedente del tratamiento de residuos MARPOL tipo c para su uso como combustible en buques deja de ser residuo con arreglo a la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

Por otro lado, desde el punto de vista de los desechos sólidos generados por buques, la correcta segregación y su aseguramiento vienen relacionados con la posibilidad de su reutilización y revalorización, evitando la aplicación de tarifas de entrega en vertedero de rechazo, menos competitivas económicamente. Asimismo, todo ello encaja con lo determinado por la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (Jefatura de Estado, 2022), ya que esta norma ha establecido un impuesto al depósito de residuos en vertederos, la incineración y la coincineración de residuos, a partir del 1 de enero de 2023.

Conclusiones

A lo largo de la última década, el sistema portuario español se ha erigido como uno de los referentes en materia de gestión de desechos generados por buques. Sin embargo, el continuo avance a nivel nacional, comunitario e, incluso, internacional en la aplicación de medidas y estrategias enfocadas a la economía circular y la contribución de los puertos a la lucha contra el cambio climático, implican que el sector portuario estatal prosiga actuando de manera proactiva, consolidándose como un modelo a seguir. Tal y como indicó en la celebración del 50 aniversario del Convenio MARPOL (noviembre de 2023) el Secretario General de la OMI, el MARPOL ha incentivado la innovación en la lucha contra la contaminación y ante desafíos globales, como el cambio climático, destacando que la tarea no está terminada, *«el sector marítimo debe avanzar hacia la descarbonización, digitalización y adopción de nuevas tecnologías y (...) el Convenio MARPOL ha sido y seguirá siendo crucial en la transformación del transporte marítimo*

y la conservación de nuestros océanos en los años venideros».

Asimismo, el impulso al tratamiento y la valorización de los desechos MARPOL se erige como una acción clave ante el reto de la protección del medio marino, en el impulso a la economía circular, con efectos económicos y medioambientales, directos e indirectos, cuyas sinergias hacen que se retroalimenten, catalizando los efectos directos sobre el medio ambiente y favoreciendo el objetivo general del Marco Estratégico del Sistema Portuario de Interés General (Puertos del Estado, 2022), de lograr que los puertos españoles sean “puertos verdes”, con el principio de economía circular como vertebrador de dicha sostenibilidad ambiental y competitividad.

Referencias

- JEFATURA DE ESTADO. ESPAÑA. “Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.”. BOE núm. 253, de 20/10/2011.
- JEFATURA DE ESTADO. ESPAÑA. “Real Decreto 1381/2002, de 20 de diciembre, sobre instalaciones portuarias de recepción de desechos generados por los buques y residuos de carga.”. BOE núm. 305, de 21/12/2002.
- JEFATURA DE ESTADO. ESPAÑA. “Real Decreto 128/2022, de 15 de febrero, sobre instalaciones portuarias receptoras de desechos de buques.”. BOE núm. 85, de 09/04/2022.
- JEFATURA DE ESTADO. ESPAÑA. “Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular”. BOE núm. 85, de 09/04/2022.
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. “Resolución MEPC.277(70). Enmiendas al anexo del convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el protocolo de 1978”. MEPC 70/18/Add.1. Anexo 2, página 1. Adoptada el 28 de octubre de 2016.
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. (2023, 2 de noviembre). 50 años de protección del medio marino. International Maritime Organization. <https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/pages/50-years-of-MARPOL.aspx>
- PARLAMENTO EUROPEO. CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. “Directiva (UE) 2019/883 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de abril de 2019, relativa a las instalaciones portuarias receptoras a efectos de la entrega de desechos generados por buques, por la que se modifica la Directiva 2010/65/UE y se deroga la Directiva 2000/59/CE.”. DO L 151 de 07/06/2019, p. 116–142.
- PUERTOS DEL ESTADO (2022). Marco Estratégico del Sistema Portuario de Interés General. Madrid. https://www.puertos.es/es-es/MarcoEstrategico/Documents/PdE_Marco_Estrategico_2022.pdf

Diseño de la infraestructura verde desde una perspectiva de sistemas socio ecológicos

Alberdi Inza, Mikel¹

Palabras clave: infraestructura verde, diseño, sistemas complejos adaptativos, sistemas socio ecológicos, resiliencia

Introducción

El diseño de la infraestructura verde desde una perspectiva de sistemas ecológicos implica tomar en consideración los múltiples agentes que interactúan entre ellos y con su medio ambiente, el diseño de sus relaciones y de los procesos a partir de los cuales emergen nuevos paisajes de la infraestructura verde. Sin embargo, el desconocimiento de las configuraciones de interacciones socio ecológicas más probables de dar lugar a cambios de régimen o a transformaciones (Schlüter, 2019) hace necesaria una mayor investigación en cómo se originan los cambios en los procesos socio ecológicos.

Para poder diseñar desde una perspectiva de sistemas socio ecológicos es imprescindible una mejor comprensión de las interrelaciones socio ecológicas porque a partir de ellas van a emerger los nuevos paisajes en los espacios urbanos abandonados (Pickett, Steward TA, Burch, Dalton, Foresman, Grove, and Rowntree, 1997; Tzoulas, Korpela et al. 2007). El paisaje, además de ser el marco donde se dan las interrelaciones socio ecológicas, es también el resultado de ellas (Mell, 2009). Así, desde el diseño de paisajes se han llevado a cabo intervenciones que han abordado aspectos sociales y ecológicos fomentando la autoorganización de los ecosistemas y respondiendo a los cambios de forma adaptativa, por ejemplo desde el urbanismo paisajístico (Wohl, 2018). Sin embargo, hay poca investigación sobre la utilización de enfoques de sistemas socio-ecológicos en la ordenación y diseño de la infraestructura verde (Mell, Ian 2009; Hansen, Pauleit, 2014).

Diseño de la investigación y métodos

El objeto de investigación es el conocimiento necesario para diseñar estos espacios desde una perspectiva de sistemas socio ecológicos. Esta investigación entra en la categoría *Research for Design* (Bruns, 2016) ya que los resultados buscan informar sobre el proceso de diseño y transferir conocimientos desde la teoría de complejidad (Lenzholzer, 2016). El conocimiento de diseño se obtiene a través de la práctica reflexiva sobre el proceso de diseño (Cross, 1999), situando esta forma de conocimiento dentro de la epistemología construccionista (Feast, 2010). Según esta visión, el conocimiento es construido

en vez de ser descubierto a través de la interacción entre el investigador y la infraestructura verde junto con los supuestos del investigador y los significados sociales (Crotty, 2010; Deming, 2011).

Un sistema es también un constructo teórico que facilita la comprensión del comportamiento observado del sistema (Barnett, 2013). La práctica reflexiva sobre los procesos de un sistema socio ecológico y de sus componentes implica la descripción e interpretación de lo que el investigador observa. La teoría de la complejidad ofrece metáforas para reflexionar sobre lo que se observa y conocer a partir de estas observaciones (Quinn Patton, 2001). El uso de metáforas implica que el investigador va construyendo conocimiento a medida que observa y reflexiona lo que da a esta investigación un enfoque construccionista. La posición epistemológica y el marco teórico informan la metodología de investigación (Crotty, 2010). El marco teórico está condicionado por la teoría de la complejidad que extiende esta teoría al diseño de la infraestructura verde. Por tanto, es relevante el uso de marcos teóricos relacionados con la disciplina de diseño de paisajes. En este sentido, el enfoque interpretativo contribuye a exponer nuevas comprensiones y perspectivas (Deming, 2011).

El análisis del estado crítico del arte basado en una revisión bibliográfica aporta el marco conceptual que vincula el diseño de la infraestructura verde y los sistemas socio ecológicos. La revisión aporta claridad sobre los conceptos y términos que vinculan estos marcos teóricos. También identifica las variables cualitativas para interpretar la infraestructura verde como sistemas socio ecológico. Estas variables aportan la base para un diagrama de sistema que representa la infraestructura verde como sistema socio ecológico, establece los límites del sistema e identifica los elementos y las relaciones que lo conforman.

Resultados y discusión

El objetivo de este apartado es aportar a través del análisis del estado crítico del arte una comprensión de cómo están vinculados los elementos de la infraestructura verde y los sistemas socio ecológicos.

Infraestructura verde

A partir de las definiciones existentes de la infraestructura verde, Ian Mell (2010) identifica los siguientes elementos como constitutivos de la infraestructura verde. Estos elementos son principios que hacen referencia a las distintas interacciones del sistema de infraestructura verde y que tienen un impacto significativo sobre su comportamiento.

¹ Euskal Herriko Unibertsitatea / Universidad del País Vasco, Escuela de Doctorado, 48940 Leioa, Bizkaia
E-mail: malberdi041@ikasle.ehu.eus

Conectividad

Es un principio fundamental del diseño de la infraestructura verde (Pauleit, 2017; Davies, 2015; Hansen, 2014; Rouse, 2013; Mell, 2010; Kambites, 2006). Es una forma de reducir la fragmentación de los ecosistemas a lo largo de la infraestructura verde (Mell, 2007). Desde un punto de vista de sistemas complejos adaptativos la conectividad significa que todos los elementos del sistema están conectados y que la acción en una parte del sistema influirá sobre las partes relacionadas (Chan, 2001). Desde la perspectiva de sistemas socio ecológicos, la conectividad es la fuerza de las conexiones que regulan las influencias entre los procesos (Gunderson, 2002). Por tanto, la conectividad tiene un impacto sobre las interacciones sociales y ecológicas en la infraestructura verde influyendo sobre los beneficios que aporta.

Multifuncionalidad

Es la superposición de usos y funciones ecológicas y sociales en un mismo paisaje de forma que pueden ofrecer diversas funciones en escalas espaciales y temporales diferentes a través de procesos que se dan de forma simultánea. Para poder generar espacios que ofrezcan múltiples beneficios es necesario comprender las complejas interacciones socio ecológicas (Mell 2007) porque la multifuncionalidad implica interrelaciones entre los elementos de la infraestructura verde y la distribución de los beneficios que aportan estas funciones (Hansen 2014).

Diversidad ecológica y social

La diversidad social aporta una variedad de culturas de comportamiento y autoorganización (Bajc, 2018). La diversidad humana junto con la ecológica aportan la información para adaptarse a los cambios y transformaciones que se pueden dar en el sistema. La variedad de respuestas sociales y ecológicas que puede aportar la diversidad de ecosistemas es un factor clave para la resiliencia del sistema de infraestructura verde porque puede responder en formas diferentes a cambios y a perturbaciones como el cambio climático (Ahern, 2013).

Heterogeneidad espacial

La heterogeneidad espacial hace referencia a la distribución espacial de los componentes e interacciones del sistema de infraestructura verde, así como al tamaño y la forma de los elementos espaciales del sistema. Las fuentes de heterogeneidad incluyen el entorno físico, los agentes biológicos y los procesos de perturbación (Pickett, 1997) así como las actividades humanas. La variedad espacial influye en las relaciones entre los elementos de la infraestructura verde y, por tanto, en los beneficios que aportan, como la ventilación y la mitigación del efecto de isla de calor urbana (Hansen, 2014). Estrategias espaciales como la policentralidad pueden generar circuitos de realimentación que permitan al sistema responder a perturbaciones y adaptarse a los cambios mediante la autoorganización (Bajc, 2018).

Resiliencia

Andersson (2018) define la resiliencia como la capacidad de un sistema de autoorganizarse ante un cambio sin perder

su función, su estructura y sus bucles de realimentación. Las interacciones entre humanos y la naturaleza influyen en la resiliencia, por ello, es necesario comprender las realimentaciones en los sistemas socio ecológicos para gestionar la resiliencia de estos sistemas (Zipperer, 2011) porque los sistemas se adaptan, se ajustan y se autoorganizan a través de estas realimentaciones para dar lugar a patrones emergentes que pueden mantener las funciones del sistema (Gunderson 2002).

Funciones de los ecosistemas

Las funciones de los ecosistemas son la capacidad de los procesos y componentes naturales de aportar servicios, por tanto, las funciones son resultado de las interacciones ecológicas, pero también sociales porque las percepciones y valores humanos influyen en la toma de decisiones sobre qué funciones va a aportar una infraestructura verde (De Groot, 2002; Andersson, 2018). La función ecosistémica es una propiedad emergente que puede ser favorecida a través del diseño (Andersson, 2018). El diseño de funciones puede beneficiarse de una perspectiva de sistemas ya que la naturaleza sistémica de la infraestructura verde significa que las funciones tienen un carácter no lineal de forma que los servicios ecosistémicos asociados son más amplios (Hauck, 2017).

Procesos naturales y sociales

Los procesos naturales son el resultado de las complejas interacciones entre componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas (De Groot, 2002; Hermann, 2011). Estas interacciones complejas dan lugar a fenómenos emergentes a través de estos procesos que dan como resultado las funciones ecosistémicas. En consecuencia, los procesos definen el comportamiento del sistema de infraestructura verde. Estos procesos pueden cambiar como consecuencia de un evento extremo que causa una transformación en el comportamiento del sistema. Los procesos del sistema pueden cambiar a causa de la perturbación y llevar al sistema a autoorganizarse para producir novedad. Por tanto, los procesos pueden ser puntos de intervención en el sistema para dirigir su comportamiento en la dirección deseada.

Conclusiones

Un enfoque de sistemas socio ecológicos para el diseño de la infraestructura verde aporta una mejor comprensión de las relaciones entre los agentes y su medio ambiente así como de los procesos que influyen en su comportamiento. Esta comprensión puede facilitar el desarrollo de estrategias de diseño de relaciones y procesos de paisajes emergentes, abiertos e inciertos y abre oportunidades para identificar puntos de intervención en el sistema para dirigir su comportamiento en la dirección deseada.

El siguiente paso es el desarrollo de un diagrama de bucles causales que incluya las variables principales del sistema, las conexiones entre estas variables y las interacciones

representadas como realimentaciones negativas o positivas. Las variables se identifican sobre la base del análisis del estado crítico del arte. Este diagrama aporta una visión general de los elementos del sistema de infraestructura verde pero no aporta una evaluación empírica. Sin embargo, una propuesta de investigación de estudios de caso informada por un diagrama de bucles causales puede beneficiar la evaluación empírica de esta investigación y su posterior aplicación en un proyecto de investigación a través del diseño que incluya el diseño de una infraestructura verde.

Referencias

- Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: The promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 28(6), 1203–1212. doi:10.1007/s10980-012-9799-z
- Andersson, E. (2018). Functional landscapes in cities: A systems approach. *Landscape and Ecological Engineering*, 14(2), 193–199. doi:10.1007/s11355-017-0346-6
- Bajc, K., & Stokman, A. (2018). Design for resilience: Re-connecting communities and environments. *Landscape Architecture Frontiers*, 6, 14
- Barnett, R. (2013). *Emergence in landscape architecture*. Oxon: Routledge.
- Bruns, D., Van Den Brink, A., Tobí, H., & Bell, S. (2016). Advancing landscape architecture research. In A. Van Den Brink, D. Bruns, H. Tobí & S. Bell (Eds.), *Research in landscape architecture. methods and methodology*. (). Oxon: Routledge.
- Chan, S. (2001). Complex adaptive systems. Paper presented at the ESD.83 Research Seminar in Engineering Systems
- Cross, Nigel (1999). *Design Research: a disciplined conversation*. Design Issues, 15(2) pp. 5–10.
- Crotty, Michael J. (2010). *The Foundations of Social Research: Meaning and Perspective in the Research Process*. London. SAGE Publications Ltd.
- Davies, C., Hansen, R., Rall, E., Pauleit, S., Laforteza, R., De Bellis, Y., & Tosics, I. (2015). Green infrastructure planning and implementation. The status of European green space planning and implementation based on an analysis of selected European cityregions. GREEN SURGE PROJECT, Deliverable, 5.
- Groot, R. D., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.
- Deming, M. E., & Swaffield, S. (2011). *Landscape architectural research: Inquiry, strategy, design*. John Wiley & Sons.
- Feast, L., & Melles, G. (2010, June). Epistemological positions in design research: A brief review of the literature. In 2nd international conference on design education, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Gunderson, L. (2002). *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*.
- Hansen, R., & Pauleit, S. (2014). From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 43(4), 516–529. doi:10.1007/s13280-014-0510-2
- Hauck, T., & Czechowski, D. (2015). Green Functionalism: A brief sketch of its History and Ideas in the United States and Germany. *Revising Green Infrastructure*, 3-28.
- Hermann, A., Schleifer, S., & Wrbka, T. (2011). The concept of ecosystem services regarding landscape research: a review. *Living Reviews in landscape research*, 5(1), 1-37.
- Kambites, C., & Owen, S. (2006). Renewed prospects for green infrastructure planning in the UK. *Planning, Practice & Research*, 21(4), 483–496.
- Lenzholzer, S., Duchhart, I., & Van den Brink, A. (2016). The relationship between research and design. In A. Van den Brink, D. Bruns, H. Tobí & S. Bell (Eds.), *Research in landscape architecture. methods and methodology*. (). Oxon: Routledge.
- Mell, I. C., & Roe, M. (2007). Green infrastructure - innovative landscape planning for multi-functional environments. Paper presented at the Fábos Landscape Planning and Greenways Symposium
- Mell, I. (2009). Can green infrastructure promote urban sustainability? *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability - PROC INST CIV ENG-ENG SUSTAIN*, 162, 23–34. doi:10.1680/ensu.2009.162.1.23
- Mell, I. C. (2010). *Green infrastructure: concepts, perceptions and its use in spatial planning* (Doctoral dissertation, Newcastle University).
- Pauleit, S., Hansen, R., Rall, E., Zölch, T., Andersson, E., Luz, A., Vierikko, K. (2017). Urban landscapes and green infrastructure. () doi:10.1093/acrefore/9780199389414.013.23
- Pickett, S. T., Burch, W. R., Dalton, S. E., Foresman, T. W., Grove, J., & Rowntree, R. (1997). A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. *Urban Ecosystems*, 1(4), 185.
- Patton, M. Q. (2001). Evaluation, knowledge management, best practices, and high quality lessons learned. *The American journal of evaluation*, 22(3), 329-336.
- Rouse, D. C., & Bunster-Ossa, I. F. (2013). *Green infrastructure: A landscape approach*. Chicago: APA Planners Press.
- Schlüter, M., Haider, L. J., Lade, S. J., Lindkvist, E., Martin, R., Orach, K., ... & Folke, C. (2019). Capturing emergent phenomena in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 24(3).
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178. doi:https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001
- Wohl, S. (2018). Complex adaptive systems & urban morphogenesis. analyzing and designing urban fabric informed by CAS dynamics. doi:https://doi.org/10.7480/abe.2018.10
- Zipperer, W., Morse, W., & Gaither, C. (2011). Linking social and ecological systems. In: Niemela, Jari, ed. *Urban Ecology: Patterns, Processes, and Applications*. Oxford: Oxford University Press. p. 298-308., 298-308.

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

Le serious game comme lien entre concertation et stratégie opérationnelle d'adaptation: le cas de TACC'tic

Beillouin, Thomas¹, Le Roy, Loïck^{1,2} et Galand, Paul¹

Mot-clés : outil, concertation, démocratie, littoral, adaptation

Introduction

La gestion des risques littoraux est un défi majeur pour les politiques d'aménagement des territoires côtiers (Rocle 2017; Beillouin 2021). L'urbanisation perturbe les dynamiques naturelles et contribue à intensifier les risques littoraux. Mais cela signifie aussi que l'urbanisme et la planification territoriale constituent des leviers fondamentaux pour réduire ces risques. Aussi, au cours des dernières années, la conception architecturale, urbaine et paysagère a acquis un rôle de plus en plus central dans l'adaptation des territoires côtiers au changement climatique, en complément des outils réglementaires. Cette évolution se traduit par une approche plus constructive, favorisant la participation et une implication plus forte des citoyens dans les prises de décision (Albrechts 2015). Le rôle des experts a lui aussi évolué, appelant à concevoir de nouveaux outils pour faciliter cette participation citoyenne.

Cette présentation se focalise sur les apports du jeu sérieux pour relier concertation et stratégie opérationnelle d'adaptation. Elle prend appui sur l'outil TACC'tic, développé par Artelia. L'intervention s'articule en trois axes de réflexion.

- Dans un premier temps, nous définirons différentes modalités de participation citoyenne dans l'aménagement du territoire ;
- Puis, nous montrerons en quoi la consultation du public est devenue insuffisante pour la gestion des risques côtiers ;
- Enfin, nous présenterons les apports du jeu sérieux en replaçant l'exemple singulier de TACC'tic dans le paysage des serious game.

Données et méthodes

Aménagement du territoire et participation citoyenne : les différents degrés d'implication du public

La terminologie liée à l'association des citoyens aux problématiques d'aménagement du territoire est variée.

Cependant, tous les concepts ne se valent pas, et derrière la diversité de la terminologie se cachent différents niveaux d'implication du public dans les processus de décision (Touzard 2006; Arnstein et Cloutier 2024).

En particulier, trois processus peuvent être distingués dans l'élaboration des politiques publiques françaises :

- En premier lieu, la sensibilisation est une approche informative visant à rendre quelque chose d'intelligible pour le public. Le processus est descendant : l'autorité donne une information sans attendre de retour.
- Au contraire, la consultation a pour objectif de recueillir l'avis de citoyens sur un projet. Cet avis n'influençant pas forcément la prise de décision. Ici, le processus est montant : l'autorité recueille seulement l'information.
- Enfin, la concertation : plusieurs acteurs élaborent un projet en commun avec ceux qui auront à l'appliquer ou à en supporter les conséquences. C'est bien l'échange et le partage d'informations qui prime entre autorité et public.

Certaines procédures d'urbanisme nécessitent une concertation rendue obligatoire par l'article L103-2 du Code de l'urbanisme. La conduite de ce genre de processus est régie par un cadre légal et obéit à un formalisme strict. Or, en pratique, ce type de concertation s'apparente davantage à de la consultation par :

- La temporalité, imposée par le cadre réglementaire et souvent inadaptée pour largement mobiliser les citoyens concernés ;
- Les outils mobilisés, qui visent plus à obtenir l'accord du public qu'à faire émerger une réflexion collective.

Par ces éléments, une certaine confusion entre consultation et concertation existe encore. Ainsi, il n'est pas rare d'entendre les acteurs de l'aménagement dire qu'ils vont « concerter la population », comme s'il s'agissait de sonder l'opinion publique pour évaluer l'acceptabilité d'un projet. Il s'agit ici d'un abus de langage, car ce mode opératoire relève davantage de la consultation.

Derrière cet effort de clarification se cache une question essentielle : comment inscrire l'adaptation aux risques naturels dans un débat citoyen approfondi, et par extension comment y repenser le rôle de l'expert ?

En quoi la consultation aujourd'hui n'est plus suffisante pour la gestion des risques ?

Pour maîtriser la vulnérabilité des territoires, les Plans de prévention des risques naturels constituent un exemple d'outil décisif. Ils reposent sur la cartographie des risques et un

¹ Artelia, 47 avenue de Lugo - 94600 - Choisy-le-Roi, Ile de France, France.

² Laboratoire Médiations, Sorbonne Université, 28 rue Serpente 75006 Paris, Ile de France, France
E-mail: loick.le-roy@arteliagroup.com

encadrement plus ou moins fort de l'aménagement du territoire. Le principe de cartographie des risques est institué dès 1982 avec les Plans d'exposition aux risques, puis conforté dans le cadre de la loi dite « Barnier » en 1995. La tempête Xynthia de 2010 et la loi Climat et Résilience de 2021 ont depuis accéléré la cartographie des risques littoraux. Mais comment ces cartes sont-elles élaborées ?

Dans son article « Comment mettre le risque en cartes » (2000), le chercheur Cyril Bayet indique que l'acte de cartographier les risques est souvent externalisé par la collectivité, c'est-à-dire confié à un expert. L'analyse technique vise alors à réaliser une carte prétendument objective. L'expert joue le rôle d'écran entre la sphère politique et les citoyens, ces derniers étant tout juste consultés avant de recevoir une information descendante.

Aujourd'hui, la gestion des risques naturels se repositionne dans le contexte plus global du changement climatique (IPCC 2022). Les options stratégiques à l'étude retrouvent au contraire une dimension plus politique : préservation des écosystèmes, solidarité et équité sociale, impacts sur le cadre de vie, etc. La Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte privilégie la recomposition du territoire pour s'adapter à l'érosion. La gestion des risques côtiers repose dorénavant sur l'aménagement du territoire. Les citoyens, premiers concernés par ces transformations, deviennent partie prenante de la décision. De son côté, l'expert délaisse sa posture de sachant pour se faire davantage médiateur. Ainsi, la gestion des risques retrouve une composante plus politique et sociale, reposant nécessairement sur une décision coconstruite entre citoyens, représentants politiques et experts. Cela fait surgir un questionnement nouveau : comment faire émerger un socle commun de connaissances techniques parmi ces acteurs ?

Évolution de la position des acteurs et outils opérationnels

L'évolution du contexte opérationnel de l'adaptation vient renforcer ce constat de changement des postures. Premièrement car il permet davantage l'association du public : les appels à projets (AAP), les contrats partenariaux ou encore le rôle pivot des acteurs publics le montrent notamment.

Dans le premier cas, les AAP représentent une modalité d'action innovante. Alors que le cadre réglementaire reste rigide, ceux-ci disposent d'une liberté de production. Ils sont aussi et surtout appréciés pour le financement ponctuel qu'ils amènent. Enfin, ils sont régulièrement le cœur de nouveaux partenariats aux échelles régionales ou nationales.

- Les contrats spécifiques tels que les Projets partenariaux d'aménagement (ou PPA « trait de côte » sur le littoral) sont des outils récents. Issus de la loi Elan, ils sont adoptés dans le cadre de la recomposition des espaces côtiers à partir des années 2020. Le PPA représente aussi, comme les AAP, une source de financement ponctuelle pour les collectivités. Plusieurs millions d'euros ont ainsi été débloqués à court terme pour les territoires concernés. La pérennisation de cette source de financement constitue cependant un fort enjeu dans

le contexte d'une adaptation sur le long terme. Cette seconde modalité d'association d'acteurs facilite aussi grandement la réunion des partenaires nationaux et régionaux, concernés par l'adaptation, de manière contractualisée. Elle permet aussi l'implication de nouvelles entités tels que les Établissements publics fonciers (EPF). La consécration du rôle de ces derniers à travers la loi dite « Climat et résilience » en 2021 renforce la dimension transdisciplinaire de l'approche partenariale.

- Finalement, certains acteurs publics disposent d'un rôle pivot pour la réduction de la vulnérabilité des communautés côtières. Les Régions, Syndicat mixtes mais aussi les Groupements d'intérêt public (GIP) deviennent ainsi des acteurs indispensables tant à la construction d'une culture du risque qu'à l'association de la population dans les prises de décision ou encore à la mise en œuvre de stratégies opérationnelles. Agissant à travers les différentes strates de l'aménagement du territoire, ces structures contribuent à faire du projet urbain un maillon essentiel entre la planification territoriale et la gestion des risques.

Cette évolution du contexte opérationnel par le changement des postures invite dans un second temps à transformer les outils dont disposent ces acteurs structurants. Des marges de manœuvre existent pour proposer des outils favorables à la co-construction de stratégies dans une logique de partenariat entre experts et grand public. Plusieurs limites doivent cependant être dépassées, notamment concernant les outils de concertation conventionnels. En effet, ces derniers s'avèrent parfois :

- Trop simplistes, notamment au regard de l'enchaînement chronologique des actions à court, moyen et long termes, qui se traduit souvent par une séquence caricaturale : « protéger », « recomposer » puis « renaturer » ;
- Inadaptés à une approche systémique et territorialisée des enjeux d'adaptation (trop abstraits, trop analytiques) ;
- Insuffisants pour transformer le point de vue des participants sur les problématiques territoriales, qu'il s'agisse des citoyens ou des experts, alors que le but est précisément qu'il y ait une communication à double-sens.

Résultats et discussion

Contrairement à d'autres modalités de concertation, le jeu sérieux est un outil proposant une diversité de dimensions opérationnelles :

- Une dimension de « simulation » à laquelle ne parviennent pas les outils habituels ;
- Une mise en responsabilité des participants, qui endossent des rôles ou bien sont mis en situation d'agir ;
- Une dimension ludique qui atténue la gravité de la

situation : vis-à-vis des phénomènes de recul du trait de côte, qui sont ici fictifs ; mais aussi vis-à-vis des décisions prises : on a le droit de se tromper ;

- Un cadre convivial qui délie les langues et favorise le débat dans un contexte détendu car détaché de la réalité, facilitant le recueil de verbatims ou de tendances ;
- Une capacité à tester, éprouver et donc sortir transformé de ces échanges, permettant de déjouer les *a priori* sur les modes de gestion.

Bien que certains jeux sérieux (tels que LittoSIM-GEN, Littowag, ou encore Risques côtiers à Plonévez-les-Flots) permettent une réflexion aboutie, leur objectif n'est pas de répondre au besoin d'une approche transformatrice des pratiques et des connaissances. Pour répondre à ces enjeux, le bureau d'études Artelia a développé l'outil TACC'tic en 2023 et 2024, prenant la forme d'un *serious game*. Celui-ci se compose des éléments suivants :

- Plateaux sur lesquels les participants sont invités à dessiner ;
- Cartes-actions appartenant à cinq catégories : adaptation, renaturation, défense, stratégie et développement ;
- Cartes-événements pouvant impacter (positivement ou négativement) la capacité d'action ;
- Jetons-coquillages permettant de moduler la capacité des participants à engager de grands projets.

En prenant appui sur l'exemple de TACC'tic, nous souhaitons questionner les liens entre modalités de concertation et conditions du passage à l'action. En effet, ce *serious game* se distingue par son approche très opérationnelle, permettant d'impliquer les acteurs locaux dans la planification de l'adaptation des territoires côtiers au changement climatique. TACC'tic se fonde sur la construction de trajectoires d'adaptation évolutives et la représentation spatialisée des actions projetées.

Dans le paysage des jeux sérieux, TACC'tic dispose d'apports spécifiques. En premier lieu, il se distingue par son approche spatialisée des enjeux d'adaptation. Une réflexion de fond a été menée sur la représentation graphique, pour trouver un juste équilibre entre réalisme et abstraction. TACC'tic se joue sur des plateaux fictifs, mais évocateurs de problématiques territoriales bien connues : côtes à falaises en érosion, stations balnéaires sur des cordons dunaires, ports confrontés à l'élévation du niveau marin, etc. Ces plateaux échappent ainsi à l'écueil d'une représentation cartographique trop réaliste, tout en incarnant précisément la complexité des territoires côtiers. Ceci permet d'une part une prise de recul sur les problématiques du territoire concerné, d'autre part une capacité à s'adapter à des contextes géographiques variés.

Par ailleurs, TACC'tic va plus loin qu'une simple démarche de sensibilisation. Son ambition est de faciliter l'appropriation de concepts techniques par différents publics, initiés ou non, afin de les associer étroitement à l'élaboration de stratégies d'adaptation. Pour y parvenir, le vocabulaire adopté pour les cartes-actions est simple mais précis. La conception graphique apporte une note d'humour. L'animateur joue quant à lui un rôle-

clé pour adapter son registre de langage en fonction du public. L'objectif sous-jacent est d'engager une mise en perspective des problématiques locales avec le contexte régional, national ou global, tout en permettant de recueillir suffisamment de matière pour comprendre les enjeux spécifiques d'un territoire.

Enfin, TACC'tic se démarque par sa dimension démocratique et coopérative. Les participants n'endossent pas de rôles, et il n'y a ni gagnant, ni perdant. Ils sont appelés à construire ensemble un enchaînement logique d'actions pour atteindre un objectif commun préalablement stabilisé. Chaque action est argumentée et dessinée sur le plateau. À l'issue de la partie, les participants auto-évaluent leur stratégie et reviennent sur les points-clés du processus de décision collective. Le porteur de projet y trouve plusieurs intérêts :

- Animer un atelier permet de faire évoluer les points de vue et de déjouer certains *a priori* concernant les modes de gestion ;
- L'outil permet de caractériser les approches stratégiques privilégiées par les participants, et ainsi d'objectiver la pertinence de certains choix par le biais d'analyses statistiques ;
- Les réflexions produites fournissent une ébauche de planification spatiale et temporelle, permettant de basculer rapidement vers un plan-guide et un plan d'actions.

Ainsi, la décision n'est plus une décision à dire d'experts, mais le reflet d'attentes / préoccupations collectives explicitement formulées par les citoyens.

Conclusions

La participation dans les processus réglementaires tels que dans les projets d'aménagement ou d'adaptation revêt une importance particulière. Aussi bien pour le public que l'organisateur, elle permet d'asseoir la légitimité d'un projet. L'approche contractualiste en philosophie peut ici être le sujet d'un parallèle intéressant. Entre Rousseau et Hobbes, le contrat social peut prendre diverses formes auxquelles peuvent faire écho les questionnements liés à la participation citoyenne. Pour le premier, l'intérêt général prime. La souveraineté populaire est ici essentielle pour garantir liberté et égalité. Pour l'autre, dans une situation de crise, chacun pourrait céder une partie de sa liberté à une autorité pour que sa sécurité soit garantie par celle-ci. L'opposition de ces théories du contrat social peut prendre son sens ici : doit-on nécessairement faire participer le public à des projets, en favorisant l'écoute d'une voix intéressée et non-sachante ? Ou alors doit-on supprimer toute concertation car l'expert n'a pas besoin du retour de la population, dans la mesure où il se substitue à elle dans l'exercice d'une mission d'intérêt général ?

L'originalité de TACC'tic réside dans sa dimension ouverte, axée sur l'observation des processus et des dynamiques de groupe plutôt que sur son aboutissement. En favorisant les échanges et en suivant l'évolution des postures au fil des séances, il permet une adaptation continue aux défis posés par

les aménagements côtiers. Finalement, il pourrait représenter une avancée significative parmi les outils de concertation pour l'adaptation des territoires côtiers, en articulant réduction de la vulnérabilité et projet de développement territorial adapté aux changements climatiques actuels et futurs. TACC'tic se voudrait ainsi comme un outil de participation transformatrice, ici considérée comme indispensable au processus d'adaptation, et non comme une activité annexe.

Références

- Albrechts, Louis. 2015. « Ingredients for a More Radical Strategic Spatial Planning ». *Environment and Planning B: Planning and Design* 42 (3): 510-25. <https://doi.org/10.1068/b130104p>.
- Arnstein, Sherry R., et Geneviève Cloutier. 2024. « Une échelle de la participation citoyenne ». *Lien social et Politiques*, n° 92, 259. <https://doi.org/10.7202/1112813ar>.
- Bayet, Cyril. 2000. « Comment mettre le risque en cartes ? L'évolution de l'articulation entre science et politique dans la cartographie des risques naturels ». *Politix* 13 (50): 129-50. <https://doi.org/10.3406/polix.2000.1091>.
- Beillouin, Thomas. 2021. « Les stratégies d'aménagement à l'épreuve des aléas littoraux. L'épaisseur littorale : un paradigme émergent dans l'aménagement des territoires côtiers ». Thèse de doctorat, Université Paris-Est Sup. <https://hal.science/tel-03335001>.
- IPCC. 2022. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Rocle, Nicolas. 2017. « L'adaptation des littoraux au changement climatique : une gouvernance performative par expérimentations et stratégies d'action publique ». Thèse de doctorat, Université de Bordeaux. <https://theses.hal.science/tel-01769993>.
- Touzard, Hubert. 2006. « Consultation, concertation, négociation. Une courte note théorique ». *Négociations* 5 (1): 67-74. <https://doi.org/10.3917/neg.005.0067>.

El sistema de acción temprana frente al riesgo marítimo-costero en Euskalmet

Gaztelumendi, Santiago¹, Egaña, Joseba¹, R. Gelpi, Iván¹, Gómez de Segura, José Daniel¹, Aranda, José Antonio¹

Palabras clave: Maritime-coastal-risk, Climate-Action, Early-Warning-Systems, Decision.

Introducción

La Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet) está 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 2023). 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 (Gaztelumendi et al 2020,2022), sin dejar de lado otros riesgos de carácter más meteorológicos que también afectan al área litoral (baja visibilidad, vientos extremos, etc.).

Durante este siglo el riesgo marítimo-costero (RMC) ha destacado como uno de los más habituales y de mayor severidad en nuestro territorio (Egaña et al 2020, Gaztelumendi et al 2014). El riesgo de impacto en costa, en particular, ha contribuido significativamente a los avisos/alertas/alarmas emitidos y generado considerables pérdidas económicas (Gaztelumendi et al 2016b,2020). Esta situación tendrá continuidad o empeorará en años venideros como consecuencia de los efectos de la subida del nivel del mar y de la ocupación humana de la franja litoral. En este contexto, compartido en otras áreas del arco atlántico, los sistemas de alerta y acción temprana deben considerarse como herramientas fundamentales de adaptación al CC y de mitigación del impacto de los eventos extremos.

Sistema de acción temprana

En Euskalmet el sistema de acción temprana está orientado hacia la determinación y comunicación del riesgo de impacto, de forma que se tratan de forma específica los diferentes componentes del RMC (actualmente Galerna, Navegación, Impacto en Costa) que pueden ocurrir de forma aislada o combinada (ver figura 1). La acción se fundamenta en

la toma de decisiones a diferentes niveles basadas en tres aspectos fundamentales: el conocimiento de la situación futura (predicción), de la situación pasada (análisis y monitorización) y de la situación presente (vigilancia y monitorización) y su adecuada comunicación (GV 2023). Así pues, el sistema de acción temprana en el ámbito del RMC de Euskalmet se sustenta en tres pilares: (1) el sistema de predicción (2) el sistema de monitorización y seguimiento y (3) los procesos de comunicación y decisión. En este trabajo presentamos y analizamos estos tres componentes.

Sistema de predicción

El sistema de predicción de Euskalmet se basa en las capacidades predictivas de diversos modelos que simulan procesos oceano-meteorológicos, proporcionando variables clave a diferentes horizontes temporales, incluyendo estimaciones de incertidumbre. Este sistema combina modelos locales y regionales de implementación propia, como el WRF, WAM, ROMS, WW3, SCHISM, entre otros, con modelos regionales y globales de instituciones como el IFS ECMWF, GFS NOAA, WW3 NOAA o WW3 FNMOC (ver figura 2). Estos modelos permiten caracterizar los eventos de RMC mediante la simulación de fenómenos como oleaje, corrientes, y nivel del mar, facilitando así la toma de decisiones preventivas (Gaztelumendi et al 2020, 2023). Hay que destacar los esfuerzos que viene haciéndose en estos últimos años por incorporar nuevos sistemas que permitan caracterizar con mayor precisión aspectos tan esenciales como el nivel del mar y los residuos (Castaño-Tierno et al 2024, Gaztelumendi et al 2024).

Sistema de Monitorización y Seguimiento en Tiempo Real

El sistema de vigilancia y seguimiento en tiempo real, lo conforman un conjunto de herramientas que permiten monitorizar los datos provenientes de las redes y sistemas de observación. Entre los sistemas de observación disponibles, destacar la red de estaciones automáticas, estructuras costeras, boyas, kostasystem, radar costero, radar meteorológico, información satelital, etc. Entre las herramientas, destacan el sistema de monitorización RTMON (videowall, pantallas panorámicas, etc.) la herramienta de vigilancia automática (EMER) o la propia intranet de Euskalmet (Gaztelumendi et al 2022a,b,c, Liria et al 2021)

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

¹ Euskalmet, Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain
E-mail: s-gaztelumendi@euskalmet.eus

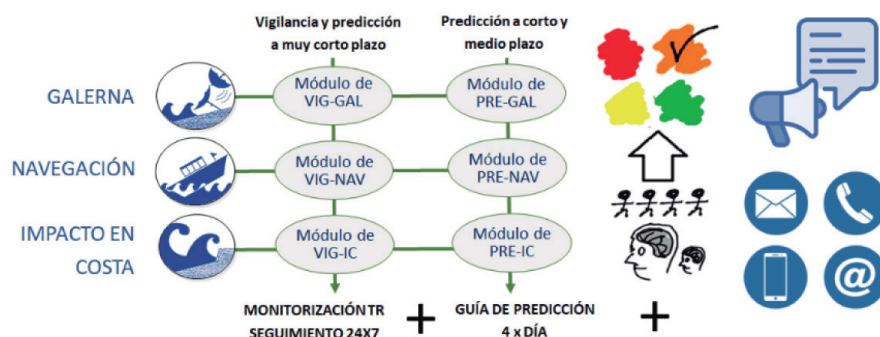


Figura 1. Representación esquemática del Sistema de Acción Temprana para Riesgo Marítimo-Costero (SAT RMC).

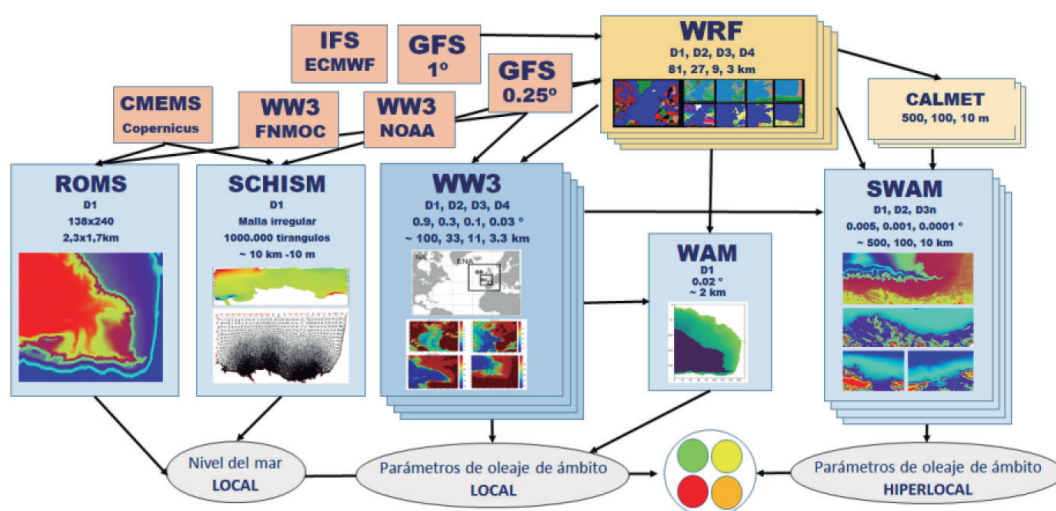


Figura 2. Esquema conceptual del sistema de predicción océano-meteorológico.

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-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).

La red océano-meteorológica del País Vasco, que incluye estaciones en puertos como Bilbao, Mutriku y Pasaia, así como boyas de aguas profundas como la de Donosti, y mareógrafos en Pasaia, Bermeo y Bilbao es fundamental para las actividades

operativas de Euskalmet (Gaztelumendi et al 2022a). Los datos recopilados se utilizan no solo para la vigilancia de fenómenos adversos, sino también para la validación de modelos de oleaje y estudios de dinámica costera. Los sistemas de radar HF y videometría kostasystem complementan esta red, proporcionando información crítica sobre oleaje, impactos costeros y corrientes marinas que es esencial para la toma de decisiones operativas. (Liria et al 2014, 2021, Gaztelumendi et al 2022a,b).

Procesos de Comunicación y Decisión

El tercer pilar del sistema de acción temprana de Euskalmet es la comunicación y la toma de decisiones.

El personal encargado de la vigilancia y predicción del riesgo marítimo-costero opera bajo un sistema jerárquico de varios niveles de responsabilidad, con equipos trabajando 24/7. El nivel 1 se encarga de la vigilancia continua y la elaboración de productos predictivos, apoyado por el responsable de predicción en el nivel 2. Los niveles superiores incluyen al coordinador general (nivel 3), el director y responsable de emergencias (nivel 4), y el director de la DAEM (nivel 5). La comunicación entre turnos se realiza mediante briefings y

fichas de cambio que registran las incidencias más relevantes, asegurando la fluidez en la transmisión de información.

El proceso de toma de decisiones ante riesgos marítimo-costeros se basa en un análisis técnico de los diferentes indicadores de adversidad (Gaztelumendi et al 2023). Si no se prevé un evento adverso, se realiza un briefing ordinario donde se discuten las probabilidades de riesgo. Si se identifica un riesgo potencial, el nivel 2 puede escalar la decisión a un briefing de adversa, involucrando al nivel 3 y, eventualmente, al nivel 4, donde se valoran los detalles del evento y se ajustan los avisos, alertas o alarmas. En caso de alertas más graves, el nivel 4 colabora con otros agentes de la DAEM y el nivel 5 para tomar decisiones finales antes de emitir un comunicado oficial.

La toma de decisiones sigue una estructura jerárquica ascendente y secuencial, liberando a cada nivel una vez que su briefing con el nivel superior ha concluido. Este sistema asegura la eficiencia operativa y permite ajustes flexibles según la urgencia y complejidad de la situación. Además, si algún nivel no está disponible, la responsabilidad pasa al siguiente nivel, garantizando la continuidad del proceso. En situaciones imprevistas, nivel 1 tiene la potestad de tomar decisiones rápidas en coordinación con el I12 y emitir avisos especiales si es necesario.

Este proceso de briefings y de toma de decisiones se realiza en general por vía telefónica, y/o aplicación Teams (donde también se pueden visualizar los diferentes indicadores), y/o en reuniones presenciales dependiendo de las circunstancias. Se hace notar que las decisiones que se toman en los diferentes niveles son de carácter técnico basadas tanto en diferentes indicadores objetivos como en la visión, profundo conocimiento y experiencia de más de 20 años de servicio en los niveles 2, 3 y 4 (más de 15 años en promedio en nivel 1).

Una vez que se toma la decisión de comunicar un riesgo, es crucial que los mensajes sean emitidos a través del canal adecuado, en el momento oportuno y con contenido adaptado a la audiencia, que puede incluir autoridades de emergencia, medios de comunicación y el público en general (Gaztelumendi et al 2016). Con ese objetivo se disponen de diferentes canales incluidos, el telefónico, los e-mails, whatsapp, X, el sistema de avisos a la carta o la propia web. En función del tipo de situación se emiten notas de prensa y se hacen intervenciones especiales en radio y/o televisión. El protocolo de vigilancia y predicción de fenómenos adversos (GV 2023) establece los quién, cuándo y cómo en relación a la comunicación en situaciones de emergencias.

Conclusiones

El sistema de acción temprana de Euskalmet ha demostrado ser una herramienta efectiva para la mitigación de los impactos del cambio climático en la región marítimo-costera vasca. Su implementación operativa y los procesos de mejora continua vienen permitiendo y permitirán una respuesta proactiva ante eventos extremos, contribuyendo a la reducción de los

riesgos, la minimización del impacto y la adaptación al cambio climático.

La red océano-meteorológica del País Vasco, que incluye estaciones costeras, boyas de aguas profundas, mareógrafos, sistemas de radar HF y videometría, se ha consolidado como un elemento esencial para la vigilancia y el seguimiento en tiempo real de los eventos RMC. Esta red también proporciona datos valiosos para la investigación científica y la gestión integrada de la costa, contribuyendo al conocimiento del clima medio y extremo y facilitando la evaluación del impacto del cambio climático en nuestro territorio.

El sistema de acción temprana frente al riesgo marítimo-costero de Euskalmet, sustentado en un sistema de predicción robusto, una red extensa de monitorización en tiempo real y procesos de decisión y comunicación eficientes, representa una herramienta fundamental para abordar los desafíos del cambio climático en el País Vasco. La continua mejora e integración de tecnologías y fuentes de datos complementarias permitirán aumentar la precisión y la eficacia de este sistema, asegurando una respuesta adecuada ante los eventos extremos en el futuro. En ese sentido el sistema de acción temprana incorporará en un futuro próximas capacidades predictivas a partir de tecnologías IA-ML aplicadas tanto a la determinación de condiciones precursoras como del propio grado de impacto.

Agradecimientos

Nuestro más profundo agradecimiento a todas las instituciones que financian la red instrumental y otros servicios operativos, y en particular a la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología del Departamento de Seguridad de Gobierno Vasco. Así mismo nuestro más sincero reconocimiento a nuestro compañeros de AZTI con quién llevamos desarrollando e implementando en Euskalmet soluciones operativas en el ámbito marítimo-costero desde hace más de 20 años.

Referencias

- Castaño-Tierno A., Gómez de Segura J.D., R.Gelpi I., Gaztelumendi, S., 2024. Avances en la predicción de residuos y rebases en Euskalmet. Proceedings VI Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK. Irun, Spain. 23-24 octubre 2024.
- 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, 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., 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. AZTI*, 2020, 27(1)| p 62-65.
- 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>.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Ruiz, R., Diaz de Arcaya, A. Moreno, J., Liria, P., Gonzalez, M., Aranda, J.A. 2022c. 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., Egaña J., Gómez de Segura J.D. 2023: Diseño de un sistema de apoyo a la toma de decisiones mediante la incorporación de sistemas de monitoreo para la DAEM. *DELIVERABLE DC.6.1.4 LIFE IP URBAN KLIMA 2050*.
- Gaztelumendi, S., Egaña, J., Castaño-Tierno A., Liria P., Gonzalez M., Aranda, J.A. 2024. El nivel del mar en la costa vasca: caracterización y casos de estudio. *Proceedings VI Congreso transfronterizo sobre cambio climático y litoral UHINAK*. Irun, Spain. 23-24 octubre 2024.
- GV 2023. Protocolo de predicción, vigilancia y actuación ante fenómenos meteorológicos adversos. *Procedimiento DAEM. PE-005 V-12*. Departamento de seguridad. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/proto_meteo/es_proto/adjuntos/PE-005-Avisos-de-Meteorologia-Adversa-V12-es.pdf
- 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

The impact of the discharges from Wastewater Treatment Plants on coastal ecosystems in a context of global change

Revilla, Marta¹, Aspichueta, Elena², Fontán, Almudena¹, González, Manuel¹, Hernani, Francisco², Larreta, Joana¹, Laza-Martínez, Aitor^{3,4}, Sagarminaga, Yolanda¹ and Zorita, Izaskun¹

Keywords: Biscay, coast, water, temperature, phytoplankton, phenology

Introduction

In previous decades untreated wastewater discharges were the main source of substances of anthropogenic origin on European coasts, which harmed ecosystems in multiple aspects and in a very drastic way (for example, reducing oxygen availability in the water and preventing fish life). For this reason, different Community Directives have put efforts to regulate them and minimize their impact.

The continuous development and start-up of urban WWTPs (Wastewater Treatment Plants) have contributed to reduce microbial pollution and eutrophication. However, the effluents from WWTPs also exert some pressure on coastal ecosystems. The tools to evaluate their ecological impacts are available, but we need to collect data on multiple variables, and over several years, in the discharge areas to address these issues. The data series and their study are part of the Surveillance Plans of the WWTPs that allow managers to make informed decisions and comply with legislation.

The aim of this study was to employ those data series in combination with other sources of information to examine if long-term changes have occurred in the phytoplankton biomass and composition in a coastal area of the Bay of Biscay, and to identify possible causes related to the climate.

Materials and methods

Study area. Environmental and phytoplankton variables were examined along a land-ocean transect near Cape Matxitxako (Basque coast, southeastern Bay of Biscay). At

5 m depth, three stations named BAK were located near the discharge of the *Bakio* WWTP. Two further stations, at 35 m and 110 m depth, represented coastal waters (CW) and offshore waters (OW) respectively (Figure 1. Map of the study area showing the location of the discharge point of Bakio, the monitored stations and the Loiu meteorological observatory.). The WWTP discharges the urban waters of 6500 equivalent inhabitants at the same point at least since the beginning of the 2000s; the treatment removes solids and organic matter, but not nutrients.

Meteorological conditions. Using the longest series available from the observatory of *Loiu* (AEMET), the running average (arithmetic mean) was calculated with daily data of rainfall, temperature and insolation. In addition, the Kolmogorov-Zurbenko Adaptive (KZA) filter (Zurbenko et al., 1996) was applied with 1460 days and 6 iterations, using the software by González and Fontán (2013).

Water conditions. At the BAK stations, in a quarterly basis, a CTD was employed for the measurement of salinity, temperature, chlorophyll-a, oxygen and pH. Although the data were recorded at every meter throughout the water column, for this study only the surface data (-1 m) were used. Simultaneously, surface water samples were collected. In the laboratory, phytoplankton communities were analysed by the Utermöhl technique in subsamples from Station BAK-1 fixed with Lugol, while the three stations were analysed for inorganic nutrients with an autoanalyzer using colorimetric methods, and for turbidity with a turbidimeter. In addition, satellite daily data of surface chlorophyll-a and temperature were obtained at the CW and OW stations from MODIS-AQUA sensor 4 km; the OC5 bio-optical algorithm was used for chlorophyll-a (Gohin et al., 2002). To explore temporal trends, in Microsoft Excel a simple linear regression (least squares) was applied to the annual geometric mean *versus* the year and the goodness of fit was based on the r^2 and the T distribution. The statistical analyses were conducted for each month separately and for the entire year.

Results and discussion

On a decadal scale, the KZA analysis indicates a slight increase in rainfall at the end of the 2000s, while in the 2010s atmospheric temperature increased and cloud cover decreased. In this context, the years 2022 and 2023 had more moderate rainfall values and were the warmest and sunniest, as indicated

¹ AZTI, Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110 Pasaia, Spain.

² Galindo WWTP Laboratory, Bilbao Bizkaia Water Consortium, Maesue Jose z/g, 48910 Sestao, Spain.

³ Department of Plant Biology and Ecology, Faculty of Science and Technology, University of the Basque Country, UPV/EHU, 48940 Leioa, Spain.

⁴ Research Centre for Experimental Marine Biology and Biotechnology (Plentzia Marine Station; PiE-UPV/EHU), University of the Basque Country, Plentzia, Spain.

E-mail contact: mrevilla@azti.es

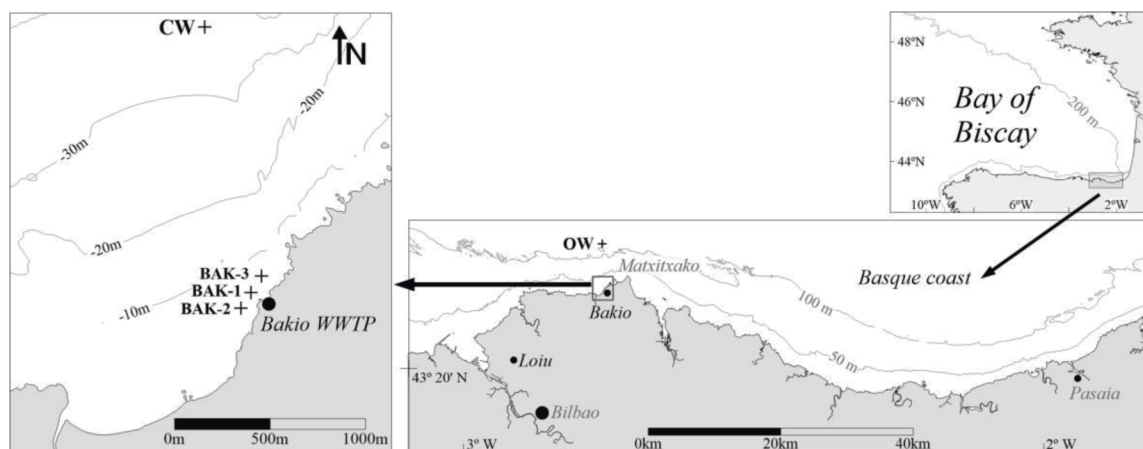


Figure 1. Map of the study area showing the location of the discharge point of *Bakio*, the monitored stations and the *Loiu* meteorological observatory.

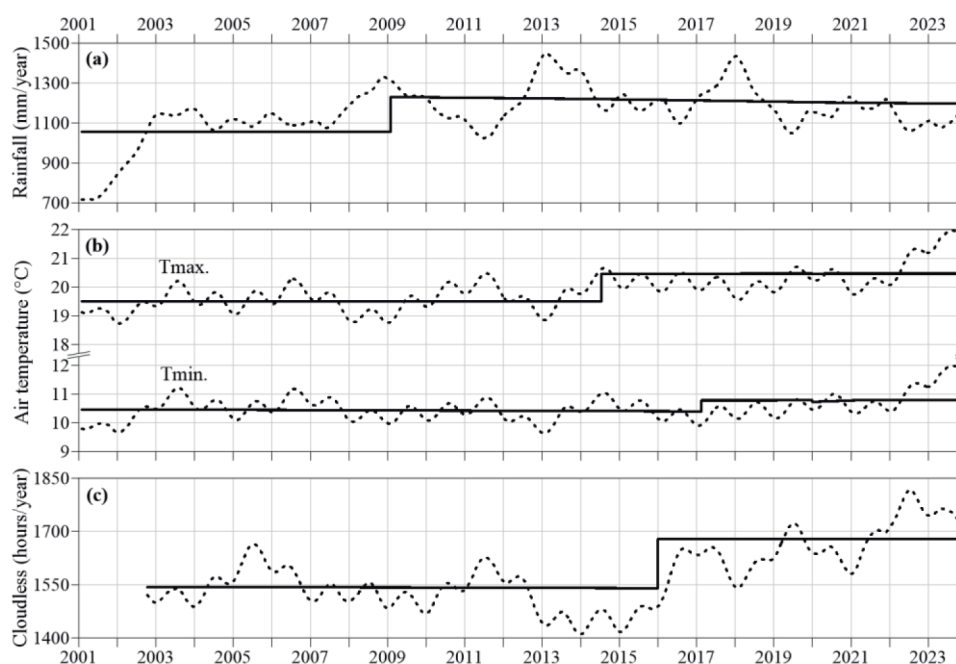


Figure 2. Annual running average (dotted line) and KZA (bold line) applied to daily data of (a) total precipitation, (b) maximum and minimum temperature, and (c) hours of sunshine, registered at the *Loiu* meteorological observatory during the last 21-23 years.

by the running average (Figure 2. Annual running average (dotted line) and KZA (bold line) applied to daily data of (a) total precipitation, (b) maximum and minimum temperature, and (c) hours of sunshine, registered at the *Loiu* meteorological observatory during the last 21-23 years.).

In the *Bakio* discharge area phytoplankton blooms were detected during the spring campaign from 2014 to 2018 (Figure 3. The abundance of phytoplankton at Station BAK-1 during the spring campaigns. Community abundance is the sum of all taxonomic groups (cryptophytes, haptophytes, diatoms, dinoflagellates, chlorophytes and others).a). Afterwards, a substantial reduction in the abundance of small flagellates

(cryptophytes and haptophytes) and diatoms occurred (Figure 3. The abundance of phytoplankton at Station BAK-1 during the spring campaigns. Community abundance is the sum of all taxonomic groups (cryptophytes, haptophytes, diatoms, dinoflagellates, chlorophytes and others).b, c).

As shown in Table 1. Results obtained in the linear regression analyses with surface chlorophyll-a and sea surface temperature, using the annual geometric mean versus the year. Among the analyses conducted separately for each month, only those that employed data from May are shown. BAK includes the data of the three surveyed stations in the *Bakio* discharge area; CW: Coastal waters; OW: Offshore

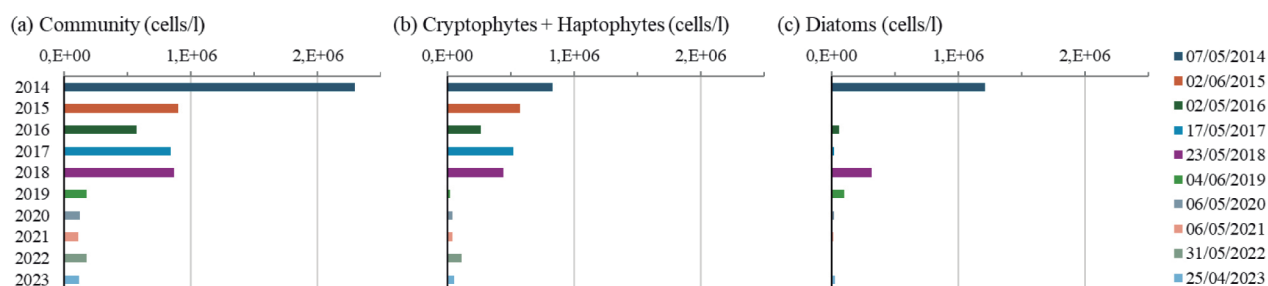


Figure 3. The abundance of phytoplankton at Station BAK-1 during the spring campaigns. Community abundance is the sum of all taxonomic groups (cryptophytes, haptophytes, diatoms, dinoflagellates, chlorophytes and others).

Table 1. Results obtained in the linear regression analyses with surface chlorophyll-a and sea surface temperature, using the annual geometric mean *versus* the year. Among the analyses conducted separately for each month, only those that employed data from May are shown. BAK includes the data of the three surveyed stations in the *Bakio* discharge area; CW: Coastal waters; OW: Offshore waters.

Series	Period	Data acquisition	Station	Chlorophyll-a				Sea temperature			
				n	Slope ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$)	r^2	p	n	Slope ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{year}^{-1}$)	r^2	p
May	2014-2022	≤1 per year, CTD	BAK	7	-0.046	0.66	0.026	7	0.036	0.01	0.821
	2007-2023	Daily, Satellite	CW	15	-0.063	0.43	0.008	21	0.017	0.02	0.544
	2003-2023	Daily, Satellite	OW	21	-0.008	0.13	0.115	21	0.014	0.01	0.693
Whole year	2014-2023	Quarterly, CTD	BAK	10	-0.016	0.09	0.408	10	-0.009	0.00	0.850
	2007-2023	Daily, Satellite	CW	16	-0.017	0.25	0.047	21	0.033	0.17	0.060
	2003-2023	Daily, Satellite	OW	21	-0.002	0.03	0.425	21	0.038	0.28	0.014

waters., the chlorophyll concentration registered in May followed a significant decreasing trend, both with the CTD data obtained in the *Bakio* area ($p<0.05$) and with the satellite data obtained at Station CW ($p<0.01$). Using the whole year data series, chlorophyll also decreased at Station CW, and sea temperature increased at Station OW ($p<0.05$). Besides, in the *Bakio* area phytoplankton abundance decreased significantly, both in May ($p<0.05$) and annually ($p<0.01$). Although no other environmental variables presented significant trends in the May and the whole year series, it is worth noting that sea temperature increased in February (Station CW) and in February, March and April (Station OW) ($p<0.05$).

Along the Basque coast, the central area presents lower anthropogenic nutrient pressure (Borja et al., 2006), together with higher energy and some upwelling activity near Cape Matxitxako (Borja and Collins, 2004). For those reasons, the influence of the oceanic processes may be more easily distinguished in this particular area, that in other zones along the coast (e.g., near the ports of Bilbao and Pasaia).

The results obtained with the May data indicate that during the last two decades the phytoplankton biomass and abundance have been decreasing in mid spring, although this trend is only observed in coastal waters, not offshore. There is no evidence of a reduction of the anthropogenic nutrient loads during

these years. Therefore, in this area, an effect related with the warming of the ocean could be hypothesized. This effect could be due to hydrographical processes such as upwelling intensity or thermocline formation (i.e., bottom-up control), or to biological processes such as grazing (top-down control).

Conclusions

Meteorological and hydrographical factors must be taken into consideration when assessing the impacts of the urban effluents on the ecological state. In coastal areas where physicochemical and biological elements are responding to global phenomena, the effect of local management interventions could be masked.

In turn, the marine data series resulting from the Surveillance Plans of the WWTPs can give rise to scientific hypotheses and provide information on aspects that were not initially considered in the Plans, such as the effects of global warming on ecological processes.

Further studies with other stations from the central area of the Basque coast could help to understand the trends of physicochemical and phytoplankton variables in the Bay of Biscay.

References

- Borja, Á. and Collins, M. 2004. Oceanography and Marine Environment of the Basque Country. Amsterdam, The Netherlands. Elsevier Oceanography Series, 70. 616 p.
- Borja, Á., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E.M., Uriarte, A. and V. Valencia. 2006. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66: 84-96. DOI: [10.1016/j.ecss.2005.07.021](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.07.021).
- Gohin, F., Druon, J.N., Lampert, L. 2002. A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *International Journal of Remote Sensing* 23: 1639-1661. DOI: [10.1080/01431160110071879](https://doi.org/10.1080/01431160110071879).
- González, M. and Fontán, A. 2013. Filtros digitales para suprimir la variabilidad estacional y plurianual en series climáticas de datos. *Revista de Investigación Marina, AZTI* 20: 71-76.
- Zurbenko, I., Porter, P.S., Gui, R., Rao, S.T., Ku, J.Y. and Eskridge, R.E. 1996. Detecting Discontinuities in Time Series of Upper-Air Data: Development and Demonstration of an Adaptive Filter Technique. *Journal of Climate* 9: 3548-3560. DOI: [10.1175/1520-0442\(1996\)009<3548:DDITSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<3548:DDITSO>2.0.CO;2).

Acknowledgements

The authors would like to thank AZTI staff for their valuable assistance in the samples processing, and also COPERNICUS for making the satellite data publicly available, and AEMET for the meteorological data. The acquisition of the water quality data was founded by the Bilbao Bizkaia Water Consortium through the project IM-24-CONSOR. This study contributes to the state-of-the-art objective of the Horizon Europe GES4SEAS project (Achieving Good Environmental Status for maintaining ecosystem services by assessing integrated impacts of cumulative pressures; grant agreement no. 101059877; www.ges4seas.eu).

Evaluación de los Servicios de los Ecosistemas que ofrecen las áreas recreativas costeras de Bizkaia

Peña, Lorena¹, Ametzaga-Arregi, Ibone¹

Palabras clave: especies autóctonas, *i-Tree canopy*, recreo, vegetación, usos del suelo

Introducción

Las áreas recreativas han sido configuradas como espacios especiales acondicionados para el descanso y el ocio de las personas que los visitan, donde se facilita un encuentro con la naturaleza en un ambiente tranquilo y relajado. Además, están dotadas de diferentes equipamientos (aparcamientos, asadores, mobiliario, papeleras, fuentes...) que facilitan el disfrute del entorno, así como rutas y visitas que pueden realizarse en un entorno cercano. Sin embargo, estas áreas además de proveer de beneficios sociales a la población, como el recreo y el ocio de los usuarios, también proveen de importantes beneficios ambientales como, por ejemplo, la regulación del clima mediante el secuestro y almacenamiento de CO₂ que realiza, sobre todo, el arbolado; la eliminación de contaminantes del aire, lo que permite una regulación de la calidad del mismo; la regulación hídrica mediante la absorción de agua que realizan las raíces, lo que evita que esa agua se pierda por escorrentía superficial; la fertilidad del suelo, mediante la acumulación de carbono en sus suelos; el mantenimiento del hábitat, ya que proveen de hábitat de calidad a una gran cantidad de especies; la polinización, ya que esos hábitats permiten que aniden diferentes tipos de polinizadores; el control de la erosión mediante la sujeción del suelo por las raíces de la vegetación; la amortiguación de las elevadas temperaturas, sobre todo, en verano, dando sombra y enfriando el ambiente para los usuarios; y la protección de la costa, principalmente aquellas áreas recreativas que se encuentran en el litoral.

Bizkaia cuenta con áreas recreativas enclavadas en variados rincones de su territorio, las cuales son gestionadas por la Diputación Foral de Bizkaia y los correspondientes ayuntamientos. Estas áreas se han consolidado como una de las principales alternativas de ocio y tiempo libre durante todo el año y se clasifican en cuatro tipos dependiendo del carácter del municipio en el que se ubiquen: costeras, rurales, urbanas o de montaña. En Bizkaia existen 24 municipios costeros, en 8 de los cuales se pueden encontrar áreas recreativas con diferentes tipos de vegetación y usos del suelo. Esa vegetación ofrece importantes servicios de los ecosistemas a la población, aunque en algunos casos esos servicios pueden mejorarse en función de las características de la vegetación (diversidad de especies, que las especies sean autóctonas, etc.) y de las infraestructuras presentes (observatorio de aves, paneles informativos, etc.). Así, el objetivo de este estudio es identificar y

cartografiar los usos del suelo y la vegetación que existen en once áreas recreativas costeras de Bizkaia, así como calcular la cantidad de cada uno de los servicios que los ecosistemas están proveyendo a la población. Además, se proponen actuaciones para mejorar la provisión de los servicios de los ecosistemas que peor valoración han obtenido en cada una de las áreas recreativas analizadas.

Materiales y métodos

Las once áreas recreativas analizadas se encuentran localizadas en diferentes municipios costeros (Figura 1), situadas a distintas distancias de la costa y con un rango de tamaños que va desde 0.03 ha, siendo el área recreativa de Otoio en Ispaster la más pequeña hasta 12.79 ha, la más grande, que se corresponde con el área recreativa del Pinar de Gorliz (Tabla 1).

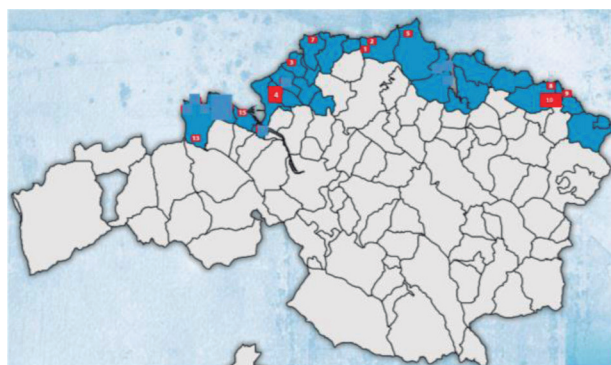


Figura 1. Localización de las áreas recreativas costeras analizadas

Para cartografiar los usos del suelo y la vegetación que existen en cada una de las áreas recreativas se han utilizado las ortofotos más actualizadas disponibles en Geoeuskadi y el Inventario Forestal de Euskadi (GV, 2022) para su análisis en un Sistema de Información Geográfica (GIS). Los usos del suelo identificados fueron: Agua, Árbol, Arbustos, Artificial, Bosque, Plantación, Pradera y Suelo desnudo. Así, se creó una capa de usos de suelo y vegetación en la que se calcularon 9 servicios de los ecosistemas, 8 servicios de regulación: regulación climática, regulación de la calidad del aire, regulación hídrica, mantenimiento del hábitat, control de la erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo, polinización y amortiguación de las elevadas temperaturas; 1 servicio cultural: recreo/disfrute estético del paisaje.

Para calcular los servicios de regulación climática, regulación de la calidad del aire y regulación hídrica se utilizó el software *i-Tree canopy*, con el que se calcularon los siguientes indicadores: 1) Regulación climática: CO₂ secuestrado (t/año) y almacenado (t); 2) Regulación de la calidad del aire: cantidad

¹Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
E-mail: lorena.pena@ehu.eus

de cada contaminante (NO_2 , O_3 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , Total) que se elimina de la atmósfera al año (kg/año); 3) Regulación hídrica: escurrimiento evitado (m^3). El número de puntos que se utilizó para estos cálculos estaba relacionado con la superficie que ocupaba cada una de las áreas.

Para calcular los servicios de mantenimiento del hábitat, polinización, control de la erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo, amortiguación de las elevadas temperaturas y recreo/disfrute estético del paisaje se utilizaron los indicadores desarrollados dentro del proyecto “Evaluación de los Servicios de los ecosistemas de Euskadi” otorgándole valores de Alto, Medio o Bajo, excepto para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, en el que se calculó el valor. Así, los indicadores utilizados para cada servicio son los siguientes: 1) Mantenimiento del hábitat: calidad del hábitat; 2) Polinización: índice de abundancia probable de polinizadores anidando en cada zona; 3) Control de la erosión: pérdida de suelo; 4) Mantenimiento de la fertilidad del suelo: cantidad de carbono orgánico que hay en los primeros 30 cm del suelo (t); 5) Amortiguación de las elevadas temperaturas: porcentaje de superficie arbolada; 6) Disfrute estético del paisaje: naturalidad y diversidad de paisajes.

Resultados y discusión

Las áreas recreativas costeras analizadas se caracterizan por poseer un elevado porcentaje de praderas y de bosque natural (bosque mixto o encinar). Sin embargo, algunas áreas recreativas como, la de Ogella (Ispaster) o Rebotun (Muskiz) poseen un porcentaje muy elevado de plantaciones forestales de especies exóticas (pino radiata (68.1%) y eucalipto (28.4%), respectivamente) o de suelo desnudo y artificializado, como es el caso de Las Baterías (Getxo) (13.3%) y Barrika (37.5%), respectivamente (Tabla 1). La presencia de vegetación, sobre todo de arbolado, en las zonas costeras es imprescindible para hacer

frente a los efectos del cambio climático, como son la subida del mar o el aumento de las temperaturas y de los fuertes vientos que provienen del mar. Para finales de siglo en el Golfo de Bizkaia, se espera que el nivel del mar ascienda entre 50 y 80 centímetros, lo que conlleva a un 12% más de superficie en riesgo de inundaciones para el año 2050 (AZTI, 2023).

En relación con los servicios de los ecosistemas evaluados se observa que todas las áreas recreativas poseen un servicio de recreo/disfrute estético del paisaje medio-alto, como era de esperar, ya que es uno de los principales objetivos de estas áreas. Sin embargo, es importante considerar que estas áreas además están secuestrando al año unas 90 toneladas de CO_2 y almacenando 2.130 toneladas de ese mismo gas, lo que ayuda a reducir los efectos del cambio climático (Tabla 2). En el último siglo, las actividades humanas han aumentado la concentración atmosférica de CO_2 , el cual es una Gas de Efecto Invernadero (GEI), lo que ha contribuido al calentamiento global del planeta, y aunque según los datos del último Inventario de GEI de Euskadi, Bizkaia ha reducido sus emisiones en un 26% desde 2005 (IHOBE, 2021), sigue siendo necesario aplicar Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para reducir esos efectos.

Además, estas áreas recreativas están eliminando de media 605 kg de contaminantes del aire y evitando que se pierda por escurrimiento 448 m^3 de agua, lo que ayuda a mejorar la calidad del aire y a reducir la erosión del suelo. Por último, estas áreas están acumulando 862 toneladas de carbono en sus suelos y ofreciendo un servicio de mantenimiento del hábitat, polinización, control de la erosión y amortiguación de las elevadas temperaturas medio-alto en un elevado porcentaje (73%, 37%, 46% y 55%, respectivamente). Según diferentes estudios, la ubicación estratégica del arbolado urbano ayuda a reducir el efecto isla de calor de 2-8°C, siendo el tamaño mínimo de un “Cool Space” de 0.02 ha (Kluck et al., 2020) y la distancia máxima entre ellos de 0.3 km (Nuijten, 2008). Por lo

Tabla 1. Usos del suelo presentes en las áreas recreativas costeras de Bizkaia (%).

Áreas recreativas	Municipio	Área (ha)	Árboles, nº de indiv. (Área, m^2)	Bosque mixto (%)	Encinar (%)	Plantación forestal (%)	Arbusto (%)	Pradera (%)	Suelo desnudo (%)	Artificial (%)
Goitisolalde (Larrondo)	Bakio	0.28	8 (161)	66.1	-	-	-	28.2	-	-
Jata	Bakio	1.41	14 (1.614)	36.0	-	-	-	45.3	1.4	5.9
Barrika	Barrika	2.05	44 (875)	-	-	-	0.3	50.0	8.0	37.5
Lurgorri	Bermeo	0.82	11 (226)	-	-	-	0.9	80.9	3.2	12.3
Las Baterías	Getxo	0.40	20 (312)	-	-	-	2.8	73.9	13.3	2.1
El Pinar	Gorliz	12.79	135 (5.832)	52.6	-	-	0.3	38.8	-	3.7
Ogella	Ispaster	0.23	3 (61)	6.2	-	68.1	-	18.9	-	4.1
Otoio	Ispaster	0.03		-	76.5	-	-	23.5	-	-
Talaia	Ispaster	0.28	23 (227)	-	53.8	-	-	37.8	-	0.2
Rebotun	Muskiz	1.04	3 (206)	-	-	28.4	-	65.3	-	4.3
Serantes	Santurtzi	0.33	2 (161)	-	-	-	-	61.0	-	2.7

Tabla 2. Cálculo de los Servicios de los Ecosistemas que ofrecen las áreas recreativas costeras de Bizkaia.

Áreas recreativas	Secuestro (t/año de CO ₂)	Almacén (t/año de CO ₂)	Eliminan contamin (kg/año)	Evita perder agua por escorrentía (m ³)	t de C en suelo	Calidad hábitat	Poliniza	Control erosión	% árbol	Recreo /paisaje
Goitisolalde (Larrondo)	2.4	59.9	16	52.6	4.9	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto
Jata	5.7	14.2	38.1	125.0	76	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Barrika	1.8	45.8	12.3	40.2	45.8	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Lurgorri	0.1	2.7	0.7	2.4	0.1	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Las Baterías	1.2	31	8.3	27.2	0	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
El Pinar	69.7	1.751.30	469.2	1.5	641.4	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto
Ogella	1.8	45.7	12.3	40.2	10.4	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
Otoio	0.23	5.7	1.5	4.97	0.9	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto
Talaia	2.1	52	13.9	45.7	11.1	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Rebortun	3.2	81.3	21.8	72.5	57	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Medio
Serantes	1.6	40.7	10.9	35.8	14.1	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Alto

que estas áreas recreativas pueden ser incorporadas dentro de la Infraestructura Verde del municipio como *Stepping Stones* fortaleciendo la continuidad de la misma.

Finalmente, aunque las áreas recreativas costeras ofrecen relevantes servicios a la sociedad, se proponen llevar a cabo ciertas actuaciones o SbN para mejorar dichos servicios como, por ejemplo, aumentar el número de árboles y arbustos de especies autóctonas y su diversidad, así como sustituir progresivamente las especies alóctonas por autóctonas. Se aconseja alcanzar un 60% de cobertura arbórea en la que exista un equilibrio entre las especies de diferentes portes, capacidades y funcionalidades y una diversidad razonable de especies, géneros y familias. La regla de Santamour indica que ninguna especie debe sobrepasar el 10% de frecuencia, ningún género el 20% y ninguna familia el 30%. Las especies autóctonas que se aconsejan utilizar teniendo en cuenta la provisión de SE y diservicios que proporcionan en entornos urbanos/periurbanos en Euskadi, al igual que en otras partes de Europa (Hirons & Sjöman, 2019) son *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium*, *Acer campestre*, *Populus nigra*, *Tilia platyphyllos*, *Acer pseudoplatanus*, *Quercus robur*, *Sorbus aucuparia*, *Ulmus minor*, *Corylus avellana*, *Ulmus glabra*, *Arbustus unedo*, *Laurus nobilis*, *Castanea sativa*, *Ilex aquifolium*, *Quercus ilex*, *Taxus baccata*, *Alnus glutinosa*, *Salix atrocinera* y *Quercus faginea*. Además, se aconseja diversificar los estratos añadiendo setos, praderas, árboles y arbustos y minimizando las áreas impermeables, así como realizar las siegas mediante pastoreo, crear refugios para la fauna mediante la instalación de cajas nido, hoteles de insectos o dejando árboles muertos en el suelo e instalar paneles informativos u observatorios de aves, que ayuden a mejorar el servicio de educación ambiental. En el caso de Otoio y Talaia, no se propone realizar ninguna actuación, porque en relación con la provisión de servicios de los ecosistemas se encuentran en buen estado.

Conclusiones

En conclusión, las áreas recreativas costeras de Bizkaia además de ofrecer un servicio de recreo y disfrute del paisaje, ofrece importantes beneficios a la población, ayudándoles a mejorar su resiliencia frente a los efectos del cambio climático. A pesar de la relevancia de estos beneficios, en algunas áreas recreativas se ha observado la necesidad de sustituir las especies exóticas de crecimiento rápido por especies autóctonas, así como de aumentar el arbolado en las zonas de suelo desnudo o en las zonas de pradera para mejorar la provisión de los servicios de los ecosistemas.

Referencias

- AZTI, 2023. Memoria de cambio climático marino. <https://www.azti.es/productos/memoria-de-cambio-climatico-marino/>
- Hirons, A.D., Sjöman, H., 2019. Tree Species Selection for Green Infrastructure: A Guide for Specifiers, Issue 1.3. Trees & Design Action Group. ISBN: 978-0-9928686-4-2.
- IHOBE, 2021. Inventario de GEI de Euskadi. <https://www.ihobe.eus/publicaciones/inventario-emisiones-gases-efecto-invernadero-euskadi-2021>
- Kluck, J., Klok, L., Solcerová, A., Kleerekoper, L., Wilschut, L., Jacobs, C., Loeve, R., 2020. De hittebestendige stad, Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte, Hogeschool van Amsterdam.
- Nuijten, D., 2008. Dwingend vergroenen: Onderzoek naar de toepassing van het richtgetal van 75 m2 groen per woning uit de Nota Ruimte en de relatie met de kwaliteit van het groen in de stad. Afstudeerscriptie Sociaal-Ruimtelijke Analyse, SAL-80436, Wageningen Universiteit.

Reconocimientos

Las autoras 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”.

Criterios de actuación de la Dirección de Salud Pública del Gobierno Vasco frente a carabelas portuguesas en verano de 2023 en Euskadi

García, Iván¹, Larbide, Gema², Jiménez, Cristina², Mendikute, Lide³, Yarzabal, Asun⁴, Juaristi, Ana⁴, Tolosa, Elena⁵, Miguelez, José María⁶, Ortiz de Salido, Cristina⁶, Hernández, Raquel⁷

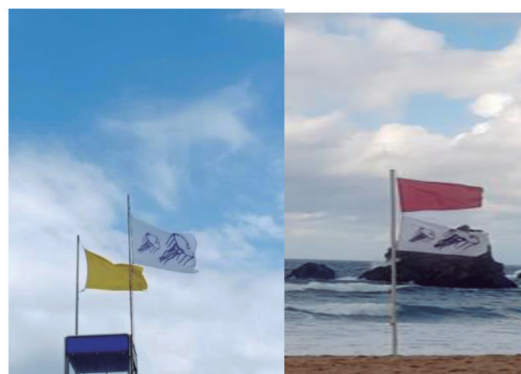
Palabras clave: Carabela, portuguesa, playas, avisos, criterios, Euskadi

Introducción

La carabela portuguesa (*Physalia physalis*) es un cnidario de la clase Hydrozoa, especie pelágica típica de las aguas templadas del Atlántico que se mueve a merced de las corrientes superficiales y del viento. Se reconoce fácilmente por la prominente burbuja flotante, llena de gas azul o violeta, que sostiene las células urticantes de los tentáculos (nematocistos). Los tentáculos pueden alcanzar una longitud de hasta 10 m. Su peligrosidad para la salud humana es elevada, el contacto con sus tentáculos puede tener consecuencias graves que en algunos casos pueden requerir atención hospitalaria. Las picaduras pueden producir quemazón, dolor vivo, laceraciones en la piel y otras afecciones incluido shock anafiláctico. (World Health Organization; Amato G et al; Montgomery M et al)

Su aparición es habitual en zonas de baño otras latitudes, aunque se han constatado en ocasiones en el Golfo de Bizkaia (Labadie et al). Durante la temporada 2023, se notificaron avistamientos y afecciones a personas usuarias de playas por carabelas portuguesas en las costas del Golfo de Bizkaia. Las zonas de baño de Euskadi Bizkaia y Gipuzkoa fueron afectadas en gran medida desde inicios de julio hasta finales de agosto. Esto llevó desde la Dirección de Salud Pública y Adicciones

del Departamento de Salud del Gobierno Vasco a publicar el 12/07/2023 unos criterios de actuación en las zonas de baño de Euskadi que se actualizaron el 11/08/2023 (Dirección Salud Pública y Adicciones). En estos criterios se establecía un protocolo de actuación, un sistema de comunicación de riesgo a las personas usuarias (aviso con bandera específica a tras el avistamiento de 1 ejemplar), medidas de protección de los usuarios (prohibición de baño tras una picadura o el avistamiento de 5 ejemplares) y un canal de comunicación de los incidentes. En ese periodo se mantuvieron reuniones y comunicación permanente tanto con los gestores de zonas de baño como con personal científico de AZTI. No se recordaba un episodio similar desde el verano de 2011 en Euskadi.



¹ Subdirección de Salud Pública y Adicciones. Delegación Territorial Bizkaia. Departamento de Salud Gobierno Vasco, Alameda Recalde 39, A 48008 Bilbao, Bizkaia, Spain.

² Comarca de Salud Pública de Bidasoa. Subdirección de Salud Pública y Adicciones. Delegación Territorial Gipuzkoa. Departamento de Salud Gobierno Vasco, Nafarroa etorbidea, 41 20302- Irun, Gipuzkoa, Spain.

³ Subdirección de Salud Pública y Adicciones. Delegación Territorial Gipuzkoa. Departamento de Salud Gobierno Vasco., Nafarroa Etorbidea 4 - 20013 Donostia / San Sebastian, Gipuzkoa, Spain.

⁴ Dirección de Salud y Medio Ambiente. Ayuntamiento de Donostia-San Sebastián, Mandasko Dukearen pasealekua, 66 - Cristina-enea 20012 Donostia / San Sebastián, Gipuzkoa, Spain

⁵ Comarca de Salud Pública Urola, Salbide, 10- Planta 1 Zarautz, Gipuzkoa., Spain

⁶ Dirección de Salud Pública y Adicciones. Departamento de Salud del Gobierno Vasco, Donostia-San Sebastian, 1 Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain.

⁷ Subdirección de Salud Pública y Adicciones. Delegación Territorial Araba. Departamento de Salud Gobierno Vasco., Santiago kalea-11; 01002 Vitoria-Gasteiz, Araba, Spain.

E-mail: ivan-garcia@euskadi.eus



Figura 1. Sistemas de aviso utilizados en las playas e imagen de carabelas tomadas de

Materiales y métodos

Se han analizado las notificaciones realizadas por el personal de salvamento y socorrismo y ciudadanía a través del Servicio SOS – DEIAK a los Técnicos de Salud Pública en el Servicio de Emergencias de la Dirección de Salud Pública y Adicciones del Departamento de Salud del Gobierno Vasco.

Resultados y discusión

Los resultados recabados por el sistema de avisos fueron los siguientes:

Tabla 1. Avisos recogidos en el sistema de Emergencias de Salud Pública

	BIZKAIA	GIPUZKOA	TOTAL
Fecha de inicio	2023/07/12	2023/07/13*	2023/07/12
Fecha fin	2023/08/30	2023/08/28	2023/08/30
Nº de avisos registrados	196	45	241
Avisos por Nº de avistamientos	164	19	183
Nº ejemplares avistados	488	103	591
Avisos por Picaduras	32	26	58
Personas con picaduras	36	31	67
Traslado médico (o atención en centro sanitario)	6	4	10
Activación protocolo de aviso	142	26	168
Situaciones de Baño Prohibido	49	22	71

*En Gipuzkoa se constataron 7 picaduras antes de iniciar el sistema de avisos desde el 8/07/2023.

De las 67 personas con picaduras notificadas, 10 requirieron traslado de una ambulancia o a un centro sanitario lo que representa un 15% de las atenciones. Estos casos fueron dados de alta a las pocas horas, habiendo un único caso que precisó pasar una noche en observación. No consta ningún caso de reacciones anafilácticas.

Conclusiones

1. Los criterios implantados en 2023 han permitido recabar información sobre las afecciones a las personas usuarias en las playas de Euskadi y las limitaciones o restricciones al baño realizadas.
2. El porcentaje de usuarios que requirieron atención sanitaria adicional a la prestada por los servicios de salvamento y socorrismo tras picadura fue de un 15 %.
3. Se observa un porcentaje mayor de avisos por picaduras (57%) en Gipuzkoa que en Bizkaia (16%), lo que sugiere que en los avisos al sistema de emergencias en Gipuzkoa se priorizaron las picaduras frente a los avisos por avistamiento. El número de personas con picaduras es similar en los 2 territorios.
4. Hubo 71 situaciones en las que se prohibió el baño por el avistamiento de más de 5 ejemplares de carabelas y/o picaduras en los aproximadamente 40 días en los que se detectó presencia, una media de menos de 2 prohibiciones de baño por día.
5. La colaboración entre las Administraciones competentes a nivel autonómico, foral y local, los servicios de salvamento y socorrismo, y entidades científicas como AZTI es necesaria para anticipar riesgos, adoptar medidas de protección adecuadas y proporcionales y comunicar a la ciudadanía.

Referencias

- Amato G, et al (2020) Jellyfish anaphylaxis: A wide spectrum of sensitization routes Allergy Asthma Proc 41:158–166.
- Azti, Euskalmet, Departamento de Seguridad Gobierno Vasco (2013): Guía de identificación de medusas. https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/campanas_repositorio/es_doc/adjuntos/Ficha_identif_medusas_cas.pdf
- Dirección de Salud Pública y Adicciones. Departamento de Salud. Gobierno Vasco (2023) Criterios de actuación ante avistamiento y picaduras de carabelas portuguesas.
- Labadie M, et al Al(2012) Portuguese man-of-war (*Physalia physalis*) envenomation on the Aquitaine Coast of France: An emerging health risk.
- Montgomery L et al (2016). To pee, or not to pee: a review on envenomation and treatment in European jellyfish species. Mar Drugs. 14(7):127
- WHO (World Health Organization) (2021) Guidelines on recreational water quality. Volume 1 Coastal and Fresh Waters. Aesthetic and nuisance chapter 9.

Reconocimientos

Los autores agradecen a los investigadores de AZTI Javier Franco y Luis Ferrer por su disponibilidad y asesoría y al personal de salvamento y socorrismo de las playas de Euskadi por su colaboración en estos episodios.



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

/ www.azti.es

