

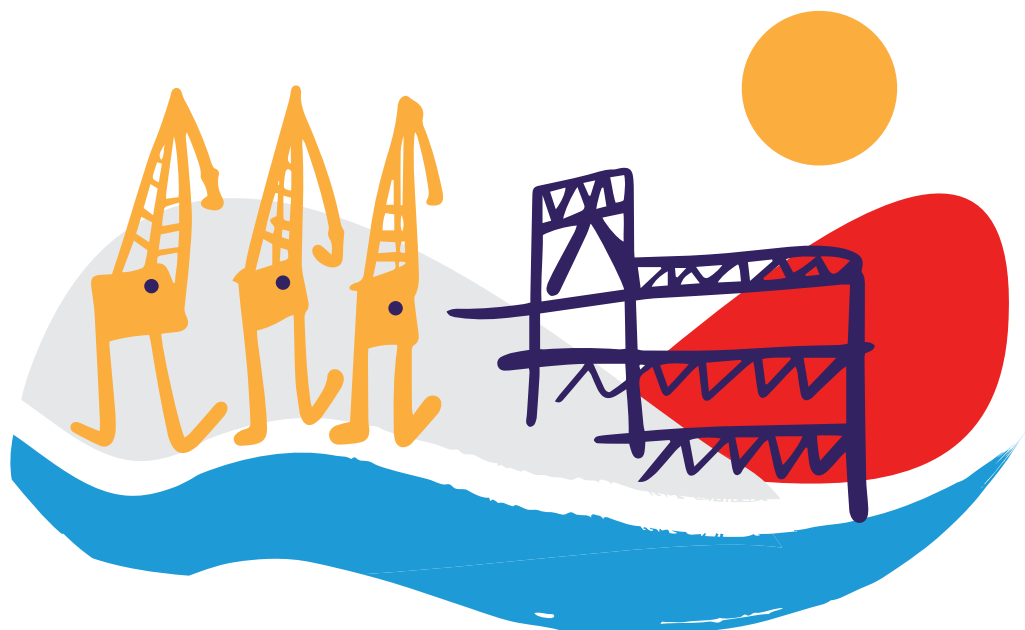
XVIII JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE

COSTAS Y PUERTOS

Huelva, 13 y 14 de mayo del 2026

— HOTEL BARCELÓ - PUNTA UMBRÍA —

LIBRO DE RESÚMENES



XVIII Jornadas españolas de ingeniería de Costas y Puertos

Libro de resúmenes

Huelva, 13 y 14 de mayo de 2026

Editora científica

M. Esther Gómez-Martín

Congresos UPV

Libro de resúmenes: XVIII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos

Editora científica

M. Esther Gómez-Martín

© de los textos: los autores

© 2026 Editorial Universitat Politècnica de València

www.lalibreria.upv.es / Ref.: 2045_07_01_01

Las actas completas de este congreso se publicarán en la Editorial de la
Universitat Politècnica de València con ISBN: 978-84-1396-434-8

Imprime: Byprint Percom, sl

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo edicion@editorial.upv.es.

Impreso en España



XVIII JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE

COSTAS Y PUERTOS

Huelva, 13 y 14 de mayo del 2026

— HOTEL BARCELÓ - PUNTA UMBRÍA —

COMITÉS

Comité Permanente

Secretario Permanente: Raúl Medina Santamaría, Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria

Ignacio Martínez Pérez. Puertos del Estado

Ana Patricia García Fletcher, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

M. Esther Gómez Martín, Universitat Politècnica de Valencia

José Manuel González Herrero, ACCIONA Ingeniería, S.A.

José María Grassa Garrido, CEDEX

Josep Ramon Medina Folgado, Universitat Politècnica de Valencia

Adolfo Uriarte Villalba, Dirección de Patrimonio Natural y Cambio Climático

Comité Organizador

Presidentes

Alberto Santana Martínez. Presidente, Autoridad Portuaria de Huelva

Lucas Guerrero Guerrero. Jefe del Servicio Provincial de Costas en Huelva (en atribución temporal de funciones)

Vocales

Alfonso Peña López-Pazo. Director, Autoridad Portuaria de Huelva

Juan Manuel Medina Torres. Decano de la Demarcación de Andalucía, Ceuta y Melilla
del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Patricio Poulet Brea. Jefe de la Demarcación de Costas Andalucía - Atlántico



XVIII JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE

COSTAS Y PUERTOS

Huelva, 13 y 14 de mayo del 2026

— HOTEL BARCELÓ - PUNTA UMBRÍA —

TEMAS

Las Jornadas Españolas de Puertos y Costas constituyen un foro técnico y científico en el que se abordan los principales retos que afrontan las zonas costeras y portuarias desde una perspectiva multidisciplinar. En esta edición, se anima a los participantes a presentar trabajos que contribuyan al avance del conocimiento y la práctica en campos como el análisis del clima marítimo y la oceanografía física, el comportamiento y diseño de estructuras marítimas, o la dinámica y gestión de los procesos litorales. Asimismo, se invita a reflexionar sobre el impacto ambiental de las actividades portuarias y costeras, así como sobre estrategias para preservar la calidad del medio marino. El contexto del cambio climático y los eventos extremos plantea la necesidad de fortalecer la resiliencia y la gestión del riesgo, mientras que la transición energética impulsa el desarrollo de energías renovables marinas. También se valora especialmente la innovación tecnológica en la planificación y operación de los puertos —incluyendo la digitalización—, así como los enfoques integradores como la planificación espacial marina y la gestión integrada del litoral, fundamentales para armonizar usos y preservar el equilibrio ecosistémico en los entornos marinos y costeros.

Clima marítimo y oceanografía física

Medio Ambiente, vertidos y calidad del agua marina

Obras y estructuras marítimas

Procesos litorales y actuaciones en la costa

Planificación y gestión de puertos. Digitalización, innovación y ciberseguridad

Gestión integrada del litoral y planificación espacial marina

Cambio climático, eventos extremos, gestión de riesgos y resiliencia en puertos y costas

Energías renovables marinas



XVIII JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE

COSTAS Y PUERTOS

Huelva, 13 y 14 de mayo del 2026

— HOTEL BARCELÓ - PUNTA UMBRÍA —

PROGRAMA

MIÉRCOLES 13 DE MAYO 2026

- 08:00h. Recogida de documentación
- 08:30-09:30h. Conferencia Inaugural
- 09:30-11:10h. **Sesión 1** (5 ponencias de 20' en 5 salas paralelas)
- 11:10-11:40h. Pausa Café
- 11:40-13:40h. **Sesión 2** (6 ponencias de 20' en 5 salas paralelas)
- 13:40-16:00h. Comida
- 16:00-17:40h. **Sesión 3** (5 ponencias de 20' en 5 salas paralelas)
- 17:40-18:00h. Pausa Café
- 18:00-19:00h. **Sesión 4** (3 ponencias de 20' en 5 salas paralelas)

JUEVES 14 DE MAYO 2026

- 09:00-11:00h. **Sesión 5** (6 ponencias de 20' en 5 salas paralelas)
- 11:00-11:30h. Pausa Café
- 11:30-13:30h. **Sesión 6** (6 ponencias de 20' en 5 salas paralelas)
- 13:30-14:00h. **Conferencia de Clausura. Entrega de premios**
- 14:00-16:00h. Comida
- 16:00-19:00h. **Visita Técnica. Puerto de Huelva**

2026.costasypuertos.com

ÍNDICE

I. SESIÓN 1: 13/05 9:30-11:10

1.1. Obras I (Auditorio)

- | | | |
|-------|---|---|
| 1.1.1 | Explanada entre el muelle de Vallinielo y el muelle Arcelor | 1 |
| | <i>Olga María Sánchez Luzón, Pelayo Alemany Palacio, Rafael Segovia Rosales</i> | |
| 1.1.2 | Peiraos do Solpor | 3 |
| | <i>Gerardo González Álvarez</i> | |
| 1.1.3 | Infraestructura para buques de grandes esloras en el Puerto de Melilla | 5 |
| | <i>Natividad Sánchez López, Daniel Zamora Serrano</i> | |
| 1.1.4 | Implementación del BIM en el Sector Portuario: Resultados del Proyecto PADIH para Marina System Ibérica (MSI) | 7 |
| | <i>Paula Gordo, Eloi Coloma, Francisco Sarrias</i> | |
| 1.1.5 | Refuerzo del dique de abrigo del Puerto Exterior de A Coruña | 9 |
| | <i>Victoria Bajo González, Francisco Iglesias Cao, Enrique Maciñeira Alonso, Josué Suárez Palacios, José Manuel González Herrero, Daniel Zamora Serrano</i> | |

1.2 Monitorización y modelado numérico de obras (Sala Colón I)

- | | | |
|-------|---|----|
| 1.2.1 | Modelado numérico avanzado de interacción flujo-estructura mediante Flodyss: Piscina Flotante de O Parrote (A Coruña) | 11 |
| | <i>Fernando López Mera, Miguel Angel Vigo Baz, Álvaro Rodríguez Luis, Sergio Fernandez Ruano</i> | |
| 1.2.2 | Análisis de fenómenos hidrodinámicos desfavorables en el Puerto de Bilbao | 13 |
| | <i>María Jesús Martín, Paloma Aberturas, Marta Jiménez, Mario Hernández</i> | |
| 1.2.3 | Predicción de agitación local y onda larga en terminales portuarias mediante modelos LSTM calibrados con mediciones in situ. Aplicación en la terminal 3 de Petronor (Puerto de Bilbao) | 15 |
| | <i>Alberto Rodríguez, David Rodríguez, Rafael Molina</i> | |
| 1.2.4 | Ampliación del estudio de la aplicación de los modelos SPH al rebase en diques verticales | 17 |
| | <i>Ignacio Fernández de Bobadilla, César Gutiérrez</i> | |
| 1.2.5 | Nuevas estrategias y aplicaciones de la monitorización de la respuesta dinámica de buques y artefactos flotantes en el contexto operativo. Aplicación en el proyecto ML-AMAR | 19 |
| | <i>Marcos Vázquez, Rafael Molina, David Rodríguez, Alberto Rodríguez</i> | |

1.3 Dinámicas litorales y actuaciones en la costa I (Sala Colón II)

- 1.3.1 Estudio de dinámica litoral de la dársena de Cubelles (Barcelona) y análisis de alternativas de actuación 21
Javier Sopelana Peralta, Miguel Ángel Vigo Baz, Fernando Rubén López Mera
- 1.3.2 Seguimiento de la regeneración de las playas de El Saler y La Garrofera (Valencia) 23
Eugenio Jiménez Ferrer, Javier Estevan Sanchis, Ignacio Terrades Martínez, Aina Berta Hernández Mascarell, Raquel Loza Remón
- 1.3.3 Actuaciones en la morfología en la playa de La Magdalena en Cedeira (A Coruña) 25
Juan Garcilaso de la Vega, Carlos Gil Villar, Antonio Durán Maciñeira, Victoriano de la Torre, Alfredo Rodríguez Castilla, Cristina Gómez Ferreiro, Antonio Gómez Gómez
- 1.3.4 Actuaciones para la estabilización de las playas del frente litoral comprendido entre la desembocadura del río Guadalfeo y el Puerto de Motril, TT.MM. de Salobreña y Motril (Granada) 27
Francisco Javier Morales Gámiz, Miguel Angel Fernández Sánchez, Miguel Calleja García
- 1.3.5 Estudio morfodinámico del canal de navegación y del sistema de playas de Loredó-Somo-El Puntal de la Bahía de Santander. Propuesta de medidas correctoras 29
César Vidal Pascual, Raúl Medina, Javier García, María Recio, Erica Pellón, Cristian Manrique, César Díaz

1.4 Calidad de agua y sedimento (Sala Colón III)

- 1.4.1 Estudio de dispersión de sedimentos en fase de dragado en el canal del Río Lérez 31
José Cielo Fernández Caballero, Fernando López Mera, Ágata Taboada de la Calzada, José Manuel Nieto Matamoros, Juan Antonio Rodríguez Pardo
- 1.4.2 Seguimiento a medio plazo de las comunidades de fondo duro en el entorno de la zona de extracción de arena frente al Puerto de Bilbao 33
Iñigo Muxika, Julián Martínez, Javier Franco
- 1.4.3 Seguimiento de la calidad de las aguas y los sedimentos en zonas afectadas por la ampliación del Puerto de Bilbao 35
Raúl Castro, María Jesús Belzunce-Segarra, Javier Franco, Manuel González, Joana Larreta, Iratxe Menchaca, Iñigo Muxika, Sara del Rey, Ibai Uribe
- 1.4.4 Metodología para la elaboración de un inventario de vertidos al litoral 37
María Luisa Pérez García, Mario García, David Cordovillo, Lourdes Gutiérrez
- 1.4.5 Las obras marítimas ante las fanerógamas marinas (el caso de la provincia de Alicante) 39
Rafael Belchí Saura, José Iván Trujillo Córcoles.

1.5 Dinámica Marina I (Sala Williams)

- 1.5.1 Del mar abierto a la costa: reconstrucción espectral del oleaje con metamodelos híbridos y análisis espacio temporal en el Golfo de Panamá, Panamá 41
Ruby Vallarino Castillo, Gabriel Bellido, Laura Cagigal, Vicente Negro Valdecantos, Jesús Portilla-Yandún, Fernando Méndez, José A. A. Antolínez
- 1.5.2 Técnicas de IA aplicadas a la asimilación de datos de oleaje 43
Alejandro González Valle, Antonio Tomás, Ezquiel Cimadevilla, Andrea Lombardi
- 1.5.3 CHySwash: una metodología híbrida para la calibración eficiente de modelos hidrodinámicos 45
Beatriz Pérez Díaz, Pablo Zubia Palazuelos, Alba Ricondo, Manuel Zornoza-Aguado, Curt D. Storlazzi, Laura Cagigal, Valvanuz Fernandez-Quiruelas, Pablo Alonso-Alguacil, Fernando Méndez, Sonia Castanedo
- 1.5.4 GreenSurge 2.0: un modelo aditivo escalable y eficiente para la modelización de la marea meteorológica 47
Etienne Faugere, Beatriz Pérez-Díaz, Laura Cagigal, Paula Camus, Valvanuz Fernandez-Quiruelas, Javier Tausia, Sonia Castanedo, Fernando J. Méndez
- 1.5.5 Monitorización del nivel del mar en la Isla de Decepción (Antártida) mediante boya oceanográfica GNSS de alta precisión 49
Marcos Larrad, Silvia Costa, Alberto Rodríguez, David Rodríguez, Rafael Molina

II. SESIÓN 2: 13/05 11:40-13:40

2.1. Obras II (Auditorio)

- 2.1.1. Proyecto de rehabilitación del Puerto de Kalundu para hacer frente al cambio climático en el lago Tanganica 51
Virginia Martín, Antonio Tomás
- 2.1.2. Proyecto de ejecución de un nuevo muelle multipropósito en el Puerto de Dos Bocas (Golfo de México) 53
María Piedad Herrera, Javier Salcedo Cabello, Roberto Pillado
- 2.1.3. Proyecto de ampliación de las reservas de tierra en el Puerto de Dos Bocas (México) 55
Sara Iglesias Tello, Daniel Zamora Serrano, José Manuel González Herrero, Javier García Linares
- 2.1.4. Ampliación del Puerto de Freetown: innovación, colaboración y adaptación geotécnica 57
María del Carmen Rodríguez Peralta

2.1.5. Estructuras de protección de muelles frente a la erosión del lecho marino causada por las hélices de los buques	59
<i>Ginna Marcela Torres Rodríguez, Marta Jiménez, Diego García</i>	
2.1.6. Puertos Greenfield en la India: los rompeolas verticales como una solución eficiente y confiable en aguas profundas	61
<i>Kazerina Martínez Arenas</i>	
2.2. Optimización del riesgo portuario (Sala Colón I)	
2.2.1. PROAS. Optimización del riesgo portuario	63
<i>Juan González Gutiérrez, Salvador León Gil, Jesús Medina Blanco</i>	
2.2.2. PROAS: sistema avanzado de predicción de la operatividad buque- infraestructura	65
<i>María José Bohórquez Santos, José María Terrés-Nicoli, Eva Romano, Gabriel Díaz, Rafael Molina-Sánchez, David Rodríguez</i>	
2.2.3. Sistema predictivo de respuesta de buque atracado aplicado al Puerto de Algeciras (Proyecto PROAS)	67
<i>Eva Romano Moreno, Sonia Guardado, Gabriel Díaz-Hernández, David Rodríguez, Rafael Molina</i>	
2.2.4. Nueva red de monitorización de buques y agitación como apoyo a la toma de decisiones para el buque atracado: Proyecto Proas	69
<i>David Rodríguez, Alberto Rodríguez, Eva Romano, Gabriel Díaz, José M^a Terrés, Rafael Molina-Sánchez</i>	
2.2.5. Sistema preoperacional de apoyo al mantenimiento predictivo de diques frente al cambio climático	71
<i>Mireia López-Paredes, Corrado Altomare, Xavier Gironella, Agustín Sanchez-Arcilla, Mario Hernández, Jose María García-Valdecasas, Antonio Tomás, Lohitzune Solabarrieta</i>	
2.2.6. Modelos fundacionales de series temporales para la gestión energética portuaria	73
<i>Alex Garate Arrazola, Iago Romero Ogando</i>	
2.3. Sensores remotos (Sala Colón II)	
2.3.1. Generación de cartografía y escenas 3D mediante vuelos fotogramétricos multivista con empleo de drones: Aplicación a la costa de A Coruña	75
<i>José Luis López Sánchez, José Ramón Martínez Cordero, Ignacio Montero de Andrés, Ignacio Pardo de Vera Moreno, Carlos Gil Villar</i>	
2.3.2. Aplicaciones de los satélites Radar de Apertura Sintética (SAR): un gran avance para la monitorización de zonas costeras	77
<i>María del Carmen Millán, Erica Pellón, Paula Gomes da Silva</i>	

2.3.3. Desafíos y soluciones para la monitorización de la línea de costa mediante imágenes de satélite en entornos macromareales	79
<i>Albert Gallego, Carlos Cabezas-Rabadán, Paula Gomes da Silva, Erica Pellón, M^a Carmen Millán, Jesús Palomar-Vázquez, Ana Silió-Calzada, Jara Martínez Sánchez, Josep E. Pardo-Pascual</i>	
2.3.4. Aplicaciones y limitaciones de las líneas de costa de sensores remotos en entornos macromareales	81
<i>Erica Pellón de Pablo, Irati Epelde, Pedro Liria, Aritz Abalia, Paula Gomes da Silva</i>	
2.3.5. Aplicación de vehículos no tripulados USV y UAV para el modelado topobatrímico de alta resolución y la monitorización de entornos costeros	83
<i>José Ignacio Pagán Conesa, Luis Bañón Blázquez, Isabel López Úbeda</i>	
2.3.6. Identificación de defensas costeras mediante Deep Learning e imágenes de satélite	85
<i>Iria Suárez, Alexandra Toimil, Iñigo J. Losada</i>	
2.4. Vertidos y estrategias marinas (Sala Colón III)	
2.4.1. Revisión de las zonas de vertido de material dragado en el marco de la Ordenación del Espacio Marítimo y de las Directrices para la Caracterización del Material Dragado (DCMD)	87
<i>Ana Lloret Capote, Manuel Antequera Ramos, Carla Muriciano Virto</i>	
2.4.2. Evaluación de presiones físicas en el medio marino en el marco de las estrategias marinas	89
<i>Isabel María Moreno Aranda, José-Francisco Sánchez González, Francisco-Javier Martínez Bedia</i>	
2.4.3. Revisión crítica de los requerimientos en materia de protección de la biodiversidad en el marco de los informes de compatibilidad con las estrategias marinas de actuaciones portuarias de pequeña entidad	91
<i>Francisco José González Alcón, Mercedes García Barroso</i>	
2.4.4. De la monitorización a la gestión operativa: un sistema integrado de apoyo a la toma de decisiones para el control de vertidos en entornos portuarios	93
<i>Mariano Morell, Carlos Mahillo, Manuel Espinos, Manel Grifoll, Toni Llull, Carlos Garau</i>	
2.4.5. Mejora de la fiabilidad operativa en sistemas de detección de vertidos portuarios basada en combinación de algoritmos de clasificación	95
<i>Matías Bonet, Mariano Morell, Carlos Mahillo</i>	
2.4.6. Derrames de amoníaco en el medio marino: la importancia de establecer umbrales de toxicidad basados en ensayos ecotoxicológicos	97
<i>Naroa Ontivero, Laura Noguera, Urtzi Izagirre, Ana Julia Abascal, Andrés García</i>	

2.5. Dinámica Marina II (Sala Williams)

- 2.5.1. Influencia de la caracterización espectral de la onda larga en la respuesta dinámica de buques atracados. Aplicación en el marco del proyecto PRESTAMAR 99
Juan Carlos Carmona, Guillermo Vega, Sonia Heras, Raúl Atienza
- 2.5.2. Respuesta oceanográfica de una bahía somera micro-mareal al forzamiento del viento: retención, mezcla y renovación de masas de agua 101
Marta Balsells F-Pedrerá, Manel Grifoll, Margarita Fernández-Tejedor, Manuel Espino
- 2.5.3. Análisis sistémico del régimen extremal en los puertos de interés general ante escenarios de cambio climático: tendencias, intensificación y variación en los periodos de retorno 103
David Lucio, Javier L. Lara, María Fuentes Álvarez de Eulate, Iñigo J. Losada
- 2.5.4. Del dato a su puesta en valor: casos de uso del proyecto COSNORTH para la inundación portuaria en áreas estuarinas y para la vigilancia marítima 105
Germán Aragón, Jonathan Valle, Alisée A. Chaigneau, Antonio Pérez, Melisa Menéndez, Andrés García, Ana J. Abascal
- 2.5.5. Análisis retrospectivo de la salinidad del estuario del Guadalquivir desde la implantación del sistema de regulación en Alcalá del Río 107
Manuel Cobos, Pedro Otiñar, Marcus Silva, Asunción Baquerizo, Manuel Díez-Minguito
- 2.5.6. Un enfoque híbrido para la predicción morfodinámica en estuarios 109
Miriam Jiménez Tobío, Beatriz Pérez-Díaz, Pablo Alonso-Alguacil, Laura Cagigal, Jennifer Montaña, Sonia Castanedo, Fernando Méndez Incera

III. SESIÓN 3: 13/05 16:00-17:40

3.1. Obras III (Auditorio)

- 3.1.1. Obras de rehabilitación de los elementos de protección de la cimentación del dique de Botafoc en el Puerto de Eivissa 111
Joaquín Jiménez Buedo, Enrique Pérez Rodríguez, Nestor Urrutxua Miguel, Nerea Ramos Gómez, Marcos Fontecoba González
- 3.1.2. Evolución de los sistemas de toma y descarga de la última década en plantas desalinizadoras de Acciona Agua: conducciones 113
Félix P. Martínez-García, Antonio Contreras-de-Villar, Juan J. Muñoz-Perez
- 3.1.3. De la teoría al mar: ingeniería de detalle e hincas MTBM del inmisario y emisario para la desaladora de Collahuasi 115
Tomás Hernández Giraldo
- 3.1.4. Construcción de la Central Frío Bogatell, Barcelona. El mar como fuente de energía 117
Nieves Rodríguez Largacha, Aitor Beguiristain Buira, Oriol Giménez Prades, Jorge Bentue Escalona, María Pie Vidal

- 3.1.5. Análisis hidrodinámico y estructural de la operación de ensamblaje de módulos flotantes mediante tecnología C2C® 119
Cristian Menéndez-Fernández, Alderic Blanc, Mario López

3.2. Puertos y Energía (Sala Colón I)

- 3.2.1. Evaluación mediante modelización met-ocean de áreas portuarias para la implantación de energías marinas 121
Raúl Cascajo, Rafael Molina-Sánchez, Gabriel Díaz-Hernández
- 3.2.2. El rol del puerto en la transición energética. La eólica marina 123
Rafael Segovia Rosales, José Luis de Elio Medina
- 3.2.3. Análisis de sostenibilidad de una planta de generación energética de columna de agua oscilante off-shore 125
Ángel Molina Salas, Miguel Santamaría, María Clavero, Antonio Moñino
- 3.2.4. PV-Bos como elemento crucial para la descarbonización del Puerto de Valencia 127
Andrés Pastor Sánchez, Sergio Hernandez Blanco, Clara Garcia Sanz, Cecilio Barahona Oviedo
- 3.2.5. Port(s). Nuevo modelo marco de economía circular como apoyo a la sostenibilidad portuaria en España 129
Maria Martínez, Rafael Molina, Obdulio Serrano, Montserrat Zamorano

3.3. Dinámicas litorales y actuaciones en la costa II (Sala Colón II)

- 3.3.1. Calibración de parámetros clave que definen los procesos de dinámica litoral a partir de casos de estudio llevados a cabo en la costa de Castellón 131
Pau Gimeno Meliá, Alberto Blasco Montañana, Pedro Carmona Roig, David Samuel Aragón Balaguer, Miguel Angel Aragón Babiloni, Leonardo Monzonís Forner
- 3.3.2. Aplicación de la hipótesis de ortogonalidad al diseño de las soluciones de ingeniería marítima en las playas de Moncofa y Oropesa (Castellón) 133
Leonardo Monzonís Forner, Maria Josefa Solernou Sanz, Miguel Angel Aragón Babiloni, Vicent Pau Gimeno Meliá, Alberto Blasco Montañana
- 3.3.3. Modelo heurístico para la estimación de la probabilidad de desenterramiento de cables submarinos a lo largo de su vida útil en su aterrizaje en playas con barras 135
Jara Martínez Sánchez, Erica Pellón, Camilo Jaramillo, Sergio Padilla, Omar Quetzalcóatl Gutiérrez

3.3.4. Análisis de la estabilidad morfodinámica y riesgos erosivos a largo plazo en el trazado del cable submarino del proyecto PLEMCAT	137
<i>Tamara Rodríguez Castillo, Javier García-Alba, y Fernando Sacristán Virseda</i>	
3.3.5. Un nuevo y más preciso overfill ratio para regeneraciones de playa y su comparación con el R_A de James	139
<i>Antonio Contreras de Villar, Enzo Pranzini, Giorgio Anfuso, Juan J. Muñoz</i>	
3.4. Soluciones basadas en la naturaleza (Sala Colón III)	
3.4.1. Protección costera y co-beneficios proporcionados por soluciones basadas en la naturaleza en estuarios de Cantabria	141
<i>Isabel Gallego, María Maza</i>	
3.4.2. Infraestructura de protección costera ecológicamente mejorada que proporciona la creación de diversos hábitats para las especies marinas en el Puerto de Bilbao	143
<i>José Luis García Mochales, Hezi Buba, Javier Olalde, Fernando Colom</i>	
3.4.3. Ensayos de germinación de <i>Juncus maritimus</i> aplicados a la restauración de marismas vulnerables al cambio climático	145
<i>Pablo Ruiz Díaz, M^a Luisa Pérez García</i>	
3.4.4. Mejora en la predicción del run-up en soluciones híbridas que combinan estructuras grises y ecosistemas intermareales	147
<i>Mariana Roldán, María Maza, Javier L. Lara, Raúl Medina</i>	
3.4.5. Cultivo de percebes en diques en el Puerto de Cudillero (Asturias): la experiencia NATURPORTS	149
<i>Valeria Guerbartchouk Pérez, Pelayo Rico, Nicolás Felipe Weidberg, Mario López-Gallego, Marta García-Diéguez, Luis Acuña</i>	
3.5. Dinámica Marina III (Sala Williams)	
3.5.1. Impacto y tendencias de los eventos extremos en el Mediterráneo en un contexto de cambio climático	151
<i>Nerea Portillo Juan, Vicente Negro Valdecantos</i>	
3.5.2. Evaluación de la atribución antropogénica en eventos compuestos extremos de precipitación y oleaje en el norte de Cataluña	153
<i>María Aguilera Vidal, Thomas Wahl, José A. Jiménez</i>	
3.5.3. Análisis del impacto del cambio climático en la morfodinámica de la playa de la Marquesa (Delta del Ebro)	155
<i>Manuel Espino, Xavier Sánchez-Artús, Martí Roura, Vicente Gracia</i>	

- 3.5.4. Cómo la secuencia de tormentas y la evolución de la playa afectan al rebase: evidencias experimentales 157

Corrado Altomare, Andrea Marzeddu, Joaquim Sospedra, Xavi Gironella

- 3.5.5. Medidas de prevención frente a inundaciones en infraestructuras costeras y fluviales: resiliencia, eficiencia y sostenibilidad 159

Alberto Alcón de la Cruz

IV. SESIÓN 4: 13/05 18:00-19:00

4.1. Obras IV (Auditorio)

- 4.1.1. Problemas de diseño y operación de terminales petroleras. Compatibilidad de amarre y "passing ships" frente a la Autoridad Marítima 161

Sonia Heras, Victoria Martínez, Juan Carlos Carmona, José Ramón Iribarren

- 4.1.2. Sistemas modulares de protección contra el riesgo de retroceso repentino de las líneas de amarre (snapback) 163

Roberto Jesús Luis Fonseca, Julio Prieto-Fernández, Ivo Naef, Ben Poulter

- 4.1.3. SmartSheetPile: gestión, mantenimiento y seguridad portuaria 165

Chisco Ruiz Manso, Mohamed El Hadri

4.2. Puertos y Tecnologías de la Información (Sala Colón I)

- 4.2.1. Gestión operativa del espacio marítimo mediante IA 167

Andrés Alonso Martirena, Ismael López Hernández, Nelson Monzón López, Sergio Ballines Barrera, Txema Fernández Lacabe

- 4.2.2. Adaptación del sistema portuario al Plan BIM España: de la contratación a la operación digital del activo 169

Alex Garate Arrazola, Raúl Alfaro Calvo

- 4.2.3. Construyendo un PCS y PMS sobre un Espacio de Datos IoT 171

Manuel Francisco Martínez Torres

4.3. Gestión Costera I (Sala Colón II)

- 4.3.1. Integración de la incertidumbre climática en la delimitación del dominio público Marítimo-Terrestre 173

Pedro Otiñar, Manuel Cobos, Marcus Santana, Asunción Baquerizo

- 4.3.2. Costas y Puertos y Urbanismo 175

Vicente Ibarra Damiá

- 4.3.3. Inicio de la Ingeniería de Costas en España: una historia por conocer 177

José Manuel de la Peña Olivas, José María Medina Villaverde

4.4. Calidad del aire (Sala Colón III)

- 4.4.1. Plataforma inteligente AIRADVANCEDTM-SIGRA para la gestión estratégica de la calidad del aire y el ruido en entornos portuarios 179

Antonio Segura Morilla, Fernando López Santos, Roi Arias Salve

4.4.2. LIFE PMFree-Ports: mejora de la calidad del aire y reducción de las emisiones de PM10 y PM2.5 en puertos graneleros	181
<i>Vicenta San Félix, José María Terrés, Susana Pérez, Ana Torrente, Mark Tanner, Mónica Arenales</i>	
4.4.3. MACHSENSE - Sistema de inteligencia artificial para la toma de decisión en el control de las emisiones de partículas difusas en entornos portuarios	183
<i>Silvia Cosín, José Germán Fernández, Ales Padró, Andrés Simón, Sergio Gil, Andoni Aranguren, María Aróstegi, Marjan Savadkoohi, Christian Abarca, Ferrán Ramia, Francisco Jose Alegre Vilar</i>	
4.5. Tsunamis (Sala Williams)	
4.5.1. Elaboración del plan de acción local ante el riesgo de Maremotos en Tarifa	185
<i>Marcia Carolina Salazar, Jurgi Areizaga Casares, José Carlos Barragán Rubio, Gregorio Gómez Pina, José Antonio Aparicio Florido</i>	
4.5.2. IH-TSUSY: del registro histórico a la decisión inteligente en las alertas por tsunami	187
<i>David Galán Pérez, Albert Gallego, Iñigo Aniel-Quiroga, Ignacio Aguirre Ayerbe, Luis Pedraz, Omar Gutiérrez, Mauricio González, Sergio Padilla</i>	
4.5.3. Fortaleciendo la preparación frente a tsunamis de las comunidades costeras españolas: Implementación del Programa de Reconocimiento Tsunami Ready de la COI-UNESCO	189
<i>Ignacio Aguirre Ayerbe, Mauricio González Rodríguez, María Merino, Francisco Javier Castro Camacho, Sergio Padilla Álvarez, David Galán, Juan V. Cantavella, María Esther de Castro Arriba, José M. Calvo Hurtado, M. Dolores Jiménez</i>	

V. SESIÓN 5: 14/05 9:00-11:00

5.1. Obras especiales (Auditorio)

5.1.1. Dique de abrigo flotante en el Puerto de Ibiza. Primer éxito de esta nueva tipología	191
<i>Rafael Torres Samper, Juan Miguel Mazón García, Juan Carlos Lancha Fernández</i>	
5.1.2. Ejecución de foso shiplift para megayates mediante cimentaciones profundas	193
<i>Gloria Argente Garrido, M. Figueres Moreno, F. Martínez Castellá, C. Cortés Taberner, A. Pérez Bardal, J.M. Garrido Checa</i>	
5.1.3. Proceso constructivo innovador de los puentes de acceso al muelle para embarcaciones de grandes esloras en el Puerto de Melilla	195
<i>Francisco Javier Martínez López, Claudia Carnicer Novillo, Manuel Biedma García</i>	
5.1.4. Fallo por fatiga en líneas de fondeo de estructuras marinas flotantes y análisis en el dominio de la frecuencia	197
<i>Alejandro Cebada-Relea, Eguzkiñe Martinez, Mario López-Gallego, Íñigo Llavori, Miguel Muñoz-Calvente, Makel Peñalba Retes, Manuel Aenlle</i>	

5.1.5. HYDROSTORE: solución integrada basada en plataformas eólicas flotantes para la generación y almacenamiento de hidrógeno verde offshore	199
<i>Diego Mateos Rodríguez, Gonzalo Berenguer, Javier Berenguer.</i>	
5.1.6. Diseño de lagunas de olas para surf con tecnología Wavegarden	201
<i>Pablo Rodríguez, Alberto García</i>	
5.2. Modelado Físico I (Sala Colón I)	
5.2.1. Ensayos en modelo físico 3D de agitación y buques atracados en el Puerto de Las Palmas	203
<i>Juan Piñero Coloma</i>	
5.2.2. Diseño y ejecución de una solución integral en Marina Port Fórum (Barcelona) validada mediante ensayos en modelo físico	205
<i>Oriol García Arribas, Enrique Peña González, José Sande González-Cela, Alba Jiménez Moreno, Andrés Figuero Pérez</i>	
5.2.3. Campaña de ensayos en modelo físico 2D y 3D de la inundación costera en el Malecón Tradicional de La Habana: conclusiones sobre efectos de escala	207
<i>Antonio Tomás Sampedro, Beatriz Rodríguez, Cesar Vidal, Luis Fermín Cordova, Patricia Horta, Daniela Cordova, Juan José Díaz, André Cardoso, Francisco Cerda, Delia Regueira, Moesha Henry, Andrés P. Mendoza, Álvaro Álvarez</i>	
5.2.4. Ensayos en modelo físico para el análisis de las características hidráulicas de estructuras construidas con bloques Caleta	209
<i>José María Valdés Fernández de Alarcón, José Vara, César Gutiérrez Revilla, Eli Montoya</i>	
5.2.5. Caracterización estocástica del inicio del daño en diques de escollera mediante técnicas de fotogrametría RGB-D	211
<i>Miguel Santamaría, Angel Molina-Salas, Antonio Moñino, María Clavero</i>	
5.2.6. Metodología para ensayos a escala reducida sobre sistemas fotovoltaicos flotantes sometidos a oleaje	213
<i>Jesús Florido, María Clavero, Edgar Mendoza</i>	
5.3. Gestión Costera II y actuaciones en la costa (Sala Colón II)	
5.3.1. Integración del planteamiento marino y terrestre en la gobernanza costera. Casos del Mar Menor de Murcia y deslinde del Parque de Doñana	215
<i>Francisco Javier Córdoba Donado, Vicente Negro Valdecantos, Nerea Portillo Juan</i>	
5.3.2. Plan Bahía, un caso de éxito de GIZC en la bahía de Santander	217
<i>María Merino González-Pardo, María Recio Espinosa, Raúl Medina Santamaría</i>	
5.3.3. Visión artificial aplicada a la gestión de la ocupación en playas	219
<i>Ignacio Toledo Sepulcre, Luis Aragonés Pomares, Mireia Sempere Tortosa, Manuel Alamán Escolano, Diego Marcos Jorquera, Virgilio Gilart Iglesias</i>	
5.3.4. Regeneraciones de playas: aclaraciones sobre aspectos ambientales basadas en la Ingeniería de Costas y en la experiencia española existente	221
<i>Gregorio Gómez Pina, Luis Moreno Blasco, Francisco González Alcón</i>	

5.3.5. Restauración ambiental del sistema dunar de San Juan de Nieva y El Espartal (Asturias): intervención integral frente a la reactivación dunar y el uso público intensivo	223
<i>Miguel Á. Reyes-Merlo, Javier Menéndez, Francisco J. Bello-Millán, Fernando de la Torre-Fernández</i>	
5.3.6. Proyecto Life integrado humedales: una oportunidad para los humedales costeros	225
<i>José Ramón Martínez Cordero, Sergio Calleja de Abia</i>	
5.4. Riesgos y adaptación en Puertos (Sala Colón III)	
5.4.1. Caracterización de eventos extremos e impactos asociados y su monetización en el Puerto de Valencia	227
<i>Fernando Manzano Muñoz, Rafael Molina</i>	
5.4.2. Herramienta inteligente de prevención para la resiliencia climática de estructuras marítimas	229
<i>Pilar Díaz Carrasco, Enrique M. Padilla, Alejandro Martínez-Castro, Enrique García-Macías</i>	
5.4.3. Evaluación de riesgos debidos al cambio climático en el Sistema Portuario de Titularidad Estatal	231
<i>Verónica Morales Márquez, Begoña Pérez-Gómez, Iñigo Losada, Javier L. Lara, María Fuentes Álvarez de Eulate, Yailín Fernández González, Antonio Góngora</i>	
5.4.4. Riesgos y adaptación al cambio climático en puertos: herramientas operativas para la toma de decisiones	233
<i>María Fuentes Álvarez de Eulate, Iñigo J. Losada Rodríguez, Javier L. Lara, Yailín Fernández González, Luis Pedraz Polo, Marco A. Vega Marichalar, Sergio Cózar Rodríguez, Bárbara Herrero Olavarri</i>	
5.4.5. Integración del riesgo climático en la planificación costera y marítima (AcuAdapt): aplicación a la acuicultura marina española	235
<i>Carlos V.C. Weiss, Bárbara Ondiviela, Daniel Depellegrin, Elvira Ramos, José Juanes</i>	
5.4.6. Evaluación del riesgo por tsunamis en puertos	237
<i>Sergio Padilla Álvarez, Ignacio Aguirre-Ayerbe, Mauricio González, Iñigo Aniel-Quiroga, David Galán, Ana Garrido López</i>	
5.5. Inundación Costera (Sala Williams)	
5.5.1. C4Flood: inundaciones inducidas por el cambio climático en ciudades costeras	239
<i>Jared Ortiz Angulo, Manuel Zornoza-Aguado, Javier Tausia, Alba Ricondo, Paula Camus, Laura Cagigal, Beatriz Pérez-Díaz, Mirian Jiménez, Sonia Castanedo, Fernando Méndez, Nicolás Hortal, Gonzalo Santos, Sara Calvo</i>	
5.5.2. Análisis de inundación compuesta en zonas costeras mediante redes neuronales LSTM entrenadas con el modelo hidrodinámico 2D Iber	241
<i>Ania Fernández Portillo, Juan F. Farfán-Durán, Javier Sopelana, Jared Ortiz-Angulo, Esteban Sañudo, Jerónimo Puertas, Paula Camus, Luis Cea</i>	

5.5.3. HyFlood: un modelo híbrido para la inundación costera compuesta	243
<i>Alba Ricondo, Laura Cagigal, Curt D. Storlazzi, Mark Merrifield, John Marra, Fernando J. Mendez, y Peter Ruggiero</i>	
5.5.4. Trayectorias dinámicas para la reducción del riesgo de inundación	245
<i>Alexandra Toimil Silva, Moisés Álvarez-Cuesta, Iñigo J. Losada, Sara Novo, Iria Suárez, Saúl Torres-Ortega, Raúl Medina</i>	
5.5.5. Los estudios de inundación de la costa como herramienta para la gestión integral de la zona costera. Casos de las playas del Pinet y La Marina (T.M. s de Elche y Santa Pola, Alicante)	247
<i>José María Medina Villaverde, José Manuel de la Peña Olivas</i>	
5.5.6. Protección costera frente a inundación y límites de la actividad turística en Benidorm	249
<i>Andrea Costales, Alexandra Toimil, Moisés Álvarez-Cuesta, Iñigo J. Losada</i>	

VI. SESIÓN 6: 14/05 11:30-13:30

6.1. Gestión y diseño de puertos (Auditorio)

6.1.1. Planificación y gestión portuaria basada en datos: eficiencia energética, gobernanza institucional y spillovers en el transporte marítimo europeo	251
<i>Javier Vaca Cabrero, Alberto Camarero Orive, Nicoletta González-Cancelas</i>	
6.1.2. Propuesta metodológica para el estudio económico financiero y análisis de la solvencia financiera en concesiones de instalaciones náutico-deportivas	253
<i>Juan José Ortega</i>	
6.1.3. El retorno de las buenas prácticas en el diseño en planta de diques de protección portuaria	255
<i>Estefanía Giraldo Franco, Beatriz Rodríguez Fernández, Francisco Luis Martín Gallego, Antonio Tomás Sampredo, Gabriel Díaz- Hernández</i>	
6.1.4. ¿Cada cuántos años debe mantenerse un dique rompeolas?	257
<i>Delia Regueira, Mireia López-Paredes, Antonio Tomás, César Vidal, Corrado Altomare, Mario Hernaez</i>	
6.1.5. Metodología para la realización de las evaluaciones de riesgos de las simulaciones de maniobra de buques	259
<i>Andrés Hernández González, María Eugenia Prieto Estévez</i>	
6.1.6. Determinación del crucero tipo del Puerto de Málaga y de Cartagena. Metodología de cálculo del Onshore Power Supply	261
<i>José Ignacio Parra Santiago, Jerónimo Antonio Esteve Pérez, David Díaz Gutiérrez</i>	

6.2. Modelado Físico II (Sala Colón I)

6.2.1. Caracterización aerodinámica en túnel de viento de un sistema fotovoltaico flotante marino	263
<i>Marta Ordóñez García, Claudia González Gutiérrez, Carlos Rodríguez Casado, Antonio Navarro Manso, Alejandro Cebada Relea, Mario López Gallego</i>	

6.2.2. Análisis y predicción de la deformación de las protecciones contra la socavación en subestaciones offshore tipo jacket	265
<i>Javier Sarmiento, Raúl Guanche, Álvaro Álvarez, Jorge Castro</i>	
6.2.3. Proyecto MAR+: caracterización experimental del dique OWC de Mutriku	267
<i>Cristina Casal Escaloni, Álvaro Álvarez Vázquez, David Blanco Iturbe, Jon Lekube Garagarza, Raúl Guanche García</i>	
6.2.4. Coastalock 2.0: ingeniería y ecología para la nueva generación de protecciones costeras	269
<i>Beatriz Rodríguez Fernández, Francisco Luis Martín Gallego, Jorge Gutiérrez Martínez, Fernando Colom Jover, Javier Olalde, Moesha D. Henry, César Vidal Pascual, Antonio Tomás Sampedro, Álvaro Álvarez Vázquez, Andrés Mendoza</i>	
6.2.5. Evaluación experimental de la protección costera mediante modelos físicos de Posidonia oceánica sumergida y emergida	271
<i>Carlos Astudillo Gutiérrez, Joan Pau Sierra, Cesar Mössö, Vicente Gracia</i>	
6.2.6. Evaluación de la capacidad de retención de plásticos flotantes por vegetación en estuarios atlánticos: resultados experimentales en canal hidráulico	273
<i>Laura Pérez García, Paula Núñez, Margot Sánchez, Ana J. Abascal, Andrés García</i>	
6.3. (Sala Posidonia Colón II)	
6.3.1. Plan de adaptación del litoral vasco frente al cambio climático	275
<i>Adolfo Uriarte, Asier López, Mari Mar Alonso, Santiago Gaztelumendi, M^a Estibaliz Martín, Leire Ansorena</i>	
6.3.2. Evaluación de riesgos en la costa mediante test de estrés	277
<i>Moisés Álvarez Cuesta, Iñigo J. Losada, Javier L. Lara</i>	
6.3.3. Arquetipos de riesgos climáticos urbanos: una evaluación multirriesgo de las zonas costeras europeas	279
<i>Antonio Milla, Javier L. Lara, David Lucio, Iñigo J. Losada</i>	
6.3.4. Herramientas para la gestión del riesgo climático en el sector hotelero costero	281
<i>Esther Barrios Crespo, Paloma Carrillo-de-Albornoz, Adam J. Terando, Iñigo J. Losada, Erika Harms, María F. Álvarez de Eulate, Javier L. Lara, Yailín Fernández</i>	
6.3.5. Estrategias y oportunidades para la resiliencia territorial: la percepción social en el litoral catalán	283
<i>Montserrat Badia, Miriam Villares, Elsa Giffard, Elisabet Roca</i>	
6.3.6. Adaptación costera Cala Millor 2050: ciencia y gobernanza para una costa resiliente	285
<i>Verónica Cánovas Losada, Miriam García, Mauricio González, Raúl Medina</i>	

6.4. Modelado de dinámica marina (Sala Colón III)

- 6.4.1. Desarrollo de herramientas para un sistema de alerta temprana regional en la Costa Vasca 287
Aritz Abalia, Irati Epelde, Pedro Liria, Roland Garnier, Asier Nieto, José Daniel Gómez, Santiago Gaztelumendi, Iñaki de Santiago
- 6.4.2. Prueba de concepto para un sistema avanzado de alerta temprana en tiempo real para eventos de inundación costera en la Playa del Sardinero (Santander, España) 289
Gabriel Díaz Hernández, Alejandro González Valle, Ambre Froucher, Antonio Tomás
- 6.4.3. Sistema de oceanografía operacional basado en inteligencia artificial para puertos y estuarios: aplicación en la Bahía de Santander 291
Ana Julia Abascal Santillana, Germán Aragón, Mirko Rupani, Jonathan B. Valle, Antonio Pérez-Quintana, Luciana Badano, Javier García-Alba, Rodrigo Manzanas, Andrés García
- 6.4.4. Reconstrucción avanzada de la altura de ola para aplicaciones portuarias mediante técnicas de *Deep Learning*: aplicación en el entorno costero de Arrigunaga 293
Manuel Viñes, César Mössö, Lohitzune Solabarrieta, Joaquim Sospedra, Manel Grifoll, Agustín Sánchez-Arcilla
- 6.4.5. Metodología integrada para la evaluación de la respuesta hidrodinámica y de la calidad de aguas de baño en estuarios bajo escenarios de cambio climático 295
Javier Francisco Bárcena Gómez, Jagoba Lupiola, Ibio Rivas, Javier García-Alba, Andrés García
- 6.4.6. Adaptación al cambio climático en entornos costeros combinando modelos híbridos y algoritmos de optimización 297
Pablo Alonso Alguacil, Víctor Collado, Beatriz Pérez-Díaz, Roberto Mínguez, Borja González Reguero, Sonia Castanedo, Fernando Méndez

6.5. Dinámica Marina IV (Sala Williams)

- 6.5.1. Predicción del oleaje en 2050: ¿extrapolar tendencias históricas o confiar en los modelos climáticos? 299
Laura Cagigal, Fernando J. Méndez, Pablo Alonso
- 6.5.2. Generación de forzadores hidrodinámicos para la evolución costera de Carolina del Norte a diferentes escalas temporales 301
Jennifer Montaña, Laura Cagigal, Beatriz Pérez Díaz, Etienne Faugere, Pablo Alonso Alguacil, Jared Ortiz Angulo, Fernando Méndez Incera
- 6.5.3. Variabilidad estacional y a largo plazo de los sistemas de oleaje y su relación con forzamientos climáticos en el Golfo de Panamá 303
Ruby Vallarino Castillo, José A. A. Antolínez, Vicente Negro Valdecantos, Jesús Portilla Yandún

- 6.5.4. HyWindSea: un metamodelo rápido y eficiente para la reconstrucción del mar de viento de alta resolución en bahías y puertos 305
Gabriel Bellido Prieto, Paula Camus, Laura Cagigal, Fernando J. Méndez
- 6.5.5. De la tormenta al impacto: arquetipos de huracanes e impactos costeros compuestos 307
Claudia Cruz Lorenzo, Alexandra Toimil, Moisés Álvarez Cuesta
- 6.5.6. Marco multiescalar de modelización del riesgo costero frente al cambio climático para la restauración de manglares como solución basada en la naturaleza en el Golfo de Montijo (Panamá) 309
Yailín Fernández González, María F. Álvarez de Eulate, David L. Fernández, Moisés Á. Cuesta, Javier L. Lara, Laura Canevari-Luzardo, Lucas Mira

VII. PÓSTERS

7.1 Cambio climático, eventos extremos, gestión de riesgos y resiliencia en puertos y costas

- 7.1.1. Alternativas de actuación en zonas urbanas con alto riesgo de inundación: aplicación al barrio costero de San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria) 311
Miriam García Oliva, Melva Martín Hidalgo, José Francisco Sánchez González, Alberto Martín Coronel
- 7.1.2. BlueMath: un repositorio open-source programado en Python para el desarrollo de proyectos oceanográficos, desde simulaciones numéricas hasta emuladores climáticos 313
Javier Tausia Hoyal, Laura Cagigal, Fernando Méndez, Valvanuz Fernández-Quiruelas, Alba Ricondo, Etienne Faugère, Gabriel Bellido, Jennifer Montaña, Jared Ortiz-Angulo, Pablo Alonso
- 7.1.3. Diferencias en indicadores físicos de resiliencia frente a la subida del nivel del mar en playas arenosas de Cádiz y Málaga 315
Antonio Contreras de Villar, Francisco Contreras, Bismarck Jigena, Patricio Pouillet, Juan J. Muñoz
- 7.1.4. Escalas temporales y espaciales de las fuentes de información geométricas en puertos: bases para la evaluación de la vulnerabilidad 317
Jaime Sánchez Fernández, Rafael Molina, David Díaz, Alfredo Fernández-Landa, Jose Ignacio Parra Santiago
- 7.1.5. Proyecciones climáticas regionalizadas de oleaje en la costa española 319
Adrián Acevedo García, Marta Ramírez Pérez, Héctor Lobeto, Alejandro Gonzalez Valle, Andrés-Felipe Julio Barragan, Melisa Menéndez
- 7.1.6. Sostenibilidad en acción: programas, proyectos y metas ambientales 321
Dennis Louwerse, Tirou Kaameswaran, Julia Lucia van der Schans

7.2 Clima marítimo y oceanografía física

- 7.2.1 Explorando la batimetría costera mediante observación satelital: las costas del Pacífico panameño como caso de estudio 323
Ruby Vallarino Castillo, Vicente Negro Valdecantos

7.3 Energías renovables marinas

- 7.3.1 Desafíos regulatorios para el despliegue de la energía eólica marina y su cadena de valor en España 325
Alberto Olivares Gallardo
- 7.3.2 Energía eólica marina en España: implicaciones ambientales y criterios de sostenibilidad para su despliegue 327
Rebeca Sánchez Vázquez
- 7.3.3 Integración de datos geofísicos y geotécnicos para la caracterización del subsuelo marino en la plataforma PLEMCAT (Roses, Catalunya) 329
Amadeu Deu Lozano, Juan Espliego, Patricia Martínez, Analidia Navarro

7.4 Gestión integrada del litoral y planificación espacial marina

- 7.4.1 Evaluación de la vulnerabilidad costera de la Comunidad Valenciana incluyendo la calidad del sedimento para la gestión ambiental 331
Isabel López Úbeda, Pablo Ortiz García, José Ignacio Pagán Conesa
- 7.4.2 Posicionando las herramientas españolas de ingeniería de Costas y Puertos en Europa: el papel del International Centre for Advanced Studies on River-Sea Systems 333
Enrique Manuel Padilla de la Torre, Vicente Gracia, Daniel González-Marco, Manel Grifoll, Antonio Torralba, Antonio Góngora, Begoña Pérez, Pablo Lorente, Agustín Sánchez-Arcilla

7.5 Medio ambiente, vertidos y calidad del medio marino

- 7.5.1 Contribución al análisis forense de una obra pública desde una perspectiva medioambiental. El caso del “Dragado Ambiental de los sedimentos de la Ría de O Burgo (A Coruña)” 335
Carlos Durán Neira
- 7.5.2 Dinámica de la basura marina en el Golfo de Bizkaia mediante la observación oceánica, ciencia ciudadana y plataformas digitales 337
Lohitzune Solabarrieta Odriozola, Oihane C. Basurko, María C. Uyarra, Anna Rubio
- 7.5.3 Identificación de especies alóctonas en puertos: ¿eDNA metabarcoding o taxonomía clásica? 339
César Bordehore Fontanet, Sofía Duarte, John Y. Dobson, Noemí M. Guzmán, Susana Benlloch, Laura Matarredona, Jesús García-Martínez, Aida Mora, Rafael Company, Eva S. Fonfría

7.5.4	La ampliación del Puerto de Bilbao: 10 años del Programa de Vigilancia Ambiental	341
	<i>Javier Franco, Aritz Abalia, Juan Bald, María Jesús Belzunce-Segarra, Raúl Castro, Silvia Cosín, Estibaliz Díaz, Irati Epelde, José Germán Fernández, Joxe Mikel Garmendia, Hélène Gomes, Daniel González-Marco, Manuel González, Joana Larreta, Pedro Liria, Iratxe Menchaca, Iñigo Muxikaa Ales Padró, Sara del Rey, J. Germán Rodríguez, Agustín Sánchez-Arcilla, Joaquim Sospedra, Ibai Uria, Ainhize Uriarte, Manuel Viñes</i>	
7.5.5	Mejora de la calidad perceptible del agua portuaria mediante procesos mediante soluciones basadas en la naturaleza: experiencia piloto en dársenas del Mediterráneo	343
	<i>Mariano Nicolás Morell Villalonga, Gemma Llàcer Camarasa, Carlos Mahillo Sánchez-Mateos, Carlos Garau Fullana, Yaiza Samper García, Balbina Nogales Fernández, Marc A. García López</i>	
7.6	Obras y estructuras marítimas	
7.6.1	Aplicación de la fotogrametría submarina para la inspección y evaluación del estado de conservación de estructuras y conducciones sumergidas y el seguimiento ambiental marino	345
	<i>Vicente Tasso Bermell</i>	
7.6.2	Aproximación multimodelo para diseño de obras de refrigeración industrial	347
	<i>Pablo Bengochea Mantecón, Javier Garcia, Gabriel Díaz-Hernández, Antonio Tomas</i>	
7.7	Planificación y gestión de puertos. Digitalización, innovación y ciberseguridad	
7.7.1	CoastGuard: EO aplicado a la dinámica costera	349
	<i>Yoel Gerardo Teubel Ruiz, Jaime Almonacid Caballer, Luis Juan Moreno, Vicente Negro</i>	
7.7.2	Gestión de los suelos potencialmente contaminados en el Puerto de Santander	351
	<i>Bárbara Soto Conesa, Susana Rubio Pardo</i>	
7.7.3	Mecanismos de integración puerto-ciudad	353
	<i>María del Carmen Cortés Tovar</i>	
7.7.4	Recomendaciones para la gestión de la contaminación del suelo en puerto	355
	<i>Raúl López Márquez</i>	
7.8	Procesos litorales y actuaciones en la costa	
7.8.1	Análisis de la hidromorfodinámica como motor de la evolución de la producción de los bancos marisqueros en estuarios	357
	<i>Javier García Alba, Javier F. Bárcena, Verónica Palomanes Ferreira</i>	
7.8.2	El Maresme: pasado, presente y futuro	359
	<i>Ana María Castañeda Fraile</i>	
7.8.3	Estereoscopia de fotogrametría aérea como método de determinación del Dominio Público Marítimo Terrestre	361
	<i>Virginia Sierra Prieto</i>	

Explanada entre el muelle de Valliniello y el muelle de Arcelor

Olga M^a Sánchez Luzón: Directora de Obra AP Avilés; osanchez@puertoaviles.com
 Pelayo Alemany Palacio palemany@ohla-group.com; (SATO) Gerente UTE
 Rafael Segovia Rosales, Gerente (SATO), rsegovia@ohla-group.com

1. Objeto del proyecto

Su objeto es construir una nueva explanada portuaria, para acopio de mercancías de superficie total 32 569,60 m², parte de ella ganada al mar (16 917 m²) y el resto acondicionando la zona terrestre. Incluye; relleno de la lámina de agua con material pétreo, demoliciones y retiradas de los servicios existentes en la zona de tierra, ejecución de mota de cierre, dragado de la base de la mota, excavaciones, , nuevas redes de servicios, pavimentación, señalización y cerramientos.

2. Proceso constructivo

El proyecto preveía el dragado mecánico de los lodos del cimiento, que tenían una clasificación de contaminados tipo C, lo que los permitía ser usados ambientalmente en el relleno de las obras, evitando el problema de tener que llevarlos a vertedero. Por el contrario, no son materiales de calidad para los rellenos. Se basaba en una sincronización entre dragado y avance de mota, que permitía contener el lodo dragado depositado en la zona de relleno.

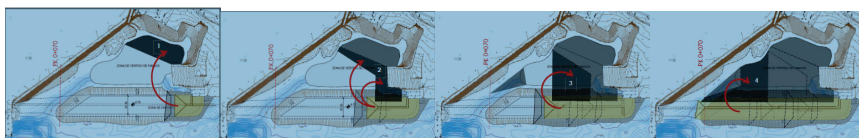


Fig. 1 Proceso constructivo. Fuente: Proyecto Constructivo

Una vez cerrada la mota, los lodos se extendían, se vertían sobre ellos el todo uno, siguiendo una secuencia preestablecida y sobre estos el relleno general y resto de las capas.

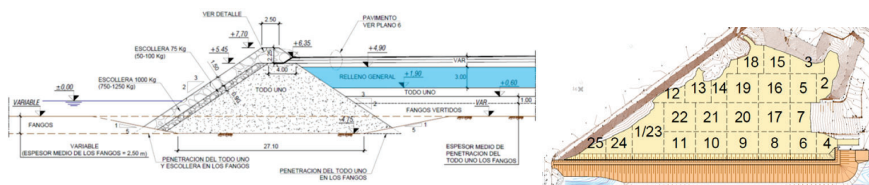


Fig. 2 Capas de relleno y secuencia todo uno. Fuente: Proyecto Constructivo

3. Alternativa de proceso constructivo

La ejecución sincronizada de dragado y avance de mota presentaba dos problemas: la operatividad del medio de dragado para descarga de los lodos por falta de calados y por el ángulo de rozamiento estimado, el riesgo de que deslizará hacia la zona de dragado. La alternativa planteada, fue la ejecución de una pantalla provisional de tablestacas AZ 26-700 de 16.50m de longitud que contuviese esos lodos. Permitiendo el trabajo continuo de avance de la mota, sin riesgo de fuga de lodos. El medio elegido fue una dragalina de 200 tn sobre pontona de SATO, que dragaba y extendía el lodo al otro lado de la pantalla, repartiendo los mismos. En el proceso de análisis del proyecto, se decidió rebajar la cota del canal de drenaje de la obra, para permitir la futura continuidad de servicios y conexión con el resto de explanadas de puerto. Se hizo un modelo hidráulico considerando la influencia de mareas para garantizar su funcionamiento según normas. Para los rellenos, aprovechando el cimiento de este canal, la construcción de dos motas auxiliares y la propia mota de cierre, los rellenos se realizaron con dragalina, que permite la extensión del material, según secuencia acordada, en capas suficientemente delgadas, que evitaran la rotura de la capa inferior de fango.

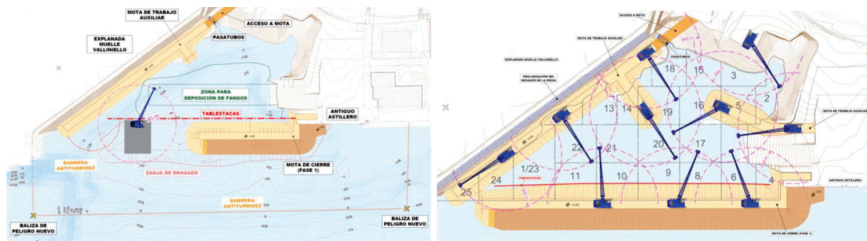


Fig. 3 Proceso constructivo. Fuente: oferta de licitación

4. Resultado final

Con un plazo comprometidísimo, a los 10 meses de inicio se ha puesto en servicio una nueva explanada, ganada al mar con un relleno sobre lodos con total operatividad. En la ponencia final además hablaremos de las innovaciones de obra: empleo de USV y manejo de lodos.



Fig. 4 Vista final de las obras. Fuente: Autoridad Portuaria

Peiraos do Solpor

Gerardo González Álvarez

Autoridad Portuaria de Vigo - Jefe de Departamento de Obras y Economía Azul, ggonzalez@apvigo.es

1. Introducción

El proyecto Peiraos do Solpor forma parte de la estrategia Blue Growth del Puerto de Vigo para avanzar en la sostenibilidad, la recuperación ambiental, la divulgación científica y la interacción puerto-ciudad.

En la actualidad este proyecto se encuentra en una fase avanzada de construcción, con las principales unidades de obra ya ejecutadas. El objetivo es compartir la experiencia constructiva real, describiendo cómo se han materializado las soluciones proyectadas y los medios auxiliares empleados para afrontar retos constructivos durante la obra.

2. Unidades de obra y secuencia de ejecución

El proyecto se compone de un conjunto de unidades singulares, cuya ejecución se ha planificado de forma escalonada para optimizar plazos y minimizar riesgos asociados al medio marítimo:

- 1) Encofrado y hormigonado de 96 unidades de bloques biomiméticos de hormigón
- 2) Cimentación submarina, formada por pilotes metálicos, banqueta y losa sumergida
- 3) Construcción del Observatorio submarino, materializado mediante un cajón de hormigón armado de sección octogonal variable construido en astillero
- 4) Fabricación y montaje de pasarelas metálicas elevadas de acceso
- 5) Elementos de urbanización, instalaciones y acabados finales

2.1. Bloques biomiméticos

Durante finales de 2024 y comienzos de 2025 se llevó a cabo la fabricación y acopio de las 96 unidades de bloques biomiméticos de hormigón, diseñados con geometrías específicas para favorecer la colonización biológica y su estabilidad en el fondo marino.

2.2. Cimentación submarina

La obra marítima se desarrolló principalmente entre los meses de mayo y agosto, comenzando con la ejecución de las cimentaciones profundas, los pilotes marítimos que consistieron en 10 pilotes de hormigón con camisa metálica, correspondientes a miradores y

apoyos de pasarelas, y 13 camisas hincadas bajo la losa, que forman parte de la cimentación del observatorio submarino.

La hinca de pilotes y camisas se ejecutó mediante un importante despliegue de medios auxiliares, destacando el uso de dos pontonas de patas, sobre las que operaban una pilotadora para la ejecución de los pilotes, y una grúa de celosía de hasta 700 tn, fundamental para las maniobras de hinca y manipulación de elementos de gran peso.

2.3. Construcción de observatorio submarino en astillero

El elemento más singular del proyecto es el observatorio submarino, ejecutado como un cajón de hormigón armado, cuya construcción se desarrolló íntegramente en astillero entre los meses de abril y septiembre de 2025.

El cajón presenta un volumen total de hormigón muy elevado, destacando una de las operaciones más relevantes de la obra: el hormigonado continuo de 142 m³ en una sola jornada. Para garantizar el hormigonado continuo y actuar como encofrado perdido interior, se creó un casco interior de chapa de acero naval de 10 mm de espesor.

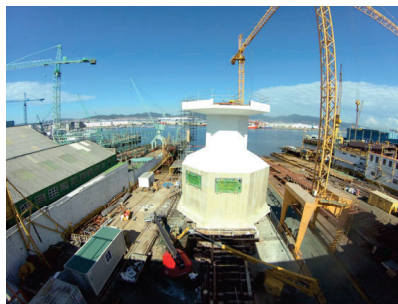


Fig. 1 Observatorio submarino en astillero. Fuente: Foto obra (Oct-25)

2.4. Pasarelas metálicas

En paralelo, se fabricaron en taller los tramos de pasarelas metálicas, concebidas para ambiente marino agresivo y diseñadas para su montaje mediante grúa autopropulsada. El acopio previo permitió concentrar en obra únicamente las operaciones de izado y colocación definitiva desde tierra con grúa especial de 650 tn.

2.5. Botadura, fondeo y montaje de pasarelas

En el mes de noviembre se llevó a cabo la botadura, traslado y fondeo definitivo, utilizando una estructura auxiliar de flotación para garantizar estabilidad durante el remolque y consiguiendo una alta precisión en el posicionamiento definitivo.

Infraestructura para buques de grandes esloras en el Puerto de Melilla

Natividad Sánchez López^a, Daniel Zamora Serrano^b

^aAcciona Ingeniería,  natividadsanchezlopez@acciona.com; ^bAcciona Ingeniería,
 daniel.zamora.serrano@acciona.com

1. Introducción

El propósito principal del proyecto es dotar al Puerto de Melilla de la infraestructura necesaria para el atraque de cruceros de grandes esloras, con una longitud un máximo de 340 metros. Actualmente, el puerto dispone de muelles con una longitud máxima de 300 metros, los cuales resultan insuficientes para recibir este tipo de embarcaciones de grandes dimensiones.

2. Descripción del proyecto

Los principales elementos de atraque que configuran las obras son los siguientes:

- **Muelle principal:** consiste en una alineación de 262 metros de longitud formada por 6 cajones de hormigón armado. Estos cajones tienen un puntal de 13 metros y una manga de 17 metros, cimentados sobre una banqueta de escollera a la cota -10,50.
- **Diques de Alba:** se proyectan tres duques de alba adicionales para facilitar el amarre de los buques de mayor eslora. Están contruidos también con cajones de hormigón armado de 14,70 metros de eslora y coronan a una cota de +4,50. Un cuarto duque de alba sirve de apoyo a los puentes de acceso.
- **Pasarelas metálicas:** tres pasarelas de tipo celosía Warren conectan el muelle principal con los duques de alba para permitir el acceso del personal.

Las infraestructuras de atraque se complementan con las de acceso desde tierra:
Infraestructura de Acceso desde Tierra

- **Puente de Acceso:** se compone de dos puentes gemelos metálicos de un solo vano cada uno, con una luz de 48,6 metros. Su estructura es de tipo mixto hormigón-acero con una celosía metálica tipo "pony-truss".

3. Factores ambientales, económicos y de viabilidad constructiva en el diseño del proyecto portuario

Los factores ambientales y económicos son determinantes en la configuración técnica y funcional de la nueva infraestructura, condicionando desde la elección de los materiales, tipología estructural, altura de las estructuras y la protección de la biodiversidad local.

El diseño responde a una necesidad de **posicionamiento estratégico** en el mercado turístico y logístico:

- **Captación de demanda de lujo:** el proyecto se justifica por el crecimiento del tráfico de cruceros, enfocándose en navieras de lujo con pasajeros de alto poder adquisitivo. Esto exige infraestructuras capaces de recibir buques de hasta 340 metros que actualmente no pueden atracar en Melilla.
- **Versatilidad y crecimiento:** para maximizar la rentabilidad, las infraestructuras no solo sirven para cruceros, sino que están diseñadas para dar servicio al tráfico de ferrys, permitiendo el crecimiento operativo general del puerto.
- **Eficiencia en costes y procesos:** el diseño busca la optimización económica mediante la estandarización de procesos, como el uso de tipologías estructurales iguales para las pasarelas metálicas y el reaprovechamiento de 53 746 m³ de material de dragado para rellenar los cajones de hormigón.
- **Polivalencia de las infraestructuras diseñadas:** el muelle y todo el puente se han calculado también para el desembarco de tanques en caso de necesidad.

Las condiciones del entorno marino y las previsiones climáticas han obligado a implementar medidas técnicas específicas:

- **Protección de la biodiversidad:** un factor ambiental crítico en el diseño es la preservación de la *Patella Ferruginea*. Para no afectar su hábitat en la zona intermareal, se ha limitado estrictamente la cota de retirada de acrópodos del dique existente hasta la cota +1,30.
- **Sostenibilidad energética:** la infraestructura incluye canalizaciones para futuros **sistemas OPS (Onshore Power Supply)**, lo que permitirá a los buques conectarse a la red eléctrica y apagar sus generadores diésel, reduciendo las emisiones en el puerto.
- **Gestión de sedimentos:** el material sobrante del dragado se contempla para la regeneración de las playas de Melilla, integrando la obra pública con la mejora del entorno costero.

El singular emplazamiento del Puerto de Melilla condiciona el diseño para garantizar su constructibilidad. La propuesta de cajones de hormigón armado que minimizan el volumen de material empleado, así como la concepción de un puente metálico con un singular e innovador proceso constructivo garantizan la viabilidad constructiva.

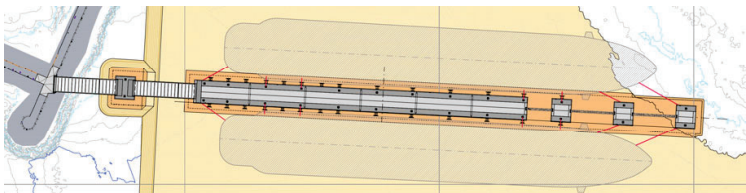


Fig. 1 Planta obras de atraque para grandes buques en Melilla. Fuente: Acciona Ingeniería (2025)

Implementación del BIM en el sector portuario: resultados del Proyecto PADIH para Marina System Ibérica (MSI)

Paula Gordo^a, Eloi Coloma^b, Francisco Sarrias^b

^aUniversidad Politècnica de Catalunya , paula.gordo@upc.edu

^bUniversidad Politècnica de Catalunya , eloi.coloma@upc.edu

^cMarina System Ibérica SL , info@msi1991.com

1. Introducción

La transformación digital de los activos del sector portuario avanza a un ritmo más lento que en otros sectores. A diferencia de ámbitos como la edificación o las infraestructuras viarias, donde metodologías como el BIM presentan un grado de implantación elevado, su adopción en el contexto portuario continúa siendo limitada. En este contexto, el proyecto desarrollado por Marina System Ibérica (MSI) en el marco del Programa de Apoyo a los Digital Innovation Hubs (PADIH) representa un ejemplo significativo de cómo los agentes del sector pueden iniciar procesos estructurados de digitalización mediante la adopción de tecnologías avanzadas y la colaboración con centros de conocimiento.

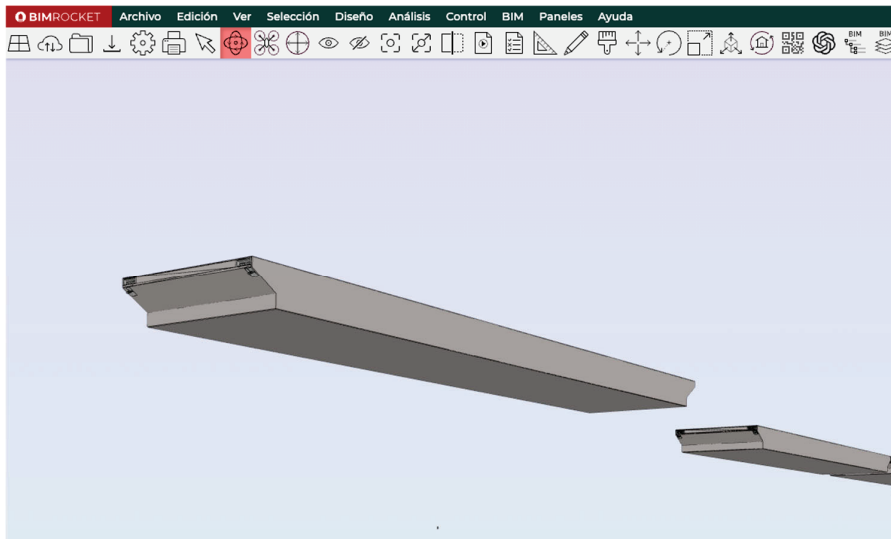


Fig. 1 CDE Entorno común de datos BimRocket. Fuente: UPC-MSI

2. Metodología

El proyecto se estructuró en tres fases complementarias.

2.1 Análisis de necesidades y definición de perfiles usuarios

Se desarrollaron talleres con personal de MSI de distintas áreas (ingeniería, fabricación, montaje, comercial y postventa) con el objetivo de identificar necesidades reales, puntos críticos del flujo de trabajo, carencias tecnológicas y oportunidades ligadas a la digitalización. Estos talleres, basados en principios de Customer Discovery y el Value Proposition Canvas, permitieron mapear patrones comunes, definir arquetipos funcionales y obtener propuestas de valor para mejorar las actividades desarrolladas dentro de la empresa.

2.2 Diagnóstico de madurez digital

En una primera fase se llevó a cabo una encuesta de madurez digital a MSI en el marco de DIH4CAT y, posteriormente, se repitió la evaluación tras el desarrollo del proyecto conjunto con la UPC. Como resultado de este proceso iterativo, la empresa experimentó una mejora significativa en diversos ámbitos —incluida la gestión y trazabilidad de la información, la automatización de procesos y el uso de herramientas digitales colaborativas— hasta alcanzar un nivel de madurez digital intermedio.

2.3 Prototipado y definición de usos BIM

Se definieron y validaron usos BIM específicamente adaptados al sector portuario, incluyendo:

- Modelado paramétrico de pantalanes y rompeolas flotantes de hormigón
- Coordinación digital de instalaciones
- Planificación de fabricación y control de cambios
- Generación de documentación técnica estandarizada y as-built digital
- Trazabilidad de componentes durante su ciclo de vida

Se desarrollaron prototipos de modelos BIM y la estructura preliminar de un *Entorno Común de Datos (CDE)* adaptado a las necesidades de gestión del sector.

3. Resultados

El proyecto identifica tres ejes clave para la transformación digital del sector portuario: la digitalización del ciclo de vida de los activos flotantes, la colaboración estructurada mediante un CDE y la estandarización de modelos y documentación. El análisis de procesos revela problemas comunes como la gestión de cambios, la falta de trazabilidad y errores de coordinación, todos ellos mitigados mediante metodologías BIM que permiten validación anticipada, reducción de errores y documentación unificada.

Refuerzo del dique de abrigo del Puerto Exterior de A Coruña

Victoria Bajo González^a, Francisco Iglesias Cao^a, Enrique Maciñeira Alonso, Josué Suárez Palacios^b José Manuel González Herrero^b, Daniel Zamora Serrano^b

^aAutoridad Portuaria de A Coruña vbajo@puertocoruna.com  figlesias@puertocoruna.com 
emacine@puertocoruna.com 

^bACCIONA Ingeniería, josuarezp@acciona.com  jgherrer_ext@acciona.com 
daniel.zamora.serrano@acciona.com 

1. Introducción

El dique de abrigo del Puerto Exterior de A Coruña, en Punta Langosteira, es una infraestructura portuaria de gran relevancia en la fachada atlántica, sometida a un clima marítimo de elevada energía. Su manto principal tiene bloques cúbicos de 150 t. Tras más de una década de servicio desde su puesta en explotación, resulta necesario disponer de un conocimiento actualizado de su comportamiento estructural y de su estado real de conservación, con el fin de planificar adecuadamente las actuaciones de mantenimiento y, en su caso, de refuerzo.

En este contexto, en el año 2024 se adjudicó un contrato de asistencia técnica para la preparación de los proyectos de refuerzo de los mantos principales de los diques de Langosteira y Barrié de la Maza. La presente comunicación resume los trabajos desarrollados para el dique de Langosteira, centrados en la revisión de las bases de diseño, la evaluación del estado del manto mediante técnicas avanzadas de auscultación y el análisis de estrategias de mantenimiento y refuerzo compatibles con las condiciones de explotación del puerto.

2. Objetivos

Los principales objetivos del estudio fueron:

- Revisar los proyectos y criterios de diseño del dique a la luz de la normativa y de la información disponible actualmente. Actualizar el clima marítimo de referencia y verificar la estabilidad hidráulica del manto principal.
- Evaluar el estado del dique mediante estudios de auscultación basados en datos topográficos y batimétricos de alta resolución.
- Identificar posibles vulnerabilidades locales y definir criterios de mantenimiento preventivo.

- Analizar alternativas de refuerzo viables desde el punto de vista técnico y constructivo.

3. Actividades desarrolladas

Los trabajos incluyeron una revisión de la evolución del diseño del dique y de las bases de cálculo empleadas en las distintas fases de proyecto, prestando especial atención a la tipología del manto principal y a las zonas singulares del morro y de transición. El clima marítimo se actualizó a partir del análisis de series instrumentales y de modelos de oleaje, verificándose la estabilidad del manto mediante metodologías recogidas en la normativa ROM.

La evaluación del estado del dique se basó en campañas de auscultación realizadas mediante fotogrametría, LIDAR y batimetría multihaz. La comparación tridimensional de las distintas campañas permitió identificar desplazamientos puntuales de bloques, evaluados mediante índices de daño, sin que se detectara un nivel de daño significativo a escala global.

A partir de estos resultados se definió una estrategia de mantenimiento basada en la recarga selectiva de huecos localizados, principalmente en zonas de transición entre berma y talud. Asimismo, se analizaron distintas Alternativas de refuerzo condicionadas por la geometría del dique, la presencia de servicios y las limitaciones constructivas, incluyendo soluciones basadas en la modificación del propio bloque de recarga.

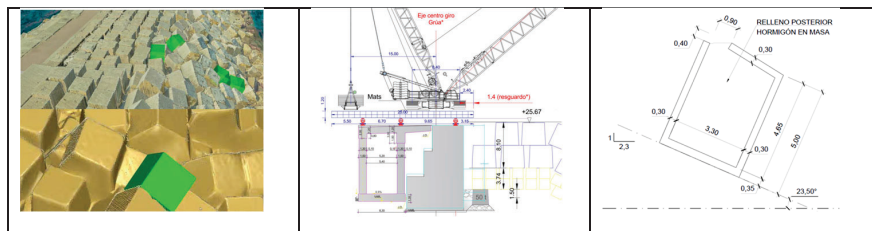


Fig. 1 Modelo 3D del manto exterior del dique. Medios para la recarga de bloques de 150 t. Bloque “in situ” Fuente: elaboración propia (2025)

4. Resultados y conclusiones

El estudio realizado confirma el buen comportamiento global del dique de abrigo del Puerto Exterior de A Coruña tras más de diez años de servicio. Los daños detectados son puntuales y gestionables mediante actuaciones de mantenimiento preventivo. El refuerzo precisa el uso de las mayores grúas del mercado, montadas sobre una estructura auxiliar colocada sobre la galería existente y el espaldón. Así mismo, se han definido estrategias de mantenimiento y refuerzo eficientes, compatibles con la explotación portuaria y orientadas a garantizar la durabilidad de la infraestructura.

Modelado numérico avanzado de interacción flujo-estructura mediante Flodyss: piscina flotante de O Parrote (A Coruña)

**Fernando López Mera⁽¹⁾, Miguel Angel Vigo Baz⁽¹⁾, Alvaro Rodriguez Luis⁽²⁾,
Sergio Fernandez Ruano⁽²⁾**

(1) ICCP ,Director Proyectos Acuática Ingeniería Civil flopezmera@aquaticaingenieria.com ,
mvigo@aquaticaingenieria.com

(2) Instituto de Hidraulica Ambiental de Cantabria
alvaro.rodriguezluiss@unican.es, sergio.fernandezruano@unican.es

1. Introducción y objeto

La Autoridad Portuaria de A Coruña y la Xunta de Galicia han desarrollado un Convenio para la ejecución de una estructura flotante en el Parrote para la realización de actividades náutico-deportivas.

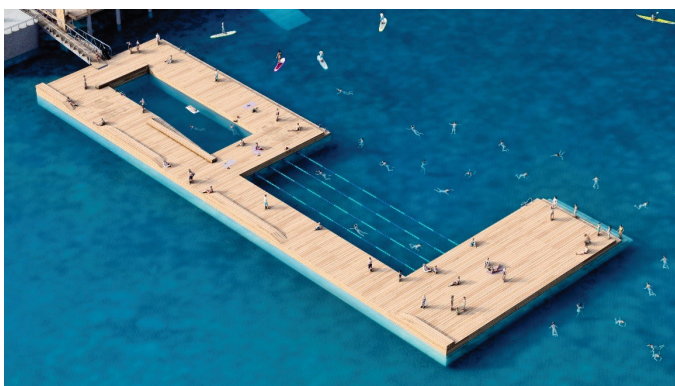


Fig. 1 Fotomontaje de la estructura flotante

Esta infraestructura es clave en el avance de la integración puerto-ciudad y en el desarrollo de la fachada marítima de A Coruña, en una zona que, ya se encontraba habilitada como zona de baño debidamente balizada y gestionada por el Concello de A Coruña. Esta zona, además, compatibiliza la actividad de baño con la actividad de marisqueo que se desarrolla en el entorno, estableciendo periodos determinados para el desarrollo de una u otra.

La actuación proyectada por Aquatica Ingeniería se encuentra ubicada en una zona de baño protegida por el muelle del Centenario frente al oleaje de fondo, pero expuesta a la agitación generada por los temporales locales de viento de la Ría de A Coruña. El diseño consiste en una plataforma compuesta por 12 módulos flotantes de hormigón fondeados mediante sistema elástico amortiguado.

Desde el punto de vista técnico, el diseño de esta tipología estructural plantea el reto de garantizar simultáneamente la seguridad de los elementos estructurales de conexión y el confort de los usuarios (bañistas y peatones) frente a los movimientos y las aceleraciones del oleaje. Para resolver esta interacción, se ha planteado un análisis dinámico en el dominio del tiempo mediante el modelo numérico FLODYSS.

2. Metodología: modelo Flodyss

La validación se ha realizado mediante la herramienta FLODYSS, desarrollada por Acuática Ingeniería en colaboración con el IHCantabria, diseñada específicamente para el cálculo de esfuerzos en conectores y líneas de fondeo de pantalanes y rompeolas flotantes. La metodología implementada consta de dos fases acopladas:

- **Dominio de la Frecuencia (BEM):** para obtener los coeficientes hidrodinámicos y los Operadores de Amplitud de Respuesta (RAOs) para los 6 grados de libertad de cada módulo.
- **Dominio del Tiempo (FLODYSS):** se integró la ecuación de movimiento de Cummins en el dominio temporal.

Un aspecto crítico fue la simulación del sistema de fondeo Seaflex. A diferencia de modelos lineales, se introdujeron las curvas de tensión-deformación reales de los elastómeros, capturando el comportamiento de **histéresis del material**.

3. Escenarios de análisis

Se evaluaron condiciones de oleaje de viento generado. Se simularon tres direcciones de incidencia (0° , 45° y -45°) con duraciones de 750 segundos para asegurar la representatividad estadística de los máximos obtenidos.

4. Resultados obtenidos

El análisis dinámico permitió identificar las sollicitaciones máximas en los componentes críticos como son las líneas de fondeo y los conectores.

Asimismo, se verificaron las condiciones de confort mediante la evaluación de las aceleraciones (RMS) y ángulos de balanceo utilizando los criterios de la norma Nordforsk (1987) para "tránsito de pasajeros".

Análisis de fenómenos hidrodinámicos desfavorables en el Puerto de Bilbao

María Jesús Martín, Paloma Aberturas, Marta Jiménez^a, Mario Hernández^b

^aCentro de Estudios de Puertos y Costas, maria.j.martin@cedex.es;

^bAutoridad Portuaria de Bilbao m.hernandez@bilbaoport@eus

1. Introducción

El estudio se centra en la zona W del Puerto localizada entre el arranque de Punta Lucero y el de Punta Sollana. En esta zona se producen, en algunas situaciones, una serie de rebases en el tramo de costa situado en el extremo este del atraque Bahía Bizkaia Gas (BBG) apreciándose en ésta zona un tramo de costa que presenta una pérdida progresiva de piezas de escollera. Otras situaciones adversas se han reportado en el atraque SP3 de Petronor, localizado en el trasdós del arranque de Punta Luceo que han provocado la rotura de amarras de algunos de los buque que operan

2. Metodología

Para establecer la posible causa de estos problemas se han efectuado ensayos numéricos de agitación, ondas largas y buque atracado y se han analizado los registros de oleaje de Puertos del Estado y los de onda larga proporcionados por AZTI (figura 1) El análisis de las incidencias reportadas por los buques que experimentaron problemas en ese atraque, facilitados por la Autoridad Portuaria, han sido verificados con la información suministrada por los datos AISy han sido analizados con el modelo numérico.

El análisis de posibles situaciones peligrosas para la navegación con las directrices de la OMI también se ha realizado.

Todos los ensayos de agitación y onda larga se han realizado con el módulo de Boussinesq del modelo Mike21 del DHI. Para las simulaciones de buque atracado se ha empleado el model Mooring Analysis también del DHI.



Fig. 1 Localización zona de estudio e información disponible

3. Resultados

Los resultados obtenidos justifican el origen de los rebases en la terminal de BBG pero no la pérdida de material del tramo de escollera que puede estar relacionada con las actuaciones realizadas en la explanada de la terminal de BBG.

Tampoco se puede asegurar el agente causante de la rotura de amarras en parte debido a la falta de información relativa a las características del buque necesarias para la realización del estudio y a la influencia de la fricción con fondo reproducida en el modelo numérico en las corrientes generadas por las ondas largas. Un hecho que se verifica es que en esa zona se presentan ondas de baja frecuencia cuyos periodos coinciden con los modos de oscilación de esta zona del puerto que no resultan favorables para la actividad portuaria.

Referencias

OMI(2017) Guidance to the master for avoiding dangerous situations in following and quartering seas.
MSC.1/Circ.1228 11 enero 2007

Predicción de agitación local y onda larga en terminales portuarias mediante modelos LSTM calibrados con mediciones IN SITU

Aplicación en la terminal 3 de Petronor (Puerto de Bilbao)

Alberto Rodríguez^a, David Rodríguez^a, Rafael Molina^b

^aDeep Insight S.L.  alberto.rodriguez@deep-insight.es

^cDpto. Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  rafael.molina@upm.es;

1. Introducción

Las condiciones de agitación portuaria, y en particular los fenómenos de onda larga, constituyen uno de los principales condicionantes de la seguridad y eficiencia de la operativa de buques atracados en terminales expuestas. Oscilaciones de muy baja amplitud asociadas a la onda larga pueden inducir movimientos del buque de varios metros, comprometiendo los sistemas de amarre y provocando incidencias operativas como roturas de cabos o paradas forzadas.

En el Puerto de Bilbao, y concretamente en la Terminal 3 de PETRONOR, estos episodios tienen un impacto significativo en la operativa. Aunque el puerto dispone de modelos numéricos de predicción de oleaje tanto en el exterior como en el interior, los puntos interiores presentan limitaciones al derivarse de propagaciones de modelos exteriores sin calibración local. En cambio, los modelos exteriores muestran una mayor fiabilidad al estar contrastados con boyas próximas a los puntos de predicción.

El proyecto PRESTAMAR surge con el objetivo de dotar a la terminal de una herramienta avanzada de apoyo a la toma de decisiones operativas, capaz de anticipar el nivel de operatividad en función tanto de las condiciones oceanográficas como del buque concreto que va a operar. Para ello, integra modelos de predicción de agitación local y onda larga con modelos de respuesta dinámica del buque atracado. Dentro de este sistema, Deep Insight ha desarrollado el módulo de predicción oceanográfica basado en Inteligencia Artificial, orientado a mejorar la estimación de las condiciones interiores a partir de predicciones exteriores y mediciones in situ.

2. Metodología

Deep Insight ha instalado dos sistemas de medida de agitación local, onda larga y nivel del mar en las zonas norte y sur de la Terminal 3 de PETRONOR, operativos desde el 25 de octubre de 2024. Estos equipos proporcionan datos continuos y un registro histórico para la calibración y validación de los modelos.

Los datos de entrada incluyen predicciones de oleaje de Puertos del Estado, seleccionándose el punto 112074042 de la malla S14 por su proximidad al puerto y su buen ajuste con datos de boya. A partir de estas predicciones y de las series temporales medidas en la terminal, se han entrenado modelos de redes neuronales recurrentes de tipo LSTM (Long Short-Term Memory), capaces de capturar relaciones no lineales y dependencias temporales.

Los modelos permiten predicciones a 72 h en el interior de la terminal. Las variables estimadas son Hm0, Tp y Tm02 (0–30 s) para la agitación local, y lwHm0, lwTp y lwTm02 (30–3600 s) para la onda larga. El enfoque se ha duplicado para los sensores norte y sur, evaluando la coherencia espacial de los resultados.



Fig. 1 PRESTAMAR: Fuentes, Registro y Modelos LSTM. Fuente: DeepInsight (2025)

3. Resultados y conclusiones

Los modelos LSTM muestran un desempeño satisfactorio en la predicción de las condiciones interiores. Para la agitación local, se obtienen errores medios absolutos (MAE) en Hm0 del orden de 6 cm y 2.5 cm para los sensores norte y sur, respectivamente. En el caso de la onda larga, los MAE en lwHm0 son del orden de 2.1 cm y 2.2 cm, valores relevantes considerando que oscilaciones de unos pocos centímetros pueden generar movimientos significativos del buque atracado.

Estos resultados ponen de manifiesto la utilidad de combinar predicciones exteriores con técnicas de Inteligencia Artificial calibradas mediante medidas in situ. La predicción fiable de las condiciones oceanográficas constituye un elemento clave del sistema PRESTAMAR, ya que alimenta los modelos de respuesta dinámica del buque desarrollados por Siport21, permitiendo evaluar el nivel de operatividad de forma dependiente del tipo de buque.

La solución presentada traslada la fiabilidad de las predicciones exteriores al interior de la terminal y proporciona una base sólida para la predicción integrada de operatividad portuaria, contribuyendo a mejorar la planificación de las operaciones y a reducir el riesgo de incidencias en el amarre.

Ampliación del estudio de la aplicación de los modelos SPH al rebase en diques verticales

Ignacio Fernández de Bobadilla^a, Cesar Gutierrez^a

^aCentro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), Madrid, , cesar.gutierrez@cedex.es.

Introducción

En las XVI Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, celebradas en Vigo en 2022, se presentó un trabajo que tenía por objeto comprobar la capacidad de los modelos SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) para reproducir casos complejos de superficie libre, como son los asociados al rebase en diques verticales.

Los modelos SPH se basan en la descripción lagrangiana del movimiento de fluidos, considerados como medios continuos, donde las propiedades de éstos se formulan en términos de “magnitudes suavizadas” evaluadas en ubicaciones discretas denominadas “partículas”. El modelo seleccionado para el estudio fue DUALSPHYSICS (Dominguez et al., 2021), desarrollado en código abierto por varias universidades de ámbito mundial para la resolución de problemas reales de flujos multifásicos.

A pesar de los buenos resultados presentados en su momento, se decidió profundizar en el estudio realizado, se detectaron aspectos mejorables que han permitido obtener todavía resultados más ajustados, ampliando además el rango de aplicación del estudio inicial.

Metodología

Ya para el estudio inicial se partió de los resultados obtenidos en los ensayos a escala realizados en el Laboratorio de Experimentación Marítima del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 2018), en proyecto financiado por Puertos del Estado (PE), correspondientes a diques verticales convencionales, realizados a escala 1/15. En el presente estudio se ha continuado trabajando con estos mismos resultados.

El modelado numérico también se sigue realizando en 2D, dado su menor coste computacional y porque de esta forma se pueden desprestigiar posibles efectos transversales (es decir, ondas cruzadas) que sí pueden darse en un canal experimental o de simulación numérica 3D.

En el proceso de comprobación de los resultados del trabajo inicial, se mejoró el proceso de filtrado de la señal de oleaje de los modelos físicos para su posterior aplicación en la generación del oleaje de los modelos numéricos, lo cual permitió mejorar los resultados

obtenidos en estos últimos. La comparación efectuada entre los resultados obtenidos numérica y experimentalmente, mejoró tanto en el volumen de rebase acumulado como de la tasa adimensional de rebase, obteniendo un comportamiento similar con el número y distribución de eventos de rebase (Fig.1)

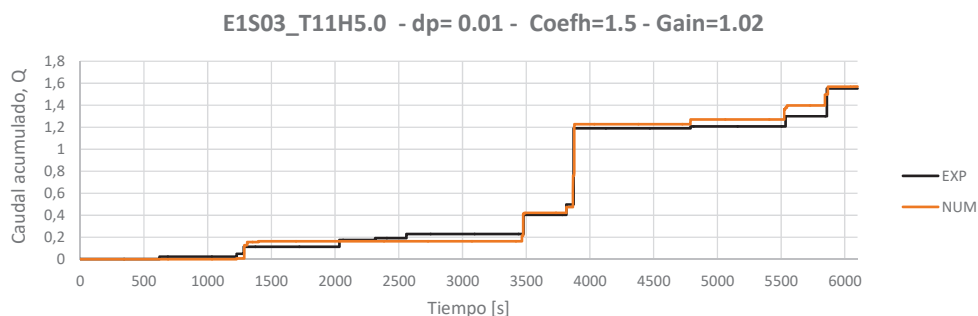


Fig. 1 Serie temporal de rebase acumulado

A partir de la mejora de los resultados iniciales, se trató de acotar el rango de validez del modelo numérico calibrado, en función del francobordo adimensional y del peralte del oleaje de otros casos ensayados experimentalmente. Los resultados de estas nuevas simulaciones numéricas obtenidos para los distintos casos de oleaje considerados han seguido dando buenos resultados dentro de las previsiones proporcionadas por el manual EurOtop (2018).

Referencias

CEDEX (2018). Ensayos en modelo físico sobre una sección tipo convencional de dique vertical, Madrid. Clave CEDEX. 21-316-5-001

Computational Particle Mechanics (2021). Domínguez JM, et al M. 2021. DualSPHysics: from fluid dynamics to multiphysics problems.

EurOtop, 2018. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com

Nuevas estrategias y aplicaciones de la monitorización de la respuesta dinámica de buques y artefactos flotantes en el contexto operativo. Aplicación en el proyecto ML-AMAR

Marcos Vázquez^a, Rafael Molina^b, David Rodríguez^a, Alberto Rodríguez^a

^aDeep Insight S.L.,  marcos.vazquez@deep-insight.es;  david.rodriguez@deep-insight.es;
 alberto.rodriguez@deep-insight.es;

^bUniversidad Politécnica de Madrid. ETSICCP. CEHINAV,  rafael.molina@upm.es;

1. Introducción

La operación de un buque está condicionada por su interacción continua con el medio físico, especialmente en fases de alta exigencia operativa como la aproximación, el acceso al puerto, el atraque y la estancia atracado, donde los forzamientos ambientales, la proximidad a infraestructuras y la necesidad de maniobras precisas incrementan el nivel de riesgo. En este contexto, la respuesta dinámica del buque se convierte en un indicador del desempeño operativo, permitiendo evaluar eficiencia, seguridad y confort. En el marco del proyecto **ML-AMAR (Machine Learning Applications in Marine Engineering)**, este trabajo presenta el caso de un buque Ro-Pax como demostrador de nuevas estrategias de monitorización en condiciones reales de explotación, orientadas a apoyar la toma de decisiones operativas mediante el análisis conjunto de la respuesta dinámica y la información meteo-oceánica.

2. Metodología

El buque Ro-Pax ha sido instrumentado con el sistema **DeepMOTION-RTK**, diseñado para la monitorización de la respuesta dinámica (IMU) y de la posición y navegación (GNSS-RTK/PPK). La campaña de monitorización se ha extendido durante 14 meses, cubriendo de forma representativa las fases de navegación, aproximación y acceso al puerto, maniobras de atraque y periodos de estancia atracado. El sistema adquiere a 2 Hz variables de posición, velocidad, rumbo, movimientos angulares y aceleraciones, permitiendo caracterizar tanto la dinámica global del buque como eventos transitorios relevantes (p. ej., cambios bruscos de forzamiento o ajustes de maniobra). Los datos se consolidan y controlan para asegurar su trazabilidad (sincronización temporal, consistencia de señales) y se segmentan por fase operativa para su análisis.

Nuevas estrategias y aplicaciones de la monitorización de la respuesta dinámica de buques y artefactos flotantes en el contexto operativo

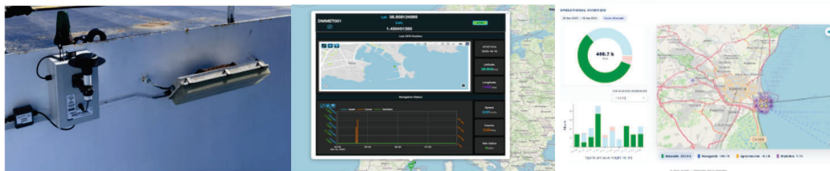


Fig. 1 A la izquierda Sensor DeepMotion instalado en el buque Ciudad de Barcelona. En el centro movimiento en tiempo real del buque. A la derecha dashboard DEEVIEW para la visualización en tiempo real de los datos de posición y respuesta dinámica del buque.
Fuente: Proyecto ML-AMAR Deep Insight

Las series GNSS/IMU se integran con información meteo-oceánica externa (viento y oleaje) de **Puertos del Estado** y/o **Copernicus**, alineada espacial y temporalmente con la trayectoria. La consolidación y visualización de los datos permite estructurar la información por fases operativas y derivar indicadores organizando la información en un esquema buque-céntrico para ayudar a la toma de decisiones (p. ej., estabilidad en aproximación, solicitudes durante atraque/amarre y tiempos de exposición a condiciones desfavorables).

Conclusiones

La campaña confirma el valor de la respuesta dinámica como variable integradora para caracterizar episodios de mayor solicitud y obtener métricas vinculadas a eficiencia operativa, seguridad y confort, además de apoyar el análisis de fiabilidad a lo largo de la explotación. En la presentación se mostrará el esquema de monitorización e integración de datos, la metodología en profundidad, y una selección de los resultados obtenidos durante la campaña del proyecto, con aplicación como herramienta de apoyo a la decisión en la gestión operativa portuaria.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el **Ministerio de Ciencia e Innovación** (Proyectos de Generación de Conocimiento 2021) en el marco del proyecto PID2021-126561OB-C31. Subproyecto 3.

Estudio de dinámica litoral de la Dársena de Cubelles (Barcelona) y análisis de alternativas de actuación

Javier Sopelana Peralta⁽¹⁾, Miguel Angel Vigo Baz⁽²⁾, Fernando Rubén Lopez Mera⁽³⁾

(1) ICCP, Director Proyectos Acuática Ingeniería SL, jsopelana@aquaticaingenieria.com

(2) Técnico en Aquatica Ingeniería SL, mvigo@aquaticaingenieria.com

(3) ICCP, Director Proyectos Acuática Ingeniería SL, flopezmera@aquaticaingenieria.com

1. Introducción y objeto

La dársena de Cubelles se localiza en el litoral central catalán, dentro de la celda litoral comprendida entre el Puerto de Vilanova i la Geltrú y el Port Segur de Calafell. Se trata de un tramo caracterizado por playas de arena fina, transporte litoral longitudinal dominante y la presencia de múltiples estructuras costeras (espigones y diques exentos) que condicionan la evolución morfológica de las playas.

Tras el cese de actividad de la Central Térmica de Foix en 2015, se plantea la necesidad de analizar el comportamiento morfodinámico de la dársena y su entorno, con especial atención a los procesos responsables de su progresivo aterramiento. El objetivo principal del estudio es caracterizar la dinámica litoral de la zona y evaluar alternativas de actuación que permitan mejorar el funcionamiento de la dársena minimizando los impactos ambientales.

2. Metodología

La metodología aplicada se basa en tres etapas fundamentales: conocer, entender y proponer. Para ello se han desarrollado los siguientes trabajos:

- Análisis de estudios previos, que aportan información sobre transporte litoral, sedimentación histórica y dragados de mantenimiento.
- Análisis histórico de la línea de costa mediante ortofotografía aérea (1983–2019), permitiendo identificar tendencias evolutivas y efectos de las infraestructuras existentes.
- Trabajos de campo.
- Caracterización del clima marítimo, a partir de datos SIMAR y mareógrafo de Barcelona, y propagación del oleaje mediante modelos numéricos.
- Análisis del balance sedimentario y de los procesos de entrada de sedimentos en la dársena.
- Evaluación de alternativas, considerando su comportamiento morfodinámico y ambiental, así como escenarios de cambio climático.

3. Resultados

3.1. Evolución histórica y sedimentación

El análisis histórico muestra que la dársena, construida entre 1975 y 1979, ha experimentado un progresivo proceso de colmatación. Desde el cese de los dragados de mantenimiento en 2006 se observa una tendencia casi lineal de acumulación de sedimentos.

A partir del análisis geométrico de las ortofotos se estima una tasa media de sedimentación de aproximadamente 5.000 m³/año, valor coherente con estimaciones previas basadas en rebases de oleaje durante temporales.

3.2. Dinámica litoral

El transporte litoral neto dominante es hacia poniente (ENE–WSW), con valores potenciales del orden de:

- 18.000–32.000 m³/año al oeste de la dársena
- 49.000–115.000 m³/año al este

Los temporales de levante concentran energía al poniente de la dársena debido a la refracción inducida por la batimetría y la presencia de un cañón submarino, mientras que los temporales de poniente generan corrientes de entrada en la bocana.

El análisis granulométrico muestra sedimentos homogéneos, con **D50 $\approx$ 0,15–0,22 mm**, compatibles con arenas finas fácilmente movilizables.

3.3. Condicionantes ambientales

La ecocartografía identifica la presencia de hábitats sensibles, destacando praderas de **Cymodocea nodosa** y **Posidonia oceánica**, ambas protegidas a nivel estatal y comunitario. Este factor condiciona de forma significativa la viabilidad ambiental de las alternativas planteadas.

4. Estudio de alternativas y cambio climático

Las alternativas analizadas se evalúan en términos de: evolución de la línea de costa a medio y largo plazo, efectos sobre el balance sedimentario de la celda litoral e impactos sobre hábitats marinos protegidos.

Asimismo, se incorporan escenarios de cambio climático, considerando una subida del nivel medio del mar de entre 0,45 y 0,65 m para finales de siglo. Los resultados indican un posible retroceso de la línea de costa y un incremento del rebase y de la sedimentación en la dársena si no se adoptan medidas de adaptación.

Seguimiento de la regeneración de las playas de El Saler y La Garrofera (Valencia)

**Eugenio Jiménez Ferrer^a, Javier Estevan Sanchis^a, Ignacio Terrades Martínez^b,
Aina Berta Hernández Mascarell^b, Raquel Loza Remón**

^aDemarcación de Costas en Valencia (MITERD), ejferrer@miteco.es, jesanchis@miteco.es

^bTécnica y Proyectos S.A., iterrades@typsa.es, abhernandez@typsa.es y rloza@typsa.es

Resumen

En la costa sur de Valencia, el tramo comprendido entre la desembocadura del río Turia y el cabo de Cullera, presentaba un estado de regresión grave debido principalmente a la falta de aportes sedimentarios del río Turia, el efecto barrera y de difracción del oleaje que provocan las obras de abrigo del Puerto de Valencia y al transporte continuo longitudinal de sedimentos netos hacia el sur que producen los temporales más energéticos del NE.

Es por ello que en 2023 la Dirección General de la Costa y el Mar, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, llevó a cabo la OBRA DE REGENERACIÓN DE LAS PLAYAS DEL SALER Y GARROFERA (VALENCIA), cuyo objetivo consistía en corregir el estado de regresión y retornar a un estado natural anterior al desequilibrio sedimentario en esta zona del litoral valenciano, que comprendía las playas de L'Arbre del Gos, El Saler y La Garrofera, desde el espigón sur de la playa de Pinedo hasta la gola de Pujol, abarcando una longitud total de 7,1 km, en el término municipal de Valencia.

Las obras consistieron principalmente en la aportación de 3 280 000 m³ de arena procedente del yacimiento submarino situado a profundidades entre 65 y 80 m frente a las costas de Sueca y Cullera. Además, se regeneró el primer cordón dunar, favoreciendo la captación de la arena y formación de embriones dunares, así como la prolongación de los espigones de la Gola de Pujol sin formar una barrera total al transporte sedimentario.

En la declaración de impacto ambiental del proyecto, aprobada en julio de 2021, se establecía un importante seguimiento ambiental en sus fases previa, de obra y operacional de la misma.

El presente estudio describe los trabajos técnicos y ambientales de seguimiento en fase operacional, expone los resultados del primer año de seguimiento, y plantea las primeras conclusiones sobre el comportamiento de la regeneración de la playa y los impactos producidos

Los resultados de cada trabajo específico están siendo comparados con los obtenidos en fases previas, con el objetivo de analizar los principales cambios y afecciones de la obra en el

medio. Los trabajos específicos a los que se está dando seguimiento pueden agruparse en dos líneas de trabajo.

La **línea uno** está centrada en estudiar la respuesta de los 7,1 km de costa donde se incrementó en 70 m el ancho de playa en la zona norte y 40 m en la zona sur. Con los trabajos de seguimiento se están evaluando las nuevas tasas de transporte sedimentario, y el comportamiento de la playa ante los fenómenos meteorológicos sufridos dentro de la unidad fisiográfica en que está enmarcada. Los trabajos llevados a cabo son:

- Levantamiento topobatimétrico tanto en zona de aporte como de extracción
- Seguimiento de la línea de costa por satélite
- Estudio de dinámica litoral

La **línea dos** de los trabajos de seguimiento se centra en evaluar la afección ambiental de la obra, comprobando en qué medida se han visto modificados los principales factores ambientales del medio. Los factores ambientales estudiados son:

- Naturaleza del sedimento y calidad físico-química y biológica del agua en la zona de aporte y en zona de extracción
- Comunidades marinas planctónicas, bentónicas y fanerógamas marinas
- Recursos pesqueros y estudios específicos de chirla y tellina

En conjunto, los resultados obtenidos hasta la fecha en el marco del PVA en fase operacional ponen de manifiesto la eficacia de las soluciones adoptadas para la regeneración de las playas del Saler y la Garrofera, tanto desde el punto de vista morfodinámico como ambiental. Actualmente en la costa regenerada se está llevando a cabo un proceso natural de redistribución del sedimento hacia un perfil de equilibrio acorde con las condiciones hidrodinámicas locales. Este reajuste implica movimientos internos del material aportado y variaciones espaciales de cota y ancho de playa, que no pueden interpretarse como pérdidas netas inmediatas, sino como una fase habitual de acomodación tras el aporte artificial.

El análisis integrado de la evolución de la línea de costa, el comportamiento del sedimento aportado y la respuesta del sistema litoral frente a episodios de temporal permiten extraer conclusiones de gran valor técnico para la planificación y diseño de futuras actuaciones de regeneración de playas. En este sentido, los trabajos realizados constituyen una referencia para la Demarcación de Costas, al aportar criterios contrastados sobre volúmenes de aporte, características granulométricas, interacción con las estructuras existentes y medidas de integración ambiental, especialmente en tramos de elevada sensibilidad ecológica. Las conclusiones derivadas de este estudio contribuirán de manera decisiva a optimizar las estrategias de gestión sedimentaria y adaptación al cambio climático en el litoral valenciano, reforzando la sostenibilidad y resiliencia de las actuaciones previstas a medio y largo plazo.

Actuaciones en la morfología en la playa de La Magdalena en Cedeira (A Coruña)

**Juan Garcilaso de la Vega^a, Carlos Gil Villar^b, Antonio Durán Maciñeira^c,
Victoriano de la Torre^d, Alfredo Rodríguez Castilla^e, Cristina Gómez Ferreiro^f,
Antonio Gómez Gómez^g**

^aDemarcación de Costas de Galicia, jgarcilaso@miteco.es; ^bDemarcación de Costas de Galicia cgil@miteco.es; ^cProyfe-Adantia UTE, antonio.duran@proyfe.com; ^dProyfe-Adantia UTE, delatorre@adantia.es; ^eUTE ECSA SHCSL Cedeira, arodriguez@estructurascondal.com;

^fUTE ECSA SHCSL Cedeira, cgf@acadar.es; ^gUTE ECSA SHCSL Cedeira, agg@acadar.es

1. Introducción

El proyecto de “Actuaciones en la morfología en la playa de La Magdalena (A Coruña)”, con una inversión de unos tres millones de euros y una duración de 6 meses, ha sido una de las actuaciones más significativas de la Demarcación de Costas en Galicia, dentro de esta tipología. Este proyecto ha sido fruto de estudios multidisciplinarios a lo largo de esta última década, que ha llevado a una Declaración de Impacto Ambiental favorable.

2. Problemática

La playa está influida por una atípica dinámica de la ría, que provoca erosión sobre todo en la zona más próxima al núcleo urbano. Esta situación se ve agravada por la subida del nivel del mar, la escasez de áridos y los efectos de resonancia generados por la construcción del Puerto de Cedeira. Con el paso del tiempo, la pérdida del espacio dunar, invadido por árboles y plantas que no pertenecen al ecosistema, ha reducido la superficie de arena disponible en la playa, generando un grave problema para los usuarios del arenal.

3. Objetivos

El objetivo prioritario de esta actuación es la regeneración de la playa y de su espacio dunar asociado, mejorando su estabilidad frente a fenómenos, erosivos reduciendo la vulnerabilidad frente al cambio climático y recuperando los valores naturales propios de un espacio dunar.

4. Descripción de actuación

Se llevó a cabo una reconstrucción topográfica de la zona costera, contando con un aporte de arena de más de 50.000 m³ proveniente del Puerto Exterior de A Coruña, para configurar la nueva forma en planta de la playa de manera que permita alcanzar un ancho de playa seca

mínimo igual a 30,5 m en la zona colindante a la desembocadura del río Condomiñas y un ancho de playa seca de aproximadamente 55 m delante de la parte dunar más afectada por los temporales. Así, se controla la regresión de la línea de costa y se protege el área urbana colindante mediante la recuperación de la función de defensa de la playa, dotándola de una anchura que disipe de forma efectiva la energía del oleaje durante los temporales.



Fig. 1 Estado final de la playa de la Magdalena. Fuente: MITECO, (2025)

5. Control ambiental

Todas las actuaciones fueron supervisadas por un equipo especializado que, además de garantizar la correcta ejecución en forma y plazo, realiza un seguimiento del Plan de Vigilancia Ambiental establecido en la Declaración de Impacto Ambiental para garantizar la consecución de los objetivos ambientales propuestos.

Conclusiones

Estas actuaciones han permitido recuperar esta franja costera, y se han realizado soluciones técnicas concretas encaminadas a mejorar la zona playa destinada al baño y a poner en valor los espacios dunares integrantes del Dominio Público Marítimo-Terrestre.

Agradecimientos

Se agradece en especial al personal de la Demarcación de Costas en Galicia, al del ayuntamiento de Cedeira y a las empresas que participaron en este proyecto, que sin su dedicación y esfuerzo no hubiera sido posible esta actuación.

Actuaciones para la estabilización de las playas del frente litoral comprendido entre la desembocadura del río Guadalfeo y el Puerto de Motril, TT.MM. de Salobreña y Motril (Granada)

**Francisco Javier Morales Gámiz^a, Miguel Angel Fernández Sánchez^b,
Miguel Calleja García^c**

^aServicio Provincial de Costas de Granada, Dirección General de la Costa y el Mar, , fjmorales@miteco.es; ^bServicio Provincial de Costas de Granada, Dirección General de la Costa y el Mar, mafernandez@miteco.es y ^cServicio Provincial de Costas de Granada, Dirección General de la Costa y el Mar, mcallejag@miteco.es

1. Introducción

El tramo costero comprendido entre la desembocadura del río Guadalfeo y el Puerto de Motril, en el litoral sur de la provincia de Granada, constituye una unidad fisiográfica fuertemente condicionada por la dinámica fluvial y por las actuaciones antrópicas desarrolladas desde comienzos del siglo XX. La construcción y sucesivas ampliaciones del Puerto de Motril, junto con el encauzamiento del Guadalfeo y la drástica reducción del aporte sólido del río -derivada de la deforestación histórica de la cuenca, la extracción de áridos y, más recientemente, de la regulación de la presa de Rules- han modificado de forma significativa la evolución de la línea de costa.

El análisis comparado de batimetrías históricas, cartografía náutica y fotografías aéreas correspondientes al periodo 1904–2025 pone de manifiesto un comportamiento divergente del litoral, con importantes acreciones en la playa de Poniente, favorecidas por el abrigo del dique portuario, y procesos erosivos recurrentes en las playas de La Cagailla y Granada, intensificados tras los encauzamientos de los años setenta y la disminución del transporte sedimentario fluvial. A este desequilibrio morfodinámico se suma la creciente presión urbanística sobre la primera línea de costa.

En este contexto, en 2019 se redacta el proyecto “Actuaciones para la estabilización de las playas del frente litoral comprendido entre la desembocadura del río Guadalfeo y el Puerto de Motril”, cuyo objetivo es garantizar la estabilidad global de esta unidad fisiográfica. La solución adoptada contempla la construcción de un espigón de escollera sin núcleo en la denominada punta del Santo, destinado a reorientar el frente de playa para favorecer la incidencia perpendicular de los temporales dominantes y reducir el transporte neto longitudinal, así como la regeneración integral de las playas situadas a poniente mediante la

Actuaciones para la estabilización de las playas del frente litoral comprendido entre la desembocadura del río Guadalfeo y el Puerto de Motril, TT.MM. de Salobreña y Motril (Granada)

redistribución de sedimentos procedentes del cauce del río Guadalfeo y de las zonas de acreción, principalmente la playa de Poniente de Motril.

Las actuaciones se ejecutan durante los años 2024 y 2025, logrando la estabilización y regeneración del frente litoral y la protección efectiva del dominio público marítimo-terrestre, incrementando la resiliencia de este tramo de costa frente a episodios extremos en un contexto de cambio climático como el actual.

Estudio morfodinámico del canal de navegación y del sistema de playas Loredo-Somo-El Puntal de la Bahía de Santander. Propuesta de medidas correctoras

César Vidal^a, Raúl Medina^a, Javier García^a, María Recio^a, Erica Pellón^a, Cristian Manrique^b, César Díaz^b

^aInstituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, cesar.vidal@unican.es

^bAutoridad Portuaria de Santander

1. Introducción

El presente estudio analiza la evolución morfodinámica del sistema de playas Somo-Loredo-El Puntal y su canal de navegación en la bahía de Santander, con el objetivo de evaluar la eficacia de las políticas de dragados y vertidos implementadas desde los años 90 y, en su caso, proponer medidas que minimicen la progradación de El Puntal, reduzcan la erosión costera y mantengan la navegabilidad del canal.

La investigación combina análisis históricos de ortofotos y topo-batimetrías con simulaciones numéricas de las dinámicas marinas y de transporte sedimentario. Los datos abarcan desde 1975 hasta 2024 e incluyen mediciones detalladas de corrientes y oleaje, junto con evaluaciones de la eficacia de los vertidos del material dragado realizados en la zona de Loredo desde 1990.

2. Resultados clave

- Erosión de las playas: las tasas de erosión en las playas se han reducido de manera considerable. En el periodo 1960-1990 las tasas eran de aproximadamente 1.7 m/año en Loredo y 1.5 m/año en Somo. En la actualidad, estas tasas se han reducido a 0.65 m/año y 0.91 m/año respectivamente, ver figura 1.
- Avance de El Puntal: la tasa de avance de Punta Rabiosa ha disminuido de 10 m/año entre 1960 y 1990 a prácticamente nula en la actualidad, indicando una estabilización morfodinámica.
- Acumulación de sedimentos en el interior de la Bahía: Se han acumulado más de 200.000 m³ de sedimentos en la zona de los páramos interiores próximos al Puntal, lo que ha afectado el calado de los canales de navegación, especialmente en el canal de Pedreña.

- Política de dragados: la gestión de dragados ha demostrado ser efectiva, con un promedio de unos 140.000 m³ de arena dragada anualmente, depositada estratégicamente para mitigar la erosión costera y estabilizar la morfología del sistema.

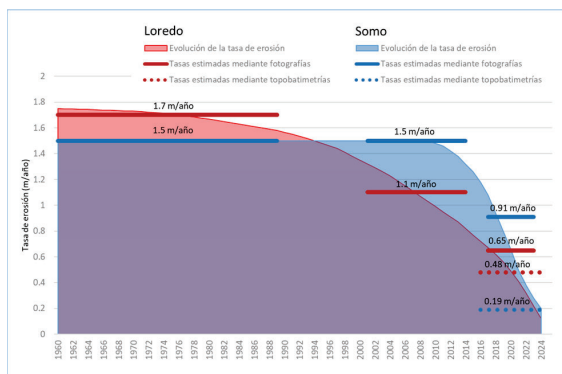


Fig. 1. Evolución de las tasas de erosión de las playas de Loredo (rojo) y Somo (azul)

3. Propuesta de actuaciones

En el estudio se propone y analiza las consecuencias de posibles alternativas de actuación, como son 1) la detención de los dragados en el canal principal, 2) el vertido de los dragados en la playa intermareal o, 3) en las dunas, 4) el recorte del Puntal, 5) la realimentación del sistema de playas, 6) la recuperación de zonas inundables y 7) el dragado del canal de Pedreña-Somo.

Conclusiones

La política de dragados y vertidos aplicada ha sido clave para reducir significativamente la erosión de las playas y estabilizar la progradación de El Puntal, mientras se mantiene la operatividad del canal de navegación. Aunque el sistema ha mostrado una clara tendencia hacia la estabilidad, aún es necesario implementar nuevas medidas que permitan al sistema enfrentarse a eventos climáticos extremos o a la subida del nivel del mar debido al cambio climático.

En el artículo se describirá la metodología del diagnóstico morfodinámico del sistema y la propuesta, análisis y selección de las actuaciones que, 1) mejoren la operatividad del canal de navegación, 2) faciliten la regeneración el sistema dunar, 3) aumenten la protección frente a inundaciones, 4) mejoren la biodiversidad y 5) optimicen el dragado de los canales interiores.

Estudio de dispersión de sedimentos en fase de dragado en el canal del río Lérez

José Cielo Fernández Caballero, Fernando López Mera^a, Ágata Taboada de la Calzada^b
 José Manuel Nieto Matamoros, Juan Antonio Rodríguez Pardo^c

^a Aquática Ingeniería Civil S.L., flopezmera@aquaticaingenieria.com; cielo@aquaticaingenieria.com

^b Tecnoambiente S.L.U., agata.taboada@tecnoambiente.com; ^cPortos de Galicia,
jose.manuel.nieto.matamoros@portosdeg Galicia.com; jarpardo@portosdeg Galicia.com

1. Introducción

Los trabajos de dragado del río Lérez (Pontevedra) pretenden extraer más de 400.000 m³ de sedimento del canal de navegación. En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es analizar la evolución de la turbidez generada durante la fase de dragado del río Lérez (Pontevedra), prestando especial atención a la afección a los bancos marisqueros.

2. Metodología

El área de dragado se ha zonificado de acuerdo con sus características granulométricas. Las simulaciones de dispersión se han realizado utilizando el modelo numérico Delft3D (σ -coordenado) considerando diferentes forzadores hidrodinámicos, instantes mareales de dragado y calculando la entrada de sedimento específica para cada zona de estudio. El umbral de afección al medio es de 12 NTU, de acuerdo con el Plan Hidrológico Galicia Costa.

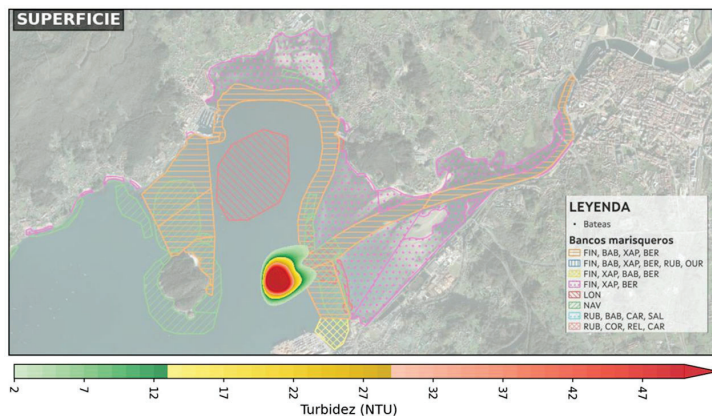


Fig. 1. Ejemplo de un instante de la evolución de turbidez

3. Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de los bancos marisqueros próximos a la zona de dragado no se verán afectados por la pluma de turbidez, quedando esta afección limitada casi en su totalidad al interior del canal. No obstante, se ha observado que los dragados en mareas vaciantes en las zonas más exteriores del canal son las situaciones más desfavorables, ya que en estos casos se produce la superación del umbral de 12 NTU en algunos de los bancos marisqueros cercanos.

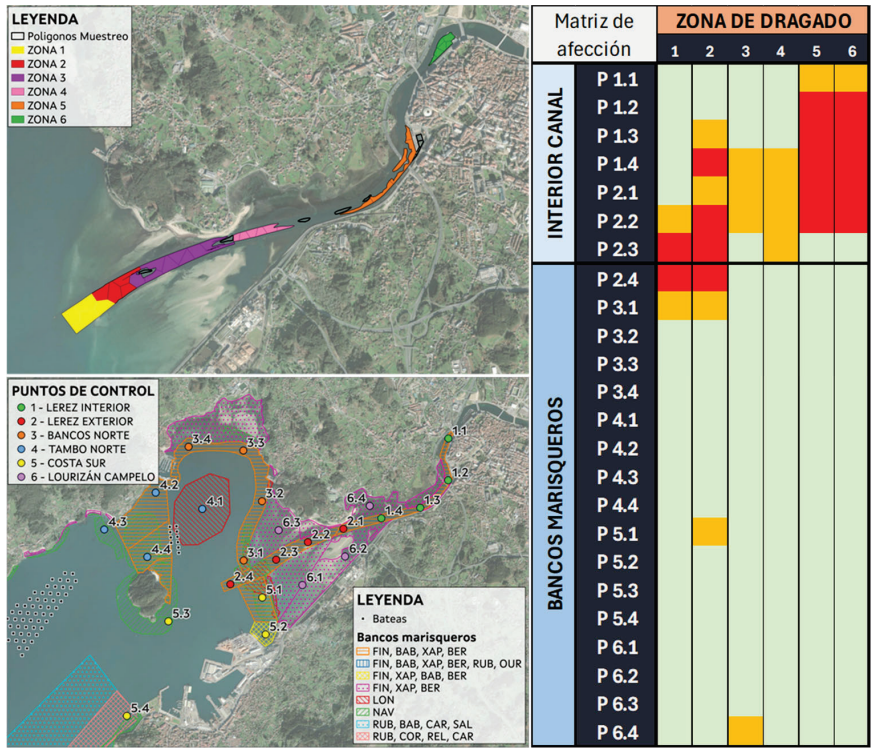


Fig. 2 Zonas de dragado delimitadas, localización de puntos de control y matriz de afección

Adicionalmente, se ha comprobado que el porcentaje de fino del material a dragar es uno de los factores más importantes a la hora de simular la dispersión de plumas de turbidez, ya que un porcentaje más alto está relacionado con una mayor persistencia en el tiempo.

En cualquier caso, la superación del umbral establecido solo se da, como máximo, hasta 6.5 horas después del inicio del dragado. Pasado ese tiempo, los valores de turbidez vuelven a su rango natural.

Seguimiento a medio plazo de las comunidades de fondo duro en el entorno de la zona de extracción de arena frente al Puerto de Bilbao

Iñigo Muxika^a, Julián Martínez^b, Javier Franco^a

^aAZTI-Investigación Marina, Herrera Kaia, Portualdea s/n, 20110-Pasaia (Gipuzkoa).

 imuxika@azti.es;  jafranco@azti.es.

^bINSUB, Sociedad Cultural, Avenida Navarra s/n (Casa Museo Oquendo), 20013, Donostia (Gipuzkoa).  julidoia@outlook.com.

1. Introducción

En 1992, el Puerto de Bilbao inició un proceso de ampliación y mejora de infraestructuras, por el que la mayor parte de la actividad se trasladaría progresivamente hacia la zona exterior del estuario del río Nerbioi. Como parte tal proceso, en 2016, se inició la construcción de un nuevo espigón, obra que precisa de una importante cantidad de material de relleno, que se extrae de la Zona II del puerto. La Declaración de Impacto Ambiental del proyecto estableció unos límites a la zona de actuación para proteger comunidades biológicas vulnerables en afloramientos rocosos en los márgenes de la Zona II, así como la obligación de realizar una vigilancia de tales comunidades. En esta comunicación se muestran los resultados del seguimiento de los afloramientos rocosos desde el inicio del proyecto (2016-2025).

2. Materiales y métodos

El trabajo de vigilancia se lleva a cabo mediante campañas de campo realizadas previamente a cada una de las actuaciones de extracción y después de que se completen (metodología BACI, del inglés *Before-After Control-Impact*). El seguimiento se completa con una campaña anual en los años en los que no se realiza ninguna extracción.

El muestreo consiste en el registro videográfico de transectos de aproximadamente 3 min y 30 s, en las zonas identificadas como afloramientos naturales en los límites de la Zona II del puerto. Las grabaciones se realizan usando un vehículo operado de forma remota (ROV, del inglés *Remotely Operated Vehicle*) equipado con una cámara Full HD. Esta metodología permite llevar a cabo muestreos no destructivos y evitar trabajos de buceo, que supondrían un riesgo para la integridad de las personas. La Fig. 1 presenta la situación de los transectos.

Tras el trabajo de campo se procede a la edición y visionado de las tomas de vídeo. Se lleva a cabo una caracterización cualitativa de las principales comunidades presentes en las áreas estudiadas y de su evolución temporal, a lo largo del estudio.

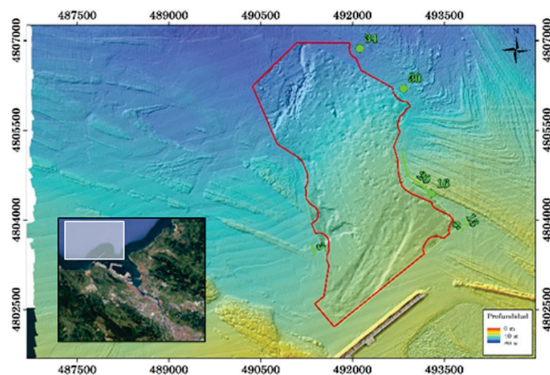


Fig. 1. Localización de los transectos filmados en el entorno del Puerto de Bilbao

3. Resultados y conclusiones

Los controles llevados a cabo hasta la fecha han permitido la identificación de diversas comunidades en los afloramientos rocosos que limitan la zona de actuación. En los transectos más someros, donde la luz no resulta un factor limitante, cabe mencionar la presencia de biocenosis dominadas por algas, como: (1) ‘Comunidad de algas incrustantes en roca circalitoral atlántica expuesta al oleaje’ (código EUNIS MB1224); (2) ‘*Halopteris filicina* con incrustaciones de coralináceas sobre roca infralitoral atlántica moderadamente expuesta’ (código EUNIS MB121K); (3) ‘*Eunicella verrucosa* y *Pentapora foliacea* en roca circalitoral atlántica expuesta al oleaje’ (código EUNIS MC12131); y (4) ‘*Rhodymenia* spp. y otras algas Delesseriaceae en roca circalitoral expuesta al oleaje’. En cuanto a las biocenosis dominadas por invertebrados, las mejor representadas incluyen: (1) ‘*Sabellaria* en roca circalitoral atlántica’ (código EUNIS MC128); (2) ‘Facies de esponjas incrustantes de la Clase Demospongiae en roca circalitoral’; (3) ‘Agregación de hidrozooos en roca circalitoral expuesta al oleaje’; (4) ‘Hexacorarios, esponjas y comunidades incrustantes en roca circalitoral expuesta al oleaje’; y (5) ‘*Leptogorgia sarmentosa* y *Eunicella verrucosa* en roca circalitoral expuesta al oleaje’.

A lo largo del seguimiento no se han detectado cambios en la presencia y cobertura de las comunidades identificadas que no sean compatibles con la propia variabilidad natural de los sistemas ecológicos. Se concluye, por tanto, que la adaptación de los límites de la zona de actuación supuso una medida eficaz de protección de comunidades vulnerables.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Autoridad Portuaria de Bilbao, al personal de muestreo y de laboratorio de AZTI-Investigación Marina, así como a Ekocean.

Seguimiento de la calidad de las aguas y los sedimentos en zonas afectadas por la ampliación del Puerto de Bilbao

Raúl Castro^a, María Jesús Belzunce-Segarra^a, Javier Franco^a, Manuel González^a, Joana Larreta^a, Iratxe Menchaca^a, Iñigo Muxika^a, Sara del Rey^b, Ibai Uria^b

^aAZTI-Investigación Marina, Herrera Kaia, Portualdea s/n, 20110-Pasaia (Gipuzkoa) 
(rcaastro@azti.es;  jbelzunce@azti.es;  jafranco@azti.es;  mgonzalez@azti.es; 
jlalrreta@azti.es;  imentxaka@azti.es;  imuxika@azti.es)

^bAutoridad Portuaria de Bilbao, Oficinas Centrales, 48980 Santurtzi (Bizkaia)
(sara.delrey@bilbaoport.eus; iuria@bilbaoport.eus)

1. Introducción

El Puerto de Bilbao comenzó en el año 1992 la ampliación y mejora de sus instalaciones, desplazando la mayor parte de su actividad a la zona exterior del estuario del Nervión donde, desde 2016, se construye el Espigón Central, obra que se espera culminar en 2027. Cada una de las actuaciones (extracciones de áridos en Zona II y obras del Espigón Central) lleva asociado su correspondiente Programa de Vigilancia Ambiental (PVA), incluyendo el análisis del impacto de ambas sobre la calidad de las aguas y los sedimentos a diferentes escalas espaciales y temporales. En esta comunicación se actualiza el estudio de ambas matrices en el marco de cada PVA realizado desde su comienzo hasta la actualidad.

2. Materiales y métodos

El estudio se lleva a cabo mediante campañas de campo tanto en las situaciones previas a cada actuación como durante la mismas y posteriormente.

En las campañas de aguas se toman datos *in situ* de las variables oceanográficas generales, así como muestras de agua en diversas estaciones y tres niveles de profundidad, para el análisis de las características fisicoquímicas y ópticas, estado trófico y presencia de contaminantes.

En cuanto a los sedimentos, las muestras se toman con una draga oceanográfica tipo van Veen. En el laboratorio se determina la composición granulométrica del sedimento, el carbono orgánico total y las concentraciones de diversos contaminantes.

3. Resultados y conclusiones

Todas las variables analizadas relativas a las condiciones y características oceanográficas generales presentaron valores normales para la época y zona de estudio. Lo mismo puede decirse de las concentraciones de nutrientes. La mayor afección se observa en la calidad óptica del agua en la Zona II durante las operaciones de extracción, como se ilustra en la Figura 1. Respecto a los contaminantes en aguas, tanto en Zona II como en el Espigón Central, predominan las concentraciones inferiores a los correspondientes límites de cuantificación. En algunos casos, para algunos metales se superaron las normas de calidad ambiental aplicables a la zona de estudio¹. Los sedimentos de la Zona II son mayoritariamente arenosos y los niveles de contaminación son bajos. En el Espigón Central, los sedimentos tienen un mayor componente de fangos que de arenas y en algún caso se han encontrado concentraciones elevadas de cinc, cobre, níquel y mercurio.

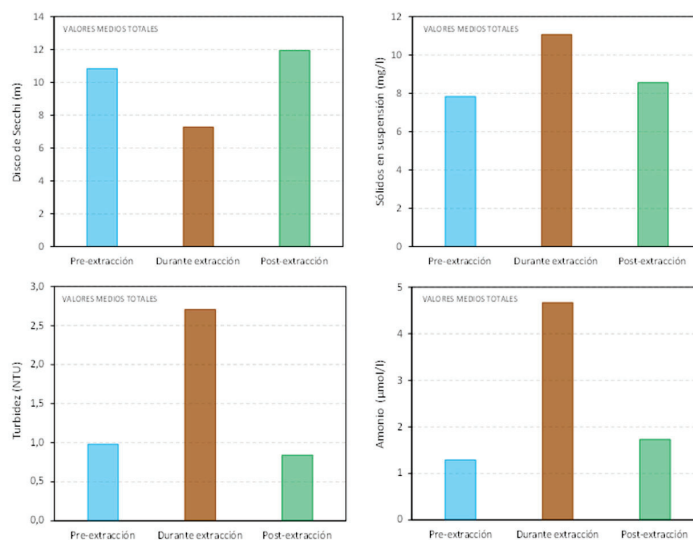


Figura 1. Valores medios totales de profundidad de visión de Disco de Secchi (m), concentración de Sólidos en Suspensión, (mg/l), Turbidez (NTU) y concentración de Amonio (μmol/l) en las situaciones de pre-extracción (barra azul), durante la extracción (barra marón) y post extracción (barra verde) en Zona II

Agradecimientos: expresamos nuestro agradecimiento a la Autoridad Portuaria de Bilbao, al personal de muestreo y laboratorio de AZTI-Investigación Marina, así como a Ekocean e Iproma.

¹ DIRECTIVA 2013/39/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de agosto de 2013 por la que se modifican las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas

Metodología para la elaboración de un inventario de vertidos al litoral

M^a Luisa Pérez, Mario García, David Cordovillo, Lourdes Gutiérrez

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain.

luisa.perez@unican.es; garcialianom@unican.es, david.cordovillo@unican.es,

lourdes.gutierrezperez@unican.es

1. Introducción y objetivos

La gestión de los vertidos al litoral requiere un sistema de seguimiento que garantice la calidad del agua y el cumplimiento de la normativa vigente. El procedimiento de autorización y control de los vertidos, por parte de la Administración, busca compatibilizar la actividad humana con la protección de las aguas litorales y de sus ecosistemas, con especial atención a zonas sensibles como estuarios, marismas y áreas protegidas.

En este contexto, la siguiente metodología tiene como objetivo desarrollar un inventario de vertidos al litoral (Figura 1) con información precisa así como la caracterización preliminar de los vertidos identificados.



Figura 1. Ejemplos de vertidos al litoral. Fuente: IHCantabria (2025)

2. Metodología

La metodología (Figura 2) se estructura en varias fases consecutivas que abarcan desde la recopilación de información hasta el tratamiento de los datos y la presentación de resultados.

Fase 1: Recopilación y análisis de la información existente. Integración de la información disponible en fuentes administrativas, bibliográficas y técnicas. Como parte de este proceso, se normalizan las coordenadas de los puntos de vertido, adoptando como referencia el sistema geodésico oficial European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89).

Fase 2: Campañas de campo. Análisis y estudio de imágenes obtenidas mediante vuelos de dron para la identificación de vertidos. El uso de drones supone una ventaja clave en la exploración de marismas y estuarios. La acción de las mareas y la densa vegetación, propia

de estas áreas, dificulta la localización de puntos de vertido a nivel del suelo. Los drones permiten obtener una perspectiva aérea detallada, capturando imágenes de alta resolución que revelan patrones difíciles de detectar a simple vista. Gracias a esta tecnología, es posible identificar alteraciones en la coloración del agua, la presencia de espumas y otros indicios menos evidentes, como surcos en el sedimento o acumulaciones anómalas en zonas de difícil acceso.

Los puntos detectados se inspeccionan posteriormente mediante visitas a pie y en embarcación, donde se realiza su georreferenciación. Cuando procede, se lleva a cabo la toma de muestras y la medición *in situ* de parámetros físico-químicos.

Fase 3: Caracterización preliminar del vertido. Análisis químico y microbiológico en laboratorio. Los resultados obtenidos, junto a los datos de campo, se interpretan para evaluar el vertido y proponer una clasificación preliminar del tipo de agua. Se distinguen aguas blancas, residuales domésticas, residuales no domésticas (con subtipos agrícolas/ganaderas e industriales) y residuales pluviales. Para apoyar la interpretación se revisan ciertas relaciones entre parámetros, por ejemplo, DBO₅/DQO y DBO₅/TOC que permiten diferenciar vertidos dominados por fracciones fácilmente degradables de aquellos con compuestos más persistentes; ó la relación DQO/TOC, que permite detectar carga oxidable no explicada por el carbono orgánico, lo que puede apuntar a aportes de origen industrial. La clasificación se matiza con casuísticas concretas (filtración natural, situaciones de dilución), donde el contexto y la inspección pesan más que un resultado puntual de laboratorio.

Fase 4: Tratamiento de datos. Los resultados se presentan en fichas técnicas individuales que incluyen las características de cada posible vertido localizado. Por otra parte, en esta fase se lleva a cabo el desarrollo y digitalización de una base de datos con la localización precisa de los puntos de vertido, presentada en última instancia mediante un sistema SIG.



Figura 2. Esquema de la metodología para la elaboración de un inventario de vertidos

Esta metodología fue desarrollada gracias a la financiación de la Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, a través de la Dirección General de Aguas y Puertos (DGAP).

Las obras marítimas ante las fanerógamas marinas (el caso de la provincia de Alicante)

Belchí Saura, Rafael¹, Trujillo Córcoles, José Iván²

¹Jefe de Servicio de Proyectos y Obras (Servicio Provincial de Costas en Alicante)

rbelchi@miteco.es; ²Jefe de Sección Técnica (Servicio Provincial de Costas en Alicante)

jitrujillo@miteco.es

1. Introducción

El litoral de la provincia de Alicante, excepción hecha del inicio del óvalo valenciano en el límite provincial de Denia con Oliva y, por razones erosivas, las inmediaciones de la desembocadura del río Segura, en Guardamar del Segura, se encuentra circundado por un mar de fanerógamas marinas, fundamentalmente de Posidonia Oceánica. Estas praderas, desde hace años protegidas, han recibido en fecha reciente una protección especial con la promulgación, por parte de la Generalitat valenciana, del DECRETO 64/2022, de 20 de mayo, del Consell, para la conservación de praderas de fanerógamas marinas en la Comunitat Valenciana.

Este nuevo marco obliga a replantear soluciones tenidas tiempo ha por obvias o consabidas en los proyectos de ingeniería marítima, con el objeto de alcanzar un difícil equilibrio entre la protección de las praderas, la exigencia de diversas administraciones (fundamentalmente autonómica y estatal) y la restauración o mantenimiento del buen estado de nuestras playas.

En años recientes, se han ido desarrollando diversos proyectos de obra marítima en la provincia de Alicante que permiten indagar en las posibilidades de actuación conforme a las limitaciones vigentes, y los medios existentes para proteger las praderas y, una vez ejecutadas las obras, poder confirmar su buen estado en años sucesivos.

2. Descripción de los casos de estudio

Para exponer la perspectiva de nuestra provincia, tomaremos dos casos de estudio en dos calas que tienen en común, además de localizarse en el municipio de El Campello, haber sido fallidas concesiones a particulares ya revertidas sin cargas al Estado: el uno, un proyecto que no llegó a fructificar por razones ambientales; el otro, ya una obra en marcha y bien avanzada en el momento en que se redacta la presente comunicación.

2.1. Cala Morro Blanco (la improbable proliferación de fanerógamas)

Actuaciones planteadas:

- La mejora del impacto visual producido por las estructuras obsoletas.
- El aumento de la agitación interior de la Cala Morro Blanco. Al retirar el dique exterior, se consigue aumentar la transmisión del oleaje (tanto en régimen medio como en régimen extremal) hacia el interior de la cala y, por lo tanto, elevar la renovación del agua en el interior.
- La solución al problema del aterramiento existente, mediante el dragado del interior de la cala.
- La creación de una nueva playa seca encajada al fondo de la cala, con una disposición similar a la existente históricamente y con un ancho de playa central.

2.2. Cala Baeza (solución de compatibilidad con el medio)

Obra ejecutada con los siguientes objetivos:

- Eliminar las causas que provocan que actualmente la cala se encuentre colmatada, como son: por un lado la configuración de la misma (disposición de los espigones que prácticamente la cierran) que favorece la sedimentación de materiales de origen marino, y por otro los aportes de material tanto de origen marino como terrestre (a través del barranco que desemboca en la cala y otros vertidos de origen antrópico).
- Conseguir, a través de la regeneración planteada, una playa con un ancho suficiente que permita el uso público de la misma.

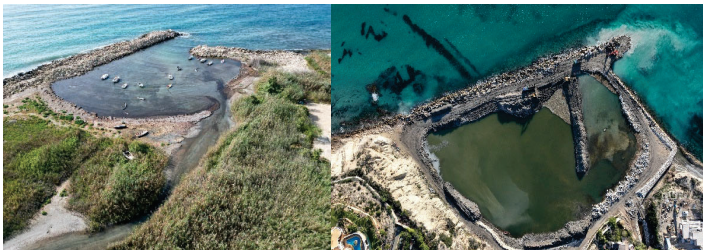


Fig. 1 Situación inicial de Cala Baeza y con las obras avanzadas

Del mar abierto a la costa: reconstrucción espectral del oleaje con metamodelos híbridos y análisis espacio-temporal en el Golfo de Panamá, Panamá

Ruby Vallarino-Castillo^{a*}, Gabriel Bellido^b, Laur Caagigal^b, Vicente Negro Valdecantos^a, Jesús Portilla-Yandún^c, Fernando Méndez^b, José A. A. Antolínez^d

^aEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory (ECOREL), Universidad Politécnica de Madrid· Campus Ciudad Universitaria, Calle del Profesor Aranguren, 3, 28040 Madrid, Spain.
(*ruby.vallarino@alumnos.upm.es)

^bGeomatics and Ocean Engineering Group. Dpto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente Universidad de Cantabria, Santander, España.

^cCentro de Investigación en Modelización Matemática (MODEMAT), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

^dDepartment of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

Introducción

El Golfo de Panamá es una cuenca semicerrada del Pacífico oriental tropical cuya dinámica de oleaje responde a forzamientos de escala regional y local, incluyendo la variabilidad atmosférica estacional y la geomorfología del golfo. Pese a su importancia oceanográfica y socioeconómica, los estudios existentes se han limitado a parámetros integrales del oleaje (altura, período y dirección), sin considerar la estructura espectral. Este estudio aborda esa brecha mediante un análisis espacio-temporal de espectros direccionales para caracterizar cómo se transforma el oleaje desde mar abierto hasta zonas costeras interiores. El enfoque permite identificar mecanismos de redistribución de energía y su variabilidad estacional e interanual, en un contexto donde se han reportado más eventos extremos en la última década. Evaluar estas tendencias entre 1969 y 2023 es clave para anticipar impactos costeros asociados a un régimen de oleaje más energético.

La reconstrucción espectral del oleaje dentro del Golfo de Panamá se realizó mediante un modelo híbrido de downscaling que combina dos metamodelos desarrollados en la plataforma Bluemath. El primero, BinWaves propuesto por Caagigal et. al. (2024), propaga los sistemas de mar de fondo (swell) hacia el interior del golfo mediante la desagregación del espectro direccional en bins discretos de frecuencia y dirección; asumiendo que las interacciones no lineales son despreciables, cada componente se propaga individualmente con SWAN y se reensambla en la costa mediante el reescalado y la superposición de los bins.

de energía propagados. El segundo metamodelo, HyXSeaSpec, emula la generación de espectros de oleaje forzados por viento a partir de campos atmosféricos regionales obtenidos de un modelo de circulación atmosférica, aplicando reducción multivariante (MDA) para extraer los modos principales del viento, análisis de componentes principales (PCA/EOF) para representar los espectros generados por SWAN en un espacio reducido y redes de funciones de base radial (RBF) para aprender la relación no lineal entre ambos espacios. Durante la fase predictiva, el metamodelo proyecta un nuevo campo de viento en el espacio reducido, estima los coeficientes principales del espectro y reconstruye el espectro direccional completo mediante la transformada inversa de PCA. La combinación espectral de ambos metamodelos generó, para el período 1969–2023, una base de espectros reconstruidos que muestra el aporte del swell remoto y del oleaje local, reflejando el clima multimodal y variable del oleaje en el Golfo de Panamá.

A partir de los espectros reconstruidos se aplicó el método de partición espectral descrito en Portilla-Yandún y Bidlot (2025) para identificar los principales sistemas de oleaje en cada punto de análisis, diferenciando con claridad los trenes de mar de fondo del oleaje local generado por el viento. La caracterización espacio-temporal permitió reconocer los modos dominantes de variabilidad (estacionales e interanuales) y las relaciones asociadas con los estados extremos del oleaje. El análisis reveló agrupamientos consistentes en el comportamiento espectral, con contrastes bien definidos entre las subregiones del golfo.

Los resultados muestran que la energía del swell del hemisferio sur domina durante la temporada húmeda, mientras que el oleaje local intensificado por el Jet de Panamá prevalece en la estación seca, configurando un régimen multimodal sensible a la variabilidad climática. Asimismo, se observan incrementos en la energía media y en la frecuencia de eventos extremos durante las últimas décadas en los puntos hindcast dentro del golfo, lo que evidencia la influencia combinada de forzamientos remotos y locales sobre la dinámica espectral del oleaje. Este estudio constituye la primera descripción detallada de la dinámica espectral del oleaje en el Golfo de Panamá y aporta una base cuantitativa para la evaluación del riesgo costero y la planificación de estrategias de adaptación frente a sus impactos en el Pacífico tropical oriental.

Referencias

- PORTILLA-YANDÚN J, BIDLOT J-R (2025). “A global ocean spectral wave climate based on ERA-5 data: GLOSWAC-5”. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2025JC022629>
- CAGIGAL, L., MÉNDEZ, F.J., RICONDO, A., GUTIÉRREZ-BARCELÓ, D. & BOSSERELLE, C. (2024). “BinWaves: An additive hybrid method to downscale directional wave spectra to near-shore areas” en *Ocean Modelling*. 84, 102346.
- GEOOCEAN GROUP. *BlueMath (Repositorio en GitHub)*. <https://github.com/GeoOcean/BlueMath> [Consulta: 12 de noviembre de 2025] [institucional]

Técnicas de IA aplicadas a la asimilación de datos de oleaje

Alejandro Gonzalez^a, Antonio Tomas^a, Ezquiel Cimadevilla^b, Andrea Lombardi^c

^aIHCantabria - Instituto de Hidraulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 alejandrogonzalezv@unican.es;  antonio.tomas@unican.es

^bIFCA – Universidad de Cantabria, Santander, España, ezequiel.cimadevilla@unican.es

^c Universidad de Roma “La Sapienza”, lombardi.1807305@studenti.uniroma1.it

1. Introducción

Los modelos numéricos son la herramienta habitual para simular el comportamiento del oleaje, pero presentan limitaciones especialmente en zonas costeras y portuarias donde la complejidad batimétrica, los procesos de transformación y la presencia de estructuras introduce incertidumbres en la estimación de las condiciones reales. Para minimizar estos efectos, la asimilación de datos combina las salidas de los modelos numéricos con observaciones instrumentales. Tradicionalmente, estos enfoques se han basado en métodos estadísticos y deterministas, con dificultades para captar relaciones no lineales. Hoy en día, con la presencia de nuevos recursos computacionales cada vez más potentes y la masividad de los datos nace un nuevo paradigma, la inteligencia artificial.

En este trabajo se analiza y comparan distintas técnicas de asimilación de datos de oleaje para mejorar la estimación de las condiciones reales en entornos costeros y portuarios. Se evalúan tanto metodologías clásicas de corrección estadística y determinista como aproximaciones más recientes basadas en inteligencia artificial, con el objetivo de identificar sus ventajas, limitaciones y aplicabilidad operativa en el contexto de los puertos inteligentes.

2. Metodología

Fase 1: Fuentes de datos. Series históricas de oleaje de REDEXT en 15 localizaciones, complementadas con reanálisis de Copernicus (IBI) y de IHCantabria (GOW).

Fase 2: Técnicas de aprendizaje automático. Aplicación de modelos de regresión, modelos direccionales, redes neuronales artificiales, un esquema K-Means con calibración posterior...

Fase 3: Validación cruzada temporal. Separación cronológica de entrenamiento y validación mediante una fecha de corte común para evaluar la capacidad de generalización.

Fase 4: Métricas de evaluación. Evaluación del rendimiento mediante sesgo, RMSE, coeficiente de correlación de Pearson e índice de dispersión.

3. Resultados

Los resultados confirman el potencial de las técnicas de inteligencia artificial para mejorar significativamente la calidad de las estimaciones de oleaje. Todos los modelos reducen el sesgo respecto a los datos de reanálisis sin calibrar, mostrando mejoras consistentes en todas las localizaciones analizadas. Además, presentan un bajo coste computacional que facilita su integración en sistemas operativos de gestión portuaria

La inclusión explícita de la dirección del oleaje supuso un avance relevante, permitiendo reproducir con mayor fidelidad los patrones asociados a los distintos regímenes direccionales. Las nuevas técnicas de inteligencia artificial permiten abrir un nuevo marco multivariante donde incorporar nuevas variables (como el periodo) o incluso forzantes de otra naturaleza como viento, nivel del mar y corrientes. Este enfoque resulta especialmente relevante en el contexto del puerto inteligente, consolidado en la última década como una estrategia orientada a mejorar la eficiencia, operatividad, sostenibilidad y resiliencia de las infraestructuras portuarias mediante tecnologías avanzadas, donde la integración de información meteo-oceánica en la gestión operativa es clave para evitar pérdidas económicas, interrupciones logísticas e incluso accidentes.

Referencias

- Copernicus. (2024). *Atlantic -Iberian Biscay Irish- Ocean Wave Reanalysis*.
doi:<https://doi.org/10.48670/moi-00030>
- IHCantabria, I. d. (2021). *Global Ocean Wave (GOW)*. Obtenido de
<https://ihdata.ihcantabria.com/wave-data/>
- Mínguez, R., Espejo, A., Tomas, A., Méndez, F., & Losada, I. (2011). Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY*.
- Puertos del Estado. (2024). *La red de boyas costeras:(REDEXT)*.
https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT_2.pdf
- Tomas, A. (2009). Metodologías de calibración de bases de datos de reanálisis de clima marítimo (Tesis doctoral). <http://www.thesisred.net/TDR-0628110-134140>

CHySwash: una metodología híbrida para la calibración eficiente de modelos hidrodinámicos

Beatriz Pérez-Díaz^{a,b}, Pablo Zubia Palazuelos^a, Alba Ricondo^c, Manuel Zornoza-Aguado^d, Curt D. Storlazzi^e, Laura Cagigal^f, Valvanuz Fernandez-Quiruelas^{a,b}, Pablo Alonso-Alguacil^a, Fernando Méndez^a, Sonia Castanedo^a

^aGeoOcean group, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria,  perezdb@unican.es;  cagigall@unican.es;  fernanqv@unican.es;  alonsoap@unican.es;  mendezf@unican.es;  castanedos@unican.es; ^bDepartamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación, Universidad de Cantabria; ^cOregon State Univeristy, Oregon,  alba.ricondo@oregonstate.edu; ^dLaboratório de Dinâmica dos Oceanos, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil,  manuel.zornoza@posgrad.ufsc.br; y ^eU.S. Geological Survey, Santa Cruz, USA,  cstorlazzi@usgs.gov.

1. Introducción

Los modelos hidrodinámicos capaces de resolver la transformación del oleaje en las regiones costeras constituyen componentes esenciales de las herramientas de apoyo a la toma de decisiones tanto para la gestión y planificación de riesgos, como para la ingeniería costera. Sin embargo, la calidad de los resultados obtenidos mediante estas herramientas depende, en gran medida, de la correcta estimación de sus propios coeficientes de calibración. Este trabajo se centra en el desarrollo de una metodología de calibración automática de estos modelos que reduce el tiempo y los recursos comúnmente necesarios para esta tarea mediante la modelización híbrida. La metodología propuesta se aplica y valida en un entorno costero de arrecifes de coral monitorizado, en Molokai, Hawái. En concreto, se predice los coeficientes óptimos de rotura del oleaje (Cr) y de fricción (Cf), que gobiernan el proceso de rotura del oleaje y la disipación de la energía del oleaje.

2. Metodología

La metodología CHySwash, basada en su predecesora HySwash (Ricondo et al., 2024), combina técnicas de aprendizaje estadístico, como muestreo, reducción de dimensionalidad e interpolación; con técnicas de optimización matemática y modelado hidrodinámico de alta fidelidad para estimar eficientemente la hidrodinámica de la zona de rompientes. A partir de una base de datos sintética de condiciones de oleaje (altura significativa de ola, H_s ; peralte, H_s/Lo ; y nivel del agua, WL) y coeficientes de calibración (Cr y Cf) generada mediante la técnica de muestreo Hipercubo Latino (LHS) y reducida mediante el Algoritmo de Máxima Disimilitud (MDA), se realizan simulaciones dinámicas con el modelo SWASH (Zijlema et al., 2011). Las variables resultado, la altura de ola cuadrática media, H_{rms} , y la componente

infragravitatoria, *Hig*, reducen su dimensionalidad mediante análisis de Componentes Principales (PCA) y se interpolan mediante un algoritmo basado en Funciones de Base Radial (RBF), permitiendo predecir la respuesta hidrodinámica bajo nuevas condiciones. La calibración final se obtiene minimizando el error medio cuadrático (RMSE) frente a mediciones de campo mediante el algoritmo de optimización Shuffled Complex Evolution (SCE), que identifica la combinación óptima de los coeficientes Cr y Cf .

3. Resultados y conclusiones

Esta metodología proporciona una alternativa computacionalmente eficiente a los métodos clásicos de calibración, que dependen de costosas simulaciones dinámicas y limitan la exploración de combinaciones de coeficientes de calibración. Además, la metodología presentada puede adaptarse fácilmente para incluir coeficientes o parametrizaciones adicionales, así como para analizar otras variables, como el set-up medio del oleaje o la altura significativa del oleaje de muy baja frecuencia.

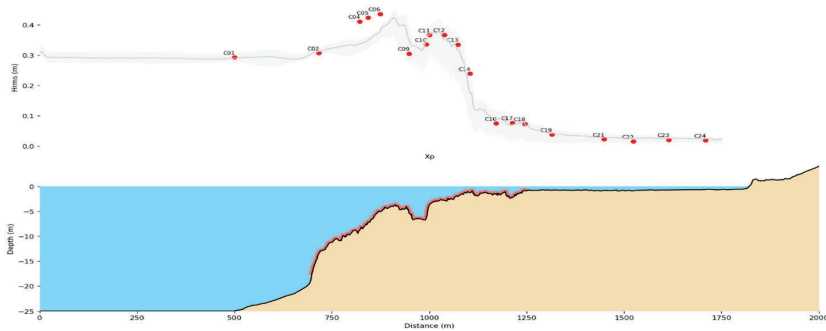


Fig. 1 Evolución de H_{rms} en un transecto. Las líneas grises son los resultados para distintas combinaciones de coeficientes de calibración, y la línea gris oscura para los coeficientes óptimos. Los puntos rojos las mediciones de los sensores

Agradecimientos

Esta investigación ha sido elaborada en el marco del proyecto EasyFlood (PID2023-150689OB-I00 - MCIN/AEI/10.13039/501100011033); y el proyecto TWINPEACS (AIA2025-163820-C51- MICIU/AEI/10.13039/501100011033).

Referencias

- RICONDO, A., CAGIGAL, L., PEREZ-DIAZ, B., & MENDEZ, F. J. (2024). “HySwash: A hybrid model for nearshore wave processes” *Ocean Engineering*, 291, 116419. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116419>
- ZIJALEMA, M., STELLING, G., SMIT, P., (2011). “SWASH: an operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters” *Coast. Eng.* 58 (10), 992–1012. <https://doi.org/10.1016/J.COASTALENG.2011.05.015>.

GreenSurge 2.0: un modelo aditivo escalable y eficiente para la modelización de la marea meteorológica

Etienne Faugere, Beatriz Pérez-Díaz, Laura Cagigal, Paula Camus, Valvanuz Fernandez-Quiruelas, Javier Tausia, Sonia Castanedo, Fernando J. Méndez

Grupo de Ingeniería Geomática y Oceanográfica, Universidad de Cantabria, Santander, España

1. Introducción

La marea meteorológica (*storm surge*) constituye uno de los principales componentes de los niveles extremos del mar y, suele estar impulsado por sistemas meteorológicos caracterizados por bajas presiones atmosféricas y vientos intensos. Tradicionalmente, esta componente se ha estimado mediante simulaciones numéricas dinámicas que, aunque precisas, resultan computacionalmente costosas, requiriendo tiempos de cálculo elevados y, por ello, difíciles de integrar en sistemas de alerta temprana o de evaluación de riesgo. Para abordar esta limitación, el modelo híbrido aditivo GreenSurge (GS, Pérez-Díaz et al., 2025) ha demostrado una precisión comparable a la de las simulaciones numéricas dinámicas.

GS se basa en la generación de una librería de respuestas del nivel del mar a fuentes unitarias de viento desde cualquier dirección que, asumiendo interacción lineal de procesos, se escalan, se suman y se combinan con el efecto del barómetro inverso para reconstruir el storm surge asociado a cualquier evento. Esta metodología ha sido validada en la isla de Tongatapu (Reino de Tonga), donde las predicciones de GS para distintos ciclones tropicales fueron validados con los datos de mareógrafos. Con el objetivo de generalizar GS para un rango más amplio de forzamientos atmosféricos, incluidos los ciclones extra tropicales y otros sistemas meteorológicos regionales y locales, este trabajo presenta una versión robusta y escalable de GS, denominada en adelante GS 2.0.

2. Metodología

Con este objetivo, se incorporan los siguientes avances: 1) el desarrollo de pymesh2D, una herramienta basada en mesh2D (Engwirda, 2014, <https://github.com/dengwirda/mesh2d>) para la generación automática de mallas no estructuradas adaptadas a la batimetría del área de estudio; 2) la definición de la malla de computo en función de la malla de forzamiento; 3) la selección optimizada de los parámetros de GS relacionados con la discretización espacial y temporal del forzamiento atmosférico; 4) la automatización e integración del flujo de trabajo de GS 2.0, incluyendo la generación de las mallas, la creación de la librería GS y la reconstrucción de eventos, dentro de la plataforma BlueMath-Hub, un repositorio en la nube, de código abierto, dirigido a científicos y profesionales del ámbito costero.

3. Resultados

Como demostración de las nuevas capacidades de GS 2.0, se han desarrollado aplicaciones en Kwajalein, Guam, O'ahu, Tyndally Mar del Norte. Véase en la Fig. 1 el ejemplo de la aplicación en O'ahu. Estos emplazamientos incluyen entornos con diferentes plataformas insulares, configuraciones geomorfológicas y condiciones atmosféricas para evaluar GS2.0. Estas aplicaciones se validan tanto numéricamente comparando resultados frente a simulaciones dinámicas como con datos de mareógrafos disponibles. Los resultados confirman que GS 2.0 proporciona un marco eficiente y transferible para la predicción de storm surge, además de permitir el análisis de la influencia de la geometría de la plataforma continental y de la batimetría costera y la tipología de condiciones atmosféricas en la generación y propagación del storm surge.

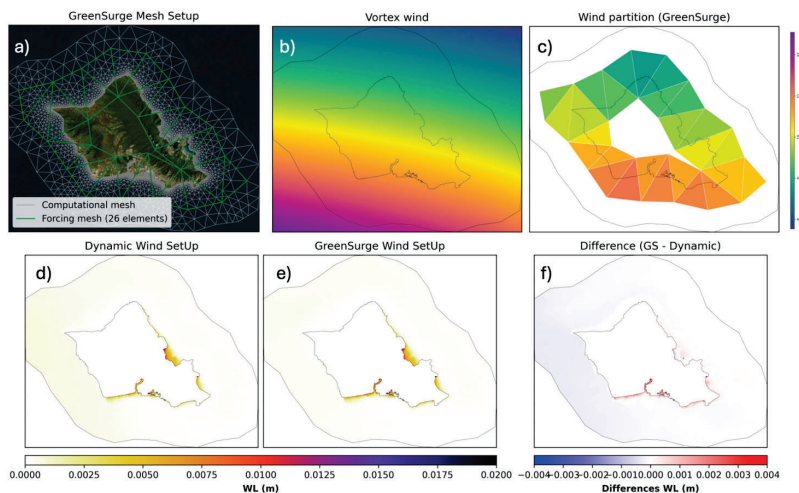


Fig. 1 a) Configuración de GS, en O'ahu, malla computacional y de forzamiento; b) campo de viento máximo del ciclón tropical Iselle (2014); c) discretización del forzamiento sobre la malla de GS; d) storm surge máximo obtenido mediante simulación dinámica; e) storm surge mediante GS 2.0; y f) diferencia entre ambas soluciones

Agradecimientos

Esta investigación ha sido elaborada en el marco del proyecto EasyFlood (PID2023-150689OB-I00 - MCIN/AEI/10.13039/501100011033), HyBay (PID2022-141181OB-10) y MyFlood (PLEC2022-009362 - MICIU/AEI/10.13039/501100011033)

Referencias

Pérez-Díaz, B., Cagigal, L., Castanedo, S., Fernandez-Quiruelas, V., Méndez, F. J. (2025). GreenSurge: an efficient additive model for predicting storm surge induced by tropical cyclones. *Coastal Engineering*, Volume 197, 15 April 2025, 104691. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104691>

Monitorización del nivel del mar en la Isla de Decepción (Antártida) mediante boya oceanográfica GNSS de alta precisión

Marcos Larrad^a, Silvia Costa^a, Alberto Rodríguez^b, David Rodríguez^b, Rafael Molina^c

^aInstituto Hidrográfico de la Marina, mlarrev@fn.mde.es; , scosgon@mde.es

^bDeep Insight S.L., , alberto.rodriguez@deep-insight.es;

^cDpto. Ingeniería Civil Universidad Politécnica de Madrid (UPM), , rafael.molina@upm.es;

1. Introducción

La obtención de registros instrumentales precisos del nivel del mar en regiones polares presenta importantes retos técnicos y logísticos debido a las condiciones ambientales extremas y a la limitada infraestructura disponible. Sin embargo, estos registros resultan esenciales para la definición de referencias verticales, el establecimiento del Cero Hidrográfico de las cartas náuticas y la caracterización del régimen de mareas en zonas escasamente instrumentadas.

La Isla de Decepción, situada en el archipiélago de las Shetland del Sur (Antártida), constituye un enclave de especial interés hidrográfico y científico. En este contexto, el Instituto Hidrográfico de la Marina, en colaboración con Deep Insight, ha llevado a cabo la instalación y operación de una boya oceanográfica específicamente diseñada para la medida directa del nivel del mar con precisión centimétrica mediante técnicas GNSS de alta precisión.

Este trabajo presenta los resultados de dos campañas de monitorización realizadas durante los veranos australes de 2024 y 2025, y describe la metodología instrumental y de procesado empleada para la obtención de un registro continuo del nivel del mar en la Isla de Decepción.

2. Metodología

El sistema instrumental empleado consiste en una boya oceanográfica DeepBUOY-RTK, desarrollada por Deep Insight y gestionada e instalada por personal del Instituto Hidrográfico de la Marina. A diferencia de las boyas convencionales orientadas a la medida del oleaje, este sistema integra dos receptores GNSS de alta precisión, operando de forma redundante, junto con sensores inerciales que registran aceleraciones y ángulos de giro de la plataforma.

Esta configuración permite determinar la altura elipsoidal de la boya con una precisión del orden de ± 2 cm, así como corregir los efectos de inclinación y movimiento para estimar el desplazamiento vertical asociado al nivel del mar. Asimismo, se ha aplicado una corrección

geométrica entre la altura de las antenas GNSS y la línea de flotación de la boya, permitiendo referir las observaciones GNSS al nivel instantáneo del mar.

Para alcanzar la precisión requerida, los datos GNSS registrados por la boya se han procesado en modo PPK (Post-Processed Kinematic), utilizando como referencia estaciones GNSS instaladas en la propia Isla de Decepción, pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional y a la Universidad de Cádiz. El procesamiento diferencial ha permitido reducir los errores sistemáticos y mejorar la calidad de las estimaciones verticales.

La boya transmitía los datos registrados en tiempo real mediante un radioenlace WiFi hasta un receptor situado en la Base Antártica Gabriel de Castilla. Desde allí, la información era enviada vía satélite a un servidor remoto, donde se realizaba el almacenamiento y el procesamiento posterior de los datos GNSS, generándose series temporales finales del nivel del mar con resolución minutal.

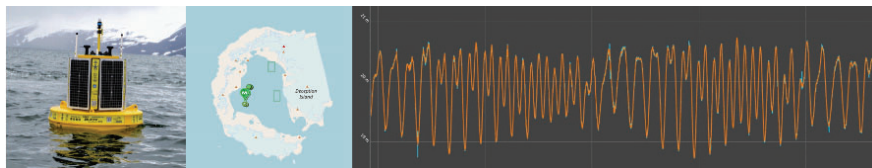


Fig. 1 Boya DeepBUOY-RTK, Isla Decepción (Antártida). Fuente: IHM-DeepInsight (2024)

Conclusiones

Las campañas realizadas durante los veranos australes de 2024 y 2025, que abarcan los meses de enero, febrero y marzo, han permitido obtener un registro continuo y de alta resolución del nivel del mar en la Isla de Decepción. A partir de estas series temporales se han identificado claramente las principales componentes mareales y su variabilidad durante los periodos de observación.

Los registros instrumentales obtenidos han sido empleados para la calibración y validación de la onda de predicción mareal en la zona, obtenida a partir de las constantes armónicas determinadas mediante observaciones mareográficas. Esta comparación ha permitido evaluar la coherencia entre las predicciones mareales y las observaciones instrumentales realizadas mediante GNSS, aportando una referencia independiente para el ajuste de la predicción.

La experiencia presentada demuestra la viabilidad del uso de boyas GNSS-RTK como alternativa o complemento a los mareógrafos convencionales en entornos remotos, proporcionando una solución flexible y de alta precisión para la observación del nivel del mar. Los resultados obtenidos contribuyen a mejorar la caracterización del régimen de mareas en la Isla de Decepción y apoyan el desarrollo de la cartografía náutica y las referencias verticales en regiones polares.

Proyecto de rehabilitación del Puerto de Kalundu para hacer frente al cambio climático en el lago Tanganica

Virginia Martín¹, Antonio Tomás²

E. Revuelta¹, F. Cea¹, J. Muñoz¹, A. Tejada¹, C. Herrera¹, S. Navas², A. Silió-Calzada², G. Díaz-Hernández² y M. Del Jesús²

¹ TYPsa, Madrid, ESPAÑA; vmartin@typsa.es

² IHCantabria, Santander, ESPAÑA; antonio.tomas@unican.es

1. Introducción

El Banco Mundial impulsa el desarrollo de la región de los Grandes Lagos africanos con el objetivo de reforzar el comercio internacional y los intercambios transfronterizos. En este contexto, el Puerto de Kalundu, el segundo más importante de la República Democrática del Congo, desempeña un papel estratégico por su conexión con el corredor central a través de Dar es Salaam (Tanzania) y por su potencial para captar tráfico de contenedores procedente del corredor norte desde Mombasa (Kenia).

En la actualidad, el puerto presenta importantes limitaciones derivadas del envejecimiento de sus infraestructuras, la escasa superficie operativa, los problemas de sedimentación y, especialmente, el aumento del riesgo de inundaciones asociado al incremento del nivel del lago Tanganica. Este fenómeno, cada vez más frecuente, está directamente relacionado con los efectos del cambio climático y ha provocado interrupciones significativas de la operatividad portuaria, como las inundaciones registradas en 2024.

Para dar respuesta a esta situación, TYPsa ha desarrollado un proyecto de rehabilitación y ampliación del Puerto de Kalundu que contempla la modernización de las infraestructuras existentes, la construcción de una nueva terminal y un nuevo muelle para tráfico de contenedores, y la adaptación de la cota de coronación de los muelles, con criterios de escalabilidad y resiliencia climática. El objetivo es garantizar la continuidad operativa del puerto, mejorar su capacidad y asegurar su competitividad a medio y largo plazo.

Como apoyo al diseño, IHCantabria ha llevado a cabo estudios hidráulicos fundamentales, centrados en la verificación de la configuración portuaria frente a la agitación del oleaje y en la determinación de los niveles de agua de proyecto. Estos estudios han resultado clave en un contexto marcado por la escasez de datos históricos y por la necesidad de incorporar proyecciones futuras de cambio climático en el dimensionamiento de las infraestructuras.

2. Estudios realizados

El análisis del estado actual del puerto muestra que Kalundu ocupa una superficie de 26 440 m² y dispone de una longitud total de muelle de 355 m, con una cota de coronación de +767 m. Las limitaciones operativas, junto con la insuficiencia de dicha cota frente a los niveles

elevados del lago, evidencian la necesidad de una intervención integral. La sedimentación asociada a los aportes torrenciales desde el sur reduce además la navegabilidad y obliga a realizar dragados periódicos.

En el marco del proyecto se han desarrollado estudios topográficos, batimétricos, geotécnicos y geofísicos, así como un estudio de demanda de tráfico para estimar la evolución futura de las mercancías contenerizadas y no contenerizadas. A partir de estos resultados se ha definido la nueva configuración portuaria, posteriormente validada mediante estudios de agitación de oleaje.

Un elemento central del proyecto ha sido el análisis del comportamiento hidrodinámico del lago Tanganica. Por un lado, se ha llevado a cabo un estudio morfodinámico basado en imágenes satelitales históricas (LANDSAT Y SENTINEL-2), que ha permitido analizar la evolución de la línea de costa, la dinámica sedimentaria y las variaciones del nivel del lago en el entorno del puerto. Los resultados confirman una tendencia general de aumento del nivel del agua y de expansión de la superficie del lago, con una elevada variabilidad estacional y episodios recientes que superan los patrones históricos.

Por otro lado, se ha desarrollado un estudio específico de proyección de niveles del lago bajo escenarios de cambio climático, combinando datos históricos hidrológicos y meteorológicos con modelos estadísticos y proyecciones climáticas globales. Se han considerado dos escenarios representativos (SSP245 y SSP585), que muestran un incremento progresivo de los niveles medios y extremos del lago, más acusado en el escenario de altas emisiones. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de adaptar las infraestructuras portuarias a condiciones futuras más severas.

A partir de estos estudios y siguiendo las directrices de la ROM 2.0-11, se ha definido la cota de coronación de los muelles como la suma del nivel extremo del lago asociado a la vida útil de diseño, el incremento previsto por cambio climático y la contribución del oleaje. Como resultado, se ha adoptado una cota de diseño de +769,00 m, que supone una elevación de 2 m respecto a la situación actual.

El diseño contempla la elevación de los muelles existentes y la construcción de un nuevo muelle sobre pilotes, con una plataforma de mayor anchura y capacidad portante, adecuada para la operativa de contenedores. Esta solución permite mejorar la seguridad frente a inundaciones, aumentar la capacidad de atraque y facilitar futuras ampliaciones del puerto.

Conclusiones

En conclusión, el proyecto de rehabilitación del Puerto de Kalundu permitirá transformar una infraestructura vulnerable en un puerto moderno, eficiente y resiliente, preparado para hacer frente a los efectos del cambio climático y al crecimiento previsto del tráfico marítimo. La integración de estudios avanzados de niveles de agua y la adaptación de las cotas de diseño garantizan la sostenibilidad y funcionalidad del puerto a largo plazo, consolidando su papel como nodo logístico clave en la región de los Grandes Lagos.

Proyecto de ejecución de un nuevo muelle multipropósito en el Puerto de Dos Bocas (Golfo de México)

María Piedad Herrera^a, Javier Salcedo Cabello^b, Roberto Pillado^c

^a PROES Consultores S.A., , mariapiEDAD.herrera@proes.es; ^b PROES Consultores S.A., , javier.salcedo@proes.es y ^c PROES Consultores S.A., , roberto.pillado@proes.es

1. Introducción y antecedentes

Porter Dos Bocas es una empresa filial de Porter Holding, un Corporativo con amplia experiencia en el desarrollo de proyectos en sectores energéticos, marítimos y portuarios en el Golfo de México.

Es la tenedora de un Contrato de Cesión Parcial de Derechos y Obligaciones para construir y operar una terminal portuaria en una parcela de 5.9 hectáreas dentro del recinto portuario ASIPONA DOS BOCAS en Paraíso, Tabasco, México. En el marco de este contrato, Porter Dos Bocas contactó con PROES Consultores S.A. para la realización del proyecto de ejecución del nuevo muelle multipropósito y de las zonas anexas al mismo. Para el diseño del proyecto, se ha tenido en cuenta los principales condicionantes climáticos y de explotación del terminal; que han requerido la realización de diversos estudios náuticos, y el desarrollo de una ingeniería de detalle para la solución que se expone en los siguientes apartados.

2. Objeto de la actuación

La terminal Porter Dos Bocas está diseñada y desarrollada en función de las necesidades del mercado del Golfo de México. Para ello, se analizaron los sectores de influencia en la región de impacto de la terminal, proyectándola de acuerdo con las necesidades operativas de los servicios requeridos para satisfacer la demanda del mercado.

Así pues, está previsto la ejecución de un nuevo terminal con uso comercial, tanto nacional como internacional, de tipo multipropósito con capacidad para recibir varios tipos de mercancía: Graneles líquidos, graneles sólidos (ordinarios y pesados), mercancía general (convencional y pesada), mercancía general unificada, contenedores, semirremolques y otras cargas RO-RO y otros tráficos (pasajeros, etc..).

Para ello, será necesario la construcción de un nuevo muelle continuo pilotado de 300 m de longitud y 22 m de ancho que permita el atraque y amarre de buques de hasta 166 m de eslora; al que se anexan la zona y patios de almacenamiento. Todo ello, conectado por las vías de

comunicación pertinentes y las zonas complementarias de circulación y estacionamiento. En la siguiente figura se muestra la planta de estado futuro de la terminal proyectada.



Fig. 1 Planta de estado futuro. Fuente: elaboración propia

3. Solución adoptada

El nuevo muelle tendrá una longitud total de 300 m y permitirá el atraque de buques entre 80 y 166 m de eslora con un calado máximo en carga de 10 m, resultando un calado en la fosa de atraque de 12 m (referido a NBMI).

La tipología estructural será la de muelle de pilotes metálicos, sobre los que descansará un tablero o superestructura coronado a la cota +3.5 m (en cantil). La tipología estructural ha venido condicionada principalmente por los altos niveles de agitación portuaria y la orientación del nuevo muelle respecto a la bocana del puerto.

Toda la zona de operación sobre muelle (de 22 m de ancho) tendrá un acabado de hormigón con pendiente del 0.5% vertiente hacia el mar (cota +3.61 m en trasdós). La zona trasdosada (zona de almacenamiento) se rellenará con material todo uno hasta la cota +0.0 m, y por encima del mismo, se colocará material procedente de dragado (compactado en tongadas de máximo 30 cm de espesor); conformando así el relleno de la explanada.

Debido a la limitación de espacio establecida por los límites de la concesión, el cierre este del muelle se realizará mediante un recinto de tablestacas con una solución tipo cofferdam. Este deberá ser ejecutado previa realización de los movimientos de tierras para minimizar los volúmenes de material.

Proyecto de ampliación de las reservas de tierra en el Puerto de Dos Bocas (México)

Sara Iglesias Tello^a, Daniel Zamora Serrano^b, José Manuel González Herrero^c,
Javier García Linares^d

^{a,b,c}ACCIONA Ingeniería,  saiglesiast@acciona.com;  daniel.zamora.serrano@acciona.com;
jgherrer_ext@acciona.com; ^dASIPONA

1. Introducción

El Puerto de Dos Bocas se sitúa en el municipio de Paraíso, en el estado de Tabasco, en la fachada litoral del Golfo de México. Se trata de puerto multipropósito, de carácter estratégico, cuya actividad ha estado tradicionalmente vinculada al soporte logístico de la industria petrolera y gasística, principalmente para abastecimiento offshore en el Golfo de México.

Actualmente, el Puerto de Dos Bocas afronta un proceso de transformación orientado a la ampliación y diversificación de sus capacidades portuarias, lo cual requiere de la dotación de nuevas infraestructuras que acompañen el crecimiento del puerto.

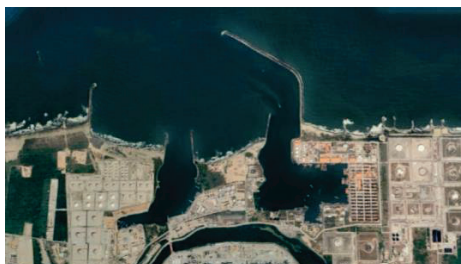


Fig. 1 Puerto de Dos Bocas. Estado actual

2. Aspectos significativos de la actuación

El proyecto ha planteado la generación de un nuevo muelle multipropósito de 850 m de longitud y su correspondiente explanada asociada, de más de 35 Ha, concebidos para la operación de buques de carga general y graneleros. La explanada portuaria estará dotada de los accesos, infraestructuras y servicios necesarios para el adecuado desarrollo de la actividad portuaria y logística.

El proyecto incorpora una serie de soluciones técnicas y actuaciones relevantes, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Estudio detallado de clima marítimo, agitación y huracanes.
- Tipología de muelle mediante **pilotes prefabricados de hormigón, con sección cuadrada**, muy habituales en la zona, y tablestaca trasera.

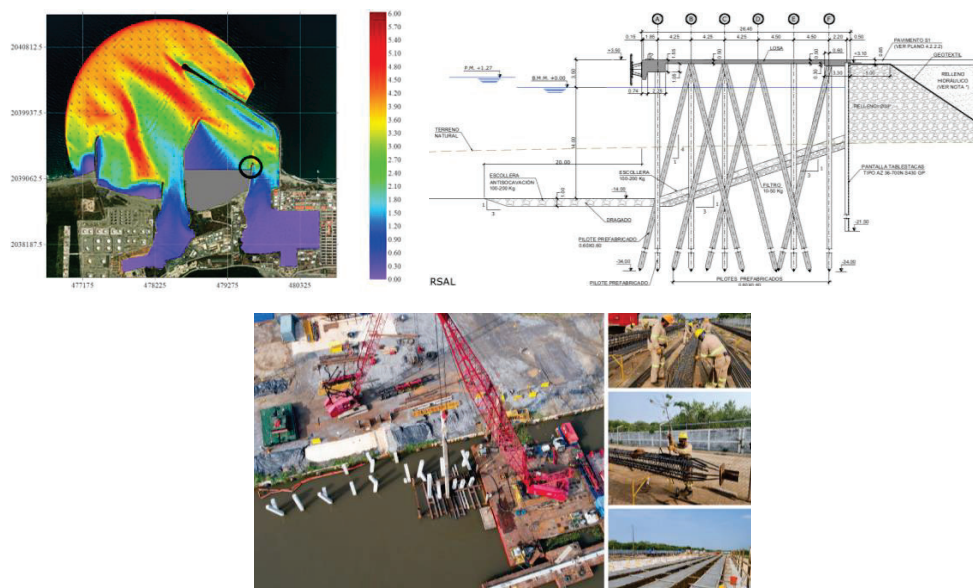


Fig. 2 Nuevo muelle, explanada y dique de abrigo (imagen superior izquierda) y Sección tipo del muelle (imagen superior derecha). Fuente: elaboración propia. Ejemplo de ejecución muelle de pilotes prefabricados (imágenes inferiores). Fuente: Constructora Manzanillo.

- **Dragado en la dársena** frente al nuevo muelle y canal de acceso de **2.8 millones de m³**. El material procedente del dragado será empleado en su totalidad en el relleno de la explanada.
- **Tratamiento del relleno** que forma la explanada adosada mediante **compactación dinámica**, con el objetivo de limitar los **asientos** y el **potencial de licuefacción**.
- Diseño de un **dique de abrigo de tipología en talud**, con piezas tipo **Antifer**.

3. Resultados y conclusiones

Los principales retos resueltos fueron:

- Necesidad de disponer de abrigo adicional al existente, no contemplado al inicio del proyecto, y en consecuencia la necesidad de modificación y ampliación del canal de entrada al puerto.
- Solución estructural alineada con la cultura tecnológica y el equipamiento de las constructoras mexicanas: pilotes prefabricados hincados y tablestaca trasera. El análisis estructural ha comprobado su adecuado comportamiento frente a las acciones (buque, sobrecargas, acción sísmica) y las características geotécnicas del terreno.
- El tratamiento del terreno proporciona la densificación necesaria al material vertido en la explanada procedente del dragado, para su uso como base de la explanada, limitando asientos.

Ampliación del Puerto de Freetown: innovación, colaboración y adaptación geotécnica

Maria del Carmen Rodríguez Peralta

Beckett Rankine Ltd, Consultoría de ingeniería marítima, maria@beckettrankine.com

1. Introducción

El Puerto de Freetown es un punto estratégico para el comercio de Sierra Leona y de África Occidental. Dentro de su proceso de modernización, Nectar Sierra Leone Bulk Terminal (NSBT) debía construir un tercer atraque capaz de recibir buques de hasta 225 metros, ampliando la capacidad operativa del terminal. El proyecto, iniciado en 2020, se desarrolló en un contexto global adverso —la pandemia del COVID-19, interrupciones logísticas y encarecimiento del acero— que afectó plazos y suministros. Aun así, mediante un diseño flexible, una gestión colaborativa y soluciones técnicas innovadoras, la infraestructura pudo completarse con éxito.

2. Planificación y diseño del nuevo atraque

La ampliación solo era viable en el extremo oriental del terminal, donde la geometría costera obligó a diseñar un atraque con un ángulo específico. Se seleccionó una pantalla combinada de pilotes tubulares y tablestacas formando un cajón estanco, adecuada para las condiciones marinas. Las limitaciones de la investigación geotécnica inicial exigieron un diseño flexible, capaz de ajustarse a variaciones del terreno. El aumento del precio del acero y los retrasos en su suministro llevaron a optimizar dimensiones y materiales. Durante la hinca se detectó un terreno más blando de lo previsto, lo que requirió CPT adicionales, refuerzos y ajustes en la secuencia de relleno.

3. Fases del proyecto

La colaboración temprana entre cliente y contratista bajo un contrato NEC4 permitió optimizar el diseño desde el inicio. Este trabajo conjunto facilitó realinear el atraque para reducir dragado, ampliar el área operativa mediante rellenos, sustituir elementos de acero por soluciones más económicas como escolleras, eliminar un delfín de amarre offshore y anticipar la compra de materiales críticos. Esta colaboración temprana redujo costes, acortó plazos y disminuyó riesgos constructivos.

La obra comenzó en 2022 con la instalación de la oficina de obra y el acopio del acero en barcasas. Se fabricaron guías de pilotes para mejorar la eficiencia y se priorizó la contratación

de personal local. El proyecto se modeló íntegramente en Autodesk Revit, lo que permitió detectar interferencias y agilizar la producción de planos. Durante esta fase se completaron también los diseños de drenaje, pavimentos, protección costera y red eléctrica, consolidando la integración de todas las disciplinas.

4. Condiciones del terreno, monitorización y mejoras implementadas

El subsuelo presentaba arcillas muy blandas, arenas sueltas y capas rígidas en profundidad, además de rellenos artificiales^[1]. Los CPT marinos realizados durante la obra confirmaron una alta variabilidad geotécnica, lo que obligó a modificar el diseño, alargar pilotes de anclaje y reutilizar acero disponible para adaptarse a las nuevas condiciones.

Se instaló un sistema de monitorización automatizado con prismas, marcadores de asentamiento y una estación total con lecturas horarias. Los datos, accesibles en tiempo real para equipos en Sierra Leona y el Reino Unido, permitieron ajustar la secuencia de relleno mediante un método observacional apoyado en modelos Plaxis 2D y 3D. El relleno hidráulico, procedente de una zona cercana, se colocó con una draga de pequeña capacidad para controlar cada descarga y su efecto inmediato.

Para garantizar la estabilidad se ejecutaron columnas de grava dentro del cajón estanco, utilizando el mismo vibrador empleado en la vibrocompactación del relleno. Estas columnas aceleraron la consolidación, mejoraron la capacidad portante y redujeron asentamientos futuros, optimizando su profundidad según los CPT posteriores al relleno.

Conclusiones

El proyecto demuestra que es posible desarrollar infraestructuras portuarias modernas en África Occidental incluso bajo condiciones geotécnicas complejas y limitaciones logísticas. La combinación de diseño flexible, colaboración temprana, monitorización avanzada y soluciones sostenibles permitió completar un atraque estratégico que incrementa la capacidad del Puerto de Freetown y refuerza su papel en el comercio regional.

Referencias

- [1] Macfarlane, A, Crow, M.J., Arthurs, J.W., Wilkinson, A.F. and Aucott, J.W. (1981). The geology and mineral resources of Northern Sierra Leone. Overseas Memoirs. (Institute of Geological Sciences), No. 7.

Estructuras de protección de muelles frente a la erosión del lecho marino causada por las hélices de los buques

Ginna M. Torres, Marta Jimenez, Diego Garcia

A Bianchini Ingeniero (Maccaferri Group)

 g.torres@maccaferri.com ; m.jimenez@maccaferri.com y dg.gordo@maccaferri.com

1. Resumen

La estabilidad de los sistemas de protección contra la erosión depende tanto de la capacidad de prevenir la pérdida de suelo en la parte inferior como de mantener su integridad frente a los efectos de las fuerzas hidrodinámicas. En este trabajo, se presenta un enfoque avanzado para el diseño de colchones de gavión prefabricados destinados a la protección contra la erosión en estructuras portuarias, considerando tanto la integridad del sistema como el control de la erosión subyacente frente a fuerzas hidrodinámicas. El método incorpora la velocidad tangencial en la superficie de los colchones y un umbral aceptable de erosión del suelo, incluyendo factores relacionados con la rugosidad y la porosidad del sistema. Los resultados, obtenidos mediante el desarrollo de unidades especialmente diseñadas con malla adicional, geotextil y ataduras verticales para un relleno más compacto, permiten definir parámetros de resistencia más completos que mejoran significativamente la eficacia frente a turbulencias causadas por hélices, superando a los sistemas convencionales y proporcionando criterios actualizados para el diseño de estructuras de atraque.

2. Contexto general

En las últimas décadas, los buques utilizados en el transporte marítimo han experimentado un crecimiento en tamaño y profundidad, lo que ha generado la necesidad de emplear hélices más potentes, incrementando así las velocidades de flujo. Este aumento de velocidad en las proximidades de los muros del muelle puede ocasionar una mayor erosión en el lecho marino y, potencialmente, el deterioro de las estructuras del muelle. Por consiguiente, se ha vuelto imperativo implementar tecnologías adecuadas de protección para el fondo marino.

Los colchones de gavión han representado durante años una medida rentable para proteger estructuras, recientemente han sido mejorados técnicamente para satisfacer las crecientes necesidades del mercado, en este caso la protección de estructuras portuarias.

En este estudio se presenta un enfoque integral para el diseño de colchones de gavión prefabricados sometidos a la acción de hélices, basado en resultados de ensayos a escala real,

con el objetivo de conocer y proponer parámetros de resistencia actualizados de acuerdo a las directrices estándar para la protección de estructuras (CIRIA 2007; EAU 2009; PIANC 2015). Existen varios tipos de estructuras para la protección del fondo contra la socavación. Los colchones premontados representan una medida rentable para proteger estructuras portuarias y han mejorado tecnológicamente a lo largo de los años. Los colchones premontados están fabricados con malla de alambre de acero de doble trenzado, recubiertos con una aleación de Zn-Al y un polímero de alta resistencia a la abrasión (Fig. 1). Además, la implementación de un geotextil y una malla adicional de doble trenzado en la base permite la separación de los sedimentos en el lecho marino y una protección continua. Estos colchones deben poder izarse con grúa sin perder su forma, por lo que cuentan con barras de elevación para facilitar su izado.

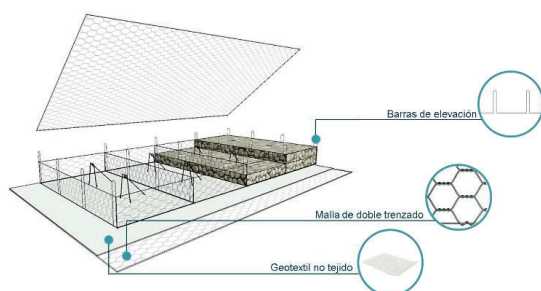


Fig. 1 RenoMac Plus: Colchón precargado

A partir de los resultados de velocidad obtenidos en la CSU, se validó el nuevo modelo interpretativo mediante la medición de la velocidad sobre los colchones utilizando la técnica PIV (Velocimetría por Imagen de Partículas). Una vez validado el modelo, se llevaron a cabo pruebas de deformación. Este estudio ha introducido un enfoque más integral para el diseño de colchones precargados, que están sujetos a acciones de hélices. Este enfoque combina la estabilidad con la función de protección del lecho marino contra la erosión, permitiendo alcanzar parámetros de resistencia más altos, alineados con los avances tecnológicos de las últimas décadas. Las pruebas han demostrado que los nuevos colchones especiales precargados presentan una alta resistencia, superando las soluciones tradicionales y mejorando sus prestaciones mecánicas.

Referencias

CIRIA, CUR, CETMEF, (2007). “The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering” (2nd edition), Manual on the Use of Rock.

PIANC Report 180 (2015): “Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships”

Puertos Greenfield en la India: los rompeolas verticales como una solución eficiente y confiable en aguas profundas

Kazerina Martinez Arenas

Optimización de proyectos, ArcelorMittal Sarl,  kazerina.martinez@arcelormittal.com

1. Introducción

La modernización de los puertos de la India implica importantes inversiones estimadas en 82 billones de USD, incluyendo el desarrollo de varios puertos greenfield actualmente en fase de planificación. Con base en experiencias pasadas, los rompeolas de talud convencionales han mostrado vulnerabilidades frente a condiciones extremas, como elevadas solicitaciones sísmicas y grandes alturas de ola. En este contexto, ArcelorMittal promueve una solución alternativa para infraestructuras portuarias en aguas profundas basada en rompeolas verticales compuestos por celdas circulares construidas con tablestacas planas AS500, que ofrecen una alternativa eficiente y confiable al diseño convencional de rompeolas.



Fig. 1 Ejemplo de un rompeolas en mar abierto en la India. ArcelorMittal CRPS (2025)

2. Desarrollo del proyecto: rompeolas en la India

La India tiene previsto desarrollar un conjunto de infraestructuras portuarias greenfield en condiciones de mar abierto. A modo de ejemplo, el trazado del rompeolas presentado en la Fig.1 tiene una longitud aproximada de 3.400 m. Como propuesta inicial de diseño, se consideró un rompeolas de talud convencional; sin embargo, la propuesta final adopta un rompeolas vertical (véase Fig.2), debido a las ventajas que se describen a continuación.

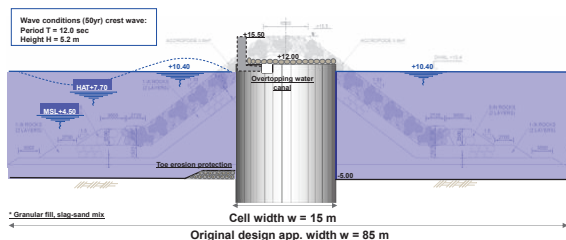


Fig. 2 Imagen a escala de un diseño de rompeolas de talud convencional frente a un diseño de rompeolas vertical. ArcelorMittal CRPS (2025)

2.1 Eficiencia estructural y respuesta al oleaje

En comparación con los rompeolas de talud, los rompeolas verticales alcanzan una mayor eficiencia mediante una configuración compacta y gravitacional autoestable, lo que se traduce en un notable ahorro de espacio y facilita su integración con infraestructuras portuarias como muelles y atraques. Su interacción con la energía del oleaje se caracteriza principalmente por la reflexión y dispersión de la energía de la ola, en lugar de la disipación energética que gobierna el comportamiento de los rompeolas de talud convencionales.

2.2 Viabilidad constructiva y eficiencia económica

El uso de tablestacas planas permite una construcción más rápida y controlada, favoreciendo procesos de instalación altamente mecanizados. En el ejemplo de la fig.2, el rompeolas de talud convencional requiere aproximadamente 5,5 millones de m³ de materiales específicos, incluyendo Accropode II y material de cantera. En contraste, el diseño de rompeolas vertical requiere únicamente alrededor de 0,7 millones de m³ de material granular, lo que supone una reducción del volumen de material superior al 85%. Esta significativa disminución de los volúmenes de relleno y de los plazos de ejecución se traduce en menores costos globales del proyecto, además de permitir que la estructura entre en operación en un plazo más corto.

Agradecimientos

Se agradece a los compañeros, Patricia Peter, Boris Even, y Shilton Rica por sus contribuciones y apoyo.

Referencias

- INTERNATIONAL TRADE ADMINISTRATION. *India Port Infrastructure*. <
<https://www.trade.gov/market-intelligence/india-port-infrastructure#:~:text=India%27s%20rapidly%20growing%20port%20infrastructure,vast%20scope%20and%20potential%20opportunities.> > [Consulta: 20 de enero de 2026]
- TABLAESTACAS ARCELORMITTAL. *AS 500® Straight web steel sheet piles*. <
<https://sheetpiling.arcelormittal.com/download-center/as-500-straight-web-steel-sheet-piles>>
[Consulta: 20 de enero de 2026]
- THE HINDU. *Vizhinjam port In troubled waters*. <
<https://www.thehindu.com/news/national/kerala/adani-vizhinjam-port-construction-protest-fishing-community-protest-coastal-erosion/article65809475.ece> > [Consulta: 20 de enero de 2026]

PROAS. Optimización del riesgo portuario

Juan González Gutiérrez^a, Salvador León Gil^b, Jesús Medina Blanco^c

^aResponsable Sistema de Información, analítica de datos, Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras, , jgonzalezg@apba.es;

^bJefe de División de Innovación y Transformación Digital, Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras, , sleong@apba.es;

^cJefe de Área Desarrollo Tecnológico, Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras, , jmedina@apba.es;

1. Introducción

La **Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras** (en adelante, APBA) desarrolla su actividad en un entorno altamente competitivo, conviviendo con el Puerto de Tánger, el Puerto de Gibraltar y otros puertos españoles. Para afrontar este desafío y desde hace varios años, la APBA ha puesto en marcha una Estrategia de Transformación Digital e Innovación, centrada en aprovechar la tecnología como una herramienta clave para mejorar su posición y seguir siendo un puerto de referencia.

En este contexto nace **PROAS** (Port Risk Optimized Advanced System), una nueva herramienta pensada para toda la Comunidad Portuaria. Su objetivo es apoyar la toma de decisiones y hacer que las operaciones en el puerto sean más eficientes y seguras, avanzando así hacia el modelo de **Puerto de Nueva Generación**.

La plataforma PROAS ofrece indicadores de comportamiento de buque que sirven para anticipar y gestionar los riesgos en las operaciones portuarias. Para ello, utiliza información particularizada para cada atraque sobre el estado del entorno físico, océano-meteorológico, la planificación de los buques y las operaciones previstas para predecir los movimientos del buque atracado. Aunque el objetivo es claro: **mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones portuarias**, servirá para definir nuevos estándares de umbralización o situaciones límites en las operaciones portuarias.

El siguiente resumen describe cómo se ha concebido el proyecto, el rol fundamental que desempeña el usuario y el impacto estratégico que se espera generar.

2. Optimización de gestión de riesgo

Los puertos son elementos claves de la economía y del sistema de transporte de interés general, siendo una **pieza crucial en la cadena de suministro**. La evolución de estos se encamina hacia puertos eficaces, económicamente competitivos y capaces de mover mercancía de manera rápida.

En las operaciones portuarias intervienen numerosos factores: condiciones océano-meteorológicas, multitud de agentes, actividades técnico-náuticas, etc. El medio físico (viento, oleaje, corrientes, marea, etc.) juega un papel especialmente relevante en las pérdidas de fiabilidad, funcionalidad y operatividad que tienen como consecuencia disminuciones de niveles de servicio y de eficiencia en las operaciones portuarias, o incluso paradas operativas, derivando en altas pérdidas económicas.

PROAS implanta, por primera vez, **la visión del programa ROM, ROM 0.0-01 y ROM 2.0-11, en un modo operacional**. Para ello, establece la gestión del riesgo en función del conocimiento predictivo del medio físico en las zonas dónde se producen las operaciones portuarias, y en función de la escala del buque y el tipo de operación.

Se trata del primer proyecto en el Sistema Portuario Español que se inicia mediante la actuación administrativa de **Compra Pública Innovadora**. Este proceso administrativo fomenta la innovación a través de la contratación pública.

3. Gobernanza de usuarios

Las áreas modelizadas corresponden a los tráficos más relevantes del puerto: **portacontenedores, pasajeros y tráfico de combustible**. Asimismo, se identifican también usuarios transversales como son **los servicios técnico-náuticos**.

El proyecto se diseñó situando al **usuario en el centro**. Esto significa que lo más importante no es crear una herramienta “perfecta” desde el punto de vista técnico, sino una herramienta que resulte realmente útil y aporte valor al negocio. Para conseguirlo, los usuarios no solo participan al final, sino que acompañan a los desarrolladores durante todas las etapas del proyecto. De esta forma, cada avance se construye teniendo en cuenta sus necesidades reales, sus comentarios y su experiencia.

Los usuarios, en el inicio de proyecto, identificaron sus principales inquietudes: agentes del medio físico, situaciones de riesgo y configuración del amarre, etc., así como necesidades tecnológicas: modo de acceso, consumo de información y visualización en la herramienta. Posteriormente, facilitaron la monitorización del buque y testeo de la herramienta.

4. Modo de explotación

PROAS es una herramienta que ayuda a **anticipar y gestionar situaciones de riesgo en el puerto**. Permite simular distintos escenarios ante condiciones meteorológicas adversas, ajustando tiempos de escalas, configuración de amarres o localizaciones de atraques.

De igual modo, **refuerza la toma de decisiones en materia de seguridad**, como parada de operaciones, abandono del atraque o actuación ante posible rotura de línea.

PROAS: sistema avanzado de predicción de la operatividad buque-infraestructura

María José Bohórquez Santos^a, José María Terrés-Nicolí^a, Eva Romano^b,
Gabriel Díaz^b, Rafael Molina-Sánchez^c, David Rodríguez^d

^aOritia & Boreas S.L., Universidad de Granada: , bohorquezasantos@oritaiyboreas.com; , terresnicoli@oritaiyboreas.com; ^bInstituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, , eva.romano@unican.es; , gabriel.diaz@unican.es; ^cUniversidad Politécnica de Madrid. ETSICCyP. CEHINAV. , rafael.molina@upm.es; y ^dDeep Insight S.L., , david.rodriguez@deep-insight.es;

1. Introducción

El proyecto PROAS, *Sistema Avanzado de Predicción de la Operatividad Buque-Infraestructura*, impulsado por la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras mediante una Compra Pública Innovadora, se ha concebido como herramienta fundamental para asistir en la mejora de la seguridad y eficiencia de las operaciones marítimas.

Los riesgos en las operaciones portuarias resultan de una amplia y heterogénea combinación de condiciones océano meteorológicas, áreas operativas y buques. Por este motivo, un estudio que relacione las incidencias operativas con las condiciones climáticas no puede ser generalizado. PROAS, sin embargo, integra un análisis de muy alta resolución particularizado para cada AOI (Área Operativa de Interés), en un escenario predictivo de hasta 72 horas. Por tanto, el objetivo de PROAS es desarrollar una **herramienta predictiva de seguridad y eficiencia** en las operaciones portuarias a muy alta resolución, a partir de predicciones del medio físico y su efecto en el buque atracado.

2. Metodología

La combinación de diversas disciplinas ha sido fundamental en el desarrollo del proyecto y de la Plataforma PROAS. Con la ambición de representar el gemelo digital de una operación portuaria, la Plataforma permite cuantificar e identificar sus riesgos, así como proporcionar un entorno de simulación para predecir escenarios futuros facilitando la toma de decisiones. El desarrollo de PROAS se estructura en tres grandes líneas: Modelos océano-meteorológicos de alta resolución, modelización de buques y desarrollo de la Plataforma.

Modelos océano-meteorológicos de alta resolución

Sobre la experiencia previa del proyecto SAFEPORT en este mismo entorno, comprende el desarrollo y despliegue de modelos océano-meteorológicos que permiten caracterizar a muy

alta resolución el medio físico de la Bahía de Algeciras. La singularidad de estos estudios es que los modelos se realizan a escala de AOI pudiendo particularizar las condiciones del medio físico en diferentes áreas del puerto. Los modelos se calibran y validan con registros de medición. Específicamente se integran: modelos para caracterizar espectros frecuenciales de onda larga, propagación de oleaje en dinámico, modelo de agitación, modelo de viento a muy alta resolución y modelo de dispersión y transporte atmosférico.

Modelización de buques

La simulación del comportamiento de un buque atracado, teniendo en cuenta las características mecánicas del mismo y su entorno, para diferentes condiciones océano-meteorológicas, diferentes condiciones de carga y descarga, y diferentes configuraciones de amarras. En el proyecto se han identificado para cada AOI las familias de buques más representativas para un total de 44 simulaciones de Buque-AOI.

Desarrollo de la plataforma

La Plataforma PROAS integra los conocimientos desarrollados en el proyecto facilitando al usuario una herramienta que identifica alarmas operativas para sus áreas de interés. Potenciando su accesibilidad, la plataforma atiende a 3 niveles de interacción del usuario:

- Mapa de riesgo: sobre el mapa del puerto se visualizan las operaciones activas codificadas por color según el riesgo calculado. Una barra de tiempo arroja la predicción de las diferentes variables climáticas en la AOI del usuario (Fig.1).
- Consulta de Operaciones: se visualizan los resultados del comportamiento del buque atracado (alertas, movimientos del buque y tensiones de amarras), calculados con el algoritmo de predicción de PROAS para un rango de tiempo determinado.
- Simulación de Operaciones: la plataforma permite ejecutar los modelos de buques de una AOI concreta señalando el periodo de simulación (en 72 horas), y definiendo la condición de carga y la configuración de amarras.

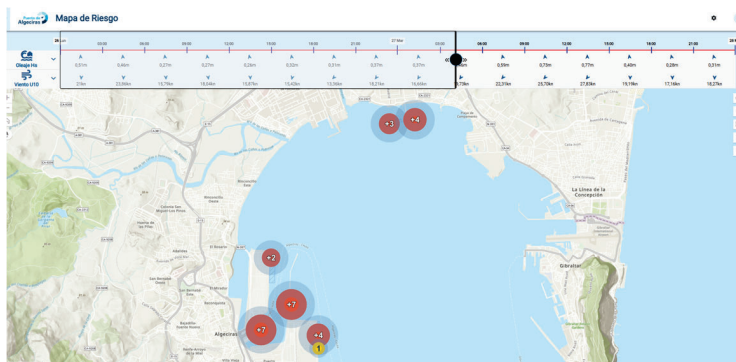


Fig. 1 Mapa de riesgo. Fuente: PROAS, 2026

Sistema predictivo de respuesta de buque atracado aplicado al Puerto de Algeciras (Proyecto PROAS)

Eva Romano-Moreno^a, Sonia Guardado^a, Gabriel Díaz-Hernández^a,
David Rodríguez^b, Rafael Molina^{b,c}

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, , eva.romano@unican.es; , soniaomary.guardado@unican.es; , gabriel.diaz@unican.es; ^bDeep Insight, , david.rodriguez@deep-insight.es ^cUniversidad Politécnica de Madrid (UPM), , rafael.molina@upm.es

1. Introducción

La parada operativa es uno de los principales problemas relativo a las operaciones portuarias desarrolladas en los muelles y está fuertemente condicionada por la respuesta del buque atracado en muelle frente a los forzamientos climáticos. Disponer de sistemas de predicción fiables es esencial para apoyar la gestión, la planificación y la toma de decisiones, garantizando un funcionamiento seguro y eficiente de las operaciones. En los últimos años, estos sistemas predictivos han sufrido una gran evolución, impulsada por un creciente nivel de exigencia del sector portuario y por la disponibilidad de modelos numéricos más complejos y precisos. Se ha pasado de sistemas mono-paramétricos muy simples (por ejemplo, basados únicamente en la superación de umbrales de altura de ola significativa en muelle) a sistemas de predicción y herramientas de usuario avanzadas. Un ejemplo es el sistema avanzado de predicción de la respuesta de buque atracado desarrollado dentro del proyecto PROAS (Port Risk Optimized Advanced System, Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras), que adopta un enfoque multiparamétrico (asimilando el forzamiento exterior multimodal y la respuesta intraportuaria multidireccional y variable espacialmente) y multiescenario (integrando la enorme combinación de configuraciones y parámetros del sistema buque–amarre–defensas–muelle).

2. Sistema avanzado de predicción de respuesta de buque atracado

Dentro del proyecto PROAS (financiado a través de una Compra Pública de Innovación), se ha desarrollado una plataforma predictiva de la seguridad y eficiencia de las operaciones portuarias, a partir de las predicciones del medio físico, la planificación de la escala de buques y las operaciones previstas, particularizadas para 17 áreas operativas de interés (AOIs) diferentes. La plataforma se basa en técnicas de aprendizaje automático y se fundamenta, para cada AOI particular, en una amplia base de conocimiento generada numéricamente, complementada y enriquecida con información procedente de extensas campañas de monitorización específicas. La metodología de inferencia genérica (aplicada de forma particularizada para cada familia de buques que operan en cada AOI) en la que se basa la

plataforma de predicción se resume en los siguientes pasos:

1. Base de conocimiento. Creación de un amplio catálogo numérico multiescenario y multivariable, capaz de integrar los forzamientos multimodales de oleaje swell y sea, ondas infragravitatorias y viento de alta resolución, así como las distintas configuraciones y parámetros del sistema buque–amarre–defensas–muelle para cada familia de buques en cada AOI. A partir de las bases de datos, se selecciona un número de casos representativos a simular. El modelo numérico utilizado es el MIKE 21-Mooring Analysis (DHI A/S) y los criterios de simulación y postproceso de acuerdo con la normativa Bureau Veritas.
2. Modelo de inferencia. Creación y entrenamiento del modelo de inferencia para cada familia de buques en cada AOI. Se trata de un modelo de predicción de los movimientos de buque atracado basado en técnicas de aprendizaje automático (*Machine Learning*) semi-supervisado, cuya validez y capacidad predictiva para este fin ha sido previamente comprobada y validada.
3. Asimilación de datos instrumentales procedentes de la monitorización. Dentro del proyecto, la empresa Deep Insignth ha llevado a cabo una extensa campaña de monitorización de un total de 19 buques de distintos tráfico y familias en las 17 AOIs. A partir de dichas campañas, se genera una amplia base de datos con toda la información de los movimientos de buque atracado en los seis grados de libertad. Cabe destacar que el diseño de las campañas de monitorización y la creación de catálogo numérico han ido de la mano de forma que las familias de los buques simuladas numéricamente coinciden con las monitorizadas y son representativas del tráfico que opera en cada AOI.
4. Validación del modelo de inferencia. La información procedente de las campañas de monitorización se utiliza para la validación (y calibración en caso necesario) del modelo de inferencia. Los resultados obtenidos demuestran el buen funcionamiento de la plataforma para la predicción de la respuesta de buque atracado en los distintos escenarios.

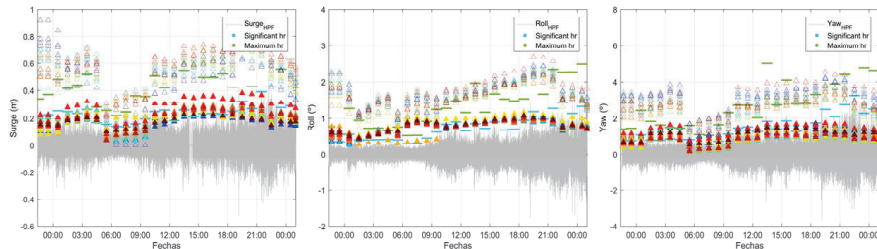


Fig. 1 Resultados obtenidos de la validación para un evento de atraque

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras por su colaboración y financiación en PROAS, a las empresas involucradas (Oritia & Boreas, Ayesa y Deep Insignth), y al Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la ETSI Navales (CEHINAV) de la UPM.

Nueva red de monitorización de buques y agitación como apoyo a la toma de decisiones para el buque atracado: Proyecto PROAS

David Rodríguez^a, Alberto Rodríguez^a, Eva Romano^b, Gabriel Díaz^b, José M^a Terrés^c, Rafael Molina-Sánchez^d

^aDeep Insight S.L., , david.rodriguez@deep-insight.es; , alberto.rodriguez@deep-insight.es

^bInstituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, , eva.romano@unican.es;

, gabriel.diaz@unican.es;

^cOritia&Boreas S.L., , terresnicoli@oritaiyboreas.com

^dUniversidad Politécnica de Madrid. ETSICCP. CEHINAV. , rafael.molina@upm.es

1. Introducción

La operativa de los buques atracados en entornos portuarios se ve condicionada por las variables meteoceanicas locales que tienen lugar en el espacio y tiempo de la operación. Éstos agentes del medio físico pueden inducir respuesta dinámica del buque y acciones en los elementos de coacción y en los medios de manipulación. Su respuesta dinámica que condiciona pone en peligro y hace menos eficientes la operación, impactando directamente en el nivel de servicio, seguridad y rentabilidad económica de la misma.

La toma de decisiones se apoya habitualmente en predicciones climáticas, que no siempre representan de forma adecuada la respuesta local del sistema buque–muelle o buque–buque. En este contexto, el proyecto **PROAS (Port Risk Optimized Advanced System)** plantea un enfoque basado en la integración de observaciones in situ y modelización predictiva, mediante el despliegue de una red de monitorización que vincula directamente las condiciones del medio físico con la respuesta dinámica real del buque.

El presente trabajo describe la arquitectura de esta red de medida, su papel en la calibración y validación de modelos de predicción de respuesta dinámica del buque y su integración en un sistema de apoyo a la toma de decisiones en tiempo real

2. Metodología

La metodología se fundamenta en el diseño e implementación de una red híbrida de monitorización de agitación local, oleaje y nivel del mar, integrada con la respuesta dinámica del buque, y orientada a capturar de forma simultánea las condiciones del medio físico y su impacto sobre la operativa del buque en el muelle. Los datos obtenidos por la red se emplean

Nueva red de monitorización de buques y agitación como apoyo a la toma de decisiones para el buque atracado: Proyecto PROAS

para la calibración y validación de modelos numéricos de predicción de la respuesta dinámica del buque y permiten correlacionar contexto operativo con operatividad

La red se actualiza con 3 equipos DeepWAVES-RTK que miden la agitación, onda larga y y la marea, y una estación meteorológica para dar contexto local a los datos. Además, cuenta con 16 equipos DeepMOTION-RTK que analizan el la respuesta dinñámica de una flota de buques reporesentativa del puerto mediante,GNSS de alta resolución y un sensor IMU (Inertial Measurement Unit)



Figura 1. De izquierda a derecha. Captura de la red de medida desplegada. Instrumento DeepMOTION instalado en buque. Instrumento DeepWAVES instalado en muelle. Ejemplo de datos adquiridos: Mapa de densidad de posicionamiento y series temporales de movimientos del buque y parámetros de oleaje locales

Conclusiones

La integración de una red de monitorización de oleaje local y de respuesta dinámica del buque atracado se ha demostrado un elemento clave para mejorar la fiabilidad de los modelos de predicción y una herramienta que apoya a la toma de decisiones en tiempo real. Los datos observados han permitido calibrar los modelos a escala local, particularizados y validados para cada operación. En la presentación se mostrará la arquitectura el sistema y los principales resultados recabados durante el primer año de monitorización.

Sistema preoperacional de apoyo al mantenimiento predictivo de diques frente al cambio climático

Mireia López-Paredes^a, Corrado Altomare^a, Xavier Gironella^a, Agustín Sanchez-Arcilla^a, Mario Hernández^b, Jose María García-Valdecasas^c, Antonio Tomás^d, Lohitzune Solabarrieta^e

^aLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, , mireia.lopez.paredes@upc.edu, ^bAutoridad Portuaria de Bilbao, , mhernaez@bilbaoport.eus, y

^cNOW Systems, , jose.gvaldecasas@nowsystems.eu, ^dIHCantabria, , antonio.tomas@unican.es y

^eAZTI, , lsolabarrieta@azti.es

1. Introducción

Este resumen, enmarcado dentro del proyecto [PI-BREAK](#), presenta el desarrollo de una base de datos diseñada para servir como fuente de información fundamental de una herramienta preoperacional, orientada a la evaluación del comportamiento frente al rebase y de los posibles daños en la estabilidad de un dique de escollera situado en la costa cantábrica. El objetivo de esta herramienta es analizar el desempeño de la sección actual y de diversas configuraciones de refuerzo bajo condiciones extremas históricas y futuros escenarios de ascenso del nivel del mar, proporcionando una herramienta robusta de apoyo a la toma de decisiones. El estudio abarca un periodo de 33 años (1992–2025) e incluye el análisis de 1361 eventos de tormenta.

2. Cálculo y estructura de la base de datos

Se han analizado 27 configuraciones de secciones transversales del dique, tanto en su estado actual como con distintas actuaciones de refuerzo, evaluadas bajo condiciones históricas y el escenario de cambio climático RCP 8.5 (ICCP, 2019), considerando la subida del nivel del mar. El cálculo del daño se llevó a cabo mediante un modelo híbrido de propagación del oleaje (Goda 2010, Walker, J.R. *et al.* 1982), y la respuesta estructural se evaluó a partir de la estabilidad del manto (Rock Manual, 2017), el caudal de rebase y el volumen máximo de rebase (EurOtop, 2018). La base de datos resultante integra daños asociados a registros horarios y a eventos diarios agrupados, organizados mediante una clasificación bi-paramétrica que permite comparar tormentas y secciones transversales a través de indicadores promedio y un sistema homogéneo de clasificación del daño tipo “semáforo”.

3. Visualización de la herramienta pre-operacional

Tomando como base de partida un dique de la escala del Dique de Punta Lucero, la herramienta preoperacional permite 1) la visualización horaria de eventos históricos y futuros para cada ST, incluyendo, cuando están disponibles, imágenes asociadas procedentes de eventos reales y de ensayos experimentales y numéricos; 2) la respuesta de la infraestructura en cada una de sus secciones tipo y actuaciones por un evento tipo de la tabla bi-paramétrica.

Conclusiones

La herramienta pre-operacional desarrollada permite evaluar de forma clara y comparativa el comportamiento de diques de escollera frente a eventos extremos, integrando la visualización horaria de eventos históricos y futuros, el análisis por temporales tipo y la comparación entre secciones transversales y actuaciones de refuerzo. La definición previa de clases y subclases de temporales, basada en parámetros representativos del oleaje, garantiza una selección coherente de escenarios por parte del usuario y refuerza la consistencia de los análisis. En conjunto, la herramienta constituye un apoyo sólido para la toma de decisiones en mantenimiento, planificación de refuerzos y adaptación al cambio climático. Adicionalmente, los datos recogidos en esta base de datos se complementarán con los resultados obtenidos en el proyecto AURORA-UPC.

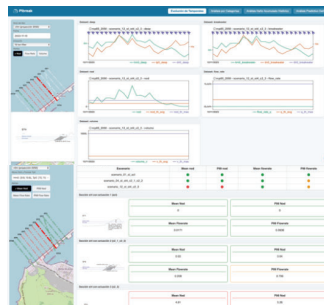


Figura 1. Visualización de la ST4 con configuración determinada, para un oleaje con proyección al 2050 (izqda.). Respuesta de la ST4

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al proyecto PI-BREAK (2021-2025), a la asistencia técnica para el seguimiento medioambiental del proyecto de extracción de arena en el sector norte de la Zona II de la Autoridad Portuaria de Bilbao, y del proyecto del espigón central para la ampliación del Puerto de Bilbao en el Abra Exterior (2022-2026). También, los autores desean agradecer al proyecto AURORA-UPC, ya que esta investigación se ha desarrollado dentro del marco de este proyecto.

Financiación

Esta investigación se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación AURORA-UPC PID2024-155465OB-C22 financiado por MICIU /AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE.

Referencias

- CIRIA, CUR and CETMEF (2007) The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering (2nd edn). C683, CIRIA, London. ISBN 978-0-86017-683-1.
- GODA, Y., 2010. Random seas and design of maritime structures (Vol. 33). World Scientific Publishing Company
- IPCC (2019) Chapter 4: Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate SROCC. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- WALKER, J.R. and HEADLAND, J. (1982) Engineering approach to nonlinear wave shoaling. In: Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering. Cape Town, South Africa: ASCE, pp. 523–542.
- VAN DER MEER, J.W., *et al.* (2018). EurOtop: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. December 2018.

Modelos fundacionales de series temporales para la gestión energética portuaria

Alex Garate Arrazola^a, Iago Romero Ogando^b

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos, BRISA, alex@brisa.earth ; ^bCientífico de datos, BRISA, iago@brisa.earth.

1. Resumen

La energía se está consolidando como una variable estratégica para el sistema portuario. La electrificación de equipos y servicios, el despliegue del suministro eléctrico a buques atracados (OPS/cold ironing), la integración de renovables y almacenamiento, la volatilidad del precio horario y las exigencias de reducción y trazabilidad de emisiones están transformando la gestión energética en un ecosistema distribuido, dinámico y multiactor. Paralelamente, el cambio climático y los eventos extremos incrementan la incertidumbre operativa y refuerzan la necesidad de resiliencia.

En este contexto, los enfoques tradicionales basados en monitorización y análisis retrospectivo resultan insuficientes: permiten caracterizar lo ocurrido, pero no dan respuesta a necesidades críticas de operación y planificación. Los puertos requieren capacidades para anticipar demanda y picos, simular escenarios, optimizar decisiones (potencia, baterías, autoconsumo, programación de cargas) y justificar medidas mediante evidencia ante equipos técnicos, dirección y reguladores. La fragmentación del dato (contadores, SCADA/BMS, sistemas de concesionarios y fuentes externas como meteorología o precios) y su calidad heterogénea hacen imprescindible incorporar una capa de interoperabilidad y gobierno del dato.

Esta comunicación propone que el uso de modelos fundacionales de series temporales para la gestión energética portuaria constituye un enfoque especialmente adecuado para viabilizar y escalar estrategias de eficiencia energética y descarbonización. Un modelo fundacional es un modelo de IA preentrenado con grandes volúmenes de datos para aprender patrones generales reutilizables. En este caso, se trata de un modelo fundacional de series temporales, no de lenguaje: a diferencia de los modelos fundacionales orientados a texto, aprende estructuras en secuencias numéricas (consumos, potencias, meteorología, precios, actividad operativa, etc.). Su núcleo se apoya en una arquitectura Transformer, adaptada al tratamiento de series temporales: en lugar de “tokens” de palabras, procesa ventanas temporales y múltiples variables, capturando dependencias de corto y largo plazo, estacionalidades, correlaciones y cambios de régimen. (Fig. 1).

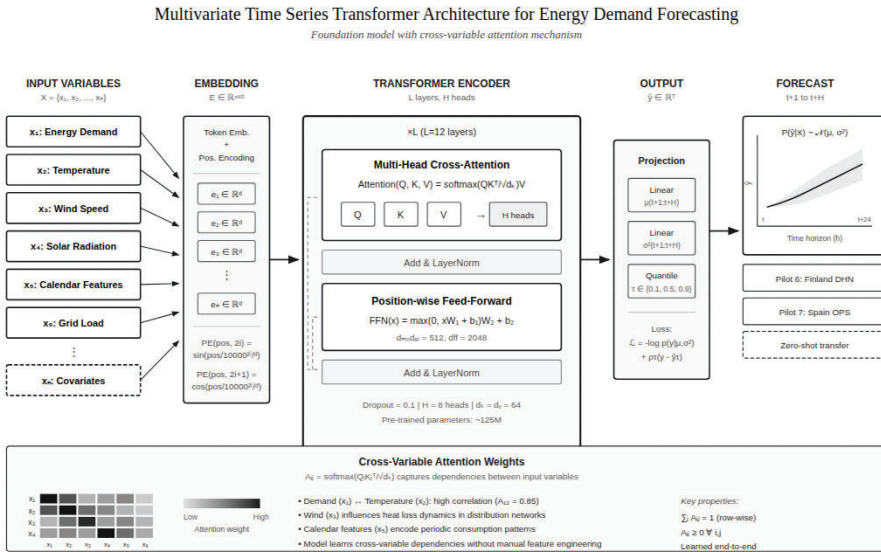


Fig. 1 Arquitectura de modelo fundacional propio de BRISA. Fuente: elaboración propia

El preentrenamiento sobre series temporales heterogéneas aporta una base generalizable para sistemas energéticos complejos. Con ajuste fino (fine-tuning) local por puerto o terminal, el modelo se adapta al contexto operativo sin desarrollos ad hoc, reduciendo tiempos y costes y facilitando su adopción con niveles de digitalización heterogéneos.

La explicabilidad debe ser central: cada predicción o recomendación incluye factores y periodos clave, con justificación auditable. Esto facilita la validación técnica, refuerza la confianza y mejora la trazabilidad de medidas de eficiencia y descarbonización.

El impacto portuario es directo: habilita gestión proactiva basada en predicción multihorizonte (horas–días–semanas) de demanda y potencia punta. Mejora la planificación y operación del sistema eléctrico (incluida OPS), reduce riesgos por restricciones y penalizaciones, y permite decisiones por coste y emisiones.

Además, integra múltiples fuentes de datos y tipologías de consumo con señales exógenas, sin exigir homogeneidad ni completitud. Su tolerancia a series incompletas, ruido y cambios de configuración incrementa la viabilidad de despliegue y escalado.

Por todo ello, los modelos fundacionales de series temporales son una oportunidad estratégica: habilitan un soporte a la decisión más robusto, predictivo y trazable, haciendo más viables, técnica y económicamente, las hojas de ruta de eficiencia energética y descarbonización.

Generación de cartografía y escenas 3D mediante vuelos fotogramétricos multivista con empleo de drones: aplicación a la costa de A Coruña

**José Luis López Sánchez, José Ramón Martínez Cordero^a, Ignacio Montero de Andrés^b,
Ignacio Pardo de Vera Moreno, Carlos Gil Villar^c**

^aSubdirección General de Dominio Público Marítimo-Terrestre. Dirección General de la Costa y el Mar. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (jillopez@miteco.es, jmcordero@miteco.es); ^bIngeniero en Robótica. Ingeniería Digital y Medio Ambiente S.L.(IDYMA). (ignacio@idyma.es); ^cDemarcación de Costas en Galicia. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (ipvera@miteco.es, cgil@miteco.es).

1. Introducción

La captura de datos de entornos litorales para su representación cartográfica ha sido objeto en los últimos años de una considerable revolución, con la integración de nuevas tecnologías avanzadas basadas en la robótica, campo en el que los algoritmos y la programación adquieren protagonismo. La consolidación de la fotogrametría aérea multivista y el despliegue operativo de plataformas UAV (drones aéreos) o USV (drones marinos), están transformando completamente los procedimientos y metodologías para la generación de cartografía digital, mejorando con creces las precisiones y especificaciones técnicas de los distintos productos cartográficos convencionales, mejorando y ampliando las posibilidades de caracterización y representación.

Los dispositivos UAS o aeronaves no tripuladas, dotados de sensores como cámaras fotogramétricas de medio y pequeño formato, cámaras térmicas, sensores LIDAR, infrarrojos y multispectrales, etc..., con sofisticados sistemas robóticos que permiten la navegación programada combinada con potentes sistemas avanzados de seguridad mediante múltiples sensores, y elementos topográficos como los sistemas de posicionamiento por satélite GNSS, sistemas inerciales combinados con plataformas giroestabilizadoras y receptores de precisión subcentimétrica, están cambiando en los últimos años las metodologías y los flujos de trabajo, mejorando precisiones y resoluciones e introduciendo nuevos productos fotogramétricos como las denominadas ortofotografías verdaderas, los gemelos digitales y escenarios 3D.

Asimismo, los software de fotogrametría están evolucionando para optimizar el aprovechamiento de esta gran evolución tecnológica, como la tecnología SFM (Structure From Motion), que permite procesar en muy corto espacio de tiempo cientos de miles de

imágenes que se generan en los novedosos vuelos fotogramétricos multivista, que combinan las tradicionales imágenes fotogramétricas cenitales con imágenes oblicuas obtenidas directamente del mismo vuelo, generando mediante sofisticados algoritmos recreaciones tridimensionales del terreno de altísimas prestaciones de calidad métrica y geométrica, así como de recreación visual virtual.

En este contexto, el proyecto de elaboración de cartografía a escala 1/1.000 de la totalidad de la costa de la provincia de A Coruña, liderado por la Demarcación de Costas en Galicia y el apoyo de la Subdirección General de Dominio Público Marítimo-Terrestre del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y con cargo a los fondos del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea, constituye una actuación de gran envergadura, ambiciosa y verdaderamente pionera en el ámbito nacional. Su singularidad radica no sólo en la aplicación sistemática de vuelos fotogramétricos multivista mediante dispositivos UAV de última generación, sino también en la magnitud del territorio costero abordado: casi 900 km de costa; combinando el empleo de algoritmos avanzados de reconstrucción 3D con metodologías de procesamiento geoespacial, permitiendo generar una base de datos geográfica de muy alta resolución sin precedentes para la región y situando este proyecto en la vanguardia de la cartografía científica a nivel internacional.

2. Objetivos

Con esta ponencia se busca presentar los fundamentos técnicos, los retos afrontados y los resultados obtenidos, mostrando cómo la fotogrametría multivista con el empleo de drones, aplicada a gran escala para la obtención de cartografía de detalle, puede convertirse en una potente herramienta clave para la gestión costera, la prevención de riesgos y la planificación territorial del futuro.

En particular, se expondrá cómo ha evolucionado la metodología para la obtención de los nuevos productos cartográficos y derivados fotogramétricos de última generación para la caracterización del territorio costero a partir de los resultados obtenidos en el presente proyecto para la provincia de A Coruña, como son la producción de los sofisticados gemelos digitales con escenas 3D texturizadas, resaltando las posibilidades que los mismos proporcionan, no sólo en el marco de la gestión del dominio público marítimo-terrestre sino para el desarrollo de todo tipo de proyectos en la planificación y gestión del medio costero y portuario.

Aplicaciones de los satélites Radar de Apertura Sintética (SAR): un gran avance para la monitorización de zonas costeras

M^a Carmen Millán^a, Erica Pellón^a, Paula Gomes da Silva^a

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria,

 millanmc@unican.es

1. Introducción

Las zonas costeras son entornos de elevada importancia ecosistémica y socioeconómica, sometidos a fuertes presiones naturales y antrópicas. Su carácter altamente dinámico y su vulnerabilidad frente a riesgos climáticos hacen necesaria una monitorización continua. En este contexto, la tradicional escasez de datos se ha visto parcialmente mitigada en las últimas décadas gracias a la teledetección mediante imágenes satelitales y a misiones de gran cobertura espacial, adquisición continua y acceso gratuito, como las del programa Copernicus.

Los sensores ópticos (e.g., la familia de satélites Landsat o Sentinel-2) permiten la identificación de elementos costeros fácilmente discernibles, con resoluciones espaciales de hasta 10 m, lo que ha favorecido el desarrollo de herramientas para la extracción de líneas de costa (Vos et al., 2019) o la estimación de batimetrías someras (Holman et al., 2013). Sin embargo, presentan limitaciones, como la imposibilidad de adquirir observaciones útiles en condiciones de nubosidad o durante la noche, y la pérdida de precisión en entornos complejos como playas macromareales, reduciendo notablemente la disponibilidad temporal de datos.

El Radar de Apertura Sintética (SAR) (e.g., Sentinel-1, SWOT) supone una alternativa prometedora al tratarse de un sensor activo de microondas, capaz de adquirir datos de día y de noche e independientemente de las condiciones meteorológicas, aportando información relacionada con la rugosidad superficial, el contenido de humedad y la geometría del terreno. Aunque su aplicación en el ámbito costero se encuentra menos desarrollada que la de los sensores ópticos y existen incertidumbres sobre qué elemento físico es realmente detectado en la extracción de la línea de costa, en regiones con climas lluviosos como el norte de Europa la disponibilidad de observaciones puede ser hasta un orden de magnitud superior (Savastano et al., 2024), lo que refuerza su alto potencial para la monitorización costera.

2. Aplicaciones

Uno de los principales productos derivados de imágenes SAR en zonas costeras es la extracción de líneas de costa, basada en la diferencia de retrodispersión entre el medio marino

y el terrestre. A partir de esta diferencia, pueden aplicarse métodos de umbralización, técnicas de Machine Learning o modelos de contornos activos para identificar dicha frontera. Esto permite generar series temporales de alta resolución temporal, útiles para aplicaciones como estimar tasas de cambio, analizar patrones estacionales o alimentar modelos predictivos.

Las topografías intermareales pueden obtenerse mediante el waterline method (Mason et al., 1999), que asigna a cada línea de costa su nivel mareal correspondiente para derivar un modelo digital de elevaciones a partir de observaciones distribuidas a lo largo del rango mareal. Limitando el periodo de adquisición, es posible minimizar la influencia de cambios morfodinámicos intermedios. Este enfoque resulta especialmente útil para el estudio de bancos de arena, estuarios y marismas, así como para mejorar la modelización de procesos costeros que requieren topografías actualizadas, como swash o inundación.

3. Metodología y conclusiones

Este estudio evalúa las metodologías más novedosas disponibles en el estado del arte para la segmentación y extracción de líneas de costa a partir de imágenes de Sentinel-1. Se comparan con distintos datos de referencia, como mediciones de campo, imágenes de alta resolución o sistemas de videocámaras costeras, en entornos costeros variados que incluyen playas micro y macromareales. El objetivo es evaluar su aplicabilidad, identificar sus principales limitaciones y explorar posibles líneas de mejora para su uso en estudios de morfodinámica costera. Los principales resultados y conclusiones se presentarán durante la comunicación oral.

Referencias

- Holman, R., Plant, N., & Holland, T. (2013). cBathy: A robust algorithm for estimating nearshore bathymetry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(5), 2595–2609. <https://doi.org/10.1002/jgrc.20199>
- Mason, D. C., Amin, M., Davenport, I. J., Flather, R. A., Robinson, G. J., & Smith, J. A. (1999). Measurement of Recent Intertidal Sediment Transport in Morecambe Bay using the Waterline Method. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(3), 427–456. <https://doi.org/10.1006/ecss.1999.0508>
- Savastano, S., Gomes da Silva, P., Sánchez, J. M., Tort, A. G., Payo, A., Pattle, M. E., Garcia-Mondéjar, A., Castillo, Y., & Monteys, X. (2024). Assessment of Shoreline Change from SAR Satellite Imagery in Three Tidally Controlled Coastal Environments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/jmse12010163>
- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>

Desafíos y soluciones para la monitorización de la línea de costa mediante imágenes de satélite en entornos macromareales

Albert Gallego^a, Carlos Cabezas-Rabadán^b, Paula Gomes da Silva^a, Erica Pellón^a,
M^a Carmen Millán^a, Jesús Palomar-Vázquez^c, Ana Silió-Calzada^a,
Jara Martínez Sánchez^a, Josep E. Pardo-Pascual^c

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria  gallegoa@unican.es

^bDepartament de Geografia, Universitat de València, Av. Blasco Ibáñez, 28 46010 València, Spain;

^cGrupo de Cartografía Geoambiental y Teledetección, Dept. Ing. Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universitat Politècnica de València

1. Introducción

La monitorización de la posición de la línea de costa es fundamental para la gestión del dominio público marítimo-terrestre y el diseño de estrategias de defensa frente a la erosión. Las líneas de agua derivadas de satélite (SDW, por sus siglas en inglés) han surgido como una fuente de información de bajo coste y alta frecuencia temporal (Vitousek et al., 2023). Sin embargo, su precisión se ve comprometida en costas macromareales debido a la compleja morfología intermareal y la presencia de arenas saturadas que dificultan la diferenciación radiométrica entre agua y tierra. Este trabajo evalúa la robustez de diversas estrategias de extracción en playas del Cantábrico, caracterizadas por su alta energía de oleaje y altos rangos mareales.

2. Metodología

Se ha desarrollado un marco de validación multitemporal utilizando imágenes de **Sentinel-2** (2015-2024) en dos playas representativas del norte de España: **El Puntal** (Santander) y **Salinas** (Asturias).

La metodología se basa en la comparación de diferentes configuraciones de extracción frente a líneas de agua de referencia (RWL) obtenidas mediante fotointerpretación experta. El flujo de trabajo permite testear de forma masiva diversas aproximaciones metodológicas para la segmentación agua/tierra: a) **Algoritmos de segmentación**: se evalúan combinaciones de índices espectrales (e.g. NDWI, MNDWI o SCoWI) y métodos de umbralización, así como otras arquitecturas de procesamiento; b) **Análisis de factores externos**: Se correlacionan los errores detectados con variables meteo-oceánicas (e.g. oleaje y nivel de marea) para identificar condiciones de baja fiabilidad.

3. Resultados

Los resultados muestran que el error en la posición de la línea de agua es altamente dependiente de las condiciones específicas del sitio y de la configuración del algoritmo. Mientras que en entornos como El Puntal la mayoría de los métodos ofrecen resultados consistentes, en playas con morfologías intermareales más complejas como Salinas, los errores pueden ser muy significativos (>50 m) si no se selecciona la estrategia adecuada.

Las aproximaciones que mejor gestionan la presencia de arenas saturadas y espumas son aquellas que utilizan índices diseñados específicamente para zonas intermareales, combinados con métodos de umbralización adaptativa, logrando errores RMSE inferiores a 8 metros. Los niveles de marea bajos y las fases de vaciante son los periodos más críticos para la generación de errores, debido a la exposición de zonas húmedas que el algoritmo de segmentación tiende a clasificar erróneamente como agua.

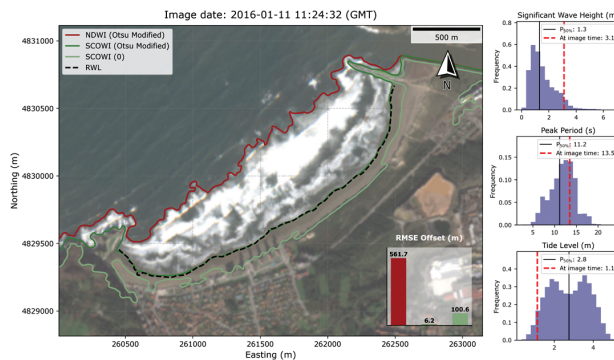


Fig. 1 Ejemplos de SDWs en Salinas empleando diferentes índices y umbrales

Conclusiones

La obtención de SDWs fiables en entornos macromareales requiere de un enfoque adaptativo. Los resultados subrayan la necesidad de adaptar el tipo de índice y umbralización usado bajo ciertas condiciones de oleaje o marea, así como el uso de otras arquitecturas de procesamiento. Este marco de trabajo sienta las bases para el desarrollo de sistemas de monitorización inteligente, facilitando la implementación de protocolos de selección automatizada de la técnica de extracción más robusta para cada escenario y sitio de estudio, optimizando así la precisión de la monitorización costera mediante satélite.

Referencias

VITOUSEK, S, et al. (2023). *The future of coastal monitoring through satellite remote sensing*. Cambridge Prisms: Coastal Futures, 1, e10.

Aplicaciones y limitaciones de las líneas de costa de sensores remotos en entornos macromareales

Erica Pellón^a, Irati Epelde^b, Pedro Liria^b, Aritz Abalia^b, Paula Gomes da Silva^a

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, , pellone@unican.es

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

1. Introducción

El análisis morfodinámico de la costa es complejo debido a la alta variabilidad temporal y espacial, especialmente en entornos macromareales, donde los modelos numéricos actuales muestran claras limitaciones. En este contexto, los **sistemas de monitorización remota**, como imágenes de satélite y videometría costera, ofrecen **grandes volúmenes de datos a diferentes escalas temporales**, que pueden mejorar el estudio y la predicción de los procesos litorales.

En entornos micromareales la validación de las líneas de orilla o “waterline” es por lo general sencilla, pero **en zonas macromareales la morfología intermareal genera líneas de orilla mas complejas**, lo que dificulta su detección y limita la aplicabilidad de los algoritmos de teledetección. Este estudio evalúa la precisión de diversos algoritmos aplicados a imágenes satelitales mediante su comparación con imágenes de videometría costera tomadas simultáneamente, permitiendo valorar su **utilidad real en estudios de morfodinámica costera**.

2. Metodología

El estudio se ha realizado en la playa de Zarautz (Gipuzkoa). Se ha obtenido la línea de orilla en 97 imágenes Sentinel-2 (2020-2024) mediante el software CoastSat (Vos et al., 2019). **Las líneas se comparan con imágenes de videometría costera** del sistema KOSTASystem (Liria et al., 2021) capturadas durante un intervalo de 10 minutos (timex) coincidentes con el instante de captura del satélite. Se compara la línea de orilla obtenida con ambas imágenes y para las imágenes que muestran zonas intermareales complejas, con alternancia de barras y zonas inundadas, se analiza el porcentaje de área inundada correctamente detectada por el algoritmo de satélite.

3. Resultados

La Fig. 1 muestra un ejemplo de línea de orilla obtenida de Sentinel-2 y su representación sobre su correspondiente imagen de video. El análisis detallado de los indicadores de calidad descritos en el apartado anterior se mostrará en la presentación oral del trabajo.



Fig. 1 Línea de orilla 18-05-2022 a las 11:09. Arriba: Imagen Sentinel-2 y línea de orilla detectada por CoastSat. Abajo: Misma línea de orilla pintada sobre imagen timex de KOSTASystem

Conclusiones

La visualización de la línea de orilla obtenida con CoastSat sobre la imagen Sentinel-2 RGB en muchos casos parece no ajustarse a la interfaz tierra-agua. Sin embargo, las imágenes de videometría con una mayor resolución revelan que la teledetección se ajusta correctamente a la interfaz tierra agua, al ser estas zonas realmente inundadas.

La comparativa permite decir que el algoritmo empleado por CoastSat recoge gran porcentaje de la zona intermareal inundada, lo que hace que las líneas de orilla obtenidas por este método se encuentran limitadas para el análisis de la evolución costera. Sin embargo esta líneas son gran utilidad para el análisis de la **morfología intermareal en zonas macromareales**.

Otros algoritmos de teledetección (se mostrará en la presentación) generan líneas de orilla de satélite menos sinuosas, ajustadas al runup mínimo, por lo que resultan más útiles para análisis de la **evolución de la costa a medio y largo plazo en entornos macromareales**.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Diputación Foral de Gipuzkoa y al Ayuntamiento de Zarautz por financiar la instalación y mantenimiento del sistema de videometría.

Referencias

- LIRIA, P. et al. (2021). "Kostasystem, a coastal videometry technology: Development and applications". En: *9th EuroGOOS International Conference*.
- VOS, K. et al. (2019). "CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery" en *Env. Modelling & Software*. Volumen 122, 104528.

Aplicación de vehículos no tripulados USV y UAV para el modelado topobatimétrico de alta resolución y la monitorización de entornos costeros

José Ignacio Pagán Conesa^a, Luis Bañón Blázquez^b, Isabel López Úbeda^c

^aDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante,  jipagan@uv.es

^bDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante,  lbanon@ua.es

^cDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante,  lopez.ubeda@uv.es

1. Introducción

La monitorización precisa y continua de los cambios topobatimétricos en los entornos costeros es clave para su gestión y conservación. Los métodos tradicionales de medición batimétrica y topográfica enfrentan limitaciones en precisión, cobertura, coste y tiempo, especialmente en aguas poco profundas y la zona intermareal. Este trabajo aborda una metodología innovadora para la generación de modelos digitales de elevación topo-batimétricos costeros que integra vehículos aéreos no tripulados (UAV), vehículos de superficie no tripulados (USV) y sistemas GNSS para obtener datos continuos, precisos y de alta resolución en entornos costeros dinámicos.

2. Campañas de campo y adquisición de datos

El estudio se realiza en un tramo de 1.5 km en la costa mediterránea española, caracterizado por un sistema dunar muy impactado antropogénicamente y condiciones de oleaje moderadas. Se emplearon los siguientes equipos: un UAV DJI Mini 2 para la obtención de imágenes aéreas con resolución espacial de 2 cm; un USV CHCNav Apache 3 equipado con ecosonda monohaz D230 para levantamientos batimétricos de alta precisión (± 0.01 m + 0.1% profundidad), GNSS dual con correcciones en RTK que proporciona una precisión de 1 cm en horizontal y ± 2 cm en vertical, y sistema IMU para corrección de actitud y movimientos; y un sistema GNSS Leica Zeno FLX100 para el georreferenciamiento y validación con precisión centimétrica.

Se completaron cuatro campañas de adquisición de datos en un año, monitoreando el área cada tres meses. Cada campaña se llevó a cabo en una sola mañana, bajo condiciones meteorológicas favorables, cubriendo eficientemente 0.257 km² terrestres mediante vuelos UAV, 0.607 km² subacuáticos con el USV y un detallado levantamiento GNSS para zonas intermareales y puntos de control.

3. Resultados

Los datos se procesaron con algoritmos fotogramétricos SfM-MVS y técnicas GIS para integrar nubes de puntos terrestres y batimétricos, generando un modelo digital topobatemétrico de superficie continuo. Los modelos resultantes permitieron identificar con precisión las morfologías costeras, como dunas, bermas, barras sumergidas y características de la vegetación dentro de la compleja zona costera. La validación cruzada reveló un error cuadrático medio (RMSE) inferior a 5 cm para la batimetría e inferior a 1 cm para la topografía fotogramétrica. Esta precisión permitió realizar análisis de detección de cambios, evaluaciones del balance sedimentario, perfiles de playas y obtención de parámetros clave en ingeniería costera, como la profundidad de cierre, la pendiente costera y las tasas de erosión. Además, los mapas de pendientes pusieron de relieve las zonas de dunas vulnerables a la erosión, con pendientes superiores a 25°.

Esta metodología integrada supera las limitaciones de los métodos convencionales en eficiencia, cobertura y coste, logrando una reducción del 50-75% en tiempo y recursos con resultados de muy alta calidad. Su aplicabilidad es amplia, adaptable a diferentes ambientes costeros y condiciones de mareas, siendo una herramienta avanzada para el seguimiento, modelado y mitigación de procesos erosivos vinculados al cambio climático y la gestión costera sostenible. En conclusión, la combinación de UAV y USV aporta un avance significativo en la adquisición de datos topobatemétricos costeros continuos y precisos, proporcionando una solución robusta y coste-efectiva para el modelado de procesos costeros.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada gracias a los proyectos *Monitorización y modelado de sistemas costeros vulnerables en la Comunidad Valenciana (GRE23-01A)*, financiado por la Universidad de Alicante, y *Modelado y seguimiento de los cambios en la morfología costera mediante vehículos autónomos aéreos (UAV) y de superficie (USV) (CIGE/2024/56)*, financiado por la Generalitat Valenciana. Los autores desean agradecer a CHCNav y AC21 Geospatial, en particular a Antonio Capel, por su apoyo y asistencia con el USV.

Referencias

- LÓPEZ, I., BAÑÓN, L., y PAGÁN, J. I. (2025). "Integrating UAV and USV for Elaboration of High-Resolution Coastal Elevation Models". *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(8), 1464.
- PAGÁN, J. I., BAÑÓN, L., LÓPEZ, I., BAÑÓN, C. y ARAGONÉS, L. (2019). "Monitoring the dune-beach system of Guardamar del Segura (Spain) using UAV, SfM and GIS techniques" en *Science of The Total Environment*, 687, p. 1034-1045

Identificación de defensas costeras mediante Deep Learning e imágenes de satélite

Iria Suárez, Alexandra Toimil, Iñigo J. Losada

IHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Isabel Torres 15, 39011, Santander, España  0009-0002-5156-575X, suarezci@unican.es;  0000-0002-2067-872X, toimila@unican.es;  0000-0002-9651-9709, losadai@unican.es

1. Introducción

La inundación es uno de los impactos más preocupantes en las zonas costeras a nivel global y, en las últimas décadas, ha provocado graves daños y numerosas pérdidas humanas. Esta problemática podría intensificarse aún más por el efecto combinado del cambio climático, el aumento del nivel medio del mar y el desarrollo socioeconómico. En este contexto, el modelado de inundación constituye una herramienta esencial para conocer la extensión y el calado de la lámina de agua sobre el terreno, analizar los riesgos asociados y ayudar en la toma de decisiones.

Numerosos trabajos han destacado la necesidad de disponer de bases de datos de defensas costeras que permitan caracterizar la inundación de forma más realista (Bates et al., 2020). Sin embargo, hoy en día, la información detallada sobre estas estructuras es escasa. Esto hace que la mayoría de estudios no consideren sus efectos, sobre todo a gran escala, dando lugar a estimaciones del área inundada poco fiables y con mucha incertidumbre (Zhao et al., 2022). A su vez, esto repercute en la evaluación del riesgo y en la toma de decisiones relacionadas con la gestión costera y su planificación espacial.

Este trabajo propone una metodología para identificar de forma automática defensas costeras, tanto naturales como antrópicas, mediante técnicas de Deep Learning e imágenes de satélite.

2. Metodología

La metodología propuesta consiste en el entrenamiento de un modelo de visión artificial capaz de identificar defensas costeras naturales y antrópicas, lo que exige, como paso previo, la construcción de una base de datos específica. Para ello, en primer lugar, se descargan y se etiquetan manualmente más de mil imágenes de satélite de muy alta resolución (15 cm) distribuidas por distintas provincias representativas de la costa española (atlántica, cantábrica y mediterránea). Las clases consideradas incluyen defensas naturales como playas y dunas y defensas antrópicas como paseos marítimos, diques y puertos.

A continuación, esta base de datos se emplea para entrenar y validar U-Net, un modelo de segmentación semántica basado en redes neuronales convolucionales (Ronneberger et al., 2015). Previamente, las imágenes se pre-procesan para ajustar su tamaño y sus características a los requerimientos del modelo. Tras optimizar el proceso de entrenamiento, seleccionando la configuración, estructura e hiperparámetros que aportan los mejores resultados, se obtiene un modelo validado para identificar defensas costeras a lo largo de toda la costa española.

3. Resultados

En conclusión, se obtiene un modelo basado en IA capaz de identificar automáticamente las defensas costeras de la costa española con una precisión superior al 90 % (Fig. 1). Además, el modelo propuesto es escalable, computacionalmente eficiente y permite identificar de forma georreferenciada tanto defensas naturales como antrópicas.

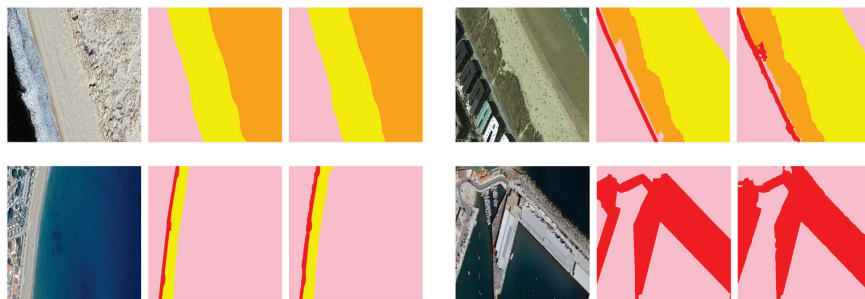


Fig. 1 Imagen de satélite, máscara real y predicción del modelo (amarillo: playa, naranja: duna, rojo: infraestructura costera) . Fuente: elaboración propia

Referencias

- BATES, P, QUINN N, SAMPSON, C, SMITH, A, WING, O, SOSA, J, SAVAGE, J, OLCESE, G, NEAL, J, SCHUMANN, G, GIUSTARINI, L, COXON, G, PORTER, J, AMODEO, M, CHU, Z, LEWIS-GRUSS, S, FREEMAN, N, HOUSER, T, DELGADO & M, KRAJEWSKI, W. (2020). “Combined Modeling of US Fluvial, Pluvial, and Coastal Flood Hazard Under Current and Future Climates” en *Water Resources Research*, 57, e2020WR028673.
- RONNEBERGER, O, FISCHER, P & BROX, T (2015). “U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation” en *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. Munich, 234-241.
- ZHAO, G, BATES, P & NEAL, J. (2022). “Flood Defense Standard Estimation Using Machine Learning and Its Representation in Large-Scale Flood Hazard Modeling” en *Water Resources Research*, 59, e2022WR032395.

Revisión de las zonas de vertido de material dragado en el marco de la Ordenación del Espacio Marítimo y de las Directrices para la Caracterización del Material Dragado (DCMD)

Ana Lloret Capote^a, Manuel Antequera Ramos^b, Carla Murciano Virto^c

^aana.lloret@cedex.es ^ccarla.murciano@cedex.es Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX

1. Introducción

Los planes de ordenación del espacio marítimo (POEM) de primer ciclo contemplan como objetivo sectorial para la actividad portuaria que todos los puertos cuenten con una red de ubicaciones geográficas dedicadas al vertido del material dragado que permita el desarrollo de la actividad portuaria, así como la seguridad en la navegación (AP 4). Esta red debe asegurar que el vertido de material dragado fuera de las aguas de servicio portuarias no pone en riesgo la conservación de la biodiversidad marina, procurando su compatibilidad con el desarrollo de otras actividades económicas (AP 5).

El Real Decreto 15/2023, por el que se aprueban los citados planes, define en el Bloque IV de su Anexo las zonas de alto potencial para la actividad portuaria (ZAPAP). Los puntos de vertido pueden ser incluidos en esta categoría ZAPAP en función de los resultados de la aplicación de un conjunto de criterios descritos en el apartado 4.4.1. que ha llevado a la división de las zonas de vertido tradicionalmente utilizadas por las Autoridades Portuarias en dos categorías; los puntos de vertido que directamente han sido considerados como ZAPAP (15 zonas de vertido) y aquellos que han sido incluidos en la categoría de “zonas de vertido a estudiar” (35 zonas de vertido).

En el caso de los «puntos a estudiar», el puerto deberá presentar un análisis de alternativas que localice un lugar óptimo o demuestre que la ubicación del «punto a estudiar» es la óptima, desde el punto de vista económico, ambiental y de la interacción con otros usos, actividades e intereses. Como resultado de este estudio de alternativas, los POEM, en sus sucesivas actualizaciones, podrán confirmar dicho punto como una nueva zona de alto potencial para la actividad portuaria

2. Trabajos realizados

Tanto para garantizar la posibilidad de seguir utilizando una zona de vertido tradicional como para el estudio de alternativas de nuevas zonas de vertido es necesario aplicar un procedimiento metodológico que permita evaluar las posibles afecciones del vertido de

material dragado sobre el medio marino, así como las interferencias con otros usos y actividades.

El CEDEX viene prestando apoyo a Puertos del Estado y a las Autoridades Portuarias en la selección y evaluación de las zonas de vertido cumpliendo las especificaciones de las DCMD (2014), entre ellas a la Autoridad Portuaria de Huelva y a las Autoridades Portuarias de Vilagarcía de Arousa y Pontevedra-Marín, a las que se suman, en ocasiones, puertos de titularidad autonómica. En estas evaluaciones se incluyen estudios realizados por otros entes públicos y privados. Los aspectos a considerar en la evaluación incluyen el impacto sobre zonas sensibles, grado de interacción con biodiversidad, espacios y hábitats protegidos, interferencias con otros usos y actividades del medio marino y las implicaciones que la localización de la zona pueda tener sobre la economía y operatividad portuaria.

La realización de estos estudios ha permitido confirmar el punto de vertido tradicional, como en el caso de la A.P de Huelva, aunque introduciendo las oportunas medidas preventivas para evitar cualquier tipo de afección a las aves marinas por las que fue designada como ZEPA el área en el que se encuentra. En el caso de los puertos del litoral gallego se han evaluado y propuesto tres zonas de vertido, que incluyen la zona tradicional, introduciendo la distancia a puerto como un factor prioritario en su consideración, minimizando la afección a las aves, protegiendo el medio bentónico y pelágico al evitar el vertido en condiciones climáticas adversas y concluyendo que las interacciones con otros usos no se consideran relevantes.

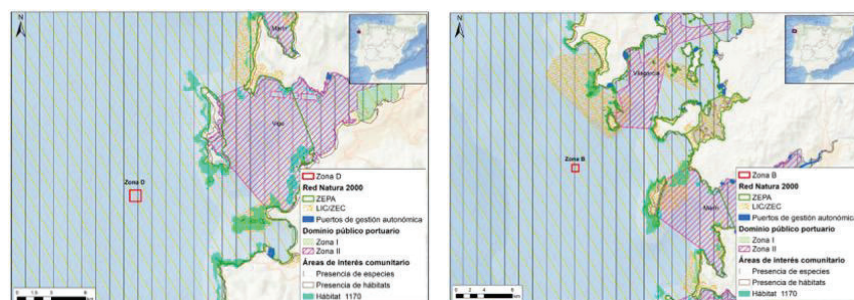


Figura 1 Evaluación de zonas de vertido de material dragado en los puertos de las Rías Baixas.
Fuente CEDEX

Referencias

Informe CEDEX (2025): Estudio de zonas de vertido para materiales dragados de los puertos de las Rías Baixas en Galicia

Informe CEDEX (2020): Preselección de zonas de vertido de acuerdo con las directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo terrestre. Aplicación al Puerto de Huelva como caso piloto.

Evaluación de presiones físicas en el medio marino en el marco de las estrategias marinas

**Isabel-María Moreno Aranda^a, José-Francisco Sánchez González^b,
Francisco-Javier Martínez Bedia^c**

^aCentro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX, isabel.m.moreno@cedex.es

^bCentro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX, jose.f.sanchez@cedex.es

^cMinisterio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, fjmbedia@miteco.es

1. Introducción

Las actividades humanas que se realizan en el medio marino generan una serie de presiones sobre el citado medio que se deben intentar minimizar para mantener o mejorar la biodiversidad, sus funciones ecológicas y los servicios ecosistémicos prestados. La Directiva Marco sobre la Estrategia Marina establece la lista indicativa de actividades y presiones a considerar para evaluar el estado ambiental del medio marino, estando algunas de ellas relacionadas con el uso portuario o la protección de la costa. En esta comunicación se explora el tratamiento de información realizado para la evaluación inicial de tercer ciclo de estrategias marinas de las presiones físicas sobre el fondo marino y sus resultados.

2. Evaluación y cuantificación de presiones físicas y actividades relacionadas

En la Directiva se distinguen tres tipos de presiones: biológicas, físicas y relacionadas con la introducción de sustancias, basuras y energía. En el caso de las presiones físicas, se subdividen en dos tipos, pérdidas físicas, de carácter permanente, y perturbaciones físicas, de carácter temporal.

La determinación del ámbito geográfico marino afectado por estas presiones supone todo un reto. El vertido de material dragado, por ejemplo, da lugar a una alteración sedimentaria cuya extensión depende no solo de la ubicación del punto de vertido, sino también de variables dinámicas como corrientes y granulometría y requeriría de un estudio específico de cada vertido del que generalmente no se dispone. Situaciones similares se dan para el resto de las perturbaciones físicas: fondeos, acuicultura, arrastre de fondo, etc. En el caso de las pérdidas, la evaluación se centra en cuantificar la superficie de fondo ocupada por nuevas infraestructuras portuarias, de protección de la costa, arrecifes, plataformas, etc.

Entre las novedades más destacadas en esta tercera evaluación, que se expondrán con más detalle, está la incorporación de la superficie de las zonas de extracción y depósito incluidas tanto en el Inventario de extracción de áridos para aporte a playas en España como en el

Inventario de dragados en los puertos españoles. Se ha realizado también un estudio de la ocupación espacial de los fondeaderos comerciales de los puertos de interés general en base a datos AIS, y con esta misma fuente de datos, se estima en casos pilotos posibles zonas potencialmente perturbadas por fondeo recreativo (MITECO, 2024).



Fig. 1 Ejemplos de actividades y presiones físicas localizadas entre Cartagena y el Mar Menor

Conclusiones

Las fuentes de datos disponibles, las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos en la evaluación de las presiones físicas del tercer ciclo de las estrategias marinas muestran avances significativos respecto a ciclos anteriores. Sin embargo, pese a las mejoras introducidas, persisten limitaciones que generan incertidumbres en la estimación real de la superficie afectada. Esto obliga a aplicar criterios de precaución en la interpretación de los resultados y subrayan la necesidad de una mayor colaboración interadministrativa para avanzar hacia evaluaciones más precisas y coherentes.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado por encargo de la Dirección General de la Costa y el Mar. Se agradece asimismo la colaboración de otras administraciones como Salvamento Marítimo, Puertos del Estado, Instituto Español de Oceanografía, comunidades autónomas, etc.

Referencias

MITECO (2024) Análisis de presiones e impactos. Tercer ciclo de Estrategias Marinas. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/estrategias-marinas/cemm-3ciclo-fases1y2.html>



Revisión crítica de los requerimientos en materia de protección de la biodiversidad en el marco de los informes de compatibilidad con las estrategias marinas de actuaciones portuarias de pequeña entidad

Francisco José González Alcón, Mercedes García Barroso

^a TECNOAMBIENTE; francisco.gonzalez@tecnoambiente.com;

mercedes.garcia@tecnoambiente.com

1. Introducción

La ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino y el Real Decreto 79/2019, de 22 de febrero, por el que se regula el informe de compatibilidad y se establecen los criterios de compatibilidad con las estrategias marinas, establece la necesidad de obtención de informes de compatibilidad con la estrategia marina correspondiente para todas las actuaciones portuarias que supongan alguna alteración del lecho marino y se localicen en algunas de las demarcaciones marinas españolas.

Estas actuaciones portuarias obligadas a la obtención de un ICEM, a diferencia de las recogidas en la ley 21/2013 de evaluación ambiental, no se ven limitadas por ningún umbral entidad, tamaño o ubicación. Todas lo están si suponen algún tipo de interacción con el lecho marino, desde pequeños dragados a instalación de fondeos de pantalanes flotantes, hinca de pilotes sea en aguas abrigadas dentro de las dársenas portuarias o no, sea en las proximidades de espacios protegidos o no.

En los primeros años de aplicación de esta norma, la Subdirección General de Protección del Mar solicitaba informe a la Dirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina para incorporar al Informe de Compatibilidad con la Estrategia Marina, únicamente cuando se daban circunstancias que lo ameritaran, como la entidad del proyecto, su localización en espacios protegidos o la presencia verificada de hábitats de interés comunitario o especies protegidas comprometidos por la actuación.

En los últimos dos años, sistemáticamente se está requiriendo el informe de la SG de Biodiversidad Terrestre y Marina en todos los casos y sistemáticamente ésta está informando en el sentido de requerir el levantamiento de información bionómica actualizada e imponiendo condiciones específicas para la protección de la biodiversidad.

2. Discusión

Se ha llevado a cabo la revisión de más de 15 informes emitidos durante 2025, en todas las demarcaciones marítimas, para obras no sujetas tramitación ambiental, de pequeña entidad, en puertos deportivos y de interés general, en muchas ocasiones recurrentes como pequeños dragados de mantenimiento de bocanas de puertos deportivos con by pass a la playa contigua, renovación de pantalanés flotantes en dársenas deportivas en los que la única alteración del fondo la supone la instalación de trenes de fondeo, hinca de pilotes, reparaciones de mantenimiento de escolleras de protección o banquetas, etc.

Se han listado e identificado los requerimientos impuestos por la SGBTyM en cada uno de ellos, llevándose a cabo una discusión crítica de la proporcionalidad de los mismos para el objetivo de protección que se pretende lograr, apreciando importantes desajustes entre la naturaleza y calado de las medidas y los efectos ambientales perjudiciales para especies y hábitats que teóricamente pretenden evitar.

De la monitorización a la gestión operativa: un sistema integrado de apoyo a la toma de decisiones para el control de vertidos en entornos portuarios

Morell, Mariano^a; Mahillo, Carlos^a; Espino, Manuel^b; Grifoll, Manel^b; Llull, Toni^b; Garau, Carlos^a

^aGarau Ingenieros, Palma de Mallorca, SPAIN, info@garauingenieros.es;

^bLIM Laboratori d'Enginyeria Marítima - UPC-BarcelonaTech, Barcelona, SPAIN;
manuel.espino@upc.edu, manel.grifoll@upc.edu, antoni.llull.marroig@upc.edu.

Resumen

Los entornos portuarios son sistemas costeros altamente antropizados en los que la calidad de las aguas interiores está condicionada por la dinámica litoral, la hidrodinámica restringida de las dársenas y la concentración de actividades potencialmente generadoras de impactos ambientales. En este contexto, los episodios de contaminación puntual o difusa en aguas portuarias representan un reto relevante para los gestores portuarios, tanto desde el punto de vista ambiental como operativo (Peris-Mora et al., 2005).

La gestión de la calidad de las aguas portuarias se ha basado tradicionalmente en campañas de muestreo periódico, inspecciones visuales y sistemas de monitorización apoyados en sensores aislados. Aunque estas herramientas permiten caracterizar el estado ambiental, presentan limitaciones para proporcionar una respuesta temprana y una gestión operativa eficaz, siendo necesario avanzar hacia enfoques que integren, contextualicen y transformen los datos en criterios útiles para la toma de decisiones (Darby et al., 2019).

Este trabajo presenta un sistema integrado de apoyo a la toma de decisiones diseñado específicamente para el control de vertidos en entornos portuarios monitorizados mediante el sistema PortWaterControl (CMM Bluetech). La solución se basa en una arquitectura modular y escalable que integra múltiples fuentes de información heterogénea, incluyendo datos de monitorización de incidentes de vertido, datos de calidad de agua y datos hidrodinámicos, junto con un sistema de ayuda a la decisión desarrollado a partir de información operativa del puerto y registros históricos de incidencias ambientales.

La metodología desarrollada se sustenta en tres principios fundamentales: (i) la integración y validación de datos en tiempo casi real, garantizando la coherencia y trazabilidad de la información; (ii) la contextualización de los indicadores ambientales en función de la operativa portuaria y de las condiciones hidrodinámicas locales; y (iii) la generación de

criterios operativos y reglas de decisión que permiten anticipar riesgos, priorizar actuaciones y optimizar los recursos disponibles para la gestión ambiental.



Fig. 1 Esquema operativo del sistema

El diagrama describe la arquitectura funcional del sistema y los principales flujos de información que lo conforman. En el marco de la investigación se han definido los procesos de tratamiento y agregación de datos, así como los mecanismos que permiten adaptar la solución a distintas operativas portuarias. Los resultados obtenidos en los entornos piloto evidencian mejoras significativas en la capacidad de los gestores portuarios para adoptar decisiones informadas ante episodios de contaminación en aguas portuarias, así como en los tiempos de respuesta ante incidencias y en la cobertura temporal de la monitorización.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Club Náutico Portitxol y a la Autoridad Portuaria de Baleares su colaboración activa en el desarrollo y validación del estudio, así como la cesión de un entorno real de aplicación. Asimismo, agradecen la contribución de Matías Bonet de OceanDrivers por su apoyo técnico y su experiencia en la detección de vertidos en el ámbito portuario.

Referencias

- CMM Bluetech. *Portwatercontrol – Vigilancia inteligente del agua*. <<https://portwatercontrol.com/es/inicio/>> [Consulta: 23 de enero de 2026]
- DARBRY, L., RUSSELL, T. y BLACKMORE, K. (2019). “Environmental monitoring and decision support systems in ports: From data acquisition to operational management” en *Ocean & Coastal Management*, 178, 104806.
- PERIS-MORA, E. et al. (2005). “Development of a system of indicators for sustainable port management” en *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1649–1660.

Mejora de la fiabilidad operativa en sistemas de detección de vertidos portuarios basada en combinación de algoritmos de clasificación

Bonet, Matías^a; Morell, Mariano^b; Mahillo, Carlos^b

^aOceanDrivers, Palma de Mallorca, SPAIN, matiasbonet@oceandrivers.com

^bGarau Ingenieros, Palma de Mallorca SPAIN, info@garauingenieros.es

Resumen

La detección de vertidos en entornos portuarios basada en análisis automático de imágenes constituye una herramienta muy prometedora para la vigilancia ambiental continua. No obstante, su aplicación operativa presenta retos significativos asociados a la elevada variabilidad de las condiciones ambientales, a la complejidad visual de las aguas portuarias y, especialmente, al fuerte desequilibrio de los conjuntos de datos a tratar, en los que predominan ampliamente las imágenes de agua limpia frente a las de vertidos, y las de residuos flotantes frente a las de manchas de vertido.

En este contexto, la clasificación basada en un único algoritmo tiende a generar tasas elevadas de falsas alertas y a presentar problemas de sobreajuste (*overfitting*), limitando su fiabilidad operativa y, por ende, su utilidad para los sistemas de gestión portuarios. Asimismo, la emisión de alertas ante cada detección individual resulta poco funcional desde el punto de vista operativo, al dar lugar a una saturación del sistema de alarmas.

Este trabajo presenta una mejora incremental del sistema de detección de vertidos integrado en el proyecto Portwatercontrol (CMM Bluetech), basada en la combinación de varios algoritmos independientes de clasificación de imágenes. Cada algoritmo genera un índice de clasificación individual, que se integra posteriormente mediante una media ponderada, utilizando unos pesos que se definen mediante un proceso de calibración experta apoyado en registros históricos y experiencia operativa.

Los distintos algoritmos de clasificación se entrenan a partir de subconjuntos (*subsets*) de imágenes obtenidos mediante muestreo aleatorio a partir del conjunto total disponible. Este enfoque permite generar clasificadores parcialmente desacoplados, expuestos a distribuciones de datos ligeramente diferentes, contribuyendo a aumentar la diversidad del sistema y a mejorar su capacidad de generalización. Durante el proceso de entrenamiento de cada algoritmo se ajustan de forma específica los parámetros asociados a la función de pérdida (*loss function*), los pesos relativos de las clases (*class weights*) y los mecanismos de

reducción de la pérdida (*loss reduction*), con el objetivo de mitigar los efectos del fuerte desequilibrio del conjunto de datos y reducir la tendencia al sobreajuste.

La metodología permite utilizar conjuntos de pesos diferenciados para la detección de flotantes y de manchas y, asimismo, establecer umbrales específicos para determinar cuando la detección de eventos debe generar alertas al gestor; incorporando criterios de persistencia temporal y de índice agregado, junto con una lógica de supresión de alertas repetidas que evita la emisión continua de avisos mientras un vertido permanece dentro del ámbito de monitorización.

El desempeño del sistema se evalúa de forma cualitativa en varios entornos portuarios, utilizando como métrica principal el Error Índice, definido en trabajos previos (Morell, 2023), que permite valorar de forma integrada la fiabilidad global del sistema de clasificación. Los resultados obtenidos evidencian una mayor robustez frente a problemas de sobreajuste, una mejora significativa de la fiabilidad operativa y una reducción sustancial de las falsas alertas; reforzando la aplicabilidad del sistema en el día a día de la operación portuaria.

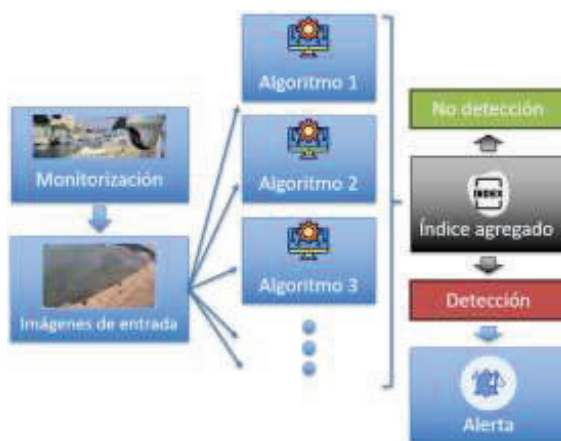


Fig. 1 Esquema operativo del sistema de combinación ponderada de algoritmos de clasificación para la detección de vertidos portuarios y la generación de alertas

Referencias

- CMM Bluetech. *Portwatercontrol – Vigilancia inteligente del agua*.
<<https://portwatercontrol.com/es/inicio/>> [Consulta: 23 de enero de 2026]
- MORELL, M. (2023). *Novel tools for port environmental management systems*. Tesis Doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya,
<<https://upcommons.upc.edu/entities/publication/b4af8f47-080e-4b14-8048-4d358c4a9eea>>
[Consulta: 23 de enero de 2026]

Derrames de amoníaco en el medio marino: la importancia de establecer umbrales de toxicidad basados en ensayos ecotoxicológicos

**Naroa Ontibero^a, Laura Noguera^b, Urtzi Izagirre^b, Ana Julia Abascal^a,
Andrés García^a**

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria,
( 0009-0005-0557-6046, naroa.ontibero@unican.es);

^bCentro de Investigación en Biología y Biotecnología Marinas Experimentales (PiE-UPV/EHU)

1. Introducción

La descarbonización del transporte marítimo ha impulsado el uso potencial del amoníaco como combustible, lo que requiere evaluar con rigor los riesgos ambientales asociados a posibles vertidos accidentales. En la Bahía de Santander, este reto forma parte de iniciativas que contemplan su producción y manejo en entornos marinos, demandando metodologías que integren los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan su comportamiento. El amoníaco mantiene un equilibrio ácido-base ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) dependiente de pH, temperatura y salinidad, siendo la fracción no ionizada (NH_3) la más tóxica, por lo que controlar el pH resulta crítico.

A pesar de existir criterios de toxicidad para otras especies marinas, no hay umbrales específicos para *Paracentrotus lividus* ni para otras especies de la costa cántabrica en sus distintas fases de desarrollo, lo que limita el análisis de riesgos ante un eventual derrame.

Se selecciona *P. lividus* porque: (i) es una especie abundante y ecológicamente relevante en la costa cántabra; (ii) permite ensayos estandarizados con embriones y adultos; (iii) ofrece indicadores sensibles de efectos subletales y letales; y (iv) facilita comparar la sensibilidad entre etapas del ciclo vital, un aspecto poco cubierto por umbrales existentes.

2. Objetivo

Establecer umbrales de toxicidad del amoníaco específicos para *Paracentrotus lividus* mediante ensayos ecotoxicológicos estandarizados, cubriendo fase embrionaria y adulta en distintas etapas de maduración reproductiva; y sentar las bases para su uso operativo en la evaluación de riesgos ambientales asociados a derrames accidentales de amoníaco en el medio marino.

3. Metodología

3.1. Tests con embriones (48h)

Se realiza una exposición aguda (48h) a un gradiente de amonio y la posterior evaluación del desarrollo larvario normal mediante criterios morfológicos estandarizados y análisis estadístico. El pH y las condiciones fisicoquímicas se monitorizan para garantizar la reproducibilidad y la correcta interpretación del equilibrio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$.

3.2. Tests con adultos (96h)

Se realiza la exposición a concentraciones crecientes y el seguimiento de variables ordinales de comportamiento/condición (agarre, movimiento de púas, pérdida de púas) y mortalidad. Se comparan tres ventanas del ciclo reproductivo para explorar sensibilidad estacional: junio (spawning), septiembre (post-spawning) y marzo (retorno a la maduración gametogénica).

3.3. Integración y uso operativo

Los umbrales derivados (por etapa y fase) se incorporarán en fases posteriores al modelo numérico de transporte y dispersión de contaminantes TESEO, desarrollado por IHCantabria, para la modelización y análisis del riesgo derivado de derrames accidentales de amoníaco.

4. Resultados preliminares

En los ensayos con embriones, se han observado alteraciones en el desarrollo embrionario en línea con la alta sensibilidad embrionaria, compatibles con respuestas dosis-dependiente.

Se ha observado una respuesta dosis-dependiente en los adultos para las variables cualitativas medidas, mientras que la mortalidad ha sido limitada, mostrando variaciones entre etapas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PR-H2CVAL4-C1-2022-0082 BAHÍA H2 OFFSHORE financiado por el IDAE y por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) / NextGenerationEU. Se agradece la financiación del Gobierno de Cantabria a través del programa Fénix.

Referencias

- EMERSON, K.; RUSSO, R. C.; LUND, R. E.; y THURSTON, R. V. (1975). "Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature" en *Journal of the Fisheries Board of Canada*, vol. 32, pp. 2379-2383. DOI: 10.1139/f75-274.
- KENNEDY, A. J.; LINDSAY, J. H.; BIEDENBACH, J. M.; y HARMON, A. R. (2017). "Life stage sensitivity of the marine mussel *Mytilus edulis* to ammonia" en *Environmental Toxicology and Chemistry*, pp. 89-95.

Influencia de la caracterización espectral de la onda larga en la respuesta dinámica de buques atracados. Aplicación en el marco del proyecto PRESTAMAR

Juan Carlos Carmona, Guillermo Vega, Sonia Heras, Raúl Atienza^a

^a Siport21, Consultora Internacional de Ingeniería Marítimo-Portuaria, siport21@siport21.es

1. Introducción

Los distintos agentes del medio físico: viento, oleaje y onda larga asociada, mareas y corrientes, son uno de los factores que más influyen tanto en la **seguridad como en la eficiencia de las operaciones portuarias**. Por un lado, produciendo retrasos en las escalas o incluso paradas operativas, y por otro superando el límite operativo (movimientos del buque que perjudican o impiden la transferencia de carga) o el límite de permanencia, que obliga al buque a abandonar el atraque para evitar daños en las amarras, el equipamiento de la terminal, o incluso la infraestructura. Todo ello se traduce en los consiguientes sobrecostos operativos.

Uno de los entornos portuarios donde esta problemática adquiere especial relevancia es el **Puerto de Bilbao**, concretamente en las terminales de **PETRONOR**. En estos atraques, la exposición al oleaje, la onda larga y las corrientes genera condiciones adversas que comprometen la seguridad de los buques amarrados. Esta situación ha provocado incidentes significativos, como **roturas de cabos**, y un **elevado número de demoras** por fuerza mayor. En los últimos cuatro años se han registrado **más de 70 episodios** de este tipo, lo que supone una media de una a dos incidencias al mes y un coste anual asociado cercano a los 3 millones de dólares.

Ante esta situación, surge la necesidad de contar con una **herramienta que permita anticipar el impacto de los agentes físicos sobre los buques atracados y facilitar la toma de decisiones** durante las operaciones de carga y descarga. Para dar respuesta a este reto, se está desarrollando **PRESTAMAR**, un sistema de predicción y apoyo a la operativa portuaria orientado a mejorar la seguridad y eficiencia en condiciones ambientales adversas. El proyecto PRESTAMAR es parte del programa Ports 4.0, impulsado por Puertos del Estado. Está liderado por **Siport21** y cuenta como socios con **PETRONOR** y **DeepInsight**. Además, **TECNALIA** y **PETRONOR INNOVACIÓN** participan como colaboradores tecnológicos, y el **Puerto de Bilbao** actúa como agente facilitador. Tras dos años de trabajo está próximo a la finalización el próximo verano.

El objetivo del presente trabajo es analizar cómo la caracterización espectral de la onda larga influye en la respuesta dinámica del buque atracado y en la evaluación de la operatividad, **comparando el uso de espectros teóricos frente a espectros reales medidos en la propia terminal.**

2. Metodología

La metodología combina mediciones instrumentales en la terminal con simulaciones hidrodinámicas del sistema buque–amarre, empleadas para evaluar la respuesta dinámica frente a distintos forzamientos de onda larga.

Todos los elementos **se integran en una plataforma basada en tecnología IoT**, que permite la recolección, almacenamiento, procesamiento y visualización de datos en tiempo real. Algoritmos basados en **IA** permiten describir la compleja relación entre las variables de entrada y construir un modelo de predicción fiable.

En el presente trabajo se pone especial énfasis en la modelización del **efecto de la onda larga sobre el comportamiento del buque atracado**. Se compara un mismo caso de estudio utilizando dos enfoques distintos: por un lado, mediante un **espectro teórico** representativo de la onda larga; y por otro, empleando un **espectro de energía real** obtenido a partir de las medidas registradas en la propia terminal. Esta comparación permite analizar la sensibilidad del modelo a la caracterización del forzamiento y evaluar el impacto de disponer de datos medidos en la precisión de las predicciones.

Conclusiones

La herramienta desarrollada en el marco del proyecto PRESTAMAR permite anticipar escenarios operativos adversos provocados por agentes físicos como el oleaje, la onda larga, las variaciones de marea o las corrientes, permitiendo replanificar las operaciones y optimizar la asignación de recursos en terminales portuarias. Al mejorar la predicción del comportamiento del buque atracado, se incrementa la seguridad de las conexiones y desconexiones, se minimiza el riesgo de incidentes —como roturas de cabos o derrames— y se optimizan los tiempos y costes asociados a las maniobras.

En este trabajo, se explora específicamente la influencia de la onda larga mediante la comparación de un caso de estudio modelizado con un espectro teórico y otro basado en datos reales medidos en la terminal. Los resultados muestran que el uso de espectros reales de onda larga puede conducir a respuestas significativamente diferentes a las obtenidas con espectros teóricos, lo que pone de manifiesto el riesgo de subestimar o sobreestimar los límites operativos cuando no se dispone de datos medidos.

Respuesta oceanográfica de una bahía somera micro-mareal al forzamiento del viento: retención, mezcla y renovación de masas de agua

**Marta Balsells F-Pedrera^a, Manel Grifoll^a, Margarita Fernández-Tejedor^b,
Manuel Espino^a**

^aLaboratorio de Ingeniería Marítima (LIM), Universidad Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech (UPC), 08034 Barcelona, Spain; marta.balsells@upc.edu;

^bInstituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), Crtra. Poble Nou, s/n Km 5,5, 43540 la Ràpita, Spain

Las bahías costeras del Mediterráneo pueden presentar una respuesta oceanográfica dominada por forzamientos locales que controlan la circulación, la estratificación vertical y la renovación de las masas de agua. Este trabajo analiza la respuesta oceanográfica de la bahía del Fangar (Delta del Ebro) al forzamiento del viento, combinando modelización numérica tridimensional, observaciones *in situ* y teledetección, con énfasis en los procesos físicos dominantes.

La bahía del Fangar es un sistema somero y micro-mareal, de geometría compleja y conectado al mar abierto mediante una boca estrecha (Balsells et al., 2020). Durante julio de 2019 se observó una alternancia entre condiciones de brisa marina y episodios de viento intenso del NO (Mestral), que controlaron la estructura vertical de la columna de agua y los patrones de circulación interna. Bajo viento débil, la bahía mantiene una estratificación persistente, circulación reducida y elevada residencia del agua superficial, favoreciendo procesos de retención. En contraste, los episodios de Mestral inducen una respuesta rápida caracterizada por mezcla vertical y renovación acelerada, con exportación eficiente hacia el mar abierto.

El comportamiento hidrodinámico se analizó mediante un modelo tridimensional de alta resolución (ROMS, (Shchepetkin & McWilliams, 2005)) acoplado a un modelo biogeoquímico simplificado (NPZD, (Franks, 1986)), validado frente a datos de corrientes, clorofila-a e imágenes Sentinel-2 (Balsells et al., 2020, 2021). Las simulaciones reproducen de forma consistente la transición entre un régimen de retención durante brisas y un régimen de mezcla y vaciado forzado durante vientos intensos.

Para integrar la respuesta física y su consecuencia funcional se definió un Índice de Disponibilidad de Alimento (FAI), calculado a partir de la biomasa fitoplanctónica accesible en la capa superficial. La Figura 1 sintetiza el impacto de los distintos regímenes de viento sobre este indicador, mostrando pérdidas generalizadas de biomasa accesible superiores al 60–80 % durante episodios de viento intenso, especialmente en las zonas centrales y próximas

a la bocana, mientras que ciertas áreas marginales actúan como refugios temporales. La evolución temporal del FAI en la zona de viveros evidencia que estas pérdidas se producen en escalas de horas, coincidiendo con la superación de umbrales críticos de velocidad del viento.

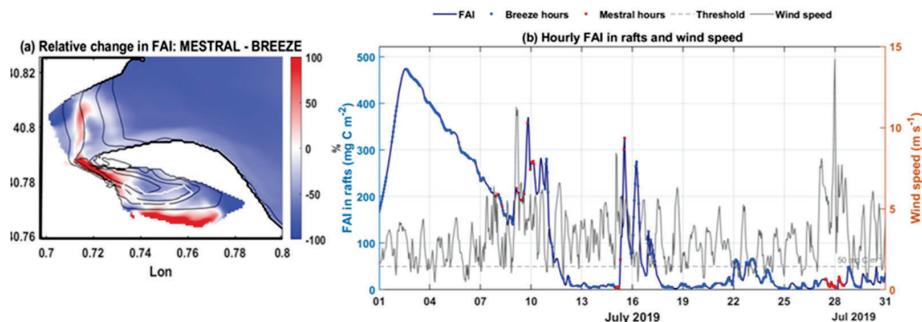


Figura 1. a) Distribución espacial de la variación relativa del Índice de Disponibilidad de Alimentos (FAI) entre los episodios MESTRAL y BREEZE; b) evolución temporal del FAI en la zona de viveros junto con la velocidad del viento. Los puntos azules representan las horas clasificadas como brisa marina, y los puntos rojos representan las horas clasificadas como vientos fuertes del noroeste

Desde el punto de vista de la oceanografía física costera, estos resultados muestran que la respuesta de las bahías someras micro-mareales al forzamiento del viento está dominada por la alternancia entre procesos de retención, mezcla y renovación de las masas de agua, lo que explica la elevada variabilidad observada y subraya la importancia de considerar los umbrales de viento en el análisis de la resiliencia de los sistemas costeros. Estos resultados son especialmente relevantes para la gestión de la acuicultura en la bahía, ya que el conocimiento de los umbrales de viento que controlan la transición entre retención y renovación del agua permite optimizar la planificación espacial y la operación de las instalaciones acuícolas, minimizando los riesgos asociados a episodios de debilitamiento o mortalidad del cultivo.

Este proyecto ha sido desarrollado en el marco del proyecto de investigación EBRO-CLIM, PID2024 -1553100B-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/

Análisis sistémico del régimen extremal en los puertos de interés general ante escenarios de cambio climático: tendencias, intensificación y variación en los periodos de retorno

David Lucio, Javier L. Lara, María Fuentes Álvarez de Eulate, Iñigo J. Losada

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain.

david.lucio@unican.es

1. Introducción

El cambio climático está modificando de forma progresiva el comportamiento de las variables meteo-oceánicas que condicionan el funcionamiento de los puertos, especialmente mediante alteraciones en la frecuencia, intensidad y persistencia de los eventos extremos (Fernández-Pérez et al., 2026). Estos cambios cuestionan la validez de los regímenes extremales históricos sobre los que tradicionalmente se han estimado los periodos de retorno y definido los criterios de diseño. La evolución del oleaje extremo, la elevación del nivel del mar y la creciente ocurrencia de fenómenos compuestos están configurando un nuevo contexto climático, en el que se proyectan variaciones sustanciales tanto en las tendencias históricas como en la intensidad esperada de los eventos extremos y en las condiciones climáticas que sustentan el diseño de las obras marítimas, todo ello en un marco de elevada incertidumbre. En sistemas tan complejos como los portuarios, donde convergen infraestructuras, operaciones y servicios altamente interdependientes, estas alteraciones adquieren una relevancia crítica, ya que pequeñas variaciones en las condiciones climáticas pueden amplificarse y desencadenar impactos significativos. Por ello, el análisis del régimen extremal no puede abordarse de forma aislada, sino que debe integrarse en una visión sistémica que permita interpretar de forma coherente la dinámica climática en su conjunto. Comprender estas tendencias resulta, por tanto, imprescindible para anticipar riesgos y fundamentar estrategias de adaptación.

2. Aplicación en los puertos de interés general

La metodología empleada para proyectar el cambio esperado en las variables meteo-oceánicas relevantes combina el uso de bases de datos de proyecciones climáticas, técnicas estadísticas avanzadas para la caracterización de eventos de baja probabilidad de ocurrencia y alto impacto, y modelos numéricos que permiten una adecuada propagación de las condiciones climáticas hasta el entorno portuario. Este enfoque integrado, siguiendo la metodología propuesta por Lucio et al. (2024a) y Lucio et al. (2024b), permite caracterizar a escala portuaria, y para el conjunto de puertos del sistema portuario de titularidad estatal, los

cambios esperados en las tendencias climáticas, la intensificación proyectada de los eventos extremos y la variación en los periodos de retorno. Ello se logra con un elevado nivel de certidumbre al integrar el mejor conocimiento científico disponible en materia de bases de datos de cambio climático, técnicas estadísticas avanzadas para la caracterización multivariada del régimen extremal y modelado numérico de alta resolución.

En la Fig. 1 se muestra, a modo de ejemplo, la intensificación proyectada en un puerto de interés general mediante la evolución del cambio en el periodo de retorno asociado a un evento de nivel del mar total que, en la actualidad, tiene un periodo de retorno de 100 años. El análisis de este proxy, que integra la influencia conjunta del oleaje y del nivel del mar, permite identificar, en función del escenario de emisiones considerado, la amplificación de los regímenes extremos y el horizonte temporal en el que se producen cambios sustanciales en las condiciones climáticas de diseño. Asimismo, al extender este análisis al conjunto del sistema portuario, es posible identificar aquellos puertos con un mayor potencial riesgo físico.

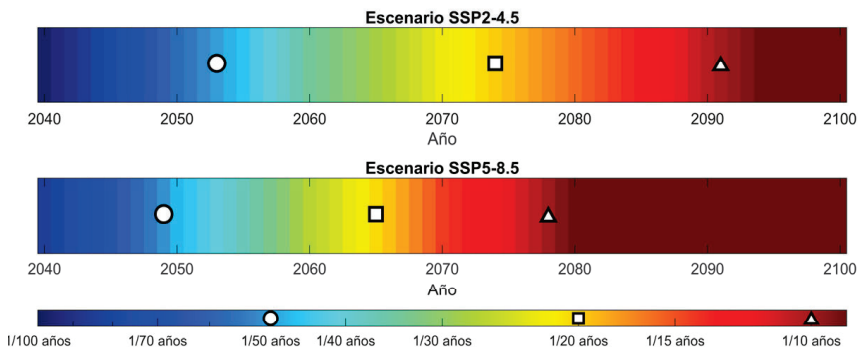


Fig. 1 Proyección del cambio en el periodo de retorno del evento de nivel del mar total que actualmente presenta un periodo de retorno de 100 años, bajo los escenarios de cambio climático SSP2-4.5 y SSP5-8.5, en un puerto de interés general. Fuente: elaboración propia (2026)

Referencias

- Lucio, D., Lara, J.L., Tomás, A., Losada, I.J. (2024a). Projecting compound wave and sea-level events at a coastal structure site under climate change, *Coastal Engineering*, 189, 104490.
- Lucio, D., Lara, J.L., Tomás, A., Losada, I.J. (2024b). Probabilistic assessment of climate-related impacts and risks in ports, *Reliability Engineering & System Safety*, 251, 110333.
- Fernández-Pérez, A., Verschuur, J. Lara, J.L., Losada, I.J., Hall, J.W. (2026). Compound climate risk to European ports. *Environmental Research : Climate*, 5, 015005.

Del dato a su puesta en valor: casos de uso del proyecto COSNORTH para la inundación portuaria en áreas estuarinas y para la vigilancia marítima

Germán Aragón, Jonathan Valle, Alisée A. Chaigneau, Antonio Pérez, Melisa Menéndez, Andrés García, Ana J. Abascal

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria,

 german.aragon@unican.es;

El conocimiento y predicción de variables meteoceanográficas son un factor clave para la correcta planificación, explotación y respuesta ante incidentes en cualquier actividad ligada a los entornos marinos y portuarios. La generación de datos de esta índole, específicamente la generada por sistemas operacionales oceanográficos, ha aumentado de manera significativa durante los últimos años en Europa, gracias al servicio marino *COPERNICUS*, y en España gracias a la labor de entidades como Puertos del Estado, proporcionando una cobertura especialmente importante en las áreas portuarias.

El proyecto [COSNORTH](#) está enmarcado dentro del Programa Nacional de Colaboración (NCP) del Servicio Marino de Copernicus, que tiene como objetivos principales:

1. Impulsar la mejora y el desarrollo de sistemas operacionales oceanográficos a escala costera.
2. Fomentar el uso y puesta en valor de estos datos operacionales por medio del desarrollo de casos de uso con entes públicos de carácter nacional.

En el marco del proyecto se han desarrollado y/o mejorado 3 sistemas oceanográficos operacionales: Cantabria OCFS (escala costera, modelado de procesos), Santander OEFS (escala estuarina, modelado de procesos) y Santander OEFS AI (escala costera, modelado basado en inteligencia artificial).

Estos sistemas a su vez alimentan 2 casos de uso específicos para aportar valor en la toma de decisiones ante diferentes problemáticas:

- [FLOODPORT DSS](#) sistema de alerta ante eventos de inundación por marea astronómica y marea meteorológica en el entorno portuario de la Bahía de Santander (Figura 1).

Del dato a su puesta en valor: casos de uso del proyecto COSNORTH para la inundación portuaria en áreas estuarinas y para la vigilancia marítima

- **SEMAR DSS:** aplicación de ayuda a la toma de decisiones para la vigilancia marítima, que proporciona información clave para las operaciones de búsqueda y para las actividades de lucha contra la contaminación marina en la costa de Cantabria (Figura 2).

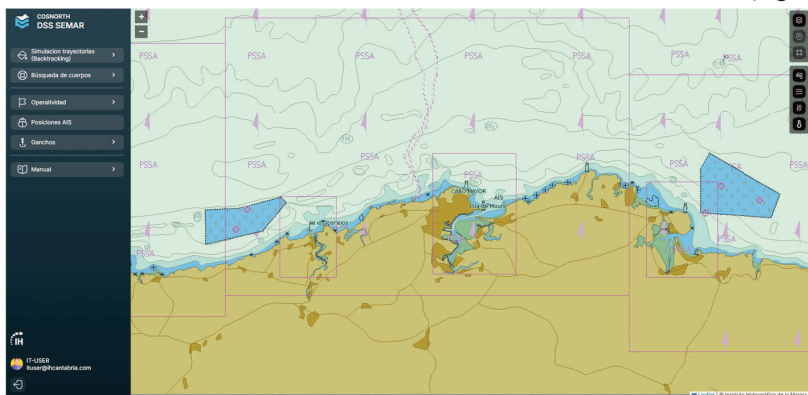


Fig. 1 Vista general de SEMAR DSS



Fig. 2 Vista general FLOODPORT DSS

Agradecimientos

Al programa financiador *Copernicus Marine National Collaboration Programme: Eu Coastal Monitoring Demonstrators (24263-Cop-Inno User 9000)* y al programa *ThinkInAzul*, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación con fondos de la Unión Europea *NextGenerationEU (PRTR-C17.11)* y por la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Análisis retrospectivo de la salinidad del estuario del Guadalquivir desde la implantación del sistema de regulación en Alcalá del Río

Manuel Cobos, Pedro Otiñar, Marcus Silva, Asunción Baquerizo,

Manuel Díez-Minguito

Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía, Universidad de Granada,

, mcobosb@ugr.es

1. Introducción

El estuario del Guadalquivir constituye un paradigma mundial de las transformaciones estuarinas impulsadas por la actividad humana. La intensa regulación fluvial (presa de Alcalá del Río), las cortas históricas y los continuos dragados de mantenimiento, sumados al ascenso del nivel del mar, han alterado profundamente su geomorfología y equilibrio hidrodinámico. Estas presiones han exacerbado la intrusión salina, amenazado el riego y la integridad ecológica. Comprender cómo evoluciona un sistema como el estuario del Guadalquivir bajo una intervención humana sostenida es esencial para predecir su comportamiento futuro y diseñar estrategias de gestión eficaces (Díez-Minguito y Cobos, 2026).

Este estudio integra un archivo histórico de casi 100 años con simulaciones numéricas para cuantificar cómo ha cambiado la intrusión salina inducida por la propagación de las mareas, la morfología mantenida por los dragados de mantenimiento y la regulación fluvial. A pesar de ser uno de los estuarios más intervenidos de Europa, hasta la fecha no se había realizado una evaluación de la evolución multidecadal de niveles, caudales y corrientes debido a la escasez de registros instrumentales a largo plazo y modelos validados y optimizados capaces de realizar simulaciones a largo plazo en tiempos razonables.

2. Metodología

El análisis se fundamenta en un marco de modelado numérico 1D calibrado y validado (modelo BARRIER), descrito en detalle por Cobos et al. (2026), el cual resuelve las ecuaciones no lineales de Saint-Venant con un término de almacenamiento y ha demostrado una alta capacidad para reproducir observaciones del nivel del mar y los gradientes de salinidad en el estuario del Guadalquivir.

Se han realizado simulaciones retrospectivas en continuo a largo plazo (1931-2025), utilizando los siguientes conjuntos de datos históricos: (a) los caudales diarios de descargas en la presa de Alcalá del Río proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, (b) las series de niveles en la desembocadura reconstruidas a partir de la red de mareógrafos REDMAR, y (c) la topobatimetría basada en los levantamientos de los años

1985 y 1995 recopilados por la Autoridad Portuaria de Sevilla junto a la topografía MDT05 del Instituto Geográfico Nacional. La configuración del modelo permitió definir 805 secciones transversales ($\Delta x \approx 50 - 200 \text{ m}$) a lo largo de 104 500 m, con datos en vertical cada 5 cm, y evaluar niveles, corrientes y salinidad con un paso de tiempo inferior a 1 s con una duración de la simulación de 50h, aproximadamente.

3. Resultados

En esta ponencia se presentará una evaluación cuantitativa multidecadal sobre cómo las intervenciones humanas (función regulatoria y capacidad de almacenamiento) han remodelado la dinámica mareal y de intrusión salina del estuario del Guadalquivir. Se expondrá la tendencia ascendente de la longitud de intrusión salina desde la década de 1970, analizando específicamente el desplazamiento aguas arriba de las isohalinas de 2, 5 y 10 PSU en casi 20 km. Los resultados indican que este incremento es más acentuado en condiciones de estiaje y durante periodos con episodios de descargas fluviales muy controladas. Asimismo, se examinarán cómo la intermitencia y persistencia de los eventos de descarga condicionan significativamente la dinámica salina y los tiempos de residencia.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del marco de los proyectos “*Building Analysis capacity to improve Resilience of the Guadalquivir River Estuary (BARRIER)*”, ref.: PID2023-148298OA-I00. Convocatoria 2023 de «Proyectos de Generación de Conocimiento». Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y “*Evaluación Prospectiva a Escalas Climáticas del Estado Morfo-hidrodinámico de Sistemas Estuarinos: Oportunidades de Sostenibilidad (EPICOS)*” (Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación, PAIDI 2020. Ref. ProyExcel/00375).

Referencias

- COBOS, M., OTIÑAR, P., SILVA, M. DÍEZ-MINGUITO, M., BAQUERIZO, A. (2026). “Hydrodynamic and Salinity Dynamics in the Guadalquivir Estuary Simulated with the BARRIER Model” submitted to *Environmental Modeling and Software*.
- DÍEZ-MINGUITO, M., COBOS, M. (2026). *Salt Intrusion Prediction in Estuaries under Climatic-scale Variability using Equiprobable Scenarios of Freshwater Discharges. Ocean Sciences Meeting 2026, Glasgow*.

Un enfoque híbrido para la predicción morfodinámica en estuarios

**Mirian Jiménez Tobío^a, Beatriz Pérez-Díaz^b, Pablo Alonso-Alguacil^a,
Laura Cagigal^a, Jennifer Montaña^a, Sonia Castanedo^a, Fernando Méndez Incera^a**

^aUniversidad de Cantabria (Grupo GeoOcean),  mirian.jimenez@unican.es;

 beatriz.perez@unican.es;  pablo.alonsoalguacil@unican.es,  laura.cagigal@unican.es,

 jennifer.montano@unican.es,  sonia.castanedo@unican.es,  fernando.mendez@unican.es

1. Introducción

La evolución morfodinámica de los estuarios resulta de la interacción de procesos que actúan a múltiples escalas espacio-temporales, desde la respuesta inmediata a eventos extremos hasta ajustes morfológicos de largo plazo asociados a cambios en los forzamientos hidrodinámicos y sedimentarios. Comprender y predecir esta evolución es un aspecto clave para la gestión sostenible de los entornos estuarinos y la planificación de actuaciones en zonas costeras y portuarias. Tradicionalmente, la morfodinámica estuarina se ha abordado mediante modelos basados en procesos, capaces de reproducir con detalle la hidrodinámica y el transporte de sedimentos. Estos modelos han incorporado técnicas de aceleración morfológica (Luijendijk et al, 2019) y estrategias de reducción de forzamientos para extender su aplicación a escalas temporales más largas. Sin embargo, la complejidad asociada a la implementación de este tipo de modelos, junto con sus elevados costes computacionales, pone de manifiesto la necesidad de nuevos enfoques (Zornoza-Aguado et al., 2025). Para dar respuesta a este reto, el presente estudio avanza un paso más y presenta un modelo predictivo híbrido para la simulación de la evolución morfodinámica en estuarios.

2. Metodología

La metodología propuesta se basa en el uso de un catálogo de batimetrías representativo del sistema. Sobre el conjunto de batimetrías se aplica un Análisis de Componentes Principales (PCA) para identificar los modos dominantes de variabilidad morfodinámica del sistema. A partir de esta descomposición, y junto con la parametrización de los forzamientos marinos y fluviales, se implementa una metodología híbrida que combina técnicas de estadísticas y modelización numérica. En particular, se generan configuraciones sintéticas batimétricas de los coeficientes asociados a los principales modos del PCA, junto con configuraciones sintéticas de las parametrizaciones de los forzamientos, mediante el método Latin Hypercube Sampling (LHS); se seleccionan casos representativos utilizando el algoritmo de Máxima Disimilitud (MDA); y estos casos se simulan mediante un modelo numérico morfodinámico. Finalmente, los resultados se generalizan mediante técnicas de interpolación basadas en

Funciones de Base Radial (RBF), permitiendo estimar la evolución morfodinámica del sistema de forma eficiente.

3. Resultados

Esta metodología tiene como objetivo proporcionar la evolución morfodinámica del sistema, basada en la parametrización de su dinámica y de sus condiciones morfodinámicas previas. Para reforzar su capacidad predictiva, esta metodología permitirá la incorporación de emuladores climáticos, posibilitando una representación de la evolución del sistema bajo distintos escenarios climáticos, integrando de forma explícita la variabilidad de los forzamientos y los flujos de entrada y salida de sedimento del sistema.

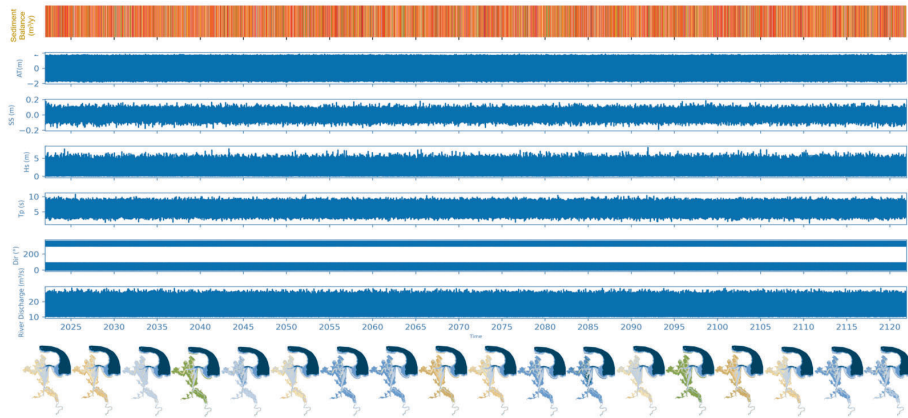


Fig. 1 Representación sintética de la evolución morfodinámica del sistema bajo diferentes condiciones climáticas - sedimentarias

Agradecimientos

Esta investigación ha sido elaborada en el marco del proyecto HyBay (PID2022-141181OB-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Referencias

- LUIJENDIJK, A. P. et al (2019). “Morphodynamic Acceleration Techniques for Multi-Timescale Predictions of Complex Sandy Interventions”. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3), 78.
- ZORNOZA-AGUADO. et al (2025). “HyWathy: Hybrid modeling of nearshore waves with varyinf bathymetries”. *Coastal Engineering*, 202, 104897.

Obra de rehabilitación de los elementos de protección de la cimentación del dique de Botafoc en el Puerto de Eivissa

Joaquín Jiménez Buedo^a, Enrique Pérez Rodríguez^b, Nestor Urrutxua Miguel^c,
 Nerea Ramos Gómez^d, Marcos Fontecoba González^e

^aAutoridad Portuaria de Baleares, Director de Obra, jjimenez@portsdebalears.com

^bTYPSA, División Puertos y Costas, Responsable del Contrato, eproduiguez@typsa.es

^cTYPSA, División Puertos y Costas, Jefe de Asistencia Técnica, nurrutxua@typsa.es

^dTYPSA, División Puertos y Costas, Supervisor de Obra – Oficina Técnica, nramos@typsa.es

^eFCC Construcción, Jefe de Obra, MFontecobaG@fcc.es

1. Introducción

El dique de Botafoc, situado en el Puerto de Ibiza, cuenta con una longitud de 515 m y un calado máximo de 20 m. Se trata de un dique vertical reflejante formado por 12 cajones de hormigón y banqueta sumergida de bloques cúbicos de hormigón.

Durante los últimos años se han detectado diversos daños en el manto principal de la banqueta, con el objeto de subsanar y dotar a la cimentación del dique de la protección necesaria se han llevado a cabo las obras de “Rehabilitación de los elementos de protección de la cimentación del dique de Botafoc”.

2. Descripción del proyecto

En la fase de proyecto, redactado por GPO Ingeniería, se realizó un diagnóstico de los daños producidos en la banqueta del dique, concluyendo que la zona con un índice de daños mayor se ubicaba en el arranque del dique, seguido del morro y del tronco somero. El tronco profundo reflejaba menores daños, aunque igualmente con un nivel de daño inadmisibles.

Se proyectó reforzar la protección de la banqueta mediante la recolocación de los bloques de 3 y 6T existentes, y colocación de bloques de 3 y 6T en el manto secundario y bloques de 20T en el manto principal. Igualmente, se discretizó el dique en cuatro secciones tipo con su respectiva solución constructiva para dar respuesta al nivel de avería existente y los condicionantes actuales del clima marítimo.

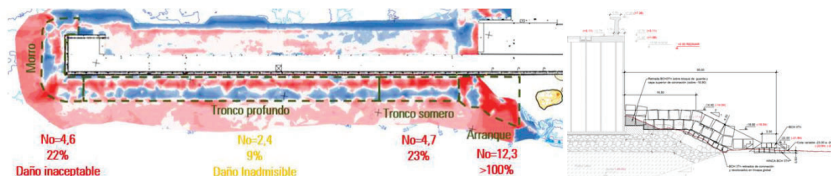


Fig. 1 Daños en banqueta (izda.) y sección tipo de refuerzo (dcha). Fuente: GPO Ingeniería

3. Desarrollo de la obra

Las obras se adjudicaron a la UTE REHABILITACIÓN DIQUE BOTAFOC (FCC Construcción – VOPSA) iniciando las obras en noviembre de 2022, contemplando un plazo de 28 meses, con previsión de finalización en marzo de 2025.

La fabricación de los bloques se realizó en el Puerto de Alicante, fabricando un total de 11.680 ud. de 3T, 762 ud. de 6T y 4.278 ud. de 20T. Posteriormente, el transporte y la colocación de los bloques se realizó por medios marítimos al Puerto de Ibiza.



Fig. 2 Fabricación en el Puerto de Alicante (izda.), transporte Alicante-Ibiza (ctro.) y colocación de bloques en Ibiza (dcha.). Fuente: Google Earth y TYPSA

Durante la colocación de los bloques, se realizaron comprobaciones batimétricas continuadas, comparando las batimetrías con el modelo 3D de los planos teóricos proyectados. Esta herramienta permitió tener una visión del desarrollo de la colocación, identificando zonas con necesidad de colocación de bloques (en verde) y, en su caso, de retirada (en rojo). Asimismo, la comprobación de la colocación era respaldada mediante la inspección con buzos y ROV.

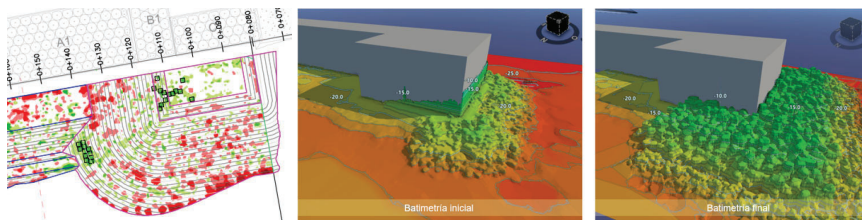


Fig. 3 Comprobación batimétrica (izda.) y batimetrías inicial y final (dcha.). Fuente: TYPSA

La obra se recepcionó el pasado 17 de enero de 2024, un año y dos meses antes de lo previsto en el proyecto. El éxito de la reducción del plazo se ha debido principalmente a dos motivos; por un lado, al proceso de fabricación de bloques en el Puerto de Alicante y, por otro lado, al transporte y colocación de los bloques por medios marítimos. Esto ha permitido una notable reducción en el plazo de la obra y una prácticamente nula afección a la operativa del Puerto de Ibiza.

Evolución de los sistemas de toma y descarga de la última década en plantas desalinizadoras de Acciona Agua: conducciones

Felix P. Martinez-Garcia^a, Antonio Contreras-de-Villar^b, Juan J. Muñoz-Perez^a

^aAcciona Agua y Grupo Ingeniería Costera RNM-912 (Universidad de Cádiz), España, <https://orcid.org/0000-0001-9436-3045> fpmartinez@acciona.com

^bDpto. Ingeniería Industrial y Civil, Universidad de Cádiz, España, <https://orcid.org/0000-0002-8286-2493> antonio.contreras@uca.es

^aDpto. de Física Aplicada, Universidad de Cádiz, España, <https://orcid.org/0000-0002-0379-8287> juanjose.munoz@uca.es

1. Introducción

Durante la última década, la necesidad de agua dulce tanto para suministro humano como agrícola ha condicionado el tamaño de las obras marinas de las plantas desalinizadoras. En este ámbito, podemos decir que hubo salto cuantitativo importante, pasando inicialmente de plantas productoras de 200 000 m³/día de agua desalada, doblando su capacidad a 400 000 m³/día en pocos años, hasta superar actualmente a los 800 000 m³/día.

2. Materiales y métodos

En este sentido los sistemas de conducciones marinas, debió a la rápida evolución y el aumento de las solicitaciones mecánicas como las hidráulicas y el rendimiento esperado, se someten a importantes modelizaciones numéricas, así como las estructuras de toma, cámaras de descarga (Firozjaei et al., 2025). Así, las conducciones marinas de gran diámetro también han de ser diseñadas en ocasiones con metodologías de cálculo innovadoras para asegurar su comportamiento estable (Chen et al., 2023). Al igual que ha sucedido con la metodología de diseño, también están provocando cambios en los sistemas constructivos, instalación y hundimiento al tratarse de estructuras que han de ser transportadas mar adentro y fondeadas (Figura 1), usando métodos que se ajusten a mínimas tolerancias (Muñoz Perez J.J. et al, 2015).



Fig. 1 Proceso de lastrado de una conducción de gran diámetro. Fuente: Acciona Agua

El presente artículo muestra una revisión de la evolución de los sistemas de captación y descarga de conducciones submarinas para las plantas desalinizadoras en la última década construidas por Acciona Agua en diferentes países. Se ha realizado un análisis comparativo de las conducciones submarinas instaladas en las plantas más significativas llevadas a cabo por la compañía en los últimos diez años en todo el mundo. Esta comparación se realiza en base a diferentes factores como producción de la planta, tipología de instalación, material de pared, diámetro, longitud, lastrado, etc.

3. Resultados y discusión

En este apartado se muestran finalmente los resultados. Se seleccionaron los datos comparables de las diferentes plantas, se homogeneizaron para conseguir una interpretación intuitiva, y se establecieron ratios por m³ de agua producida entre otros parámetros. El análisis dio resultados sorprendentes que plantean cuestiones que se expondrán con mayor detalle en la ponencia para las XVIII Jornadas Españolas de Costas y Puertos.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa Acciona Agua y a la Universidad de Cádiz la colaboración realizada para hacer posible la participación en las XVIII Jornadas de Puertos y Costas en Huelva, 2026.

Referencias

- CHEN, B.-Q., & GUEDES SOARES, C. (2023). "Subsea Pipelines". *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(6), 1249. <https://doi.org/10.3390/jmse11061249>
- FIROZJAEI, M. R., HAJEBI, Z., NAEENI, S. T. O., AKBARI, H., & IGLESIAS, G. (2025). "Hydrodynamic Performance of Seawater Intake Structures Through Numerical Modelling and Particle Image Velocimetry". *Water*, 17(17), 2607. <https://doi.org/10.3390/w17172607>
- MUÑOZ PEREZ, J. J., KHAN-MOZAHEDY, A. B. M., NEVES, M. G., TEJEDOR ÁLVAREZ, M. B., GOMEZ PINA, G., CAMPO, J. M., & NEGRO, V. (2015). Sinking of concrete modules into a sandy seabed: A case study. *Coastal Engineering*, 99, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.02.012>

De la teoría al mar: ingeniería de detalle e hinca MTBM del inmisario y emisario para la desaladora de Collahuasi

Hernández Giraldo, Tomás

ACCIONA Ingeniería, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyecto – Ingeniería de Detalle de Obras Marinas; tomas.hernandez.giraldo@acciona.com

1. Introducción

Esta actuación constituye un referente a nivel mundial: la primera captación con filtros pasivos offshore ejecutada sobre una tipología de cimentación de gravedad específicamente diseñada para condiciones extremas de sismo y tsunamis. La clave estuvo en traducir la ingeniería de detalle a maniobras seguras y precisas en mar abierto, con ventanas de trabajo muy reducidas y corrientes significativas.

El reto operacional se concentró en izar, posicionar y conectar unidades de gran porte bajo oleaje con periodo de 17 segundos: dos ramas de filtros pasivos de 180 t (en el aire) y una cámara de conexión de hormigón armado de 125 t (en el aire). Para ello se diseñaron yugos de izado ad hoc y se definieron procedimientos en función de umbrales meteoceánicos. En paralelo, la hinca MTBM debió adaptarse a un cambio geotécnico sobrevenido: aparición de granito más somero y muy fracturado respecto a la campaña previa, obligando a ajustar parámetros de diseño.

2. Descripción del proyecto

La Planta Desaladora de Puerto Patache (Región de Tarapacá, Chile) incorpora un sistema de captación offshore con filtros pasivos y una descarga de salmuera asociada a un tren de ósmosis inversa. El proyecto contempla tres fases de producción —90.720 m³/d (Fase 1), 136.080 m³/d (Fase 2) y 190.090 m³/d (Fase 3)— con caudales de captación y descarga asociados. La ingeniería de detalle y el acompañamiento a obra se desarrollaron entre enero de 2021 y febrero de 2026 en un entorno con peligros sísmico y de tsunamis, condicionando criterios normativos, estructurales y de operación.

La captación se resuelve mediante dos ramas de HDPE OD 1600 (PE100 SDR21) con seis filtros pasivos por rama y cuatro pozos de registro, conectadas a una cámara de gravedad situada a cota -24 m NRS. El colector de captación (HDPE OD 2300) enlaza con el tramo de hinca del inmisario.

3. Claves del proyecto

Filtros pasivos: rejas metálicas de luz 5 mm que impiden la entrada de peces y macroresiduos, mejorando la calidad del agua de mar antes del pretratamiento. Cimentación de gravedad: estructuras que se estabilizan por su propio peso (lastres), sin pilotes; adecuada cuando hay sismo/tsunami y se busca robustez y rapidez de instalación. Hinca MTBM: perforación/tunelación dirigida desde un pozo, que instala un conducto sin abrir zanja en superficie marítima, minimizando riesgos y afecciones. Ventanas meteo: periodos cortos temporales de trabajo en los que el oleaje y la corriente permiten trabajar con seguridad; fuera de ventana, las maniobras se posponen, combinado con la operativa del puerto.

4. Hinca MTBM del inmisario y de la descarga: adaptación geotécnica

La hinca de captación (Dext 2500/Dint 2000 mm) se ejecutó a lo largo de ≈ 267 m, mientras que la descarga combinó 184 m de hinca en hormigón (Dext 2,5 m) y 87 m de tubería apoyada (HDPE OD 1400, SDR26). Durante la ejecución, la geotecnia real mostró granito más somero y muy fracturado respecto a lo previsto, lo que obligó a ajustar parámetros de frente, confinamiento, alineación y control de asentamientos, y a reforzar el plan de contingencias para atravesar zonas heterogéneas.

5. Ingeniería de izado y logística offshore

Cada rama de filtro pasivo presentó un peso en el aire de 180 t y se instaló desde plataforma flotante con grúa de gran capacidad; se colocaron dos unidades. Se diseñaron yugos de izado específicos para controlar la geometría y limitar tensiones durante la elevación, giro y asiento. La cámara de conexión de hormigón armado, con 125 t en el aire, se fondeó y niveló a ≈ -24 m NRS, integrando el anillo de dosificación remota de hipoclorito y sistemas de CCTV para inspección de captación.



Fig. 1. Vista de la instalación de una rama de filtros pasivos y el equipo flotante utilizado.

Fuente: ACCIONA

Construcción de la Central Frío Bogatell, Barcelona. El mar como fuente de energía

Nieves Rodríguez Largacha^a, Aitor Beguiristain Buira^b, Oriol Giménez Prades^c,
Jorge Bentue Escalona^d, Maria Pie Vidal^e

^aArea Manager-Projects, ENGIE. , nieves.rodriguez@engie.com ^bJefe de grupo, COMSA S.A.U. , abeguiristain@comsa.com; ^cJefe de Grupo, SORIGUE S.A.U. , o.gimenez@sorigue.com; ^dJefe de Obra, COMSA S.A.U. , jbentue@comsa.com; y ^eJefa de Obra, COMSA S.A.U. , mpie@comsa.com.

1. Introducción

La sociedad DISTRICLIMA, participada en un 75% por ENGIE, es titular de un Contrato con la *Gerència Adjunta d'Infraestructures i Coordinació Urbana d'Hàbitat Urbà de l'Ajuntament de Barcelona* para la instalación y explotación de tuberías de distribución de energías calorífica y frigorífica y sus accesorios en parte del dominio público del Ayuntamiento de Barcelona. Para cubrir la demanda de un futuro próximo, se proyecta una nueva central de 56 MW ubicada en el Parc del Poblenou de Barcelona. La ejecución de la obra civil de la central y de la captación y retorno del agua de mar se iniciaron por parte de la UTE Central Frío Bogatell (SORIGUE S.A.U. y COMSA S.A.U.) en marzo del 2024 y finalizan en marzo del 2026.

Esta ubicación próxima a la línea de costa permite optar por el agua de mar como medio para la refrigeración necesaria para el funcionamiento de las máquinas frigoríficas. Por tanto, para la disipación de calor en la fase de condensación del ciclo evaporación/compresión/condensación al que se somete al refrigerante de las máquinas enfriadoras se aportará agua de mar a “baja temperatura” (que oscila, dependiendo de la época del año entre 10 °C y 30 °C aproximadamente) y se retorna al mar, en otro punto, con un incremento máximo de temperatura de 5 °C.

Por consiguiente, el proyecto incluye, además del edificio de la central de producción de frío, las obras correspondientes a una captación de agua de mar para la refrigeración de los chillers, un inmisario que conectará la obra de captación con la central y una conducción de retorno de agua de mar una vez utilizada.

2. Descripción obras marítimas

El inmisario es una única conducción de hormigón, de 1800 mm de diámetro interior y 659 m de longitud, ejecutado mediante microtúnel de escudo cerrado. El microtúnel empieza en la cántara de bombeo de la propia central a la cota -13,05, teniendo un tramo inicial con

pendiente del 6 % para evitar las cimentaciones de la Ronda Litoral y posteriormente seguir a cota -18,60 hasta su salida al mar a unos 440 m de la orilla de la Playa del Bogatell, donde se localiza la torre de toma.

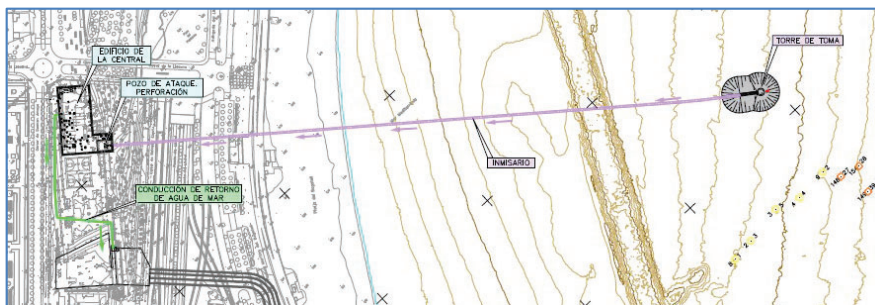


Fig. 1 Planta General. Fuente: Proyecto de Ejecución de los trabajos de Obra Civil de la Centralig Bogatell. AESA-SOCOTEC (2022)

Para el rescate de la tuneladora y posterior emplazamiento de la torre de toma se ejecuta un dragado localizado mediante gánguil con cuchara. La torre de toma y el tramo final de la conducción que la une con el microtúnel es una estructura de PEAD de d1800 con dos linternas de captación situadas a cota -10,40. El relleno posterior se proyecta con material natural restituído, aportación de arena exterior y dos capas superiores de escollera 20-30 kg y 200-300 kg.

3. Gestión circular obra marítima

Destacable es en esta obra la gestión de diversos aspectos que deben marcar la filosofía de las obras en general en aras de una gestión integral del litoral y preservar el equilibrio del mismo.

Más allá del concepto principal de la central del aprovechamiento del agua de mar para el funcionamiento de la central y la producción de agua fría, es importante destacar las siguientes actuaciones. En el dragado se ha gestionado y descontaminado 3500 m³ de material de fondo marino procedente del histórico uso industrial del litoral. Se ha podido dragar, tratar y gestionar eficientemente material contaminado superior al Nivel de Acción B, así como acopiar y reutilizar arenas naturales de la capa inferior. Para el relleno también se han utilizado arenas dragadas provenientes de las obras de refuerzo del Port Fórum. Por otro lado, de la excavación general del edificio de la central se han podido reutilizar 7000 m³ de arena para la regeneración de la Playa de Llevant.

Estos planteamientos deben marcar el presente y futuro de todas las acciones que llevamos a cabo en nuestro litoral, aprovechar lo que nos ofrece y mantenerlo vivo.

Análisis hidrodinámico y estructural de la operación de ensamblaje de módulos flotantes mediante tecnología C2C®

Cristian Menéndez-Fernández^a, Alderic Blanc^b, Mario López^c

^aSAFINTAST SL,  cristian.menendez@safier-ingenieriesa.com

^bSAFINTAST SL,  alderic.blanc@safier-ingenieriesa.com

^cDpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación, grupo Dynamics Materials and Structures (DyMAST) y Centro Universitario de Investigación y Desarrollo del Agua (CUIDA), Universidad de Oviedo,  mariolopez@uniovi.es

Resumen

El previsto aumento del nivel d mar y de fenómenos extremos debido al cambio climático (IPCC, 2019) exigen el desarrollo de instalaciones portuarias resilientes para responder a la creciente demanda de superficies terrestres y áreas de depósito (Hanson & Nicholls, 2020). En este contexto, las plataformas flotantes destacan por su flexibilidad, escalabilidad y menor dependencia de las condiciones geotécnicas frente a soluciones fijas.

En este contexto se plantea el proyecto ALFOWT (*Assembly Line Floating Offshore Wind Turbines*), que persigue el desarrollo de grandes plataformas flotantes de hormigón para la fabricación industrializada, mantenimiento y desmantelamiento de aerogeneradores marinos. La construcción modular facilita el transporte de cada módulo hasta el emplazamiento, cuya unión monolítica se garantiza gracias a la tecnología C2C® (Fig. 1).

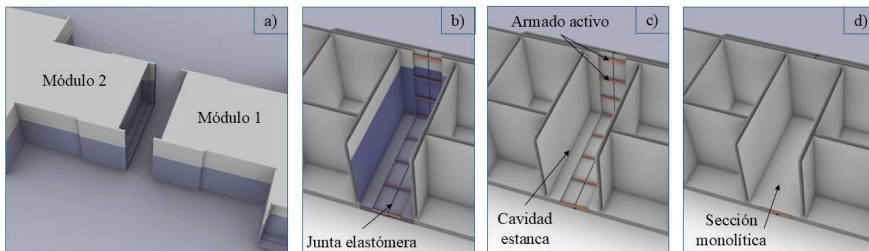


Fig. 1. Secuencia de conexión C2C para la unión de módulos de hormigón flotantes

En contrapartida, el procedimiento de ensamblaje de los módulos es crítico y puede condicionar la viabilidad técnica de los proyectos. Como muestra la Fig. 1, el proceso comienza enfrentándolos por las zonas de unión (a). Mediante elementos auxiliares, ambos módulos se aproximan y alinean hasta quedar dentro de las tolerancias admisibles (b). Una vez unidos, se vacía la cavidad de agua y se conecta el armado activo para proceder al

pretensado (c). La junta elastómera garantiza la estanqueidad durante todo el procedimiento para, finalmente, introducir el armado pasivo y ejecutar el hormigonado que tras el fraguado garantizará el comportamiento monolítico del conjunto (d). Estas operaciones están condicionadas por las condiciones ambientales, por lo que resulta esencial cuantificar cargas y desplazamientos durante el procedimiento y definir los umbrales operativos.

Este trabajo profundiza en la interacción oleaje-estructura de la plataforma ALFOWT durante las fases de alineación y hormigonado de la unión C2C®. Se emplearon los códigos Ansys Aqwa y OrcaFlex con el fin de analizar sus divergencias y capacidades. Ambos utilizan BEM (*Boundary Element Method*) y la teoría de flujo potencial, panelizando la superficie mojada para discretizar el problema y usando la función de Green para profundidades finitas. El potencial de velocidad del fluido alrededor de un cuerpo flotando libremente en el tiempo se obtiene como la suma de las componentes incidente (φ_I), difractado (φ_D) y radiado (φ_R):

$$\varphi(t) = [(\varphi_I + \varphi_D) + \sum_{j=1}^6 \varphi_{Rj} x_j] e^{-i\omega t} \quad (1)$$

donde t es el tiempo ω es la frecuencia angular, x_j la amplitud del movimiento del cuerpo en sus 6-GdL (j). La descomposición en estos potenciales permite obtener la masa añadida y el amortiguamiento por radiación para los análisis posteriores en el dominio del tiempo.

Con cada código y para cada fase (alineación y hormigonado) se realizaron simulaciones en el dominio del tiempo de diferentes estados de mar resultantes de combinar alturas de ola significativa $H_s \in [0.25, 2.00]$ m, periodo de pico $T_p \in [4, 18]$ s, y las posibles direcciones de incidencia. Además, se consideraron dos profundidades de trabajo: $h = 15$ y 25 m. Entre los resultados obtenidos, se destacan los movimientos de cada cajón en sus 6-GdL, las fuerzas en los winches y el sistema de fuerzas tanto en la unión como en las líneas de fondeo.

Los resultados han permitido dimensionar los winches para la alineación de los módulos y definir las fuerzas de tesado y la junta elastómera necesarias para garantizar la unión y la estanqueidad durante el hormigonado. Asimismo, se ha establecido un umbral operativo para el ensamblaje y hormigonado de los cajones de ALFOWT mediante juntas C2C®, aportando criterios objetivos para la ejecución de plataformas flotantes a gran escala en puertos.

Referencias

- HANSON, S. E., y NICHOLLS, R. J. (2020). “Demand for Ports to 2050: Climate Policy, Growing Trade and the Impacts of Sea-Level Rise” en *Earth’s Future*, vol. 8, issue 8, p. 1-13.
- IPCC (2019). “Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities” en Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge (RU) y Nueva York (EEUU): Cambridge University Press, p. 321-445.

Evaluación mediante modelización met-ocean de áreas portuarias para la implantación de energías marinas

Raúl Cascajo¹, Rafael Molina-Sánchez^{2,3}, Gabriel Díaz-Hernández⁴

¹ ENERMAR Working Group de la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE), Madrid, España. Email: rcascajo@gmail.com

² Departamento de Ingeniería Civil: Transportes, Urbanismo y Territorio, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, España.

³ ETSICCyP – CEHINAV, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, España.

⁴ IHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España. Email: gabriel.diaz@unican.es

1. Introducción

Los puertos de interés general constituyen nodos críticos del sistema logístico-marítimo y concentran una parte significativa del consumo energético asociado tanto a las operaciones portuarias como a los buques atracados. En el actual contexto regulatorio, marcado por los objetivos de descarbonización establecidos por la Organización Marítima Internacional (IMO) y por la Unión Europea (Fit for 55, FuelEU Maritime, AFIR), las autoridades portuarias se ven obligadas a avanzar hacia modelos energéticos basados en la electrificación, la eficiencia energética y la integración de fuentes renovables.

La limitada disponibilidad de suelo en muchos recintos portuarios ha motivado el interés creciente por el aprovechamiento de las áreas de servicio portuario, las dársenas interiores y las zonas marítimas adyacentes para el despliegue de sistemas de energías renovables marinas, tales como la energía undimotriz, la eólica marina próxima a costa o las plataformas fotovoltaicas flotantes. No obstante, la implantación de estas soluciones requiere un conocimiento detallado de las condiciones locales de oleaje, agitación portuaria y clima marítimo, especialmente en entornos complejos condicionados por la geometría portuaria y la presencia de obras marítimas.

2. Metodología

La metodología ha sido aplicada a los puertos de Valencia, Sagunto y Gandía, seleccionados por su representatividad tipológica y por la disponibilidad de datos instrumentales para la validación de resultados. Para cada puerto se ha definido un dominio numérico específico que reproduce con detalle la configuración real de diques, bocanas, muelles y fondos.

Los resultados han sido validados mediante la comparación con registros instrumentales de boyas y mareógrafos radar, obteniéndose coeficientes de correlación elevados y errores

Los resultados han sido validados mediante la comparación con registros instrumentales de boyas y mareógrafos radar, obteniéndose coeficientes de correlación elevados y errores aceptables en la estimación de la altura significativa de ola. Esta validación confirma la capacidad del sistema para reproducir la agitación portuaria y evaluar de forma fiable el recurso energético asociado al oleaje en zonas portuarias.

3. Fuentes y formatos

La metodología ha sido aplicada a los puertos de Valencia, Sagunto y Gandía, seleccionados por su representatividad tipológica y por la disponibilidad de datos instrumentales para la validación de resultados. Para cada puerto se ha definido un dominio numérico específico que reproduce con detalle la configuración real de diques, bocanas, muelles y fondos.

Los resultados han sido validados mediante la comparación con registros instrumentales de boyas y mareógrafos radar, obteniéndose coeficientes de correlación elevados y errores aceptables en la estimación de la altura significativa de ola. Esta validación confirma la capacidad del sistema para reproducir la agitación portuaria y evaluar de forma fiable el recurso energético asociado al oleaje en zonas portuarias.

Conclusiones

La modelización met-ocean de alta resolución aplicada a entornos portuarios se presenta como una herramienta esencial para la identificación y validación de áreas aptas para la implantación de energías renovables marinas. La metodología descrita proporciona un marco técnico robusto para apoyar la toma de decisiones por parte de autoridades portuarias y técnicos de ingeniería de costas y puertos, contribuyendo a avanzar hacia puertos energéticamente más autosuficientes, resilientes y alineados con los objetivos de descarbonización.

Referencias

- DIAZ-HERNANDEZ, G.; FERNÁNDEZ, B.R.; ROMANO-MORENO, E.; LARA, J.L. *An improved model for fast and reliable harbour wave agitation assessment*. Coast. Eng. 2021, 170, 104011.
- KOVALISHIN, P.; NIKITAKOS, N.; BORIS SVILICIC, B.; ZHANG, J.; NIKISHIN, A.; DALAKLIS, D.; KHARITONOV, M.; STEFANAKOU, A. *Using Artificial Intelligence (AI) methods for effectively responding to climate change at marine ports*. J. Int. Marit. Saf. Environ. Aff. Shipp. 2023, 7, 2186589.

El rol del puerto en la transición energética. La eólica marina

Rafael Segovia Rosales^a, Jose Luis de Elio Medina^b

^aGerente SATO, rsegovia@ohla-group.com

^bJefe de Operaciones de diques SATO, jmedina@ohla-group.com

1. El marco contextual

1.1. La transición energética

No es una opción, es: Necesaria, urgente, estratégica, oportuna y justa. Pero es que además es una oportunidad económica y para países como el nuestro supone la posibilidad de alcanzar la “soberanía energética”

1.2. El mix energético ¿Por qué es imprescindible la eólica marina?

Representa una energía renovable masiva, prácticamente continua. Mientras no esté resuelto técnicamente el almacenamiento energético. Otras ventajas; ambientales, hibridación. Esto la sitúa como imprescindible en el mix energético, aunque ahora su coste (LCOE) sea superior.

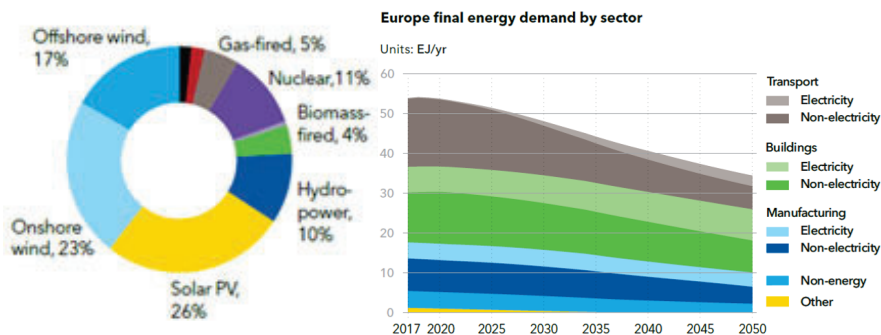


Fig. 1 Estimación del mix energético para 2050. Fuente: AEE

1.3. El marco estratégico europeo

La Comisión Europea marca un objetivo de 450 GB de eólica marina para 2050. Solo a nivel construcción de flotadores, esto supone un negocio de 450 000 M€, unos 23 000 M€/año, lo que representa el 12 % del sector construcción en España.

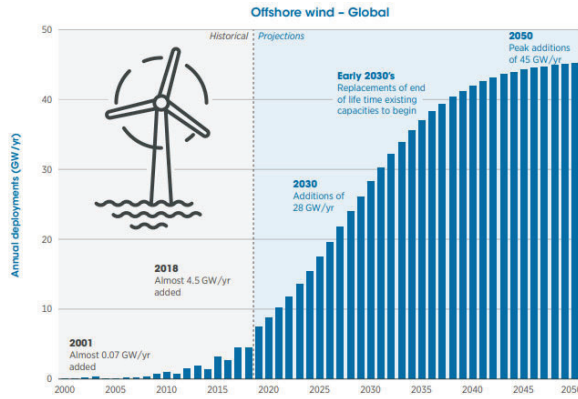


Fig. 2 Crecimiento europeo del offshore wind. Fuente: IRENA

2. El rol de los puertos en la eólica flotante

Simplemente por cuestión de tamaño la logística de la construcción de estos elementos se va a desarrollar en el puerto “a pie de cantil” lo que va a obligar a que estos adopten un papel activo como zona industrial, de fabricación, de consolidación o de operaciones.

3. El desarrollo portuario de la Eolica Marina

Para este desarrollo sostenido de 28 GW/año si que una terminal tipo tendrá una capacidad media de 250 MW/año, necesitaremos una disponibilidad de mas de 100 terminales dedicadas lo que supone más de 40 km de muelles y 10 000 Ha para el cercano horizonte de la próxima década.

Conclusiones

El desarrollo de la eólica marina supondrá reservar un lugar cardinal a los puertos. En si una gran oportunidad de negocio para toda la cadena de valor española y en particular para el sector de la construcción. El puerto se convierte en el nudo gordiano del desarrollo de este negocio, siendo uno de los factores limitantes para la consecución de objetivos. La inversión en infraestructura portuaria ha de proporcionar las instalaciones necesarias. La colaboración Pública y Privada se hacen necesarias con el liderazgo de las AAPP. Estamos hablando de un negocio global, que va a romper fronteras. El puerto te sitúa en el centro del negocio. La madurez de la cadena de valor española y sus instalaciones portuarias existentes nos hacen pensar que estamos ante una oportunidad país.

Análisis de sostenibilidad de una planta de generación energética de columna de agua oscilante off-shore

Ángel Molina-Salas^a, Miguel Santamaría^b, María Clavero^c, Antonio Moñino^d

Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales, IISTA, Universidad de Granada ^a  amsalas@ugr.es;

^b  miguelsancer@ugr.es; ^c  mclavero@ugr.es; ^d  amonino@ugr.es

1. Introducción

Actualmente existe una preocupación por la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la descarbonización de la economía. Esta situación ha impulsado el desarrollo de las fuentes de energía renovables. Sin embargo, el concepto de renovabilidad y sostenibilidad en muchas ocasiones no está claramente definido. Fuentes de energía renovables —solar, eólica o hidráulica entre otras— son presentadas como soluciones limpias y sostenibles. Sin embargo, en ocasiones esta consideración no tiene en cuenta los impactos e interacciones mutuas entre el medio, los costes ecológicos, la transformación energética del recurso natural y la economía.

2. Metodología

El análisis emergético consiste en transformar todos los recursos que consume un determinado sistema —por ejemplo una planta de producción energética— durante sus fases de construcción, explotación, mantenimiento e incluso desmantelamiento, a unas unidades comunes. Estos flujos de energía representan lo que la naturaleza invierte en hacer que el recurso esté disponible. Normalmente, esta fuente de energía común suele ser la energía solar, por lo que las unidades de energía suelen ser el *julio de energía solar (sej)*. Estas transformaciones energéticas están basadas en parámetros termodinámicos y termo-económicos. Así, una vez expresados todos los inputs y outputs del sistema en unas mismas unidades, es posible realizar un análisis comparativo objetivo de sostenibilidad y renovabilidad.

Por ello, en este trabajo se ha desarrollado un análisis emergético, que proporciona una evaluación fiable de la sostenibilidad y renovabilidad de cualquier sistema de producción energética basado en parámetros termodinámicos y económicos. Este análisis permite una cuantificación objetiva de dichos conceptos, así como una comparación de diferentes sistemas de producción energética en términos de uso de recursos de la naturaleza.

Se ha aplicado el análisis emergético a una planta energética de dispositivos de columna de agua oscilante (OWC por sus siglas en inglés), así como su análisis comparativo con

diferentes plantas de producción energética. El objetivo de dicho análisis es valorar la renovabilidad y sostenibilidad de esta tecnología de una forma objetiva, basándose en parámetros termo-económicos. Para este propósito, se ha diseñado una planta OWC hipotética —dada la falta de información sobre proyectos reales— considerando que esta tecnología funciona de una forma más eficiente bajo condiciones climáticas moderadas, las cuales además permiten simplificar el diseño de la planta y consecuentemente reducir los costes de construcción y mantenimiento. Tras el análisis se han obtenido diferentes índices emergéticos que permiten cuantificar la sostenibilidad y renovabilidad de dicha planta. Estos índices señalan que la producción energética con dispositivos OWC es sostenible y renovable desde el punto de vista de consumo de recursos. Señalar que los valores obtenidos para esta planta OWC han de considerarse como órdenes de magnitud y no como valores exactos, ya que, como se ha indicado, se parte de una planta OWC hipotética.

Finalmente, los valores obtenidos para los diferentes índices emergéticos en el caso de la planta OWC se han comparado con los obtenidos para otras plantas energéticas —tanto renovables como no renovables, analizadas por autores previos—, de forma que se ha podido realizar un análisis comparativo de la renovabilidad y sostenibilidad de dichas plantas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de este análisis indican que las plantas de producción energética basadas en dispositivos OWC pueden ser, en términos de consumo de recursos de la naturaleza, al menos, tan eficientes como otras plantas de producción energética consideradas renovables, ya que los valores mostrados para los diferentes índices emergéticos están en el mismo rango que dichas plantas.

Además, aunque no es el objetivo principal del análisis emergético, esta metodología permite cuantificar de forma relativamente sencilla las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que supone un complemento al análisis de sostenibilidad y renovabilidad. Este análisis de emisiones de gases de efecto invernadero permite igualmente definir unos índices asociados a tales emisiones, permitiendo la cuantificación objetiva de estas, lo que a su vez permite un análisis comparativo con otras plantas energéticas. La aplicación de este análisis a la planta de dispositivos OWC indica que, desde el punto de vista de las emisiones, los valores que adquieren estos índices están en el mismo rango que el resto de las fuentes de energía renovables.

Por tanto, la principal conclusión de esta investigación es que, a pesar de que la tecnología OWC se encuentra aún en fase de desarrollo, la inversión en este tipo de tecnología resulta positiva tanto desde el punto de vista de la renovabilidad y sostenibilidad, como de las emisiones de gases de efectos invernadero.

PV-Bos como elemento crucial para la descarbonización del Puerto de Valencia

**Andres Pastor-Sanchez, Sergio Hernandez-Blanco, Clara Garcia-Sanz,
Cecilio Barahona-Oviedo**

Bluenewables S.L. , a.pastor@bluenewables.com

1. Introducción

Contexto y objetivo. Este resumen presenta el estudio comparativo que fundamenta la transición del sistema de flotación de una plataforma fotovoltaica flotante offshore para entorno portuario desde una tipología tubular hacia un casco de chapa rigidizada y paneles planos. El objetivo es mejorar industrialización, cadena de suministro y escalabilidad, reduciendo riesgos de fabricación y montaje sin comprometer el cumplimiento por estados límite (ULS/FLS) ni la operabilidad en puerto, y habilitando el despliegue de renovables como palanca de descarbonización del entorno portuario.

Caso de estudio. El caso es un demostrador en el Puerto de Valencia, en el marco del proyecto RenMarinas, compuesto por dos unidades de ~0,5 MW. La plataforma adopta una configuración tipo catamarán en acero con el campo fotovoltaico integrado en cubierta y baja inclinación para maximizar densidad de potencia y robustez operativa. Para la configuración de referencia, la simulación energética estima una producción anual de 721 MWh/año por unidad (sin incluir ganancias por bifacialidad ni refrigeración). La instalación a escala real se enmarca en el horizonte 2026.

Metodología (bases de diseño). El análisis parte de unas bases de diseño metoceanicas específicas del emplazamiento: series horarias de oleaje, viento y corriente (1948–2015), matrices de dispersión y selección de casos frecuentes y extremos por dirección (incluyendo periodo de retorno de 50 años). Se definió una matriz de 183 casos que representa ~90% de la vida operativa y sirve para verificación en ULS y evaluación en fatiga. Se consideró además el efecto de biofouling (SoL/EoL) y la influencia del oleaje reflejado en el rompeolas sobre el diseño de la altura de cubierta.

Metodología (modelado y verificación). Las cargas y movimientos se obtienen mediante simulación dinámica (OrcaFlex) y el postproceso de series temporales. La verificación estructural combina modelos globales y locales, incluyendo evaluación a fatiga, conforme a criterios normativos offshore (DNV). La comparativa incorpora también un análisis de constructibilidad con fabricación por bloques y alternativas de ensamblaje y puesta a flote, identificando como etapa crítica la integración de la subestructura de cubierta y el control de tolerancias.

Alternativas evaluadas. El concepto tubular emplea pontonas longitudinales y estructura triangulada con secciones circulares y uniones tridimensionales, habitual por su eficiencia estructural. El concepto de paneles planos utiliza secciones tipo caja mediante chapa rigidizada y un esquema tipo Vierendeel, trasladando esfuerzos principalmente por flexión en transversales. Ambas alternativas se evalúan con el mismo marco metoceanico y de estados límite.

Resultados y decisión. Los resultados muestran que la migración a paneles planos se explica principalmente por industrialización, reducción de riesgo y una disminución de cargas asociada a un comportamiento hidrodinámico más favorable. Aunque la solución tubular puede ofrecer eficiencia de material en fase conceptual, su ejecución se penaliza por la complejidad de las uniones, la sensibilidad a tolerancias y la concentración de soldaduras críticas, que incrementan exigencias de inspección y estrechan la cadena de suministro. En cambio, la chapa rigidizada con geometrías más simples y soldaduras repetitivas favorece procesos de construcción naval, amplía el abanico de proveedores, mejora accesos e inspeccionabilidad y aumenta la previsibilidad de plazos y costes, facilitando la escalabilidad del sistema.

Madurez e integración digital. La maduración de la solución seleccionada se apoya en el avance a diseño de detalle, modelos 3D y planos constructivos, junto con un proceso iterativo de validación con astillero, proveedor del sistema de fondeo y requisitos del puerto (incluyendo conexión de datos/energía y ciberseguridad). Como habilitador de descarbonización del entorno portuario, se integra una plataforma digital de monitorización y predicción basada en modelos y técnicas de inteligencia artificial. Esta plataforma combina sensórica del activo, datos metoceanicos y señales energéticas del entorno portuario (demanda y otros activos de generación renovable), lo que permite su integración con otros elementos de generación renovable y su operación coordinada. Con estos datos genera predicciones de movimientos, integridad estructural y producción, y proporciona paneles de control, alarmas y recomendaciones operativas. En síntesis, el cambio de tubular a paneles planos incrementa la viabilidad industrial manteniendo una base metoceanica y de verificación robusta, y la capa digital facilita una operación medible y optimizada que contribuye al escalado de renovables en el puerto.

Port(s). Nuevo modelo marco de economía circular como apoyo a la sostenibilidad portuaria en España

Maria Martínez^a, Rafael Molina^a, Obdulio Serrano^b, Montserrat Zamorano^c

^aDpto. Ingeniería Civil. Transportes, Urbanismo y Territorio. Universidad Politécnica de Madrid

 maria.martinez.diez@upm.es  rafael.molina@upm.es

^bPuertos del Estado (PdE)  obdulio@puertos.es

^cDpto. Ingeniería Civil, Universidad de Granada,  zamorano@ugr.es

1. Introducción

En los últimos años, la sostenibilidad de las infraestructuras, incluidos los puertos, se ha consolidado como un requisito esencial para el desarrollo social, económico y ambiental. En España, este enfoque se articula a través del Marco Estratégico (Puertos del Estado, 2022) y la Estrategia de Sostenibilidad, que desde 2015 establecen líneas estratégicas, objetivos e indicadores de evaluación.

En este contexto, la economía circular se define como un objetivo específico, aunque su enfoque actual permite ampliar su impacto en el contexto portuario como herramienta integral de gestión del ciclo de vida del puerto, unificando la gestión de residuos, recursos y energía (MacArthur, 2013). Su desarrollo es creciente, a nivel europeo existen guías como Level(s) para edificaciones (Nicholas Dodd, Donatello, & Cordella, 2021).

El objetivo de este trabajo ha sido diseñar un marco lógico relacional Port(s) que vincule los objetivos de sostenibilidad de los puertos españoles con estrategias de economía circular, mediante la definición de macroobjetivos e indicadores que permitan medir la circularidad sin incrementar la presión administrativa para su evaluación y seguimiento.

2. Metodología

Para desarrollar el marco lógico de Port(s), se llevó a cabo un análisis de las estrategias, legislaciones y normativas nacionales e internacionales mediante técnicas de Fuzzy Cognitive Mapping (FCM). Mediante esta herramienta, que permite relacionar conceptos y fuentes diversas, cuantificando el grado de conexión directa y difusa entre ellas, se llevó a cabo una selección de macroobjetivos, que fueron posteriormente justificados con base en el estado del arte del sector portuario.

Para validar su pertinencia de estos macroobjetivos, se realizó una consulta al sector portuario español mediante un método Delphi, que permite alcanzar consensos entre expertos.

Finalmente, en la selección de indicadores se priorizaron aquellos ya empleados en puertos, en línea con el objetivo de facilitar la implantación del marco.

3. Resultados

Del análisis se identificaron ocho macroobjetivos, con distintos niveles de alineación con fuentes europeas, nacionales y portuarias. A partir de ellos se derivaron 247 indicadores, de los cuales aproximadamente el 70 % se encuentran ya en uso como herramientas de medida en el sistema portuario español.

La Figura 1 muestra los macroobjetivos seleccionados, el número de indicadores asociados a cada uno y el porcentaje actualmente integrado en los marcos del sistema portuario español. En los tres últimos macroobjetivos, correspondientes a niveles más avanzados de la economía circular, los indicadores específicos se encuentran pendientes de desarrollo. Asimismo, la figura recoge el grado de consenso alcanzado para cada macroobjetivo a partir de la encuesta.



Fig. 1 Macroobjetivos, indicadores y consenso. Fuente: elaboración propia

En la presentación se mostrarán los resultados marco de Port(s), que define indicadores comunes para medir la circularidad en los puertos españoles y también, vincula la sostenibilidad portuaria con la estrategia europea de economía circular. La existencia previa de la mayoría de los indicadores facilita su aplicación sin incrementar la carga administrativa, favoreciendo así la transición hacia puertos más resilientes, eficientes y alineados con los retos de adaptación.

Referencias

- Nicholas Dodd, Donatello, S., & Cordella, M. (2021, enero). *Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential building*.
- Puertos del Estado (Ed.). (2022). *Marco Estratégico de Puertos del Estado*.
- MacArtuhr, Ellen (2013). *Towards the circular economy*

Calibración de parámetros clave que definen los procesos de dinámica litoral a partir de casos de estudio llevados a cabo en la costa de Castellón

Pau Gimeno Meliá, Alberto Blasco Montañana, Pedro Carmona Roig, David Samuel Aragón Balaguer, Miguel Angel Aragón Babiloni, Leonardo Monzonís Forner

Servicio Provincial de Costas en Castellón, Dirección General de la Costa y el Mar,
 vpgimeno@miteco.es

1. Introducción

Conocer la tasa de transporte longitudinal de sedimentos es crucial a la hora de diseñar alternativas que puedan contener la erosión. La fórmula del Coastal Engineering Research Center (CERC, 1984) es el método más ampliamente utilizado para calcular la tasa de transporte longitudinal de sedimentos. El primer objetivo de este estudio es precisamente calibrar el parámetro K de la fórmula del CERC a partir de tasas de transporte de sedimento conocidas en el caso de la provincia de Castellón.

Por otro lado, en el frente marítimo de la provincia de Castellón aún existen estructuras longitudinales a base de escollera que impiden la formación de ecosistemas costeros de gran riqueza biológica. En los últimos años, la Dirección General de la Costa y el Mar ha llevado a cabo distintas actuaciones en la Serratella (Burriana, Castellón) que consisten en la apertura o demolición de parte de estas estructuras longitudinales de manera que se consigue la formación de playas con forma de bolsillo. El segundo objetivo de este estudio es calibrar los parámetros que influyen en la forma de la planta y del perfil de estas playas.

2. Metodología

A partir de ortofotos e imágenes satélite, se ha evaluado la variación de la línea de cota 0 en estas playas desde 1940 hasta la actualidad, lo que permite obtener las variaciones anuales de superficie y volumen de playa al norte del Puerto de Castellón. Además, se ha recopilado información del resto de variables necesarias (oleaje, coeficiente de asomeramiento, características del sedimento) para obtener el transporte longitudinal de sedimentos mediante la fórmula del CERC. Una vez recopilada esta información, se ha calculado el valor de K , de manera que se obtiene un rango de valores desde 1940 hasta la actualidad.

Durante el mes de marzo de 2026 se realizaron dos campañas de muestreo para obtener los valores que definen la planta y el perfil en cada una de las playas bolsillo generadas en la Serratella. En concreto, se tomó medidas de la longitud de apertura de escollera, el radio del

círculo que forma la lámina de agua hacia el interior y la profundidad en el punto dónde se retiró la escollera. También se recogió datos acerca de la granulometría de la arena y de las características del oleaje existentes durante cada una de las campañas de campo.

3. Resultados

Se observa que los valores de K obtenidos disminuyen a medida que transcurre la serie temporal. Los valores obtenidos durante los primeros años del periodo son consistentes con aquellos obtenidos en estudios previos considerando arena fina. No obstante, los valores de K obtenidos durante la segunda mitad del periodo son significativamente inferiores. Esto es debido a que el volumen de acumulación es también inferior en este periodo.

En cuanto a la planta de la playa bolsillo, se observa que aumenta el radio y la distancia de la lámina de agua hasta la escollera cuanto mayor son la apertura de la escollera y la energía del oleaje. En cuanto al perfil generado de la playa de bolsillo, los valores resultantes del parámetro A del perfil de Dean (1978) están alineados con los que se obtendrían utilizando las formulaciones basadas en el tamaño del grano de arena y la velocidad de caída de éste

Conclusiones

Los valores de K obtenidos son útiles para obtener una tasa de transporte de sedimentos más precisa para la provincia de Castellón. No obstante, sería necesario analizar con más detalle otras posibles pérdidas y acumulaciones de sedimento (por ejemplo a lo largo del perfil).

Por otro lado, se observa que las formulaciones de Dean (1978) y Berenguer y Enriquez (1987) para el diseño de playas bolsillo que se forman entre dos diques exentos son válidas para playas que se forman al retirar pequeños tramos de escollera longitudinal. Se necesitaría evaluar la apertura de escollera a partir de la cual la forma en planta de la playa de bolsillo comienza a bascular en función de la energía y dirección del oleaje.

Referencias

- BERENGUER PÉREZ, J. M Y ENRÍQUEZ FERNÁNDEZ, J (1987). "Parámetros de diseño de las playas de bolsillo"; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (nº 22-413- 9-027, informe técnico para la Dirección General de Puertos y Costas).
- COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER (CERC) (1984) Shore Protection Manual. US Army Corps of Engineers, Washington DC, Vol. I, 597, Vol. II, 603
- DEAN, R G (1978) "Diffraction calculation of shoreline planforms". *Proceedings International Conference on Coastal Engineering* (nº 115, pp 1903 a 1907)

Aplicación de la hipótesis de ortogonalidad al diseño de las soluciones de ingeniería marítima en las playas de Moncofa y Oropesa (Castellón)

Leonardo Monzonis Forner^a, Maria Josefa Solernou Sanz^b, Miguel Angel Aragón Babiloni^c, Vicent Pau Gimeno Meliá^d, Alberto Blasco Montañana^e

^a Servicio Provincial de Costas en Castellón, Dirección General de la Costa y el Mar, MITERD, lmonzonis.miteco.es; ^b mjsolernou.miteco.es; ^c maragon.miteco.es; ^d vpgimeno.miteco.es; ^e ablasco.miteco.es.

1. Introducción

En dos ponencias anteriores presentadas en este mismo foro hemos ido explorando algunas cuestiones de dinámica litoral e ingeniería marítima. En la primera de ellas, vimos la hipótesis de la dominancia del transporte transversal en la gran escala del óvalo valenciano y, en la segunda, esta dominancia en la menor escala de las playas del norte de Oropesa, analizando la ingeniería marítima aplicable en este segundo caso.

En la presente ponencia nos planteamos las implicaciones que se derivan, para el diseño de proyectos, de que el transporte longitudinal o el transporte transversal sean los dominantes, en dos casos representativos de una y otra situación : (1) la playa de Camí de Cabres en el TM de Moncofa, con un transporte longitudinal potencial muy elevado y (2) las playas del norte de Oropesa, en la que las pérdidas transversales explican los problemas de disminución de la playa seca observada desde el año 2020; ambas en la provincia de Castellón.

2. Estudio de los casos de la playa de Camí de Cabres en Moncofa y la playa de Morro de Gos en Oropesa

Hemos elegido estos casos como representativos de problemas distintos en cuanto a las consecuencias de la aplicación de la hipótesis de ortogonalidad y que requieren, por lo tanto, de soluciones que den cuenta de esa diferencia. Evidentemente la elección de una alternativa de actuación, entre las posibles, depende de factores ambientales, sociales y normativos, pero nos centramos en este trabajo solamente en los aspectos técnicos asociados a la dinámica litoral y la ingeniería marítima que se deriva de ella.

2.1. La playa de Camí de Cabres en el TM de Moncofa

La ubicación de esta playa en el sur de la provincia de Castellón, la sitúa en un contexto geográfico marcado por una regresión que se viene produciendo desde hace décadas, con

retrocesos de la línea de costa que alcanzan en algunos puntos casi los 200 metros con respecto a la línea histórica, que tomamos a nuestros efectos como la línea conocida en los años cincuenta del siglo pasado.

El diagnóstico del problema nos presenta un caso extremo de fallo en el balance del transporte de sedimentos, por falta de entrada de material desde el norte, en una costa en la que el transporte longitudinal potencial es muy elevado. La solución, para lograr que sea eficiente, se diseña generando tramos confinados, llevados, cada uno de ellos, a la orientación de equilibrio.

2.2. Playa de Morro de Gos en el TM de Oropesa

La playa de Morro de Gos está ubicada en el tramo norte de la provincia de Castellón. Esta playa había funcionado correctamente hasta el temporal Gloria de 2020, episodio a partir del cual se ha mantenido un retroceso muy importante de la playa seca.

Aunque inicialmente se plantearon hipótesis de fuga longitudinal de sedimentos, el diagnóstico que se ha consolidado es el de pérdidas transversales de material y reajuste del perfil a la nueva situación creada por el temporal y mantenida por los estados energéticos posteriores.

Las soluciones a este tipo de problemas tienen mayores incertidumbres que las soluciones para problemas de transporte longitudinal, por lo que se tiende a implantar soluciones conservadoras que quedan del lado de la seguridad.

2.3. Conclusiones y líneas abiertas de investigación

Queremos destacar que, las soluciones más eficientes para resolver problemas graves o moderados en la costa no dependen tanto de ideas preconcebidas sobre tipos de soluciones sino de la adecuación de éstas a un diagnóstico del problema lo más certero posible, en el que es básica la aplicación correcta de la hipótesis de ortogonalidad.

Referencias

- GARCÍA RAMOS, S. (2009). Predicción de los cambios en el perfil de playa mediante parámetros simples. Tesis doctoral. Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya.
- MARTÍNEZ SÁNCHEZ, J. (2013). Evolución de la línea de costa a partir del equilibrio dinámico del perfil de playa. Tesis doctoral. Santander: Universidad de Cantabria.
- MORENO BLASCO L.J. (2015). Perfil de playas sustentadas. Estudio Hidrodinámico y experimental. Directrices de diseño. Tesis doctoral. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- PENÁ OLIVAS, J.M. (2022). Guía Técnica de Estudios Litorales. Ibergarceta Publicaciones. Madrid.

Modelo heurístico para la estimación de la probabilidad de desenterramiento de cables submarinos a lo largo de su vida útil en su aterrizaje en playas con barras

Jara Martínez Sanchez^a, Erica Pellón^b, Camilo Jaramillo^c, Sergio Padilla^d, Omar Quetzalcóatl Gutierrez^e

^a Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria – IHCantabria,  ORCID 0000-0003-4917-4215, jara.martinez@unican.es; ^b IHCantabria,  ORCID 0000-0002-5742-9225, pellone@unican.es; ^c IHCantabria,  ORCID 0000-0002-0021-1014, jaramillo@unican.es; ^d IHCantabria,  ORCID 0000-0002-9077-0927, padillas@unican.es y ^e IHCantabria,  ORCID 0000-0001-5603-1656, gutierrezq@unican.es.

1. Introducción

En 2025, Google anunció “Sol”, su segundo cable submarino tras “Grace Hopper”, que conectará el norte de España con el otro lado del Atlántico. “Sol” aterrizará en Santander, después de “Anjana”, el cable transatlántico de Meta que fue instalado en 2024 en la playa de la Virgen del Mar. Del mismo modo, Grace Hopper fue instalado en 2021 en la vizcaína playa de Sopelana después de otro cable transoceánico: el cable “Marea” de Facebook y Microsoft, instalado en 2017. En un contexto de transformación digital en el que la comunicación global se transmite principalmente por cable, cabe esperar que la práctica de enterrar cables submarinos en las playas para su aterrizaje sea cada vez más habitual. Las costas españolas no son ni serán ajenas a esta situación.

El estudio de la dinámica litoral y la evaluación de los efectos del cambio climático a los que obliga en España la ley de costas y su reglamento indican la necesidad de estudiar la evolución de la línea de costa y del perfil de equilibrio, pero no mencionan el estudio de la variabilidad de la cota de la playa a lo largo de su perfil, por lo cual este es un aspecto mucho menos estudiado en la literatura científica y también menos aplicado en la práctica de la ingeniería de costas. Sin embargo, se trata de un aspecto fundamental a estudiar para el diseño del método de enterramiento del cable de forma que se minimice la probabilidad de desenterramiento a lo largo de la vida útil.

En la presente comunicación, se propone un modelo heurístico que permite estimar los movimientos verticales máximos del perfil de playa a lo largo del trazado del cable enterrado y la probabilidad de desenterramiento del cable expresada como el % de tiempo de superación de la profundidad de enterramiento durante la vida útil del cable. Este método es aplicable a playas con barra como las mencionadas en el Cantábrico y ha sido validado a partir de perfiles medidos en las playas de El Puntal (Santander) y San Lorenzo (Gijón).

2. Descripción del modelo

Se establece un modelo teórico de funcionamiento del perfil de playa con base en el comportamiento general de las barras, las observaciones de la evolución de la posición de la línea de costa (modelada o medida) y la geometría de la barra medida en un momento puntual.

Las barras de arena son estructuras sedimentarias que se forman asociadas al proceso de rotura del oleaje, altamente dinámicas y por ello difíciles de modelizar. En términos generales, las barras se forman cuando el sedimento de la parte alta de la playa se erosiona (i.e. la línea de costa retrocede hacia el trasdós de la playa) durante periodos de oleaje energético y se deposita en la zona de rompientes, posteriormente durante periodos de calma este sedimento repta de nuevo a la parte alta del perfil provocando acreción en la playa seca (i.e. la línea de costa avanza hacia el mar) y la desaparición de la barra. Teniendo en cuenta este comportamiento se ha desarrollado el modelo de evolución mostrado en la Figura 1.

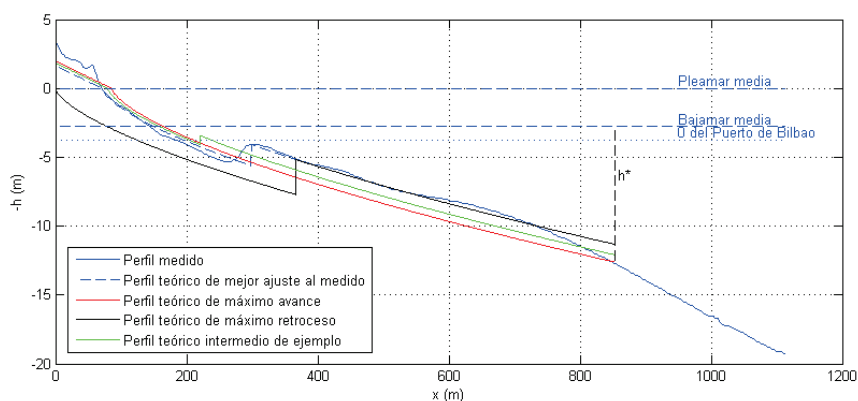


Fig. 1. Perfiles teóricos con modelo de evolución de la barra en la playa de Sopelana

De acuerdo con el modelo propuesto, a cada posición de la línea de costa (posición x del perfil cuando $h=0$) le corresponde una forma particular del perfil de playa, con una barra tanto menor cuanto más avanzada se encuentra la línea de costa.

3. Resultados

A partir de la Figura 1 se puede obtener el rango máximo de movimientos verticales que presenta cada punto del perfil de playa. Para estimar el porcentaje de tiempo en que se superan los umbrales máximos de los movimientos verticales del perfil de playa correspondientes a la profundidad de enterramiento del cable se emplea un método de Montecarlo, utilizando fragmentos aleatorios de duración correspondiente a la vida útil del cable, extraídos de la serie modelada de posiciones de la línea de costa.

Análisis de la estabilidad morfodinámica y riesgos erosivos a largo plazo en el trazado del cable submarino del proyecto PLEMCAT

Tamara Rodríguez-Castillo^a, Javier García-Alba^a, Fernando Sacristan Virseda^b

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria,
0000-0003-3047-4218,  rcastillot@unican.es ;

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria,
0000-0003-3693-3753,  garciajav@unican.es

^bIDOM Consulting, Engineering, Architecture, fernando.sacristan@idom.com

Este trabajo expone los resultados detallados del análisis sobre la evolución morfodinámica a largo plazo de la trayectoria del cable submarino de exportación de potencia para la plataforma de I+D+i PLEMCAT, situada en el Golfo de Roses (Girona). El estudio tiene como objetivo fundamental evaluar la estabilidad del lecho marino y cuantificar los riesgos derivados de procesos erosivos y sedimentarios durante los 28 años de vida útil previstos para la infraestructura.

La metodología empleada se centró en un modelado hidromorfodinámico avanzado utilizando la suite Delft3D acoplada con el modelo de propagación de oleaje SWAN. En una primera fase, se recopiló y analizó información batimétrica de alta resolución, así como datos meteo-oceánicos, granulométricos y geofísicos, junto con la traza del cable submarino. A continuación, dado que simular 28 años de dinámica sedimentaria es computacionalmente costoso, se aplicó la técnica de clasificación estadística K-medias para identificar 9 clústeres representativos de las condiciones de viento y oleaje en la zona. Estos casos se combinaron con una marea morfológica de 0,106 m de amplitud y un periodo de 24 horas. Se utilizó el factor de aceleración morfológica propuesto por Lesser et al. (2004) con valor 112 y el método de evolución costera de Roelvink (2006) para proyectar la evolución del lecho marino durante un periodo equivalente a 28 años, similar a la vida útil del parque.

Los resultados del modelado identificaron tres zonas críticas a lo largo del cable (*Fig. 1*):

1. Zona de Tendencia Erosiva (PK0+000 a PK5+000): Dominada por la acción del oleaje, con una erosión máxima de 1,65 m. El tramo más sensible se ubica entre el PK1+500 y el PK3+500 (profundidades de 25-36 m), donde la erosión supera el metro.
2. Zona de Tendencia Sedimentaria (PK5+000 a PK15+000): Presenta una acumulación neta de sedimento de aproximadamente 0,5 m, lo que reduce la batimetría actual.
3. Zona en Equilibrio (PK15+000 hasta el final): El terreno permanece estable debido a que la mayor profundidad mitiga el efecto hidrodinámico en el fondo.

Análisis de la estabilidad morfodinámica y riesgos erosivos a largo plazo en el trazado del cable submarino del proyecto PLEMCAT

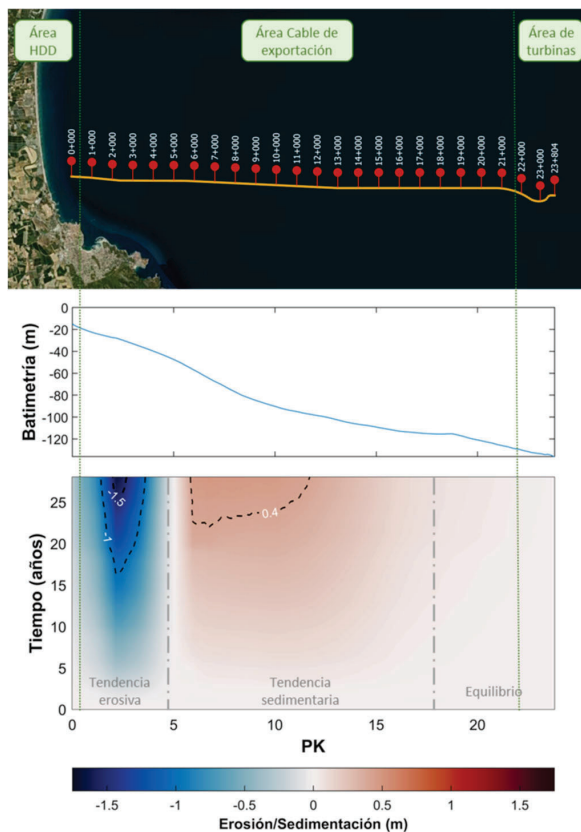


Fig. 1 Resultados de la simulación a largo plazo de los procesos de erosión/sedimentación a lo largo de la trayectoria del cable de exportación de potencia durante su vida útil

Estos resultados aportan información clave para la planificación y gestión del proyecto PLEMCAT, contribuyendo a la evaluación de riesgos y a la optimización del diseño del cable submarino frente a procesos morfodinámicos a largo plazo.

Referencias

- LESSER, G. R., ROELVINK, J. A., VAN KESTER, J. A. T. M., y STELLING, G. S. (2004). "Development and validation of a three-dimensional morphological model". *Coastal Engineering*, vol. 51(8-9), p. 883–915. doi: 10.1016/j.coastaleng.2004.07.014
- ROELVINK, J.A. (2006). "Coastal morphodynamic evolution techniques". *Coastal engineering*, vol. 53(2-3), p. 277-287. doi: 10.1016/j.coastaleng.2005.10.015

Un nuevo y más preciso overfill ratio para regeneraciones de playa y su comparación con el R_A de James

Antonio Contreras de Villar^a, Enzo Pranzini^b, Giorgio Anfuso^c, Juan J. Muñoz^c

^a Escuela Politécnica, Universidad de Cádiz, Avda. Ramon Puyol s/n, 11202 Algeciras, Spain, antonio.contreras@uca.es; ^b Earth Science Dept., University of Florence, Via Micheli 6, 50121 Florence, Italy, enzo.pranzini@unifi.it; ^c Ciencias del Mar, CASEM, University of Cádiz, Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real, Spain, giorgio.anfuso@uca.es, juanjose.munoz@uca.es

1. Introducción

La regeneración artificial de playas constituye una práctica habitual en la ingeniería de costas, en la que la selección del sedimento de préstamo resulta determinante para la estabilidad del relleno y la optimización del volumen aportado. La compatibilidad entre sedimentos nativos y de préstamo se ha evaluado tradicionalmente mediante formulaciones basadas en parámetros granulométricos percentilares (Krumbein y James, 1965; Dean, 1974). Posteriormente, James (1975) introdujo el overfill ratio (RA) y un ábaco empírico ampliamente utilizado, basado en los percentiles D_{16} y D_{84} y en la hipótesis implícita de una distribución log-normal del tamaño de grano. Este enfoque presenta limitaciones bien conocidas y puede dar lugar a estimaciones conservadoras (Stauble, 2007). Más recientemente, se ha propuesto un método basado en la distribución granulométrica completa, sin requerir hipótesis funcionales específicas (Pranzini et al., 2018), cuyo enfoque es desarrollado en este trabajo mediante una formulación práctica del *overfill ratio* comparada con el método clásico de James.

2. Metodología

Se define un nuevo overfill ratio global (RG) a partir de la comparación tamiz a tamiz de la distribución granulométrica del sedimento nativo y del sedimento de préstamo. El tamaño característico del sedimento nativo se identifica mediante la moda de su distribución granulométrica. Las fracciones del sedimento de préstamo retenidas en tamices iguales o más gruesos que la moda se consideran estables, mientras que en los tamices más finos se adopta un criterio conservador basado en la menor proporción retenida. El overfill ratio se obtiene como la relación entre el volumen total aportado y el volumen correspondiente a la fracción considerada estable, sin recurrir a ábacos empíricos ni asumir una distribución log-normal.

3. Resultados, discusión y conclusiones

La metodología se aplica a nueve casos representativos de regeneración de playas, que cubren un amplio rango de combinaciones granulométricas. Los valores de RG oscilan entre 1.02 y

2.68, mientras que los de RA varían entre 1.03 y 7.00. Las diferencias relativas entre ambos coeficientes son reducidas cuando las granulometrías del sedimento nativo y del material de préstamo son similares. Sin embargo, cuando el sedimento de préstamo es más fino, dichas diferencias aumentan notablemente y superan el 60 % en varios casos, lo que confirma el carácter conservador del método de James. La Figura 1 sitúa los nueve casos en el ábaco de James, permitiendo contextualizar estas diferencias en función de la compatibilidad granulométrica.

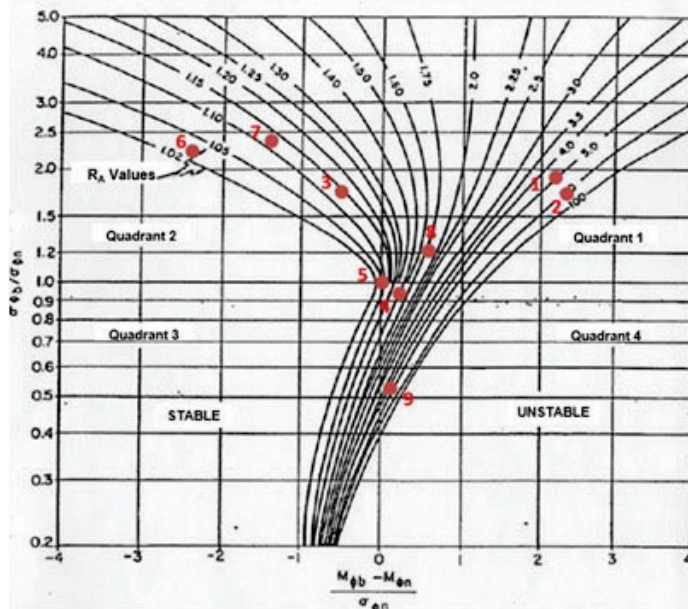


Fig. 1. Ábaco de James con la ubicación de los 9 casos estudiados

Referencias

- JAMES, W.R. (1975). *Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment*. U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.
- KRUMBEIN, W.C. & JAMES, W.R. (1965). "A lognormal size distribution model for estimating stability of beach fill material". *Journal of Sedimentary Petrology*, 35(4), 103–115.
- PRANZINI, E., ANFUSO, G., & MUÑOZ-PEREZ, J.J. (2018). "Sediment compatibility and fill stability in beach nourishment projects". *Coastal Engineering*, 132, 1–14.
- STAUBLE, D.K. (2007). Assessing beach fill compatibility through project performance evaluation. In: *Coastal Sediments' 07*, pp. 2418–2431.

Protección costera y co-beneficios proporcionados por soluciones basadas en la naturaleza en estuarios de Cantabria

Isabel Gallego; María Maza

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 gallegoi@unican.es

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 mazame@unican.es

Los estuarios de Cantabria han sufrido transformaciones antrópicas históricas que han alterado su dinámica mareal, en concreto, muchas de estas transformaciones se han basado en el relleno de zonas intermareales reduciendo el prisma de marea. Como consecuencia de esta disminución se han generado cambios hidrodinámicos, limitando el desarrollo de ecosistemas intermareales en zonas que han sido terrestalizadas, lo que se traduce en una pérdida o disminución de los servicios ecosistémicos que estos proveen y, en algunos casos, en un aumento del riesgo de inundación (Plan Bahía, 2024). Ante esta problemática, una de las alternativas a evaluar son las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). En concreto, este estudio se centra en SbN basadas en restaurar el prisma de marea en aquellas zonas en las que éste ha sido limitado por acciones antropogénicas. Para ello, se evalúa por una parte sus efectos hidrodinámicos y, por otra, los co-beneficios asociados que pueden proporcionar.

Con el objetivo de evaluar de forma integrada los beneficios proporcionados por este tipo de SbN en los estuarios de Cantabria se identifican por una parte aquellas zonas potencialmente restaurables en las que se podrían implementar para, posteriormente, analizar varios casos de estudio en los que se puedan evaluar estos beneficios de forma concreta. Uno de los casos de estudio es el estuario de Oyambre, un sistema que actualmente no presenta un riesgo de inundación elevado, pero que constituye un caso idóneo para el análisis al contar ya con la implementación de este tipo de SbN en la que se llevó a cabo la recuperación parcial del prisma de marea a través de dos aperturas realizadas en el dique de la ría del Capitán que cerraba al flujo mareal dicha ría. Para evaluar la respuesta hidrodinámica del sistema se utiliza el modelo numérico Delft3D validado para el caso de estudio con datos de nivel tomados en campo. En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos para diferentes condiciones de restauración en Oyambre ante un escenario de cambio climático para el año 2100 con un escenario de emisiones SSP 8.5 según el IPCC y con una marea meteorológica de 100 años de período de retorno para la región.

La Figura 1 compara tres escenarios en Oyambre: A. situación antes de la restauración, con dique y sin vegetación, B. situación inmediata tras la restauración y sin desarrollo de vegetación intermareal y C. situación restaurada, con aperturas y desarrollo de vegetación

intermareal. Bajo el escenario climático considerado, en el panel C se observa una menor extensión y magnitud de la lámina de agua (tonos azules más oscuros, cercanos a 0) frente a los paneles A y B. Por ejemplo, en la zona delimitada por el círculo, el riesgo sobre carreteras de la zona disminuye cuando se considera la restauración completa (C), pues se observa una menor extensión de la lámina de inundación, así como de la cota de inundación con resultados cercanos a 0. Aunque Oyambre no presenta actualmente un riesgo elevado de inundación, los patrones observados en la reducción de la lámina de agua pueden servir como ejemplo para otros estuarios similares con mayor riesgo de inundación. Por otro lado, gracias a la restauración de vegetación intermareal, esta zona provee de co-beneficios asociados a aumento de biodiversidad y secuestro de carbono (Teng et al., 2025).

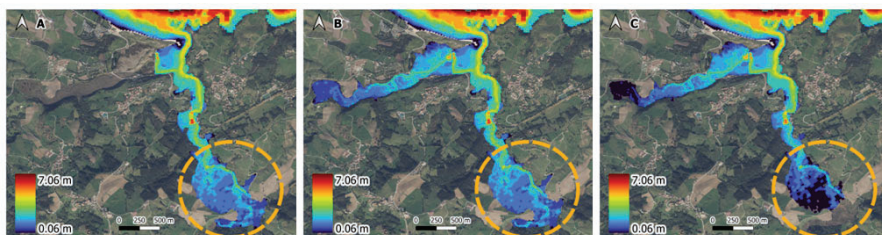


Fig. 1 (A) Antes de la implementación, caso con dique; (B) tras la apertura, con aperturas y sin desarrollo de vegetación intermareal; (C) situación restaurada, con vegetación intermareal

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto los beneficios asociados a la implementación de este tipo de SbN y remarcan el potencial existente en la región donde existen varias zonas en las que el flujo intermareal fue restringido y la implementación de SbN basadas en su restauración puede dar lugar no solo a beneficios de protección costera, sino también a aumento de secuestro de carbono y de biodiversidad.

Agradecimientos

The authors acknowledge support from the European NBRACER project (Horizon Programme under grant agreement 101112836) and from Grant CNS2023-144062 funded by MICIU/AEI/10.13039/501100011033 and by the “European Union NextGenerationEU/PRTR”.

Referencias

- Plan Bahía: Diagnóstico integrado de la Bahía de Santander.* <<https://planbahia.ihcantabria.com>>, IHCantabria 2024.
- Teng, W., et al. (2025). *Blue carbon mapping using temporally optimized satellite remote sensing imagery: A regional study of Northeast US salt marshes.* Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 130, e2024JG008254.

Infraestructura de protección costera ecológicamente mejorada que proporciona la creación de diversos hábitats para las especies marinas en el Puerto de Bilbao

José Luis García-Mochales^a, Hezi Buba^b, Javier Olalde^b, Fernando Colomb^b

^aAutoridad Portuaria de Bilbao, jl.garcia@bilbaoport.eus; ^bECONcrete, info@econcretetech.com

Resumen

A medida que se intensifica el desarrollo costero, los puertos se enfrentan al reto de equilibrar la resiliencia de las infraestructuras con la preservación de la biodiversidad y los servicios ecológicos que ésta proporciona. Recientemente, la Autoridad Portuaria de Bilbao, junto con ECONcrete y Anemo Robotics, ha puesto en marcha un proyecto de protección costera en el puerto, cuyo objetivo es proporcionar beneficios de mejora ecológica al tiempo que se cumplen los requisitos de protección costera. Además, este proyecto piloto emplea una metodología novedosa, que utiliza la Inteligencia Artificial (IA) para la monitorización continua de los organismos marinos, lo que permite una evaluación más completa del incremento de la biodiversidad. En este trabajo se presentan los primeros resultados tanto del muestreo ecológico tradicional como del seguimiento basado en la IA, que muestran los efectos positivos del enriquecimiento del hábitat en la infraestructura de protección del puerto.

El proyecto se puso en marcha en marzo de 2024 con la instalación de 99 unidades de protección Coastalock™ (CL) en la zona intermareal de la zona industrial del puerto, detrás del atraque de los buques gaseros. Los CL son piezas de hormigón de manto monocapa diseñadas para aportar estabilidad y favorecer la creación de diversos hábitats naturales. Su diseño sigue principios de eco-ingeniería y funciona por trabazón. Las unidades se colocaron en tres filas con diferentes orientaciones para crear distintos tipos de hábitats. La fila inferior se instaló con la cavidad característica orientada hacia un lado, creando nichos y refugios tipo cueva. Las filas central y superior se instalaron con la cavidad orientada hacia arriba, formando piscinas de marea, un hábitat de gran valor ecológico que está prácticamente ausente en las costas urbanas convencionales. Como particularidad del proyecto, en la fabricación del hormigón se empleó árido siderúrgico, que mejora la estabilidad de las piezas frente al oleaje y, al mismo tiempo, disminuye el impacto ambiental al reutilizar un residuo industrial local, reduciendo el consumo de recursos naturales calizos convencionales.

En abril de 2025, se instalaron tres cámaras submarinas proporcionadas por Anemo Robotics frente a las unidades CL de la fila inferior, y otras tres en una zona de control adyacente con escollera ya existente. Desde entonces, se ha ido registrando la actividad de peces y

Infraestructura de protección costera ecológicamente mejorada que proporciona la creación de diversos hábitats para las especies marinas en el Puerto de Bilbao

cefalópodos. Se ha empleado una herramienta de IA específica para identificar las especies y cuantificar su uso del espacio. Los primeros resultados muestran una diferencia en el uso del espacio entre especies y entre el CL y la escollera de control. Cabe destacar que la cavidad creada por el CL proporciona un hábitat favorable que no existe en la escollera de control (Fig. 1).

Adicionalmente, se realizaron estudios ecológicos convencionales en julio de 2025 y, más recientemente, en enero de 2026. Estos estudios se llevaron a cabo utilizando cuadrantes, centrándose en la comunidad sésil, lo que permitió arrojar luz sobre un aspecto biológico que no captaba la monitorización por vídeo. En conjunto, los dos métodos de muestreo componen un monitoreo integral del efecto ecológico de la infraestructura de CL. Estos estudios muestran una mayor riqueza de especies en el CL en comparación con el control, especialmente en las filas intermedias y superiores, donde las especies hacen uso del nuevo hábitat de piscinas de marea (Fig. 1).

Estos resultados demuestran que la consecución de los objetivos desde el punto de vista ingenieril no debe lograrse a costa de la biodiversidad, sino que debe utilizarse como una oportunidad para la mejora ecológica.

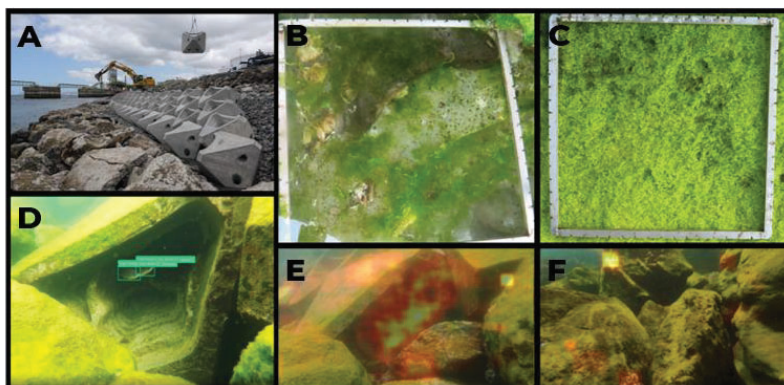


Fig. 1 Enriquecimiento ecológico de la infraestructura de protección del puerto.

A: instalación de las 99 unidades de Coastalock™ colocadas en distintas orientaciones.

B, C: fotografías de cuadrantes que muestrean la fila superior de la instalación de CL (B) y una escollera de control ubicada en una posición similar (C).

Las unidades CL proporcionan hábitats de piscina de marea, ausentes en la mayoría de las costas urbanas.

D: herramienta de IA en acción, identificando dos peces que se refugian en la cavidad proporcionada por las unidades CL.

E, F: asociación de los peces con el sustrato medida mediante IA. Cuanto más brillante es el color, mayor es la asociación de la especie con el área resaltada. Las unidades CL ofrecen hábitats tipo cueva que brindan refugio, protección frente al estrés hidrodinámico y un potencial espacio de cría para la fauna móvil, características que están disponibles en la escollera de control.

Fuente: EONcrete y Anemo Robotics

Ensayos de germinación de *Juncus maritimus* aplicados a la restauración de marismas vulnerables al cambio climático

Pablo Ruiz Díaz, M^a Luisa Pérez García

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain.
pablo.ruizdiaz@unican.es, luisa.perez@unican.es,

1. Introducción

Para el mantenimiento y protección de los ecosistemas, además de medidas de conservación, prevención y mitigación de impactos, se puede optar por la restauración ecológica, tal y como se promueve en el Reglamento (UE) 2024/1991 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de junio de 2024, relativo a la restauración de la naturaleza.

Los hábitats costeros, entre los que se encuentran las marismas, comprenden una serie de ecosistemas de gran diversidad y complejidad ambiental y son proveedores de importantes servicios ecosistémicos. Su capacidad para proteger la línea de costa y secuestrar CO₂ atmosférico los sitúa como una *solución basada en la naturaleza* (SBN) frente al cambio climático. Además, estos ecosistemas están incluidos en el listado de hábitats de interés comunitario de la Directiva Hábitats (Anexo I, Directiva 92/43/CEE), reconociéndose su relevancia y necesidad de garantizar su conservación.

Dentro de este marco, para llevar a cabo con éxito tareas de restauración, se hace necesaria la investigación y generación de información de especies que habitan en estos ecosistemas. En este estudio, se presentan los resultados de diferentes ensayos de germinación y desarrollo de semillas de *Juncus maritimus* (especie estructurante de marisma) y su relación con factores que le afecta.

2. Ensayos

Los ensayos realizados se agruparon en dos tipos:

2.1. Ensayos de germinación de semillas de *Juncus maritimus*, en relación con:

- La forma de presentación de las semillas: desnudas (fuera de su cápsula) o dentro de su cápsula.
- El uso de agua natural o agua destilada en el proceso de riego.
- El tipo de sustrato, evaluando el uso de filtro sobre algodón en placas Petri, por un lado y sedimento natural por otro.
- La utilidad de someter a un pretratamiento de frío a las cápsulas.

2.2. Ensayos de siembra, en laboratorio, de semillas y cápsulas de *Juncus maritimus* en distintos estados de germinación.

Conclusiones

- A. El factor estado (semilla o cápsula) no presenta diferencias significativas sobre la tasa de germinación, aunque si para la velocidad de germinación (T50) siendo las semillas las que más rápido germinan.
- B. El tipo de agua de riego presenta en el agua destilada valores de T50 menores y por tanto una mayor velocidad de germinación. En la tasa de germinación, en cambio el agua natural presenta valores mayores.
- C. Respecto al factor sustrato, el sedimento natural registra mayores valores en cuanto a tasa de germinación.
- D. La aplicación de un pretratamiento consistente en la exposición a frio no ha mostrado un efecto estadísticamente significativo.
- E. Las mayores tasas de supervivencia se dieron cuando la siembra se produjo directamente en el sedimento, tanto en semillas como cápsulas sin germinar previamente.



Fig.1 Juncus maritimus en crecimiento

Agradecimientos

Al Gobierno de Cantabria, a través de la Dirección General de Biodiversidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, que financió estos trabajos incluidos en el I Plan de Acción (2022-24) de la cuenca Saja-Besaya.

Mejora en la predicción del run-up en soluciones híbridas que combinan estructuras grises y ecosistemas intermareales

Mariana Roldán^a, Maria Maza^b, Javier L. Lara^c, Raul Medina^d

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 , roldanm@unican.es

^bIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 , mazame@unican.es

^cIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 , jav.lopez@unican.es

^dIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 , raul.medina@unican.es

Las soluciones híbridas que integran estructuras artificiales y ecosistemas en un mismo sistema, están despertando cada vez más interés entre ingenieros, investigadores y gestores para proteger las zonas costeras o estuarinas frente a amenazas de inundación, así como para proteger o adaptar las infraestructuras existentes para hacerlas más resilientes ante las amenazas que implica el cambio climático (Sutton-Grier et al., 2015). En los casos en que las soluciones híbridas involucren estructuras grises convencionales (por ejemplo, diques), es necesario poder estimar el run-up que se espera en ellas, tanto para poder cuantificar el nivel de protección que ofrece la solución, como para poder diseñarlas. Aunque existen múltiples formulaciones para estimar el run-up en estructuras convencionales, estas no han sido diseñadas para considerar el efecto que puede tener la presencia del ecosistema en el run-up. Por esta razón, es necesario evaluar la aplicabilidad y la precisión de las formulaciones existentes para estimar el run-up en soluciones híbridas y, de ser necesario, proponer nuevas formulaciones que consideren el efecto del ecosistema y mejoren las predicciones de run-up en soluciones híbridas. Para atender a estas necesidades, se realiza un estudio en dos fases. En la primera fase, se utiliza experimentación física en laboratorio y modelado numérico CFD para evaluar el nivel de precisión que ofrecen formulaciones de run-up ampliamente utilizadas, como el EurOtop (2018) y el CEM (2011), cuando son aplicadas a soluciones híbridas. En concreto a aquellas compuestas por diferentes tipos de vegetación intermareal, ubicada frente a una estructura rígida impermeable de pendiente variable. Los resultados muestran que las formulaciones evaluadas, tienen un amplio espacio de mejora cuando se usan para predecir el run-up en las soluciones híbridas estudiadas, pues los errores medios encontrados en sus estimaciones rondan un 30% y 40% para EurOtop (2018) y CEM (2011), respectivamente. Teniendo en cuenta los resultados anteriores, en la segunda fase se desarrolla y evalúa una nueva formulación: $R_{u2\%} = 2,2277 \cdot H_{m0} \cdot Cot(\alpha)^{0,28} \cdot (1 - SVF^{0,42})$, donde H_{m0} es la altura de ola incidente, α es la pendiente y SVF el volumen sólido

sumergido de la vegetación. Esta formulación no requiere calibración y permite predecir el run-up en las soluciones híbridas estudiadas con errores medios de un 6 %. En la Figura 1 se presenta la comparación entre el run-up del 2 % de probabilidad de excedencia ($R_{u2\%}$) obtenido en el laboratorio y el estimado a partir de EurOtop (izquierda) y de la nueva formulación (derecha). Este estudio identifica las limitaciones de las formulaciones existentes y propone una nueva ecuación predictiva y significativamente más precisa.

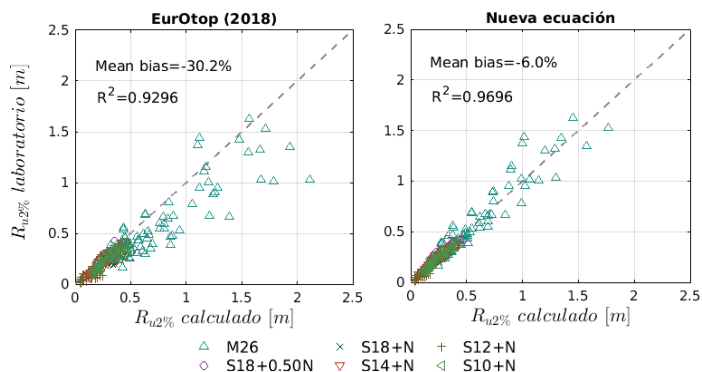


Fig. 1 Comparación entre el run-up medido en el laboratorio y el estimado a partir de la formulación de EurOtop (2018) y la nueva formulación propuesta. M y S indican que la solución híbrida tiene manglares o vegetación de marisma. El número siguiente indica la extensión del campo de vegetación en metros. +N y +0.50N indican densidades de vegetación de 312.5 y 156.25 tallos/m², respectivamente.

Agradecimientos

Grant CNS2023-144062 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the “European Union NextGenerationEU/PRTR”. Mariana Roldán acknowledges financial support from the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities through an FPU fellowship (FPU20/07601).

Referencias

- Sutton-Grier, A. E., Wowk, K., & Bamford, H. (2015). “Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems” en *Environmental Science and Policy*, vol 51, pp. 137–148.
- US ARMY Corps of Engineers (2011). “Part VI Chapter 5 Fundamentals of Design” en *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Estados Unidos. Vol. 1100, pp. 378.
- Van der Meer, J. W., et al. (2018). *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application (EurOtop)*. Países Bajos, pp. 264.

Cultivo de percebes en diques en el Puerto de Cudillero (Asturias): la experiencia NATURPORTS

Valeria Guerbartchouk-Pérez^a, Pelayo Rico^b, Nicolás Felipe Weidberg^c,
 Mario López-Gallego^d, Marta García-Diéguez^e, Luis Acuña^f

^aDpto. de Construcción, grupo DyMAST, Universidad de Oviedo, , guerbartchoukv@uniovi.es;

^bDpto. de Biología de Organismos y Sistemas, grupo EBM, Universidad de Oviedo, ,
ricopelayo@uniovi.es; ^cDpto. de Biología de Organismos y Sistemas, grupo EBM, Universidad de

Oviedo, , weidbergnicolas@uniovi.es; ^dDpto. de Construcción, grupo DyMAST y Centro CUIDA,

Universidad de Oviedo, , mario.lopez@uniovi.es; ^eDpto. de Construcción, grupo TESCAH e

Instituto IUTA, Universidad de Oviedo, , garciamarta@uniovi.es; ^fDpto. de Biología de

Organismos y Sistemas, grupo EBM, Universidad de Oviedo, , acuna@uniovi.es.

Resumen

El percebe (*Pollicipes pollicipes*) es un recurso marisquero de gran interés comercial en el norte de España, donde su explotación es clave para numerosas comunidades (Parada et al., 2013). Por otra parte, hay una gran necesidad de renaturalizar las infraestructuras costeras en el contexto de cambio climático (Jongman et al., 2025). Para ello, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) promueven la creación de hábitats funcionales en infraestructuras portuarias mejorando su capacidad para albergar comunidades biológicas semejantes a las que se desarrollan en ambientes naturales no degradados (Bindoff et al., 2021). En el proyecto NATURPORTS se desarrolló un experimento para el cultivo de percebes (Fig. 1) con un objetivo doble: conocer mejor su ecología y contribuir al desarrollo de SbN que permitan su acuicultura en infraestructuras portuarias y costeras.



Fig. 1 Cubos oeste (W1, 2, 3 y 4) y norte (N1, 2, 3 y 4), detalle de cubo y escaneado 3D

El experimento se inició en invierno de 2024-2025 en el Puerto de Cudillero (Asturias). Este puerto cuenta con un dique de abrigo en talud de cubos de hormigón sin núcleo compacto. Se seleccionaron ocho cubos accesibles para el trabajo, cuatro en la alineación oeste (W1, 2, 3 y 4) y otros tantos en la norte (N1, 2, 3 y 4). A cada cubo se fijaron tres losetas de hormigón de dimensiones 0.30 m × 0.30 m. Antes de su instalación, a cada loseta se fijó una piña de percebe con un número de individuos variable y obtenida en un entorno natural próximo.

Las dimensiones de los individuos de cada piña se midieron con escaneado 3D y análisis de correlación digital de imágenes antes de la instalación y en periodos posteriores para evaluar las modificaciones morfológicas. Para validar y completar los resultados, se tomaron medidas adicionales con un calibre manual. Para caracterizar el clima marítimo del área de estudio y la exposición al oleaje de cada cubo, se instalaron sensores autónomos piezorresistivos con una cadencia de muestreo continuo de 2 Hz y una precisión de ±0.01 dbar. Estos registros se complementaron con datos de oleaje en aguas profundas correspondientes a la boya de Cabo Peñas y los puntos SIMAR3 080038, 3081038 y 3080042.

Los resultados estadísticos obtenidos tras el tratamiento de los datos de presión permitieron diferenciar claramente los niveles de exposición al oleaje de ambas alineaciones del dique, presentando la alineación oeste valores superiores a la norte. Estos datos podrían justificar las diferencias entre ambas alineaciones en cuanto a la supervivencia de los individuos.

También se analizó la relación entre los niveles de exposición al oleaje y el crecimiento de los individuos obtenido con el escaneado 3D. Aunque los resultados obtenidos hasta el momento no son concluyentes, se espera que las próximas mediciones permitan relacionar los niveles de estrés mecánico del *Pollicipes pollicipes* tanto con sus tasas de crecimiento como con los indicadores de calidad comercial. Adicionalmente, se está completando el experimento con ensayos mecánicos en laboratorio de piñas de percebe usando máquinas universales.

En definitiva, el proyecto NATURPORTS ha supuesto un punto de partida para explotar los diques como soporte para cultivos de percebe, contribuyendo así al desarrollo de SbN para hacer las infraestructuras costeras más sostenibles y resilientes frente al cambio climático.

Referencias

- BINDOFF, N. L., *et al.* (2021). *Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities*. En **IPCC Sixth Assessment Report (AR6)**. Cambridge: Cambridge University Press.
- JONGMAN, B., PHILLIPS, L., GONZALEZ, B., RENDLE, R. E., LIKHACHOVA, I., *et al.* (2025). *Nature-Based Solutions for Coastal Protection*. Washington D.C.: World Bank Group / EcoShape.
- PARADA, J. M., *et al.* (2013). "Diameter of the base of the capitulum as a biometric variable of the goose barnacle *Pollicipes pollicipes* (Gmelin, 1789) (Cirripedia, Lepadomorpha)" en *Crustaceana*, 86, 1527–1538.

Impacto y tendencias de los eventos extremos en el Mediterráneo en un contexto de cambio climático

Nerea Portillo Juan^a, Vicente Negro Valdecantos^{a,b}

^aEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory, Universidad Politécnica de Madrid, Campus Ciudad Universitaria, Calle del Profesor Aranguren 3, 28040 Madrid, Spain,

 nf.portillo@upm.es

^b vicente.negro@upm.es

1. Introducción

El cambio climático está generando un aumento de las temperaturas a nivel global y uno de los sistemas más afectados son nuestros puertos y costas. Entre sus efectos más visibles se encuentran la subida del nivel del mar, el deshielo polar y la intensificación de episodios meteorológicos extremos. Fenómenos como Emma en 2018, Gloria en 2020, Filomena en 2021 o Nelson en 2024 evidencian que estos episodios son cada vez más frecuentes y más intensos (Portillo Juan *et al.*, 2022a). España figura entre las áreas identificadas como especialmente vulnerables y, dentro del país, el Mediterráneo destaca por su fragilidad debido a su configuración geográfica y orográfica, además de contar con un número limitado de estudios específicos (Portillo Juan *et al.*, 2022b). De este contexto surge la necesidad del presente trabajo, orientado a analizar la evolución de los eventos extremos en el Mediterráneo para detectar tendencias y proyectar escenarios futuros mediante técnicas de Inteligencia Artificial (IA) que abren nuevas posibilidades de investigación.

2. Metodología

El estudio emplea los registros de máximos mensuales de boyas y mareógrafos del Mediterráneo disponibles en la red de Puertos del Estado, incluidos los puntos de observación del Golfo de Cádiz, Alborán, Cabo de Gata, Cabo de Palos, Valencia, Mahón, Tarragona, Begur, Tarifa, Algeciras, Almería, Sagunto y Barcelona. Se analizaron las variables de altura de ola significativa (H_s), periodo de pico (T_p) y nivel del mar (NM), extrapolado a futuro y concluyendo tendencias significativas. Se proyectaron las series hacia escenarios futuros, considerando la evolución del cambio climático, y se identificaron tendencias relevantes. Se evaluó, además, la correlación de eventos extremos entre H_s , T_p y NM mediante técnicas estadísticas y de análisis de datos desarrolladas en Python.

Por otro lado, se incorporó el estudio de la evolución de los parámetros de las distribuciones Weibull y POT (α , β , γ y λ) utilizando los informes anuales de Puertos del Estado. Finalmente se revisó la relación $T_p = aH_s^b$, sugiriendo nuevas alternativas.

3. Resultados

La Tabla 1 recoge la evolución de los eventos extremos de oleaje, representados por H_s y T_p , junto con la del nivel del mar en el Mediterráneo. Las tendencias se expresan como pendientes para facilitar su lectura e interpretación.

Boya/Mareógrafo	Pendiente H_s	Pendiente T_p	Pendiente NM
Golfo de Cadiz/Tarifa	-4×10^{-6}	1×10^{-5}	-1×10^{-4}
Algeciras		-	5×10^{-6}
Mar de Alborán	3×10^{-4}	5×10^{-4}	-
Cabo de Gata/Almería	4×10^{-5}	1×10^{-5}	-9×10^{-7}
Cabo de Palos	1×10^{-5}	1×10^{-4}	-
Valencia	-1×10^{-5}	5×10^{-6}	4×10^{-6}
Mahón	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-5}
Sagunto		-	1×10^{-5}
Tarragona	5×10^{-5}	1×10^{-4}	4×10^{-5}
Begur	3×10^{-5}	8×10^{-5}	-
Barcelona		-	1×10^{-5}

Tabla 1. Evolución de los eventos de oleaje extremos en el Mediterráneo

Conclusiones

Mahón y Alborán son los puntos del Mediterráneo español donde la tendencia al alza de los extremos de H_s y T_p es más marcada, con un nivel de certeza alto en Mahón y medio en Alborán. Los valores de T_p estimados para un periodo de retorno de 100 años deben ajustarse, ya que el valor estimado se supera en más del 20% de los temporales extremos en la mayoría de localizaciones, llegando al 85% en el Golfo de Cádiz. El nivel del mar aumenta en toda la costa mediterránea española salvo en Tarifa, probablemente por efectos locales. La mayor simultaneidad de eventos extremos se registra en la zona levantina, lo que subraya la necesidad de estudios específicos entre Valencia y Cabo de Palos. Se debe profundizar en el estudio de la concomitancia de eventos extremos y en la caracterización de T_p .

Referencias

- PORTILLO JUAN, N.; NEGRO VALDECANTOS, V.; DEL CAMPO, J.M. (2022a). "Review of the Impacts of Climate Change on Ports and Harbours and Their Adaptation in Spain." *Sustainability* 2022, 14, 7507. <https://doi.org/10.3390/su14127507>
- PORTILLO JUAN, N.; NEGRO VALDECANTOS, V.; DEL CAMPO, J.M. (2022b). "Analysis of Monthly Recorded Climate Extreme Events and Their Implications on the Spanish Mediterranean Coast." *Water* 2022, 14, 3453. <https://doi.org/10.3390/w14213453>

Evaluación de la atribución antropogénica en eventos compuestos extremos de precipitación y oleaje en el norte de Cataluña

María Aguilera-Vidal¹, Thomas Wahl², José A. Jiménez¹

¹ Laboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya·BarcelonaTech, Barcelona, Email: maria.aguilera.vidal@upc.edu Email: jose.jimenez@upc.edu

² Civil, Environmental, And Construction Engineering & National Center for Integrated Coastal Research, University of Central Florida., USA. Email: t.wahl@ucf.edu

1. Introducción

Los eventos compuestos extremos de precipitación y oleaje son una de las principales fuentes de riesgo en zonas costeras, ya que bajo su influencia se acumulan y amplifican de forma significativa los impactos sobre infraestructuras y áreas urbanas litorales. Dadas sus características climáticas y el grado de desarrollo de la costa, el litoral Mediterráneo presenta condiciones favorables para la ocurrencia de estos eventos, siendo el norte de la costa catalana uno de los principales *hotspots* para este tipo de fenómenos (Sanuy et al. 2021; Aguilera-Vidal et al. 2025). El aumento aparente de la correlación y la ocurrencia de estos eventos extremos durante las últimas décadas (Aguilera-Vidal et al. 2026) plantea la cuestión de que hasta qué punto este aumento es debido a la variabilidad natural climática, o dicha variabilidad ha estado forzada por un cambio en las condiciones climáticas asociada a la actividad humana durante el siglo XX, reflejando, por tanto, el posible efecto del “cambio climático”. Para abordar esta cuestión, en este trabajo se realiza un análisis de atribución orientado a cuantificar la influencia antropogénica en el clima sobre la ocurrencia y características de los eventos compuestos extremos de precipitación y oleaje en el norte de Cataluña durante la segunda mitad del siglo XX.

2. Metodología y resultados

El análisis de atribución se realiza a partir de simulaciones del modelo climático MRI-ESM2.0 (Yukimoto et al., 2019), utilizando un conjunto de realizaciones correspondientes a dos configuraciones experimentales diferenciadas: simulaciones con incluyendo el forzamiento antropogénico por gases de efecto invernadero (experimentos factuales que equivaldría a las condiciones “reales” durante el período simulado) y simulaciones sin dicho forzamiento (experimentos contrafactuales, que se corresponderían con una condición “natural” sin influencia humana). El análisis se basa en la comparación de las características de los eventos extremos a partir de sus propiedades estadísticas tales como las distribuciones

bivariadas, cópulas y, en términos prácticos, variación en la magnitud de ambas variables asociadas a diferentes periodos de retorno.

Los resultados preliminares obtenidos indican un cambio significativo en la distribución conjunta de estos eventos compuestos extremos, representados en la figura 1 a través de la isolínea de período de retorno de 50 años para Hs y P24. Como puede verse, la curva bajo las condiciones actuales (ALL en la figura 1) muestra una intensificación de la precipitación con respecto a la curva representativa de las condiciones sin influencia antrópica (NAT en la figura 1), sobre todo bajo tormentas de oleaje que alcanzan alturas inferiores a 5 m, llegando a un máximo en tormentas con oleaje moderado, donde bajo las condiciones actuales (ALL en la figura) se corresponden con un par (3 m, 365 mm), mientras en ausencia de emisiones, dichas condiciones serían de (3 m, 300 mm), es decir, la contribución antrópica incrementa en un 20% la intensidad de la lluvia.

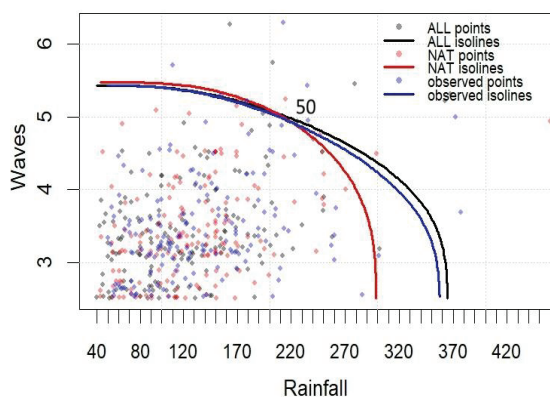


Fig. 1. Isolíneas para un periodo de retorno de 50 años. ALL-negra-: simulaciones incluyendo las emisiones de gases de efecto invernadero; NAT-roja-: simulaciones sin emisiones de gases antropogénicas; observed-azul-: a partir de datos existentes para el mismo período simulado

Referencias

- AGUILERA-VIDAL, M. et al. (2025). "Rainfall and wave storms interdependence in the western Spanish Mediterranean coast" en *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, 62, 102873.
- AGUILERA-VIDAL, M. et al. (2026). "How compound flood drivers have changed over time in the Catalan coast (NW Mediterranean)" en *Weath. Clim. Extrem.*, (in review).
- SANUY, M. et al. (2021). "Classifying compound coastal storm and heavy rainfall events in the north-western Spanish Mediterranean" en *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25, 3759-3781.
- YUKIMOTO, S. et al. (2019). "The Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component" en *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 97(5), 931-965.

Análisis del impacto del cambio climático en la morfodinámica de la Playa de la Marquesa (Delta del Ebro)

Manuel Espino^a, Xavier Sánchez-Artús^b, Martí Roura^c, Vicente Gracia^d

^aLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, manuel.espino@upc.edu; ^bLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya xavier.sanchez.artus@upc.edu; ^cLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, marti.roura@estudiantat.upc.edu; ^dLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, vicente.gracia@upc.edu

1. Introducción

El presente estudio se centra en la playa de La Marquesa. (Delta del Ebro). Históricamente, esta playa ha experimentado una notable regresión, una situación agravada por eventos extremos como el temporal Gloria en 2020, que causó pérdidas masivas de arena e inundaciones que penetraron hasta 4 km tierra adentro. El objetivo principal de esta investigación es analizar la respuesta futura de esta playa en términos de erosión e inundación bajo varios escenarios de cambio climático.

2. Metodología

Se utiliza el modelo XBeach (Roelvink, 2010). Este modelo se alimenta con datos topobatemétricos de alta resolución (1x1m) proporcionados por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) y las condiciones de oleaje (altura, período y dirección) se derivan de las proyecciones del modelo CNRM-CM6-1-HR (Houghton, 2023). Se analiza un período histórico (1985-2015) y dos escenarios futuros para el período 2070-2100: el intermedio SSP2-4.5 y el de altas emisiones SSP5-8.5. Los eventos de tormenta se definen mediante un análisis extremal Peak Over Threshold (POT) y se incorporan las proyecciones de aumento del nivel del mar de la NASA para cada uno de los escenarios futuros.

3. Resultados

El escenario SSP2-4.5 es particularmente crítico (Fig.1), ya que combina tormentas de gran intensidad con un aumento significativo del nivel del mar. El SLR es responsable de entre el 70 % y el 95 % del área total inundada. Sin embargo, aunque la contribución directa del oleaje a la superficie inundada es menor, su energía, al actuar sobre un nivel del mar ya elevado, es el agente que provoca la ruptura del sistema dunar. En el escenario SSP5-8.5 el SLR es aún más elevado, pero las proyecciones indican que las tormentas serán menos intensas. Como resultado, el SLR es responsable de casi la totalidad de la inundación (> 85 %). Aunque las

tormentas más débiles de este escenario limitan la erosión dunar en comparación con el SSP2-4.5, el impacto global es igualmente severo debido a la magnitud del aumento del nivel del mar, que provoca una inundación permanente de vastas zonas del delta.

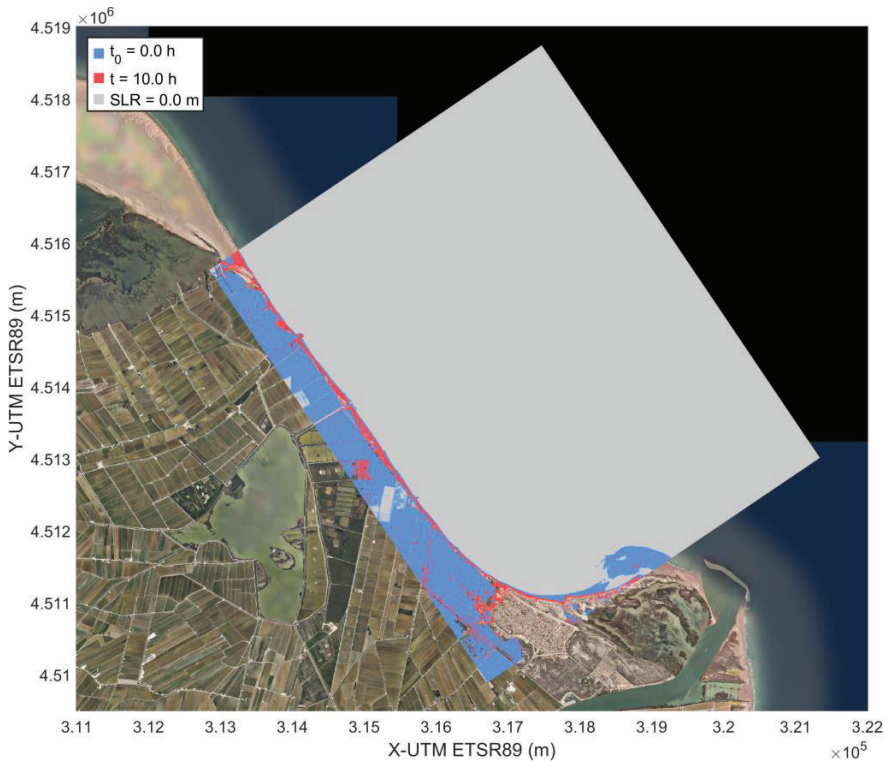


Fig. 1 Tormenta en escenario SSP2-4.5 de 500 años de periodo de retorno con SLR = 0,877 m. Superficie de agua sin tormenta con SLR = 0 m (gris); inundación debida a la subida del nivel del mar (azul); e inundación máxima correspondiente al instante $t = 10$ h de la tormenta (en rojo)

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido financiación del programa de investigación e innovación «Horizonte Europa» de la Unión Europea en el marco del acuerdo de subvención n.º 101213138 — Proyecto COAST-SCAPES— HORIZON-MISS-2024-CLIMA-01

Cómo la secuencia de tormentas y la evolución de la playa afectan al rebase: evidencias experimentales

Corrado Altomare^a, Andrea Marzeddu^a, Joaquim Sospedra^a, Xavi Gironella^a

^aLaboratorio de Ingeniería Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, corrado.altomare@upc.edu

, andrea.marzeddu@upc.edu , joaquim.sospedra@upc.edu , xavi.gironella@upc.edu .

1. Introducción

Las fórmulas semiempíricas que sustentan la evaluación del rebase de oleaje suelen calibrarse con ensayos experimentales y resultados de modelos numéricos en los que el perfil de playa se suele mantener fijo. Sin embargo, en las costas arenosas naturales, la playa se remodela durante una tormenta, modificando la rotura de ola, el run-up y, en última instancia, el rebase. A pesar de los avances sustanciales en la predicción del rebase, solo unos pocos estudios han examinado cómo la morfodinámica de la playa inducida por tormentas modula el caudal en defensas costeras verticales (e.g. Salauddin y Pearson, 2020; Briganti et al. 2022). El presente trabajo presenta un programa experimental cuyo objetivo fue seguir la evolución acoplada de un perfil arenoso y el rebase resultante en un paseo marítimo vertical con pie emergido. Este estudio forma parte del proyecto [OVERPROET](#), cuyo objetivo es desarrollar modelos semiempíricos para el rebase en paseos marítimos.

2. Campaña experimental

Los ensayos se llevaron a cabo en el canal de oleaje CIEM, en la UPC, a escala de Froude 1:10. El perfil inicial consiste en una playa arenosa con pendiente 1:13,9 ($d_{50} \approx 0,24$ mm), frente a dos muros rígidos de paseo marítimo (Muro 1 y Muro 2), cuyas coronaciones se sitúan 0,28 m por encima del nivel de agua en reposo, pero diferenciados por su posición relativa a la línea de orilla (Fig. 1). Se generaron tres clusters irregulares tipo JONSWAP con un pico común en mar abierto de $H_{m0} = 0,57$ m ($T_p = 3,67$ s, $\gamma = 3,3$), que se diferenciaban del siguiente modo. El grupo C1 correspondía a una forma trapezoidal escalonada con nivel inicial de agua en reposo de 2,0 m, e incluía secuencias de tres ensayos, para un total de 24, con altura significativa de ola $H_{m0} = 0,47, 0,50, 0,53$ y $0,57$ m y periodo $T_p = 3,67$ s en cada secuencia perteneciente a la fase ascendente (con valores similares, pero en orden inverso, para la fase descendente). El caso C2 reproducía las mismas secuencias que C1, aunque con un nivel de agua en reposo de 1,91 m. Finalmente, el caso C3 consistía en un pico constante, con doce ensayos consecutivos a $H_{m0} = 0,57$ m y $T_p = 3,67$ s, con nivel de agua inicial de 1,91 m. La campaña experimental se diseñó para comparar la interacción morfodinámica e hidrodinámica en C1 y C2 y contrastar C3 con la fase ascendente de C2 (C2sub).

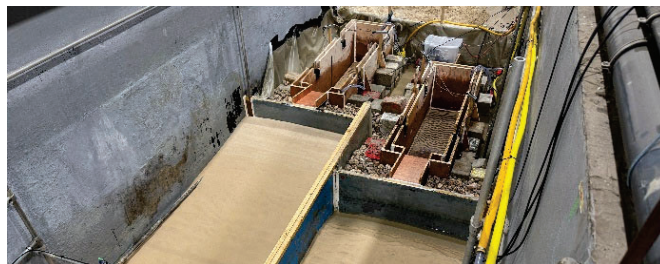


Fig. 1. OVERPROET setup experimental en CIEM, UPC (derecha: Muro 1; izquierda: Muro 2)

3. Resultados y conclusiones

La campaña experimental mostró que la evolución del perfil de playa condiciona el rebase incluso bajo oleajes idénticos. La formación y migración de barras, así como los procesos de acreción y socavación en el pie de los muros, modificaron la rotura, la disipación y el rebase. En C1 dominó la erosión en el Muro 1 y la acreción temporal en el Muro 2; en C2 la menor profundidad favoreció condiciones más disipativas con mayores descargas en el Muro 2; y en C3 la barra se formó y migró rápidamente, aumentando la disipación pero manteniendo olas de infragravedad elevadas, con descargas crecientes en el Muro 2. Comparando clústeres, el Muro 1 alternó entre acreción y socavación, mientras que el Muro 2 llegó a acumular arena hasta la coronación, aumentando así volúmenes y caudales de rebase, lo que subraya la influencia de su posición más retranqueada. En conjunto, los resultados evidencian que el rebase acumulado depende de la interacción temporal entre hidrodinámica y morfodinámica, no solo de perfiles finales o energía incidente. Esto cuestiona las fórmulas semiempíricas basadas en lechos estáticos y refuerza la necesidad de modelos hidromorfodinámicos acoplados.

Agradecimientos

Trabajo realizado con el apoyo de la Beca Leonardo 2023 para la Investigación Científica y la Creación Cultural de la Fundación BBVA. La Fundación no se responsabiliza de las afirmaciones y contenidos del proyecto, que son responsabilidad exclusiva de sus autores. El Dr. Altomare agradece la financiación del Gobierno de España y del Fondo Social Europeo bajo el programa Ramón y Cajal 2020 (RYC2020-030197-I/AEI/10.13039/501100011033).

Referencias

- SALAUDDIN, M. y PEARSON, J. (2020). "Laboratory investigation of overtopping at a sloping structure with permeable shingle foreshore" en *Ocean Engineering*. Edición, localización del artículo en la revista (2020, volumen, número, páginas).
- BRIGANTI, R., et al (2022). "Wave overtopping at near-vertical seawalls: Influence of foreshore evolution during storms" en *Ocean Engineering*. Edición, localización del artículo en la revista (2022, volumen, número, páginas).

Medidas de prevención frente a inundaciones en infraestructuras costeras y fluviales: resiliencia, eficiencia y sostenibilidad

Alberto Alcón de la Cruz

Arcelormittal Sheet Piles, Spain, , alberto.alcondelacruz@arcelormittal.com

1. Introducción

Las inundaciones constituyen uno de los principales riesgos para las infraestructuras críticas en entornos fluviales y costeros. El incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, asociado al cambio climático y a la presión antrópica, exige la adopción de estrategias de adaptación basadas en resiliencia, eficiencia y sostenibilidad. Este trabajo presenta una síntesis de medidas de prevención, mecanismos de falla, y adaptación frente a inundaciones, con énfasis en soluciones de infraestructura tales como diques, refuerzos estructurales y sistemas inteligentes de monitoreo. Los alledaños portuarios concentran infraestructuras estratégicas y operaciones logísticas críticas, lo que los convierte en áreas también vulnerables a eventos de inundación.

2. Sistemas de protección y mecanismos de falla en diques. Comportamiento

Los sistemas de defensa incluyen diques, tablestacas y muros de contención. Los mecanismos de falla más frecuentes comprenden erosión, sobrecarga hidráulica filtraciones, inestabilidad global y degradación por corrosión.

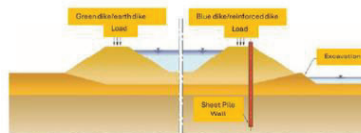


Fig. 3. Schematic representation of the earth dike (left) and the reinforced dike (right). Vertical scale not preserved, schematic only (source: ArcelorMittal)

Fig. 1 Dique de tierra reforzado. Fuente: ArcelorMittal, (2019)

3. Soluciones de infraestructura y ensayos a gran escala. Monitoreo

Resolver infraestructuras con refuerzos tablestacados, o protección en cauces o canales, proponen incremento y seguridad en sus capacidades gracias a las tablestacas de acero. Ensayos, como el realizado en Eemdijk, del programa POVM han permitido validar modelos de refuerzo de diques a escala real y comprender la interacción suelo-estructura. Asimismo, proyectos experimentales como Transcending han contribuido a mejorar el conocimiento sobre técnicas de refuerzo y estrategias de adaptación progresiva, priorizando soluciones que

extiendan la vida útil de las infraestructuras existentes frente a la construcción de nuevas defensas. El monitoreo continuo y las herramientas de diagnóstico permiten una gestión del riesgo basada en datos, facilitando la toma de decisiones y la planificación de inversiones en infraestructuras críticas. El concepto SmartSheetPile o tablestaca inteligente integra refuerzo estructural y seguimiento de la estructura completa en toda la vida útil, considerando aspectos como la corrosión, deformación, mantenimiento predictivo, etc.

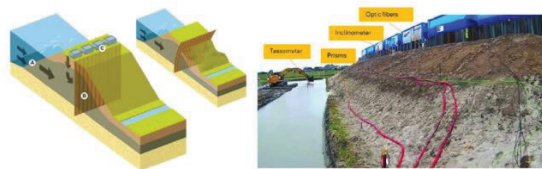


Fig. 2 Esquema e instrumentación del dique azul. Fuente: ArcelorMittal, (2019)

Conclusión

Las inundaciones seguirán representando una amenaza creciente para las infraestructuras costeras y fluviales. Frente a este escenario, las soluciones basadas exclusivamente en obras rígidas pueden resultar insuficientes si no se integran en un enfoque más amplio de resiliencia y sostenibilidad. Los ensayos a gran escala, el refuerzo inteligente de diques existentes y la incorporación de sistemas de monitoreo avanzados emergen como estrategias clave para mejorar la seguridad y eficiencia de los sistemas de protección. Para los organismos competentes, la adopción de estas soluciones permitirá reducir riesgos operativos, optimizar costos de mantenimiento y fortalecer la capacidad de adaptación frente a eventos futuros.

Agradecimientos

A todas aquellas personas que forman parte y participan en esta gran casa del acero.

Referencias

- Breedevel J., Zwanenburg C., Van M., Lengkeek H. J. 2019. Impact of the Eemdijk full-scale test programme. In Proceedings of the XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1–6. Reykjavik, Iceland.
- River Flood. European Commission. European Environment Agency. <https://climate-apt.eea.europa.eu/en/metadata/indicators/river-flood> [access: June2025].
- GALLALA, A. (2024). *SmartSheetPile: Advanced structural health monitoring solution for steel sheet piles structures*. 35th PIANC World Congress, Cape Town, South Africa. ArcelorMittal Sheet Piling.

Problemas de diseño y operación de terminales petroleras. Compatibilidad de amarre y “passing ships” frente a la Autoridad Marítima

Sonia Heras, Victoria Martínez, Juan Carlos Carmona, José Ramón Iribarren

Siport21, sonia.heras@siport21.es; victoria.martinez@siport21.es; jcarlos.carmona@siport21.es; jose.r.iritarren@siport21.es

1. Introducción

En la explotación de terminales especializadas (petróleo, productos refinados, químicos, LNG) se produce con frecuencia un conflicto entre la fase de diseño y la operación una vez entra en servicio. En algunos casos, el rango de buques que van a operar es reducido en cuanto a dimensiones y otros parámetros funcionales. Pero es muy habitual que se manejen tráfico múltiples, con importantes variaciones en la eslora, calado, francobordo y geometría del equipo de amarre o transferencia de carga a bordo.

Si bien el diseño del muelle se centra generalmente en el barco máximo, a efectos de geometría horizontal y vertical junto con resistencia de la estructura y equipos de amarre/defensas, olvidar la presencia de barcos de menor capacidad puede dar lugar a serios problemas operativos y de seguridad o incluso a la denegación de permisos de acceso.

En los puertos situados en zonas de marea se acentúa esta situación, ya que las variaciones de nivel de agua significativas pueden dar lugar a problemas adicionales de interferencia del casco con las defensas o de las líneas de amarre con equipos e infraestructura en tierra.

Por otra parte, cambios en los tráfico durante la vida de la terminal pueden dar lugar a situaciones similares. Como ejemplo, terminales de LNG diseñadas para grandes buques que pasan a dar servicio adicional a barcazas de bunkering o a buques “small-scale” de dimensiones muy diferentes.

2. Metodología

El análisis se basa en varios casos de terminales petroleras ubicadas en estuarios, sometidas a marea y corrientes con tráfico intenso de buques graneleros, metaneros, petroleros y químicos en sus proximidades. Se proyectaron y ejecutaron obras de construcción o ampliación de infraestructura para recibir buques de mayor capacidad, realizando previamente diversos estudios climáticos, hidrodinámicos y de buque amarrado.

Sin embargo, la puesta en marcha de las nuevas obras supuso en ocasiones incidentes, reclamaciones y riesgos por no considerar con la atención suficiente la diversidad de la flota objetivo. En ciertos casos, la operación del muelle no fue aprobada por la Autoridad Marítima ni el puerto, considerando las quejas de los Prácticos y Capitanes sobre las condiciones de amarre de buques de diferentes tamaños, inadecuada respecto a la normativa internacional. Esto llevó a una fuerte restricción de las operaciones, limitando el rango de esloras admisible.

Barcos mal amarrados, con un sistema poco eficaz por longitudes o ángulos de las líneas; bolardos o ganchos de amarre en posición inadecuada; mal contacto con las defensas en cuanto a longitud de apoyo; interferencia de la cubierta con los escudos en condiciones de bajar; líneas de amarre obstaculizadas por equipos en tierra o escudos de las defensas; amarras que rozan con el muelle en bajar con riesgo de rotura; conexión forzada de brazos de carga o mangueras, ...

Conclusiones

Para resolver este tipo de situaciones, se requiere llevar a cabo detallados estudios de compatibilidad geométrica del sistema de amarre y defensa, así como de los equipos de carga/descarga, considerando diferentes niveles de marea, condición de carga de los buques, configuraciones de amarre y posición de los brazos de carga o tomas de mangueras. Esto desde las fases iniciales de proyecto o ante un cambio de condiciones operativas. La revisión de la base de datos Q88 (características detalladas de la flota mundial de buques de carga peligrosa) permite evaluar un índice de compatibilidad global con la flota mundial y la flota objetivo de la terminal en cuestión.

Se llegó incluso a implantar como medida temporal un sistema online de verificación automatizada de compatibilidad para cada una de las escalas programadas, en función de la marea prevista en la fecha y las dimensiones y calados del buque. El desarrollo de estudios dinámicos de amarre para buques de diversos rangos permite, en su caso, definir y validar una modificación de proyecto a fin de recibir el visto bueno de la autoridad.

A la hora de validar la operatividad y seguridad de las terminales han de tenerse muy en cuenta las condiciones ambientales de la ubicación (marea, corrientes, oleaje, vientos). Pero, en función del entorno, no es menos importante el análisis del efecto de “passing ships”, un fenómeno cada vez más frecuente y de consecuencias graves en ocasiones. Incluso en zonas bajo condiciones benignas, la interacción hidrodinámica entre buque atracado y buque pasante puede provocar incidentes serios en buques de grandes dimensiones y calado, especialmente si hay restricciones de espacio (distancia de paso) y de profundidad.

Sistemas modulares de protección contra el riesgo de retroceso repentino de las líneas de amarre (snapback)

Roberto Luis-Fonseca^a, Julio Prieto-Fernández^b, Ivo Naef^c, Ben Poulter^d

^aGeobrugg AG, Suiza  roberto.luis@geobrugg.com;

^bGeobrugg Ibérica, SA, España  julio.prieto@geobrugg.com;

^cGeobrugg AG, Suiza, ivo.naef@geobrugg.com; ^dHolmes Solutions, Nueva Zelanda

ben.poulter@holmessolutions.com

Resumen

La rotura repentina de la línea de amarre es una de las principales causas de lesiones graves entre los trabajadores del sector portuario. Uno de cada siete incidentes reportados tiene resultados mortales y uno de cada cinco resulta en daños muy graves. Cuando se rompe una cuerda de amarre puede alcanzar hasta 1.200 km/h. Prevenir eficazmente estos sucesos es sin duda un gran reto. En general se requiere acceso limitado durante las operaciones de amarre y un tiempo de inactividad prolongado para reparar o mantener las amarras en el punto de ataque. Los sistemas modulares de protección contra ‘snapback’ desarrollados mejoran la seguridad vital portuaria y protegen contra lesiones en el caso de un fallo. Geobrugg (www.geobrugg.com) colabora con Holmes Solutions (www.holmessolutions.com/), expertos en ensayos y validación, para ofrecer una línea de sistemas de protección contra estas roturas repentinas de las amarras verificados, que podrían aumentar significativamente la seguridad y eficiencia en el amarre, reduciendo al mismo tiempo los periodos de inactividad durante el mantenimiento y la consecuente pérdida de ingresos. Numerosas técnicas de control de retroceso rápido, incluyendo protocolos de gestión de línea, software de análisis de amarre y monitorización de la tensión de las cuerdas, ya se han utilizado en la concurrida terminal de carbón metalúrgico de BMA en Hay Point (Queensland, Australia), operada por BHP-Mitsubishi Alliance (figura 1). No obstante, una avería en la línea de amarre a alta velocidad que cruzó una zona de trabajo normalmente concurrida fue captada por una cámara en 2020. Debido a este impacto, el acceso se restringió mientras los barcos estaban atracados, lo que afectó considerablemente la efectividad operativa. Holmes Solutions y Geobrugg fueron contratados por BHP para crear, ensayar y verificar una solución de protección contra el riesgo de snapback para su puerto (Naef et al. 2025; Hodgins, 2022). Otro problema operativo importante para los operadores de puertos y terminales es el tiempo de inactividad en trabajos de mantenimiento, que puede suponer una importante pérdida de ingresos. La facilidad de instalación y traslado del sistema de protección minimiza de forma considerable el tiempo de inactividad en el mantenimiento. Los puertos son lugares concurridos con espacio limitado, por ende, hay mucha presión sobre el tiempo de manipulación. Las operaciones se pueden realizar de forma segura utilizando un sistema de protección contra snapback verificado que no limite la entrada de otras personas

*Sistemas modulares de protección contra el riesgo de retroceso repentino
de las líneas de amarre (snapback)*

al área de atraque. Esta contribución presenta la serie de ensayos realizados para el desarrollo y validación de la solución modular y su aplicación práctica.

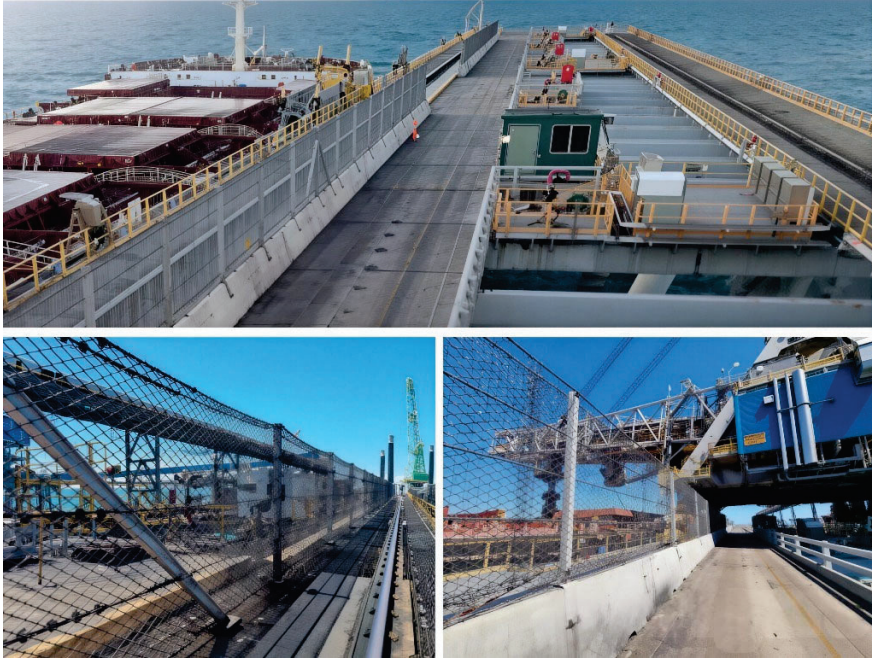


Fig. 1 Detalles de la solución personalizada para BMA en el terminal de carbón metalúrgico de Hay Point Fuente: Naef et al. (2025) y Smith, A.(2021)

Palabras clave: snapback, rotura de línea de amarre, seguridad vital, puertos, estructuras de atraque

REFERENCIAS

- HODGINS, K., KEANE, R. AND POUTER B. (2022) Validating Snapback Risk. Christchurch, New Zealand
- NAEF, I., MORRISON, A., POULTER, B., LUIS-FONSECA, R. AND TAJZIEHCHI, M. (2025) Modular protection systems against risk of mooring line snapback. 6th PIANC Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering. Tanger
- SMITH, A.S, (2021) BHP Mitsubishi Alliance Snapback Barrier System. Validation Testing Mobile and Fixed Barrier Fences. Christchurch: Holmes Solutions.

SmartSheetPile: gestión, mantenimiento y seguridad portuaria

Chisco Ruiz Manso, Mohamed El Hadri^a

^aArcelormittal Sheet Piles, Luxemburgo, , chisco.ruiz@arcelormittal.com; 

Mohamed.Hadri@arcelormittal.com

1. Introducción

Los puertos dependen de infraestructuras críticas cuya complejidad operativa y su degradación con el uso forman parte natural de sus riesgos y costes. SmartSheetPile transforma estas estructuras en sistemas inteligentes que proporcionan monitorización continua, alertas tempranas y mantenimiento predictivo. Gracias a sensores embebidos, análisis de datos, gemelos digitales e IA, se pueden gestionar de forma más segura, eficiente y resiliente muelles y diques. Complementando o sustituyendo métodos tradicionales se aporta visión estratégica de gestión en un entorno marcado por el tráfico creciente, el paulatino deterioro estructural, la dificultad de inspección y el impacto del cambio climático.

2. SmartSheetPile: una solución integral de monitorización estructural

SmartSheetPile crea un ecosistema de sensores customizado para las necesidades de un proyecto específico, permitiendo medir múltiples parámetros estructurales, detectando daños y condiciones ambientales en tiempo real. Esto permite a operadores y propiedad una visión continua del comportamiento de su infraestructura. Esto permite identificar anomalías, evaluar rápidamente impactos o sobrecargas y planificar intervenciones con precisión, optimizando así la gestión y la seguridad de las operaciones portuarias.

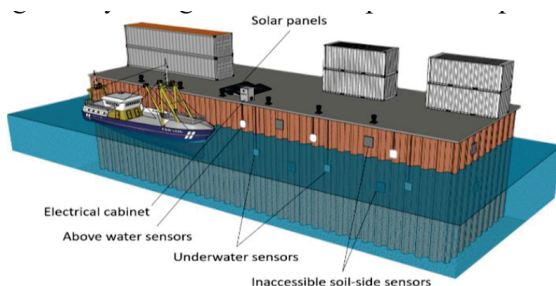


Fig. 1 Muro de puerto en muelle realizado con SmartSheetPile. Fuente: Gallala, B (2024)

3. Proyecto piloto en Luxemburgo

El proyecto piloto de Luxemburgo trata de un muelle de 135 m instrumentado con cuatro módulos SmartSheetPile, cada uno con 35–40 sensores; monitorizando corrosión, inclinación, deformación, tensiones, impactos, niveles de agua y temperatura. Actualmente el sistema ya está generando datos que permiten validar cargas y comportamiento reales. Estos datos permiten optimizar las inspecciones, acciones de mantenimiento y coordinar estas para minimizar interferencia con las operaciones portuarias.

Conclusión

SmartSheetPile aporta ventajas estratégicas decisivas para autoridades y operadores al reducir OPEX, mejorando la gestión de inspecciones y reparaciones imprevistas. Optimizando el CAPEX, gracias a un diseño más preciso y prolongación de vida útil, mejorando la seguridad con evidencia digital trazable. Sostenibilidad se consigue mediante el uso eficiente de materiales y la optimización de la gestión portuaria.

Agradecimientos

Al equipo de tablestacas en su conjunto, por su apoyo técnico e intelectual; al equipo de España, por su siempre cálida acogida; y también a quienes comparten café, risas y buenos momentos, haciendo alegría del trabajo.

Referencias

- GALLALA, A. (2024). SmartSheetPile: Advanced structural health monitoring solution for steel sheet piles structures. 35th PIANC World Congress, Cape Town, South Africa. ArcelorMittal Sheet Piling.
- GALLALA, A., KULLOLLI, B., PICHOFF, F. y GRATIER DE SAINT LOUIS, M. (2024). Reinforcement of flood protection barriers using steel sheet piles. Digues2024.
- KULLOLLI, B., GALLALA, A. y AJKOVIC, V. (2025). Enhancing dike resilience: Reinforcement techniques and advanced monitoring systems for climate change adaptation. 3rd International Conference of Civil Engineering – ICCE 2025, Prishtina, Kosova. ArcelorMittal Sheet Piling.

Gestión operativa del espacio marítimo mediante IA

**Andrés Alonso-Martirena¹, Ismael López Hernández¹, Nelson Monzón López^{1,2},
Sergio Ballines Barrera¹, Txema Fernández Lacabe¹**

¹QUALITAS Artificial Intelligence & Science (QAISC), España, aalonso-martirena@qaisc.com;

²Imaging Technology Center (CTIM), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), España.

1. Introducción

La operación diaria en puertos y zonas costeras requiere convertir observaciones en decisiones: qué embarcaciones están presentes, qué sucede en áreas críticas y qué evidencia sostiene una actuación. Este trabajo presenta un enfoque basado en IA que convierte vídeo en información estructurada y trazable para apoyar seguridad, cumplimiento y eficiencia, ilustrado mediante pilotos del proyecto precomercial SMART COAST AI SOLUTIONS (Ports 4.0) en el Puerto de Gijón y el Puerto de Las Palmas (España).

2. Objetivo y enfoque

El objetivo es dar a puertos y autoridades costeras visibilidad operativa y evidencia accionable en tiempo real: saber qué embarcaciones hay (con y sin AIS), qué ocurre en zonas críticas y disponer de prueba para actuar y reportar. Para ello:

- (i) se generan automáticamente detecciones y seguimiento de embarcaciones con y sin AIS;
- (ii) se enriquece la identificación cuando es viable mediante AIS y OCR;
- (iii) se detectan eventos mediante geofencing y se generan evidencias y registros trazables para actuación y reporting.

3. Metodología y arquitectura

La solución sigue un enfoque edge-first para minimizar latencia y limitar la exposición de vídeo; cuando aplica, se centraliza únicamente información estructurada (objetos, eventos, evidencias y registros) para explotación y reporting.

La arquitectura integra dos capas complementarias de IA: AIMI (AI Maritime Intelligence): (i) visibilidad direccional por sectores; (ii) detección y seguimiento de embarcaciones con y sin AIS; (iii) identificación cuando es viable mediante AIS/OCR; (iv) consolidación para explotación por roles operativos. SCS (Smart Coast Surveillance): (i) geofencing sobre zonas operativas; (ii) detección, clasificación y seguimiento en tiempo real; (iii) eventos operativos con marca temporal y evidencia (clips y/o snapshots) para verificación y auditoría; (iv) analítica por zona y soporte a reporting operativo.

4. Caso de estudio: despliegues operativos en el Puerto de Gijón y el Puerto de las Palmas

El caso incluye dos despliegues: (i) Puerto de Gijón, con el sistema de observación y procesamiento en edge instalado en el Faro de Cabo Torres; (ii) Puerto de Las Palmas, con el sistema instalado en el extremo del Dique Nelson Mandela. El despliegue se orienta a operación y seguridad sobre áreas configuradas como accesos, zonas de maniobra, áreas de seguridad y permanencia controlada. Se priorizan tres familias de eventos acordadas con usuarios operativos: (E1) intrusión o cruce de línea; (E2) permanencia o estancia anómala; (E3) proximidad peligrosa (riesgo de colisión o aproximación a infraestructura crítica). En condiciones favorables, el alcance de detección visual de embarcaciones puede llegar hasta aproximadamente 15 km en Gijón y 10 km en Las Palmas. La identificación mediante OCR se utiliza cuando es viable y depende de la calidad de imagen y la geometría de observación; cuando existe AIS, se emplea como fuente adicional para contraste.

5. Validación operativa y resultados preliminares

La evaluación se plantea desde utilidad operativa y trazabilidad. En explotación se aprecia:

- (i) menor tiempo de interpretación al disponer de eventos estructurados con evidencias;
- (ii) mejor coordinación interna por registros consistentes (qué, dónde, cuándo y evidencia);
- (iii) mayor capacidad de auditoría y reporting, reduciendo el esfuerzo de reconstrucción posterior de incidentes y episodios recurrentes.

6. Gobernanza, ciberseguridad y privacidad

Anonización/mascaramiento automático de personas (según configuración) para facilitar cumplimiento del RGPD y control de acceso por roles. Los datos (eventos, evidencias y registros) son privados y pertenecen a la autoridad portuaria o costera titular del despliegue, que define los criterios de acceso y retención.

Conclusiones

Puertos y gestores costeros necesitan visibilidad fiable de la actividad en la lámina de agua más allá del AIS: saber qué embarcaciones hay (incluidas sin AIS), qué ocurre en zonas críticas y disponer de evidencia inmediata para actuar y rendir cuentas. El enfoque presentado responde a estas necesidades convirtiendo vídeo en información operativa trazable en tiempo real, con ejecución edge-first para reducir latencia y dependencia de conectividad.

Adaptación del sistema portuario al Plan BIM España: de la contratación a la operación digital del activo

Alex Garate Arrazola^a, Raúl Alfaro Calvo^b

^aIngreen Innovación S.L. (a.garate@ingreen.es); ^b Ingreen Innovación S.L. (r.alfaro@ingreen.es).

1. Introducción

El sistema portuario de titularidad estatal en España —**46 puertos de interés general gestionados por 28 Autoridades Portuarias**— se enfrenta a una presión creciente por modernizar su gestión: transición energética, exigencias de trazabilidad ambiental, incremento de la complejidad logística, necesidad de resiliencia ante eventos extremos y un marco regulatorio cada vez más exigente en seguridad y transparencia. En paralelo, foros como **Costas y Puertos 2026** impulsan una visión en la que la **digitalización, la innovación y la ciberseguridad** se consideran palancas clave para la **planificación y operación portuaria**, encajando esta propuesta en el área temática “Planificación y gestión de puertos. Digitalización, innovación y ciberseguridad”.

En este contexto, el **Plan de incorporación de la metodología BIM en la contratación pública (Plan BIM España)** actúa como un factor tractor que condiciona de forma directa el “cómo se contrata” y, por extensión, el “cómo se opera” la infraestructura pública, definiendo un **calendario de solicitud obligatoria** ligado a **umbrales de valor estimado** y una progresión de **niveles BIM** (inicial, medio, avanzado, integrado).

Esta comunicación plantea que la adaptación del sistema portuario al Plan BIM España **no debe abordarse como un cumplimiento aislado**, sino como un **catalizador** para reconfigurar la planificación y la gestión de las Autoridades Portuarias con el objetivo de evolucionar desde una digitalización basada en documentos a una gestión basada en datos del activo, garantizando continuidad entre proyecto, obra y explotación.

2. El Plan BIM España como condicionante de contratación y operación

El Plan BIM España, publicado en BOE, es de aplicación a la AGE y organismos vinculados. Para las Autoridades Portuarias, esto implica dos cambios estructurales:

1. **El contrato incorpora requisitos de información** (modelos, datos, niveles de calidad, usos previstos) que dejan de ser “anexos técnicos” para llevar el control del contrato.
2. **La operación futura** entra “por la puerta” de la contratación: lo que se define y valida en fase de proyecto/obra condiciona si el activo podrá explotarse con eficacia.

3. Cómo condiciona esto los planes portuarios: los ejes del Plan BIM

Estrategia: Es necesario traducir “BIM” en **objetivos portuarios medibles**: control de cambios y trazabilidad en obra, reducción de incertidumbre en fases tempranas, mejora del CAPEX/OPEX, y soporte a iniciativas como electrificación, eficiencia energética o cumplimiento ambiental.

Procesos: Se definen **EIR/BEP** orientados al ciclo de vida y fijan criterios de aceptación (calidad geométrica y alfanumérica, completitud, coherencia, trazabilidad de decisiones). Es clave extender el **Asset Information Model (AIM)** para que el modelo no muera tras la obra.

Personas: La implantación no se resuelve externalizando BIM, sino que requiere roles internos claros (responsable BIM/gestor de información, responsables de contrato, administradores del CDE, explotación) y un plan de capacitación progresivo. Además, el ecosistema concesional obliga a gestionar el cambio con la comunidad portuaria: estándares de intercambio, responsabilidades sobre datos, accesos y coordinación.

Tecnología y ciberseguridad: El **CDE** se convierte en **columna vertebral**: repositorio contractual, canal de colaboración y, con madurez, fuente de verdad del activo. Cumplir ENS/ENI implica control de accesos, auditoría, trazabilidad, retención, continuidad, ciberseguridad y gobierno de identidades. La interoperabilidad (IFC/BCF/IDS y conexión BIM–GIS) es especialmente relevante en entornos portuarios por su carácter territorial y marítimo, y por la necesidad de neutralidad tecnológica y estándares abiertos.

4. Propuesta de enfoque: roadmap de adaptación portuaria en tres horizontes

1. **Cumplimiento:** normalizar pliegos, EIR/BEP y CDE; pilotos en tipologías recurrentes; foco en contratos que entren en umbrales del Plan.
2. **Integración:** orientar entregables al AIM; integración con GIS/GMAO/ERP; gobierno del dato (clasificación, IDs, reglas de calidad, responsables).
3. **Explotación avanzada:** evolución a gemelos digitales operativos (energía, mantenimiento, capacidad, resiliencia, reforzando la forma continua la gestión de riesgos y la ciberseguridad).

Conclusiones

La adaptación del sistema portuario al Plan BIM España no es una obligación puntual: es un marco que **redefine** el modo en que las Autoridades Portuarias planifican, contratan y operan. El Plan aporta calendario, niveles, principios de estándares y requisitos de seguridad que, bien interpretados, aceleran la transición desde una **gestión documental a una gestión basada en datos del activo**, alineada con la digitalización, innovación y ciberseguridad que demanda el sector portuario.

Construyendo un PCS y PMS sobre un espacio de datos IoT

Manuel Francisco Martínez Torres

aAutoridad Portuaria de Huelva,  manuel.f.martinez@puertohuelva.com;

bCTO,  <https://orcid.org/0000-0003-1682-8825>.

1. Introducción - Resumen

El Puerto de Huelva ha diseñado un **Espacio de Datos Portuario** como pieza central de su transición hacia un Puerto Inteligente, alineado con la Norma UNE de Smart Port y con una visión de comunidad logístico-portuaria extendida a hinterland, foreland y ciudades adyacentes. Este espacio de datos integra de forma coherente los sistemas clave del puerto, entre ellos el **Port Management System (PMS)** y el **Port Community System (PCS)**, junto con la plataforma IoT, el gemelo digital, los sistemas ferroviarios, de acceso, IoT y plataformas estatales como Puertos del Estado.

El **Espacio de Datos de la Autoridad Portuaria de Huelva (APH)** se rige por principios estratégicos claros: madurez tecnológica, estandarización, priorización de software libre y de comunidades abiertas, limitación de riesgos y cumplimiento del Esquema Nacional de Seguridad, además de un foco en productividad y bajo mantenimiento, entendiendo la tecnología como herramienta operativa y cultural, y promoviendo relaciones de colaboración más que de proveedor-cliente. Estos principios se traducen en una plataforma digital modular de **bajo acoplamiento y alta cohesión**, que permite modificar bloques funcionales sin impactar al resto y facilita la evolución continua del sistema.

En el plano arquitectónico, la plataforma se organiza en capas:

- Capa de **adquisición e interconexión**, que recoge y normaliza datos de dispositivos IoT, sistemas externos (por ejemplo, PMS, PCS, INTEGRA2, DUEPORT, RAIL) y fuentes exógenas.
- Capa de **servicios**, con conectores IoT, adaptadores de sistemas externos, context broker, almacenamiento histórico, tiempo real, semántica y planificadores.
- Capa de **procesos y análisis**, que incorpora CEP, BPM, RPA, GIS y analítica avanzada, así como mecanismos de monitorización, auditoría, logs y gestión de eventos.
- Capa de **usuario y aplicaciones**, donde residen PMS, PCS, portales de datos, cuadros de mando y herramientas de explotación para operaciones, seguridad, infraestructura y terceros.

El **PMS sobre IoT** se apoya en este contexto para gestionar de forma avanzada las escalas y recursos portuarios, con funcionalidades como el plan de atraques, visualización multidía, gestión de mareas, norays, consignatarios, productos y cantidades, integrando datos en tiempo real procedentes de AIS, meteorología, tráfico ferroviario, sistemas de terminal, sensores físicos y otros sistemas externos. Gracias al uso de modelos de datos normalizados (por ejemplo, PortCall, Berthing, Operations, MasterVessel, PortFacilities, Bathymetry, Metocean), el PMS puede consumir y publicar información de forma homogénea dentro del espacio de datos.

El PCS, por su parte, opera como interfaz de la **Comunidad Portuaria**, conectando navieras, consignatarios, transitarios, terminales, aduanas, organismos públicos, operadores ferroviarios y otros actores, y actuando como ventanilla única de servicios portuarios y administrativos asociados al buque y a la carga. Dentro del espacio de datos, el PCS se integra con DUEPORT, plataformas estatales y otros sistemas de terceros, aprovechando la arquitectura de bajo acoplamiento para adaptar procesos, colas y flujos a las necesidades de la carga, la cadena logística o el transporte, con un diseño centrado en la colaboración.

La **naturaleza del dato** en el espacio de datos se apoya en cinco pilares: definición ontológica y contextual basada en estándares, interoperabilidad mediante identificadores y semántica, mecanismos de comunicación de publicación/suscripción y consulta, una base tecnológica segura y auditada con APIs públicas y software abierto, y un trabajo en grupo técnico horizontal que gestiona vocabularios, modelos y su evolución. El puerto participa activamente en la comunidad **Smart Data Models**, donde modelos como PortCall, Berth, Operations, MasterVessel o AisVessel se desarrollan, validan y publican en repositorios abiertos, garantizando reutilización y compatibilidad.

Desde el punto de vista del dato operativo, el contexto broker NGSI-LD actúa como núcleo de contexto, recibiendo, almacenando y sirviendo entidades complejas de PortCall, PortCallEvent, Berth, MasterVessel, etc., mediante operaciones de upsert, suscripción y consulta, con historización en MongoDB y mecanismos de notificación hacia servicios verticales. Ejemplos concretos de entidades muestran cómo se representan escalas, eventos y ocupación de muelles, con información de ETA, ETD, agentes, códigos de muelle, estado, autorizaciones y vínculos con otros modelos, lo que demuestra la madurez del modelo de datos y su explotación real en operaciones.

Finalmente, la integración de PMS y PCS sobre la plataforma IoT y el espacio de datos permite abordar retos como la sincronomodalidad, la automatización global de la gestión de incidencias en rutas y otros puertos y la construcción progresiva de un **“Physical Internet” portuario**. El Puerto de Huelva se posiciona así como un caso avanzado de implementación de un espacio de datos soberano, abierto y alineado con estándares europeos, en el que el PMS/PCS sobre IoT no son solo aplicaciones, sino piezas clave de una arquitectura de datos que soporta la eficiencia operativa, la sostenibilidad, la seguridad y la innovación continua.

Integración de la incertidumbre climática en la delimitación del dominio público Marítimo-Terrestre

Pedro Otiñar, Manuel Cobos, Marcus Santana, Asunción Baquerizo

Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra de Andalucía, Universidad de Granada,
potinar@ugr.es

1. Introducción

Las zonas costeras son sistemas socioecológicos complejos sometidos a una presión creciente, derivada tanto de la intensificación de los usos humanos como de la amenaza del cambio climático. En el contexto actual, la gestión del litoral se enfrenta a una paradoja crítica: mientras que la ciencia avanza hacia modelos probabilistas capaces de representar la variabilidad climática y la incertidumbre inherente a los procesos costeros, los marcos legales y administrativos continúan operando, en gran medida, bajo paradigmas deterministas.

La legislación española destaca por ser una de las más garantistas en la protección del litoral. Su marco normativo se articula mediante la Ley de Costas (Ley 22/1988, modificada por la Ley 2/2013) y su reglamento (recogido en el RD 876/2014). En él se establecen los criterios técnicos para la delimitación del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) y la gestión de sus ocupaciones, sin embargo, definiciones como el "alcance de las olas en los mayores temporales conocidos" o criterios de recurrencia como los que mencionan "5 veces en 5 años" presentan dificultades de aplicación cuando se intentan conciliar con proyecciones climáticas no estacionarias a largo plazo. Esta desconexión genera una inseguridad jurídica y técnica que dificulta la toma de decisiones administrativas, especialmente en lo referente a concesiones y autorizaciones en un escenario de cambio global.

2. Caracterización climática no estacionaria y modelado previo

El presente trabajo se fundamenta en la metodología integral de obtención de proyecciones presentada en Otiñar et al. (2025 a, b). Aplicada a la totalidad del litoral andaluz en el marco del proyecto ICCOAST, esta metodología está diseñada para abordar la complejidad de la caracterización y el modelado a escala regional y bajo un análisis de largo plazo.

En primer lugar, se establece una caracterización climática estocástica y no estacionaria de los agentes forzadores, capaz de capturar la variabilidad intrínseca del sistema. Sobre esta base, se implementa un esquema de modelado numérico que incluye un acoplamiento marítimo-fluvial (integrando tanto la hidrodinámica como los aportes sedimentarios de las cuencas) y un acople explícito de los procesos de erosión e inundación costeros.

Este marco de modelado incorpora un modelo de espesores sedimentarios (implementado en CoastalME) que condiciona la respuesta morfodinámica a la disponibilidad real de material en el perfil. Los resultados de la aplicación de esta metodología constituyen la base física necesaria para el análisis de gestión posterior.

3. Propuesta para la gestión

A partir de dicha base física, se propone un marco de gestión en el que se consideran una serie de conjuntos aleatorios cuya definición permite, por una parte, armonizar los criterios legales con el mandato de tener en cuenta el cambio climático, y, por otra, asociar una medida de incertidumbre a los impactos futuros. En dicho marco se contempla la variabilidad a distintas escalas temporales, lo que facilita la toma de decisiones de gestión teniendo en cuenta la variabilidad estacional y también las tendencias climáticas decadales. Estos aspectos son relevantes para determinar la viabilidad operativa de los servicios de temporada y los plazos de las concesiones.

El análisis comparativo de los resultados revela discrepancias significativas en la extensión del dominio público según el criterio técnico aplicado. Se evidencia, además, que los criterios de recurrencia vigentes (Real Decreto 876/2014) presentan una alta sensibilidad a la variabilidad de los parámetros mediante los que se definen. Paralelamente, los resultados confirman la determinante influencia de la variabilidad estacional, demostrando que la modulación de los procesos físicos entre temporadas altera drásticamente la magnitud de los impactos esperados.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del contrato (Exped. Contr. 2018 66984) licitado en concurrencia competitiva por la Junta de Andalucía (con financiación FEDER) y por el proyecto EPICOS (Consejería de Universidad, Investigación y Ciencia).

Referencias

- Otiñar, P., Cobos, M., Santana, M., Millares, A., & Baquerizo, A. (2025a). A probabilistic methodology for the projection of flooding and erosion processes in the coastal zones of Andalusia (Spain) throughout the 21st century. *Frontiers in Marine Science*, 12:1631041.
- Otiñar, P., Cobos, M., Santana, M., & Baquerizo, A. (2025b). Statistical characterization of projected flooding and erosion processes for coastal management. *Frontiers in Marine Science*, 12:1631047.

Costas y Puertos y Urbanismo

Vicente Ibarra Damiá

Subdirector general de Costas, Puertos y Aeropuertos de la Generalidad Valenciana.

Ibarra_vic@gva.es; vibarrad@gmail.com

1. Introducción

Es lo propio de estas Jornadas la exposición de los conocimientos más recientes o el intercambio de experiencias vividas, o sufridas, en el área de la ingeniería marítima, buscando las explicaciones físicas con el necesario soporte matemático de los fenómenos que condicionan el diseño y comportamiento de las obras portuarias y costeras. No en vano el título bajo el que se convocan, Jornadas de Ingeniería de Costas y Puertos, induce a primar esa visión científica de cuanto acontece en el mar, de la que nos sabemos aún con conocimientos incompletos y con carencias que cubrir.

Pero esta visión, incuestionablemente necesaria para el progreso del dominio de la naturaleza, o si se permite la expresión, su domesticación, que no otra cosa es pretender mantener espacios abrigados de agua en medio de temporales, o recuperar playas que obras de regulación fluvial han cerrado a la llegada de áridos, no debe privarnos de otras visiones del litoral que, de modo simplificado, contemplan esa franja no desde el mar sino desde tierra, espacio éste en que las aspiraciones del hombre están mucho menos condicionadas por la física, cuyas exigencias son aquí más fáciles de moderar, y hay ámbitos de decisión completamente ajenos a sus leyes abiertos a regulaciones que sólo dependen de la voluntad humana.

2. Urbanismo como disciplina abierta

Así el urbanismo. Disciplina ésta que determina cómo debe ordenarse y aprovecharse el territorio, la densidad de población que puede acoger, cómo y por donde puede ser accesible, qué usos son preferentes y cuáles prohibidos, y otras cuestiones que determinadas en tierra firme condicionan las obras en el litoral, su alcance, destino, volumen, viabilidad y en ocasiones hasta su existencia.

Si el urbanismo es una ciencia, su categoría es distinta a lo que como tal entendemos en el mundo de la ingeniería. Las normas urbanísticas son mutables y diferentes en cada municipio; la autoridad urbanística en nuestro actual marco competencial es la Comunidad Autónoma, la ordenación de los transportes terrestres corresponde al Estado; y así con otros sectores.

Estas y otras variables que ordenan la costa son clave en los planes para la viabilidad de los usos portuarios así como para proyectar obras que permitan el disfrute de las playas, como los equipamientos y paseos marítimos, cuyo emplazamiento y trazado nunca es libre y sí debe estar integrado en un territorio ordenado.

3. Omisiones del pasado y planificación para el futuro

La escasa participación, o el abandono, de las autoridades portuarias y de la administración costera, en la redacción y aprobación de los instrumentos urbanísticos, ha sido causa de que en estos haya primado su enfoque terrestre, con preterición, en menor o mayor medida, de la realidad portuaria y litoral, con perjuicios en gran medida irreversibles, llegando a imposibilitar operaciones que beneficiarían a ambos como las hoy llamadas y reclamadas Puerto-Ciudad y ausentes de una política de costas que considere la incertidumbre climática.

Torrevieja y Benidorm son dos ejemplos de cómo el desarrollo urbanístico de su suelo ha estrangulado en el primero y coartado en el segundo infraestructuras portuarias y costeras cuya solución impondrá un alto coste por esa falta de previsión.



Figura 1: Puerto de Torrevieja 1956



Figura 2: Puerto de Torrevieja 2025

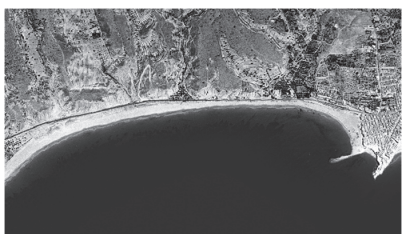


Figura 3: Playa Poniente Benidorm 1956



Figura 4: Playa Poniente Benidorm 2025

Revisaremos en la ponencia el marco histórico y actual de la legislación urbanística en el ámbito portuario y costero, tratando de aprender de errores pasados, con propuestas para evitarlos en el futuro.

Inicio de la Ingeniería de Costas en España: una historia por conocer

José Manuel de la Peña Olivas^a, José María Medina Villaverde^b

^aDr. ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (C/ Bolívar 17, 28045 Madrid)

 impoingenieria@gmail.com.

^bDr. ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Puertos y Costas del

CEDEX (c/ Antonio López. 81 28026 Madrid)  jose.m.medina@cedex.es.

1. Introducción

Antiguamente no se sabía si las costas se erosionaban o no, porque no existía esa sensibilidad y la gente no miraba a las costas a no ser que se viviera del mar y solamente lo hacía con el fin de explotar las riquezas marinas. Pero, con la llegada de la era industrial (siglo XVIII), la situación cambia y la gente buscaba activamente el mar. Solamente cuando se tiene conciencia de que se producen cambios en la costa y que su línea de orilla retrocede, entonces se comienza a plantear por qué sucede. La ingeniería de costas es una evolución lógica de una necesidad en la intervención en la costa alterada su evolución natural debido al ser humano.

2. Inicio de la Ingeniería de Costas

Aunque se ha querido vincular esta disciplina de la ingeniería civil con la portuaria, poco tiene que ver con ella, solamente tienen en comun el medio y agentes marinos. Aparece con ese nombre el el 1º Congreso Internacional de Ingeniería de Costas (ICCE) de 1950. Aunque su actividad para conocer el funcionamiento del litoral había comenzado bastantes años antes en el Reino Unido con la “Royal Commission on Coast Erosion and Afforestation” (1906), que le siguió la creación de la “Beach Erosion Board”(1930) y el uso del conocimiento en la II Guerra Mundial, que desembocaría en el Congreso citado de 1950.

3. Inicio de la ingeniería de costas en España

En España no había comenzado ni la inquietud por la erosión de la costa que entonces no se percibía, ni se estudiaba. El desarrollo técnico del litoral se centraba en los puertos y su entorno más próximo y su enseñanza se hacía en la antigua Escuela de Caminos, Canales y Puertos en la que no existió asignatura de costas, solamente, en los años 70 se comenzó a enseñar.

El referente histórico dado a este campo en España es Ramón Iribarren Cavanilles, que fundaría en el año 1948 el primer laboratorio de puertos del país. Pero, todos sus estudios estaban centrados en un concepto de “ingeniería portuaria”; aunque, dentro de él aparecerían ideas de “ingeniería de costas” muy primitivas y centradas en la aplicación de resoluciones de problemas portuarios y su incidencia sobre la costa. También fue Iribarren, junto a su colaborador Castro Nogales, los primeros españoles en presentar una ponencia a un Congreso Internacional de Costas (ICCE), el tercero en 1952.

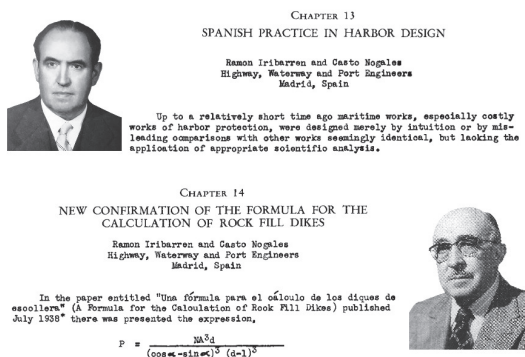


Figura 1: Ponencias de los primeros españoles que presentaron en el ICCE de 1952 (Fuente: <https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/issue/archive>; Fotos: https://everipedia.org/wiki/lang_en/ramon-iribarren-cavanilles, y CEDEX-Romero, 2000)

Aparte de estas dos ponencias excepcionales de su tiempo, el número de ponentes creció de manera generalizada desde la edición 21 ICCE que se celebró en Torremolinos (Málaga, España) en 1988.

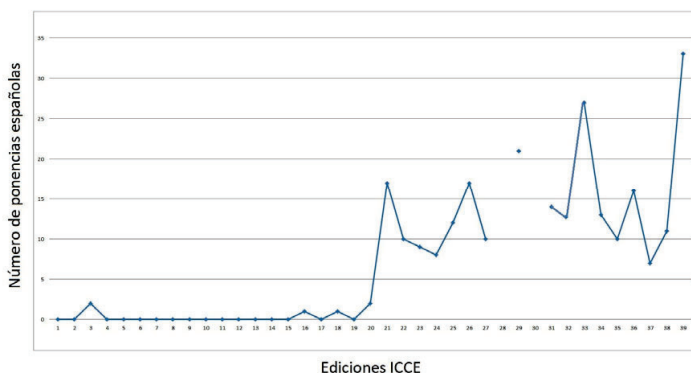


Figura 2 Evolución del número de ponencias españolas del ICCE

Plataforma inteligente AIRADVANCED™-SIGRA para la gestión estratégica de la calidad del aire y el ruido en entornos portuarios

Antonio Segura Morilla^a, Fernando López Santos^b, Roi Arias Salve^c

^aSuez Smart Environmental Solutions Spain, S.L.U., , antonio.segura@suez.com; ^bSINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L., , flopez@sincosur.es y ^cProceso Digital de Audio, S.L., , roiarias@ecudap.com.

1. Introducción

La calidad del aire y el ruido ambiental se han consolidado como dos de los principales factores de preocupación social y regulatoria, situándose de forma recurrente entre las prioridades ambientales identificadas por la European Sea Ports Organisation (ESPO).

La creciente complejidad de los entornos portuarios, caracterizada por la coexistencia de múltiples fuentes emisoras, una elevada variabilidad temporal y una fuerte dependencia de las condiciones meteorológicas, pone de manifiesto las limitaciones de los enfoques tradicionales basados exclusivamente en la medición. En este contexto, las plataformas ambientales inteligentes permiten evolucionar hacia modelos de gestión integrados, en los que la monitorización continua se combina con herramientas avanzadas de análisis y modelización, facilitando una toma de decisiones más eficaz y fundamentada.

Este trabajo presenta el enfoque desarrollado por SUEZ, SINCOSUR y PDAUDIO para la gestión integrada de la calidad del aire y el ruido en entornos portuarios, basado en la plataforma AirAdvanced™ y SIGRA, como herramienta estratégica.

2. Monitorización ambiental integrada en puertos

La experiencia demuestra que la disponibilidad de grandes volúmenes de datos heterogéneos no garantiza por sí sola una mejora en la gestión ambiental. Por este motivo, la monitorización se concibe como un sistema integrado, en el que los datos de calidad del aire y ruido se gestionan de forma conjunta, permitiendo su validación automática, su contextualización y su explotación coherente dentro de una plataforma común.

La plataforma AirAdvanced™ actúa como núcleo de integración y gestión de la información ambiental portuaria. Su diseño modular permite incorporar datos procedentes de redes de calidad del aire, acústicas y meteorológicas, así como otras fuentes externas. Más allá de la visualización en tiempo real, la plataforma incorpora funcionalidades avanzadas de gestión, tales como sistemas automáticos de alertas ante superaciones de umbrales o herramientas de

análisis estadístico que permiten identificar patrones, tendencias y relaciones entre variables ambientales y operativas. Este enfoque refuerza la capacidad de supervisión de las autoridades portuarias y mejora la trazabilidad y transparencia de la información ambiental.

Uno de los elementos diferenciales de AirAdvanced™ es la integración de modelos avanzados de calidad del aire, que permiten evolucionar desde un análisis descriptivo hacia un enfoque predictivo y preventivo. La combinación de datos reales de monitorización con modelos de dispersión atmosférica y herramientas de diagnóstico posibilita la simulación de escenarios operativos, la evaluación del impacto potencial de determinadas actividades portuarias y la identificación del origen de episodios de contaminación.

3. Innovación en la gestión del ruido portuario

La gestión del ruido en entornos portuarios requiere superar enfoques tradicionales basados exclusivamente en campañas de medida y mapas estratégicos estáticos. La integración de la monitorización acústica en la plataforma SIGRA permite abordar el ruido como un fenómeno dinámico, vinculado a la operativa portuaria y a su evolución temporal.

El sistema se apoya en una red de sensores acústicos estratégicamente ubicados, que registran de forma continua parámetros como el nivel sonoro equivalente ponderado A y C (dBA, dBC), percentiles estadísticos (L10, L50 y L90) y variables espectrales. Estos datos alimentan un mapa de ruido dinámico, que permite conocer la realidad acústica de la zona en cada instante para poder estudiar su evolución y generar mapas acústicos para cualquier periodo temporal, desde escalas horarias hasta anuales (exigidos por la normativa vigente).

Este enfoque complementa los mapas estratégicos exigidos por la normativa vigente, aportando una visión evolutiva del comportamiento acústico frente a la representación estática de los estudios convencionales. Adicionalmente, la plataforma integra algoritmos de machine learning desarrollados ad hoc para el reconocimiento de eventos sonoros en tiempo real, de modo que no solo se evalúa la afección en el entorno a partir de los niveles registrados, sino que se identifica qué focos operativos están activos en cada momento e incorpora esta información al modelo dinámico.

Conclusiones

La gestión ambiental integrada en entornos portuarios requiere soluciones que combinen monitorización continua, análisis avanzado de datos y modelización ambiental. Este enfoque refuerza el papel de las autoridades portuarias como actores proactivos en la gobernanza ambiental, transformando los datos ambientales en conocimiento útil para la toma de decisiones, facilitando la anticipación de riesgos y la priorización de medidas de mitigación en un contexto regulatorio y social cada vez más exigente.

LIFE PMFree-Ports: mejora de la calidad del aire y reducción de las emisiones de PM10 y PM2.5 en puertos graneleros

**Vicenta San Félix^a, José María Terrés^b, Susana Pérez^c, Ana Torrente^d, Mark Tanner^e
Mónica Arenales^f**

^aInstituto de Tecnología Cerámica,  0000-0002-3518-6234, vicenta.sanfelix@itc.uji.es;

^bOritia&Boreas, terresnicoli@oritiayboreas.com; ^cPuertos del Estado, sperez@PUERTOS.ES;

^dAutoridad portuaria de Cartagena, ana.torrente@apc.es; ^eFundación Valenciaport, mtanner@fundacion.valenciaport.com; ^fAutoridad portuaria de Gijón, mgarenales@puertogijon.es.

1. Introducción

Los puertos graneleros gestionan grandes cantidades de sólidos a granel, concretamente 700 Mt a nivel europeo y 90Mt a nivel nacional en 2023. Esta gestión implica operaciones de almacenamiento, manipulación y transporte, las cuales son consideradas las principales fuentes de emisiones difusas de PM10 y PM2.5 en estos entornos.

Estas emisiones afectan tanto a la calidad del aire de las propias instalaciones portuarias como a la de los núcleos urbanos más próximos. En este sentido, se considera que más de 7 millones de personas en Europa están expuestas a una mala calidad del aire.

Con el fin de monitorizar el impacto ambiental asociado a la gestión de graneles sólidos, la mayoría de los puertos cuentan actualmente con una red de control y vigilancia de la calidad del aire. En este contexto, la nueva Directiva 2024/2881 establece valores límite más estrictos para PM10 y PM2.5, en línea con las recomendaciones de la OMS. Este nuevo marco legislativo conlleva un nuevo reto ambiental para los puertos graneleros.

El proyecto PMFree-ports pretende ofrecer una solución tecnológica a los puertos graneleros para incorporar la variable medioambiental en la propia operativa del puerto y asegurar una gestión sostenible de los graneles sólidos que minimice el impacto sobre la calidad del aire.

Este proyecto está liderado por el Instituto de Tecnología Cerámica y participan Oritia&Boreas, la Autoridad Portuaria de Gijón, la Autoridad Portuaria de Cartagena, Fundación Valenciaport y Puertos del Estado.

2. Objetivos

El principal objetivo del proyecto LIFE PMFree-Ports es la minimización y control de las emisiones difusas de PM10 y PM2.5 en puertos graneleros mediante la mejora de la precisión de un modelo de predicción de la calidad del aire para entornos portuarios, que permitirá cuantificar el impacto real de este tipo de emisiones en la calidad del aire en puertos y

ciudades próximas, y optimizar la gestión de graneles sólidos desde un punto de vista sostenible. Con el fin de alcanzar este objetivo, es necesario disponer de información de detalle para alimentar al modelo de predicción, como:

- Factores de emisión específicos de PM10 y PM2.5, al menos para las principales operaciones de carga y descarga y para los graneles más significativos.
- Eficacias de las medidas correctoras implementadas para minimizar el impacto de las emisiones difusas de PM10 y PM2.5.
- Protocolos de operatividad ad hoc para los puertos graneleros.

El trabajo planteado se desarrollará en los puertos de Gijón, Cartagena y Valencia. Además se realizará un estudio de replicabilidad en los puertos de Castellón, Tarragona, Algeciras, Brest y Aalborg.

3. Resultados

A continuación, se enumeran los principales resultados del proyecto LIFE PMFree-ports:

- Bases de datos de factores de emisión específicos por material manipulado y operación y de eficacias de medidas correctoras implementadas.
- Herramienta PMFree-Ports, que incorporará un modelo de dispersión de contaminantes de elevada precisión, que permitirá predecir la calidad del aire en entornos portuarios y ciudades en función de la operativa prevista.
- Protocolos de operación para asegurar una gestión sostenible de los sólidos a granel.
- Integración de la herramienta LIFE PMFree-Ports en el Panel de control Ambiental de Puertos existente, con el fin de asegurar una mayor implementación.

Agradecimientos

Este trabajo se realizará en el marco del proyecto LIFE PMFree-ports, financiado por el Programa LIFE 2021 – 2027 de Medio Ambiente y Acción por el Clima de la Unión Europea, con referencia LIFE24-ENV-ES-LIFE-PMFree-Ports/101215539.

Referencias

Eurostat-European Commission <<http://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>> [Consulta: 14 de octubre de 2025].

Directiva (UE) 2024/2881 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2024, sobre la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa. Diario Oficial de la Unión Europea, L, 2024/2881, 20 de noviembre de 2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/ALL/?uri=CELEX:32024L2881>.

MACHSENSE- Sistema de inteligencia artificial para la toma de decisión en el control de las emisiones de partículas difusas en entornos portuarios

Silvia Cosín^a, José Germán Fernández^a, Ales Padró^a, Andrés Simón^a, Sergio Gil^a, Andoni Aranguren^a, María Aróstegi^a, Marjan Savadkoobi^a, Christian Abarca^b, Ferrán Ramia^b, Francisco Jose Alegre Vilar^b

^aTecnalia Research&Innovation, Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia, Astondo Bidea, Edificio 700, 48160 Derio (Bizkaia) (silvia.cosin@tecnalia.com;  jgerman.fernandez@tecnalia.com;  ales.padro@tecnalia.com,  andres.simon@tecnalia.com,  sergio.gil@tecnalia.com,  andoni.aranguren@tecnalia.com,  maria.arostegi@tecnalia.com; marjan.savadkoobi@tecnalia.com)

^bBECSA-Simetria, Innovación y Nuevas Tecnologías, Edificio Simetría. Paseo Buenavista s/n.12100 Grao de Castellón (Castellón) (cabarca@simetriagrupo.com , fjalegre@simetriagrupo.com , framia@simetriagrupo.com)

1. Introducción

La contaminación del aire es una de las principales preocupaciones ambientales en Europa. Por ello, encontrar soluciones para mejorar la calidad del aire es uno de los mayores desafíos para Europa. Tanto es así, el último hito relevante en relación con la calidad del aire a nivel internacional consiste en que en octubre del 2024 el Parlamento Europeo aprobó su posición sobre la propuesta de ley para mejorar la calidad del aire en la UE y garantizar a los ciudadanos un entorno limpio y saludable, estableciendo entre otras cosas nuevos valores límite y objetivos más estrictos para 2030 para varios contaminantes, entre ellos las partículas.

Históricamente, la evaluación de la calidad de aire, se ha realizado mediante dos tecnologías: la monitorización y la utilización de modelos de dispersión. El elevado coste de la sensórica asociada a la monitorización, así como la dependencia de su ubicación física, limita la generación de mapas con las resoluciones espaciales necesarias que exige una labor de monitorización. Además, los modelos de dispersión dependen en gran medida del aporte de datos de emisión sólidos y de unas necesidades de conocimiento y computacionales que hacen que para su ejecución sea necesaria la presencia de personal experto y de tiempos prolongados para la estimación de concentraciones. En los últimos tiempos se han empezado a utilizar métodos de inferencia máquina o Machine Learning para la predicción de contaminantes.

2. Descripción de la solución propuesta

MACHSENSE, un sistema de toma de decisión innovador y disruptivo, permite corregir las deficiencias de los sistemas actuales mediante la fusión de dos técnicas. Por un lado, la sensórica low cost como el medio para la estimación de las emisiones de los distintos focos situados en la zona portuarias, aumentando la resolución espacial de las medidas. Por otro, las técnicas de Inteligencia Artificial y/o Machine Learning permiten suplir/complementar dichas medidas con un concepto novedoso, la sensórica virtual o soft sensing. Dado un data set histórico, consistente en condiciones meteorológicas y emisiones/inmisiones de partículas PM10, un sistema de inferencia máquina es capaz de inferir las relaciones no lineales entre causas (emisiones), medios (condiciones meteorológicas) y efectos (inmisiones). De esta manera, se podría utilizar dicho sistema para dadas unas nuevas condiciones meteorológicas y las condiciones de emisión de partículas PM10 para la misma ubicación y tiempo, estimar sus posibles impactos (inmisiones) sobre otras zonas. En resumen, los sensores medirán las emisiones que se generan en el entorno portuario y la tecnología de Inteligencia Artificial y/o Machine Learning estimará el impacto en las diferentes zonas aledañas como son: población, empresas, etc. Con el cruce de estos datos con las operaciones portuarias que se estuviesen realizando en ese momento (o a modo predictivo), la Autoridad Portuaria (o las empresas situadas en el Puerto) podrán actuar sobre ellas de distintas maneras: dando una alerta, parando una actividad, aplicando las mejores técnicas disponibles (MTD), replanificando la actividad, etc.

Conclusiones

El sistema MACHSENSE contribuye enormemente al control y la minimización del impacto medioambiental de las actividades portuarias con la consiguiente contribución al desarrollo sostenible en Puertos, reduciendo los posibles costes ocasionados por los episodios de contaminación evitando la paralización actividad y las posibles multas asociadas. El sistema supone una innovación con respecto a las técnicas de cuantificación y estimación del impacto utilizadas para este tipo de focos de emisión en el sentido que mejora los métodos de medida y posterior adaptación de estos a estos focos lo cual aporta una mejor resolución espacial, unos resultados aceptables para la toma de decisiones y un ahorro de costes de mantenimiento en equipamiento de referencia. Además de conectar el mundo de control y vigilancia ambiental a nivel de emisiones partículas difusas con el mundo de las operaciones industriales, MACHSENSE supone una mejora de modelos utilizando inteligencia artificial para conectar el mundo físico (actividades y parámetros de medición y tratamiento de datos in situ) con el mundo digital (modelos predictivos y planificaciones de actuaciones). De esta manera se obtendría una planificación de actuaciones diarias y actuaciones en caso de emergencias dentro de entornos complejos alimentada con información real medida.

Elaboración del plan de acción local ante el riesgo de Maremotos en Tarifa

Marcia Carolina Salazar^a, Jurgi Areizaga Casares^a, José Carlos Barragán Rubio^b, Gregorio Gómez Pina^c, José Antonio Aparicio Florido^d

^aTecnoambiente s.l.u., jurgi.areizaga@tecnoambiente.com; mcarsal@gmail.com;

^bAyuntamiento de Tarifa josecarlosbr@aytotarifa.com;

^cCurso de Introducción a la Ingeniería Marítima y de Costas gregoriogpina@yahoo.es

^dInstituto Español para la Prevención de los Desastres aparicioflorido@gmail.com

1. Introducción

Se ha elaborado el Plan de Actuación Local ante el riesgo de Maremotos en Tarifa, de acuerdo con lo establecido en el **Decreto 127/2023, de 12 de junio**, por el que se aprueba *el Plan de Emergencia ante el Riesgo de Maremotos en Andalucía*, en cuyo Anexo se establece la estructura y contenido del mismo.

2. Contenido del plan

El plan, siguiendo lo establecido en la normativa de referencia (Decreto 127/2023), contiene una descripción del ámbito territorial, el análisis de riesgos, la estructura del plan, los medios operativos, las medidas de actuación, la implantación y mantenimiento del plan y el catálogo de medios y recursos.

3. Caracterización del riesgo de maremotos

La fuente principal para la determinación de las zonas potencialmente inundables a causa de un maremoto, son los mapas de inundación del PALMA de Andalucía, realizados empleando el código numérico Tsunami-HySEA, código propio de la Universidad de Málaga (EDANYA Group, Macías et al, 2017, Macías et al, 2020).

Adicionalmente a los mapas de inundación por maremotos elaborados por EDANYA Group, dado el funcionamiento de algunos maremotos especialmente en aguas de transición, los mapas del PALMA de Andalucía se han complementado con los mapas de inundaciones marinas asociadas a la subida del nivel el mar en la costa de Andalucía, desarrollados por el Departamento de Geografía Física y AGR de la Universidad de Sevilla, para la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Combinando los mapas de ambas fuentes se ha determinado la extensión de las zonas inundables por causa de un maremoto en el término municipal de Tarifa. Para cada zona, se han representado las vías de evacuación y puntos de reunión en cada zona (figura 1).



Figura 1. Zona inundable, vías de evacuación y puntos de reunión en el núcleo de Tarifa

4. Aspectos destacables y próximos pasos

- Delimitación detallada de las zonas potencialmente inundables en todas las playas del término municipal, combinando zonas inundables a causa de maremoto como de otras fuentes de inundación marina.
- Revisión de las vías de evacuación y puntos de reunión propuestos en el PALMA de Andalucía, fijando vías y puntos realistas y accesibles, garantizando su disponibilidad en caso de emergencia.
- En la segunda fase del plan se establecerán las señales visuales y auditivas que se colocarán en vías de evacuación y puntos de reunión, indicando tiempos de recorrido etc.

Referencias

Macías, J. Castro, M.J. Ortega, S. Escalante, C. González-Vida, J.M. 2017. Performance Benchmarking of Tsunami-HySEA Model for NTHMP's Inundation Mapping Activities. Pure and Applied Geophysics. ISSN: 1420-9136, 0033-4553

Macías, J. Castro, M.J., Escalante, C. 2020. Performance assessment of the Tsunami-HySEA model for NTHMP tsunami currents benchmarking. Laboratory data. Coastal Engineering Volume 158, June 2020, 103667.

IH-TSUSY: Del registro histórico a la decisión inteligente en las alertas por tsunami

David Galán Pérez^a, Albert Gallego^a, Iñigo Aniel-Quiroga^b, Ignacio Aguirre Ayerbe^a, Luis Pedraz^a, Omar Gutiérrez^a, Mauricio González^a, Sergio Padilla^a

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain.

 galand@unican.es;  gallegoa@unican.es;  aguirrei@unican.es;  pedrazl@unican.es; 
omar.gutierrez@unican.es;  gonzalere@unican.es;  padillas@unican.es

^b IDOM, Consulting, Engineering, Architecture – Avda. Zarandoa 23, 48015, Bilbao, Bizkaia. 
inigoquiroga@gmail.com

1. Introducción

En los sistemas de alerta temprana por tsunami, la decisión inicial se toma con información limitada en los primeros minutos tras un terremoto. Los criterios operacionales suelen ser conservadores para minimizar falsos negativos, pero pueden aumentar los falsos positivos (alertas sin tsunami relevante), con impactos en la operatividad y la confianza del sistema.

IH-TSUSY es un sistema avanzado de simulación numérica de tsunamis en tiempo real que estima alturas de ola y tiempos de viaje a partir de parámetros registrados del terremoto. Esta arquitectura, presentada previamente por Aniel-Quiroga et al. (2022), permitió trasladar la simulación a un entorno operacional accesible (web y móvil). En esta contribución se presenta una nueva versión de IH-TSUSY que integra una metodología de IA basada en redes neuronales para reforzar la decisión temprana y reducir falsos positivos sin perder robustez, clasificando automáticamente el potencial tsunamigénico del evento y priorizando la activación del sistema solo cuando procede.

2. Metodología

La mejora presentada incorpora un módulo de decisión basado en redes neuronales entrenado a partir de una base de datos global de terremotos históricos y simulaciones numéricas de tsunami (TSUSY Database). Esta base se construye a partir de registros sísmicos globales y se valida frente a catálogos históricos de tsunamis. A partir de las simulaciones se define un criterio objetivo de ocurrencia de tsunami mediante un umbral estadístico basado en la altura máxima de ola simulada a escala del evento, generando un conjunto de datos etiquetado “tsunami/no tsunami”. Este etiquetado permite entrenar un modelo que aprende la relación entre los parámetros sísmicos del evento (magnitud, profundidad y características de la fuente/mecanismo) y clasifica la ocurrencia de tsunami de forma binaria.

3. Resultados

La incorporación del módulo de IA mejora la fase inicial de activación del sistema al reducir falsos positivos, evitando la simulación completa en eventos que, según el criterio objetivo basado en simulaciones, no generan tsunami. Los eventos clasificados como potencialmente tsunamigénicos activan automáticamente la simulación numérica en GPU (Tsunami-HySEA), y los resultados (alturas máximas de ola y tiempos de llegada) se incorporan al catálogo de IH-TSUSY y se publican a través de una interfaz multidispositivo accesible mediante aplicaciones web y móvil (Fig. 1).

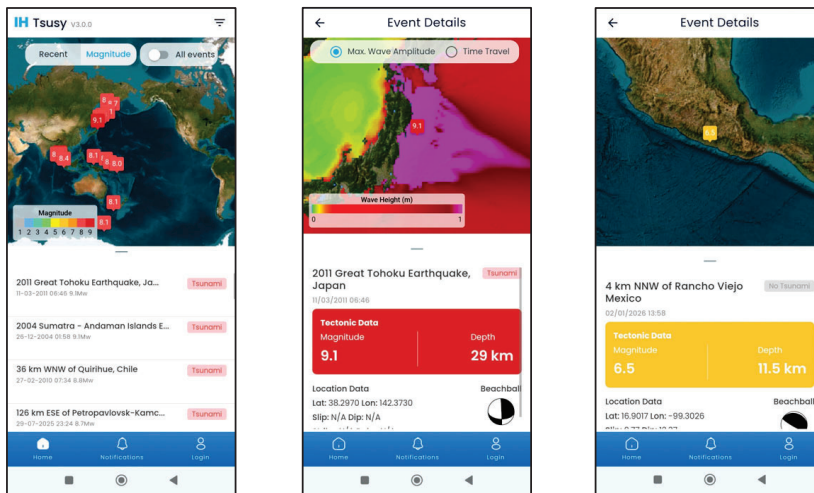


Fig. 1. Capturas de pantalla de la versión móvil actualizada de IH-TSUSY

Agradecimientos

Este estudio se enmarca en el programa ThinkInAzul, financiado por el MCIU con fondos NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y por la Comunidad Autónoma de Cantabria. Asimismo, forma parte del proyecto TSUPORT (Riesgo de tsunamis en puertos), financiado por el MCIU, la AEI y FEDER (Grant 10.13039/501100011033). Este trabajo ha contado además con apoyo de EPOS para la actualización de la versión móvil. Se agradece al equipo de IT de IHCantabria la implementación de las mejoras en la interfaz de IH-TSUSY.

Referencias

ANIEL-QUIROGA, I. (2022). "IH-TSUSY: Un sistema avanzado de simulación numérica de tsunamis en tiempo real" en XVI Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Vigo. Editorial Universitat Politècnica de València, ISBN: 978-84-1396-000-5. Páginas 147-148.

Fortaleciendo la preparación frente a tsunamis de las comunidades costeras españolas: implementación del Programa de Reconocimiento Tsunami Ready de la COI-UNESCO

Ignacio Aguirre-Ayerbe^a, Mauricio González Rodríguez^a, María Merino^a, Francisco Javier Castro Camacho^b, Sergio Padilla Álvarez^a, David Galán^a, Juan V. Cantavella^c, María Esther de Castro Arriba^d, José M. Calvo Hurtado^e, M. Dolores Jiménez^f

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain.  ignacio.aguirre@unican.es;  mauricio.gonzalez@unican.es;  maria.merino@unican.es;  sergio.padilla@unican.es;  david.galan@unican.es. ^b Ayuntamiento de Chipiona, Cádiz, Spain. fjcastrocamacho@aytochipiona.es; ^c Instituto Geográfico Nacional (IGN). Ministerios de Transportes y Movilidad Sostenible, Madrid, Spain.  vcantavella@transportes.gob.es. ^d Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior. medecastro@proteccioncivil.es. ^e Ayuntamiento de Cádiz, Cádiz, Spain. josem.calvohurtado@cadiz.es. ^f Dirección General de Emergencias y Protección Civil, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain.

Los tsunamis son fenómenos naturales de baja probabilidad pero de gran intensidad, capaces de generar impactos devastadores en comunidades costeras. Su ocurrencia no puede preverse hasta que se detecta el mecanismo desencadenante y, una vez iniciado, el tiempo disponible para reaccionar puede ser muy limitado, especialmente en las zonas cercanas a la fuente. Por estas características, los tsunamis constituyen riesgos de desastre intensivo que requieren estrategias de preparación prospectivas, basadas en la planificación anticipada, la eficacia de los sistemas de detección y difusión de alertas, la coordinación interinstitucional y la concienciación comunitaria, con el objetivo de proteger vidas y reducir pérdidas potenciales.

La implementación del Programa de Reconocimiento *Tsunami Ready* (TRRP) de la COI-UNESCO, cuyo objetivo principal es fortalecer la preparación de las comunidades costeras que se enfrentan al riesgo de tsunamis, se articula mediante un enfoque estructurado en torno a un conjunto de 12 indicadores clave. Estos abarcan la evaluación de la peligrosidad y el entendimiento del riesgo existente, así como la preparación y la capacidad de respuesta de las comunidades que lo implementan (IOC-UNESCO, 2022).

En España, la implementación del programa TRRP se inició en Chipiona (Cádiz), que fue reconocida por la COI de la UNESCO en junio de 2024 como el primer municipio español *Tsunami Ready* (UNESCO, 2024), siendo uno de los 5 primeros en toda la región NEAM (Atlántico nordeste, Mediterráneo y mares adyacentes). Durante el proceso estuvieron involucrados de forma activa los actores clave en la gestión del riesgo por tsunami a nivel nacional, autonómico y municipal, lo que favoreció e impulsó la comunicación y coordinación interinstitucional. Posteriormente, el programa se está implementando en el municipio de Cádiz, ampliando la adecuación del programa a un entorno urbano más complejo, incorporando un enfoque probabilístico en el análisis de la peligrosidad por tsunami, el refuerzo del proceso de toma de decisiones participativo basado en la ciencia (Aguirre-Ayerbe et al., 2025) y el establecimiento de diálogos con los principales actores y

usuarios involucrados en la planificación y gestión del riesgo costero a nivel nacional e internacional (Daskalaki et al., 2025).

La gobernanza es un aspecto determinante para el éxito del programa. Su implementación debe integrarse en el marco legal y operativo existente en el país, contribuir a la coordinación entre instituciones a todos los niveles, incluir la participación comunitaria y el liderazgo local. Este enfoque garantiza, por un lado, que las acciones de preparación se ajusten a las responsabilidades y competencias de cada nivel de gobierno y, por otro, que el programa sea apropiado y asumido a nivel local.

En conjunto, la experiencia de implementación del programa Tsunami Ready en España pone de manifiesto que la preparación frente a tsunamis debe afrontarse de forma integral, basándose en la combinación de conocimiento científico, procesos participativos, coordinación interadministrativa y una concienciación sostenida de la población. Además, esta experiencia sugiere que las políticas de preparación refuerzan la seguridad percibida y la confianza de la comunidad, contribuyendo a mejorar la capacidad de respuesta. En este sentido, el marco del TRRP se consolida como una herramienta eficaz para fortalecer la resiliencia comunitaria frente al riesgo de tsunami, siempre que su aplicación sea adaptativa, contextualizada, periódicamente actualizada y respaldada por un compromiso institucional continuado.

Agradecimientos

Agradecemos a los Ayuntamientos de Chipiona y Cádiz, a todas las personas que asistieron y aportaron en los talleres participativos, a la DG ECHO de la UE por la financiación, a UNESCO/COI por la coordinación de los proyectos CoastWAVE y CoastWAVE 2.0, y al equipo del INGV por su apoyo en la evaluación probabilística de peligrosidad de tsunami (S-PTHA).

Referencias

- Aguirre-Ayerbe, I., Galán Pérez, D., Merino, M., & González Rodríguez, E. (2025). "Tsunami Hazard Map for Cádiz (Spain) derived from a Local-Scale Probabilistic Tsunami Hazard Assessment (S-PTHA) and Science-Based Participatory Decision-Making". IHCantabria. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17432571>.
- Daskalaki, E., Aguirre Ayerbe, I., Baptista, M. A., Amato, A., Cambaz, M. D., Charalampakis, M., Cugliari, L., El-Gharabawy, S. M., Hamouda, A., Hebert, H., Kalligeris, N., Cantavella Nadal, J. V., Meral Özel, N., Péroche, M., and Yalciner, A. C (2025). "Recent Developments in Tsunami Preparedness in the Northeast Atlantic and Mediterranean Region: Challenges, Strengths, and Weaknesses"- EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-16032, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-16032>.
- IOC-UNESCO (2022). "Standard Guidelines for the Tsunami Ready Recognition Programme (IOC Manuals and Guides No. 74)." París, Francia: UNESCO. DOI:10.25607/OBP-1845
- IOC-UNESCO (2022-2024). EU DGECHO IOC UNESCO CoastWave Project. "Strengthening Tsunami Preparedness in the North-Eastern Atlantic and Mediterranean Regions."
- UNESCO (2024). Chipiona honoured as Spain's first UNESCO-IOC Tsunami Ready Recognized City. UNESCO. ([link](#)).

Dique de abrigo flotante en el Puerto de Ibiza. Primer éxito de esta nueva tipología

Rafael Torres Samper^a, Juan Miguel Mazón García^b, Juan Carlos Lancha Fernández^c

^aneos maritime consulting S.L.  rafael.torres@neos-mc.com

^bneos maritime consulting S.L.  juanmiguel.mazon@neos-mc.com

^cneos maritime consulting S.L.  juancarlos.lancha@neos-mc.com

1. Introducción

Los diques de abrigo flotantes constituyen una tipología que puede ser una solución competitiva económicamente frente a las soluciones convencionales apoyadas en el fondo o incluso, en ocasiones, puede ser la única alternativa viable. La profundidad del fondo marino, la sensibilidad ambiental de los fondos y dársenas, la no disponibilidad de los materiales de cantera necesarios, o, incluso, la necesidad de recurrir a soluciones desmontables o removibles, son factores que pueden resultar determinantes en favor de esta tipología.

Hasta hace muy pocos años el estado del conocimiento no permitía realizar predicciones suficientemente precisas acerca del comportamiento de estas estructuras sometidas al oleaje, tanto desde el punto de vista hidrodinámico, acoplado el comportamiento del fluido y el dique en un mismo lenguaje, como desde el punto de vista del comportamiento mecánico de la propia estructura.

En los últimos tiempos ha proliferado la investigación sobre estos elementos, así como de su capacidad de atenuación para las diferentes incidencias de oleaje y condiciones de contorno previsibles en el lugar donde se pretenden implantar. Fruto de esas investigaciones, se dispone ya, desde 2020, de tecnología y conocimiento suficiente como para poder analizarlo mediante modelo matemático, validado en laboratorio en modelo físico, con unos tiempos de computación aceptables y con absoluta fiabilidad y precisión.

Faltaba únicamente un único y definitivo paso más, que es la construcción y la puesta en servicio de una actuación concreta de esta tipología.

En junio de 2022, la Autoridad Portuaria de Baleares convoca un concurso para la gestión de una instalación náutica que tenía serios problemas de agitación, permitiendo a los ofertantes la propuesta de una solución a dichos problemas de agitación. En marzo de 2024, el concurso es adjudicado a la empresa Puertos y Litorales Sostenibles S.L., cuya propuesta técnica incluye la implantación de un dique de abrigo flotante de 145 m de longitud, 8 m de ancho y 2,75 m de altura, diseñado y calculado por **NEOS MARITIME CONSULTING S.L.** Dique que es el resultado de la aplicación de esta nueva tecnología de diseño y cálculo desarrollada y que supone la primera aplicación práctica de la misma.

2. Aspectos esenciales

En la presente comunicación se describe someramente los aspectos esenciales del diseño, cálculo y construcción de este dique de abrigo flotante, pionero en esta tecnología, abordando las siguientes cuestiones:

- Necesidad de abrigo de la marina
- Requisitos técnicos
- Planteamiento general de la solución de un dique flotante
- Condicionantes de diseño específicos de este caso
- Construcción
- Botadura, remolque e instalación
- Puesta en servicio



Fig. 1. Construcción, botadura, remolque y colocación del dique flotante

Ejecución de foso shiplift para megayates mediante cimentaciones profundas

**G. Argente Garrido^a, M. Figueres Moreno^a, F. Martínez Castellá^a, C. Cortés Taberner^a,
A. Pérez Bardal^a, J.M. Garrido Checa^a**

^aIngeomar (IGM): gargente@ingeomar.es, mfigueres@ingeomar.es, fmartinez@ingeomar.es,
ccortes@ingeomar.es, aperez@ingeomar.es y jgarrido@ingeomar.es

1. Introducción y criterios de proyecto

El Proyecto se desarrolla dentro del entorno del Puerto de Sagunto, y tiene como finalidad aumentar la capacidad de las instalaciones de varada para la reparación y mantenimiento de megayates mediante la construcción de un foso shiplift de última generación, diseñado para el izado de embarcaciones de hasta 100 m de eslora, 20 m de manga y 4000 t de desplazamiento máximo.

La plataforma elevadora presenta un recorrido desde la cota de transferencia +3,60 m y la cota -12,50 m, requiriéndose la ejecución de un foso hasta -13 m de profundidad. El sistema de elevación está formado por un total de 28 maquinillas, 14 en cada lado de la plataforma, separadas 7,5 m, y con una capacidad de carga nominal de hasta 375 t por unidad. El sistema de transferencia para el traslado de embarcaciones hacia la explanada se realiza mediante equipos modulares tipo SPMT (*Self-Propelled Modular Transporter*) de 6 ejes y 48 t por eje.

El diseño de la solución, desarrollado por INGEOMAR, integra los condicionantes operativos de la terminal ajustándose a la normativa ROM, al Código Estructural y a los Eurocódigos, estableciendo como criterios básicos la adecuada transmisión de cargas al terreno, el control de deformaciones y la garantía de estabilidad y durabilidad de la infraestructura en ambiente marítimo.

2. Solución propuesta

La solución estructural adoptada consiste en dos vigas principales de 7,95 m de ancho, 103 m de longitud y 2,00 m de canto, con cota superior +3,60 m, cimentadas cada una sobre 42 pilotes de 31,60 m de longitud y cota en punta -30,00 m. En cada viga se disponen 28 pilotes delanteros en sistema doble, de 1.800 mm de diámetro y separación 5 m, y 14 pilotes traseros de 1.000 mm de diámetro separados 7,50 m. Ambas vigas se vinculan rígidamente mediante una viga de transferencia de las cargas desde la plataforma elevadora hasta la explanada o zona de varada, presentando una forma de U en planta.

El sistema de contención de tierras del foso se resuelve mediante pantallas laterales de tablestacas profundas tipo AZ 52-700 hasta una cota de hinca de -26,00 m atirantadas mediante anclajes inclinados tipo ASDO M80-60 a una pantalla trasera de tablestacas tipo AZ 28-700 y 9,20 m de longitud. Transversalmente, las tablestacas se unen a una pantalla tipo combi-wall formada por tubos huecos 1524 x 18 mm espaciados 3,19 m entre ejes e hincados hasta la cota -30,00 m, entre los que se disponen tablestacas AZ 25-800 hincadas hasta una cota de -18,00 m. La pantalla combi-wall queda embebida 1,00 m dentro de la viga de transferencia del foso formando constituyendo el cierre del recinto y aumentando la resistencia frente a las cargas verticales transmitidas en la zona de salida y entrada al foso.

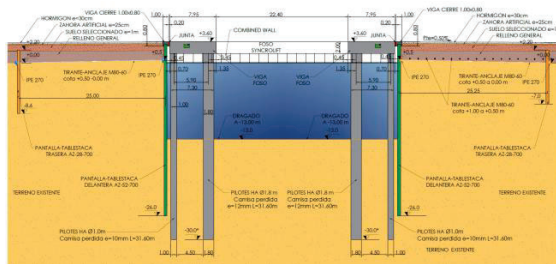


Fig. 1 Sección tipo del foso Shiplift y sistema de contención del terreno

Para la verificación de los modos de fallo geotécnicos (GEO) en combinaciones de Estado Límite Último (ELU) y el dimensionamiento estructural (STR) de tablestacas, pantalla combi-wall y tirantes, se emplean modelos de cada una de las secciones del foso en PLAXIS 2D. El modelo permite analizar la interacción suelo-estructura entre pilotes, viga foso, pantallas de tablestacas y terreno, considerando las cargas de diseño en fase de servicio.

La viga foso se dispone estructuralmente independiente de las pantallas laterales de tablestacas, pero solidaria a la pantalla combi-wall en la alineación de cierre, produciendo un efecto 3D que se modeliza mediante SAP2000 capaz de considerar estas restricciones en apoyos y pilotes, permitiendo obtener los esfuerzos de cálculo resultantes sobre la viga.

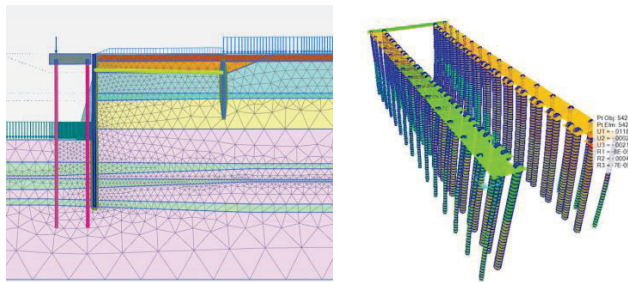


Fig. 2 Modelización sección foso en PLAXIS 2D (izq.) y modelo viga 3D en SAP2000 (der.)

Proceso constructivo innovador de los puentes de acceso al muelle para embarcaciones de grandes esloras en el Puerto de Melilla

Francisco Javier Martínez López^a, Claudia Carnicer Novillo^b, Manuel Biedma García^c

aAcciona Ingeniería,  franciscojavier.martinez.lopez@acciona.com

bAcciona Ingeniería,  ccarnicer@acciona.com

cAcciona Ingeniería,  manuel.biedma.garcia@acciona.com

1. Introducción

El proyecto del "Muelle para Embarcaciones de Grandes Esloras en el Puerto de Melilla" presenta un desafío singular en la ingeniería portuaria: la conexión eficiente y estética entre el morro del dique existente y los nuevos cajones marinos. Esta ponencia detalla la solución adoptada para la ejecución de los dos puentes de acceso gemelos (Puente A y B) diseñados para soportar tráfico rodado y peatonal, así como la red de instalaciones portuarias. El aspecto más relevante de esta obra reside en su audaz proceso constructivo, el cual priorizó la seguridad y la logística marina mediante un sistema de lanzamiento combinado de la estructura metálica, minimizando las operaciones complejas sobre la lámina de agua.

2. Descripción de los puentes

La solución estructural consiste en dos vanos isostáticos gemelos de 48,6 m de luz cada uno, con una tipología de tablero mixto hormigón-acero. Estructuralmente, se definen mediante dos celosías longitudinales laterales tipo Warren modificado, sección *pony-truss* de tablero inferior. La singularidad del diseño formal radica en la geometría de estas celosías, tan presentes en los puentes de la ciudad, y que conforman parte de la historia de la ingeniería civil y de la personalidad estructural y arquitectónica de la misma. Además, los planos que las contienen presentan una inclinación de 10° hacia el interior de la sección, evocando elementos arquitectónicos de Melilla (puertas históricas, ventanas de edificios que la representan, etc.), diseñadas como puertas de entrada y de salida de la ciudad que comunican el puerto con la misma.

Además, se optimiza el espacio para alojar conductos de instalaciones en los pasillos laterales y en el interior de los cordones inferiores. El tablero soporta una losa de hormigón de 25 cm de espesor sobre la que discurre el tráfico, confinada entre las celosías metálicas que actúan como elementos principales de rigidez, con un ancho entre ejes inferiores de 11,4 m.

3. Proceso constructivo innovador: lanzamiento combinado

El punto focal de la ejecución es el montaje de los tableros metálicos. Dados los muy restrictivos condicionantes asociados a la ubicación del emplazamiento marino definitivo y la necesidad de precisión, se descartó el montaje directo sobre el agua en favor de una maniobra de lanzamiento longitudinal.

- *Ensamblaje y Estructura Auxiliar*: el montaje de la estructura metálica se realiza sobre los cajones portuarios que forman parte de este mismo proyecto, una vez han sido parcialmente ejecutados. La innovación clave es la unión temporal de los dos tableros de acero mediante un tramo de estructura metálica auxiliar. Este elemento intermedio permite transformar dos vanos isostáticos independientes en una única viga continua temporal, posibilitando el lanzamiento completo de la estructura salvando los vanos de proyecto hasta alcanzar su posición en planta definitiva.

- *Maniobra de Lanzamiento Combinado*: la estructura unida se lanza horizontalmente sobre apoyos provisionales, de forma *clásica*. Esta fase crítica exige un estricto control de las acciones climáticas, limitando la operación a ventanas meteorológicas con velocidades de viento reducidas y gestionando los movimientos y los esfuerzos del conjunto lanzado mediante sistemas de empuje y retenida específicos. Se ha de prestar especial atención a la comprobación de las cargas concentradas en los cordones inferiores durante las fases de voladizo sobre los apoyos provisionales.

- *Posicionamiento Final*: una vez la estructura continua alcanza su posición longitudinal definitiva, se procede al desmontaje del tramo auxiliar y a la separación de los tableros metálicos. Finalmente, se ejecuta el descenso controlado, o gateo inverso, de ambos tramos para depositar la estructura metálica sobre sus aparatos de apoyo definitivos tipo pot, completando así la conexión estructural con los cajones y la cimentación profunda que componen la subestructura.

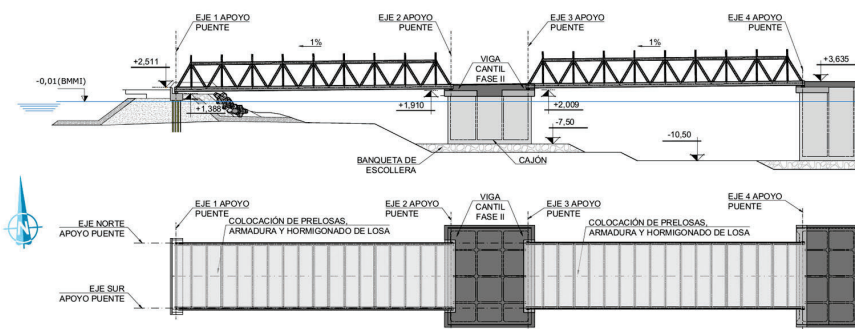


Fig. 1 Posición definitiva de los tableros. Fuente: Acciona Ingeniería (2025)

Fallo por fatiga en líneas de fondeo de estructuras marinas flotantes y análisis en el dominio de la frecuencia

Alejandro Cebada-Relea^a, Eguzkiñe Martínez^b, Mario López-Gallego^c, Íñigo Llavori^d,
Miguel Muñoz-Calvente^e, Makel Peñalba Retes^f, Manuel Aenlle^g

^aDpto. de Construcción e Ing. de Fabricación, grupo DyMaSt, Universidad de Oviedo, , cebadaalejandros@uniovi.es; ^bDpto. de Mecánica y Producción Industrial, Mondragon Unibertsitatea, , emartinezp@mondragon.edu; ^cDpto. de Construcción e Ing. de Fabricación, Grupo DyMaSt y centro CUIDA, Universidad de Oviedo, , mario.lopez@uniovi.es; ^dDpto. de Mecánica y Producción Industrial, Mondragon Unibertsitatea, , illavori@mondragon.edu; ^eDpto. de Construcción e Ing. de Fabricación y grupo DyMaSt, , munizcmiguel@uniovi.es; ^fDpto. de Mecánica y Producción Industrial, Mondragon Unibertsitatea, , mpenalba@mondragon.edu; ^gDpto. de Construcción e Ing. de Fabricación y grupo DyMaSt y, Universidad de Oviedo, , aenlle@uniovi.es.

Resumen

La operación de cualquier estructura flotante depende, en muchos casos, de la integridad de su sistema de fondeo, siendo el daño acumulado por fatiga su principal condicionante (Gemilang *et al.*, 2021). Tradicionalmente, el diseño del sistema de fondeo se realizaba para condiciones de carga extremas, relegando la comprobación por fatiga a un segundo plano debido a su complejidad y el elevado volumen de cálculos.

La metodología de análisis a fatiga más extendida aplica el algoritmo Rainflow a las series temporales de tensión en las líneas de fondeo, $\sigma(t)$. Estas, se obtienen a través de la simulación hidrodinámica en el dominio del tiempo de la estructura bajo diferentes estados de mar, definidos por su altura significativa (H_s), periodo de pico (T_p) y dirección de procedencia (θ). Estas simulaciones hidrodinámicas son muy costosas computacionalmente. Además, la discretización del clima marítimo en estados de mar debe ser suficientemente refinada y cada estado de mar debe simularse decenas de veces con diferentes fases aleatorias. Todo ello conlleva miles de simulaciones y tiempos totales de cálculo prohibitivos, lo que motiva el desarrollo e investigación de procedimientos alternativos de verificación.

Se proponen dos metodologías (A y B) para el cálculo a fatiga de líneas de fondeo. Ambas utilizan métodos frecuenciales para la obtención del daño acumulado a partir del espectro de tensiones, $S_w(\omega)$. Cada una se aplicó a dos casos de estudio, a los que también se aplicó la metodología basada en Rainflow para comparar los resultados. Los casos de estudio fueron: (I) un dique modular flotante con líneas de fondeo elásticas en las condiciones de oleaje de la ría de Vigo (Pontevedra, NO España) y (II) un convertidor de energía del oleaje con catenarias en las condiciones de oleaje de BIMEP (Bizkaia, N España).

Fallo por fatiga en líneas de fondeo de estructuras marinas flotantes y análisis en el dominio de la frecuencia

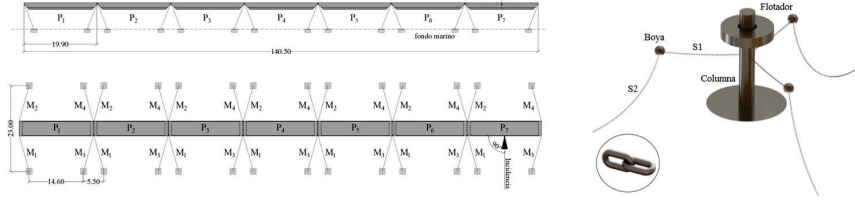


Fig. 1 Alzado y planta del dique flotante, con P_i y M_i el módulo y la línea de fondeo, respectivamente (izq.) y conversor del oleaje RM3 y sus catenarias de fondeo con flotador intermedio (dcha.)

La Metodología A consiste en obtener una función de transferencia en el dominio de la frecuencia (ω) característica de cada línea de fondeo y dirección de incidencia del oleaje (θ):

$$H^2(\omega) = \frac{S_\sigma(\omega)}{S_w(\omega)}, \quad (1)$$

donde $S_w(\omega)$ es el espectro del oleaje para una θ dada. Esta función se obtiene de la simulación de la estructura frente a un espectro de oleaje blanco. Obtenida $H^2(\omega)$ para diferentes direcciones de incidencia y, asumiendo una respuesta lineal, se obtienen rápidamente los espectros de tensión para múltiples estados de mar (Cebada-Relea et al., 2025).

La Metodología B está basada en la selección mediante *clustering* de los estados de mar más representativos (Martínez-Perurena et al., 2025) para su simulación, reduciendo así los tiempos computacionales totales. En concreto, se aplica el algoritmo *K-means*, que reparte el conjunto de datos en un número predefinido de clústeres:

$$\min_{\mu_k} \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2, \quad (2)$$

donde $x_i = (H_s, T_p, \theta)_i$ es el vector de variables que define el estado de mar i -ésimo, C_k denota el conjunto de estados asignados al clúster k y μ_k representa el centroide asociado.

Referencias

- CEBADA-RELEA, A.J., LÓPEZ, M., AENLLE, M. (2025). "Fatigue damage in wire rope connections of modular floating breakwater arrays: A combined time- and frequency-domain approach" en *Engineering Structures* vol. 344, p.121313.
- GEMILANG, G.M., REED, P.A.S. y SOBEY, A.J. (2021). "Low-cycle fatigue assessment of offshore mooring chains under service loading" en *Marine Structures*, vol. 76, p. 102892.
- MARTÍNEZ-PERURENA, A., MARTÍNEZ-PUENTE, E., LLAVORI, I., PENALBA, M., IGLESIAS, G. (2025). "On the Reduction of Design Load Cases for Fatigue Assessment of Mooring Lines for Offshore Renewable Energy Systems". En: *Proc. of the Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering 2025 (OMAE2025)*, Livingston, NJ (EEUU): The American Society of Mechanical Engineers, p. 157263.

HYDROSTORE: solución integrada basada en plataformas eólicas flotantes para la generación y almacenamiento de hidrógeno verde offshore

Diego Mateos Rodríguez^a, Gonzalo Berenguer^b y Javier Berenguer^c

^aBerthing Maritime Consulting, dmateos@berthing.es; ^bBerenguer Ingenieros, gonzaloberenguer@beringenieros.es; y ^cBeridi, javierberenguer@beringenieros.es.

1. Introducción

La energía eólica marina flotante es un elemento clave de la transición energética en zonas con alto recurso eólico y grandes profundidades. Sin embargo, en escenarios de gran distancia a costa o elevada profundidad, surgen retos asociados a la evacuación eléctrica y a la gestión de la energía producida, lo que impulsa el desarrollo de soluciones complementarias de conversión y almacenamiento offshore. En este contexto, el hidrógeno verde se consolida como un vector estratégico para el almacenamiento de energía renovable y la descarbonización de sectores como el transporte marítimo y las actividades portuarias.

El proyecto **HYDROSTORE** plantea una solución innovadora basada en una plataforma flotante multifuncional que integra generación eólica offshore, producción in situ de hidrógeno verde mediante electrólisis y su almacenamiento temporal. Este enfoque reduce la dependencia de cables submarinos y aumenta la flexibilidad operativa del sistema energético offshore. El concepto se materializa en la plataforma **TRIWIND-HEX**, una estructura flotante de hormigón de geometría hexagonal diseñada por BERIDI. Desde la perspectiva de la ingeniería de costas y puertos, el proyecto abre nuevos escenarios de interacción entre plataformas offshore y puertos como nodos logísticos del hidrógeno.

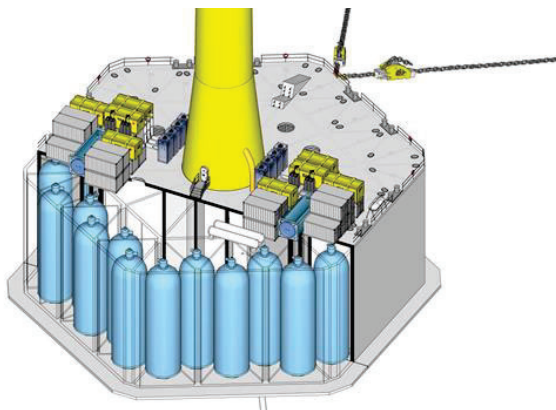


Fig. 1 Plataforma HYDROSTORE. Modelo 3D. Fuente: Beridi (2024)

HYDROSTORE: solución integrada basada en plataformas eólicas flotantes para la generación y almacenamiento de hidrógeno verde offshore

El trabajo se desarrolla por un consorcio liderado por **Berenguer Ingenieros** e integrado por Beridi, CTC, IDESA TRC, LEADING, Astander y Berthing Maritime Consulting, que aportan capacidades complementarias en ingeniería, I+D, fabricación y operación marítima.

2. Metodología

La metodología del proyecto se basa en un enfoque multidisciplinar que combina ingeniería marítima, naval, industrial, estructural y energética. En primer lugar, se desarrolla el diseño conceptual de la plataforma flotante, analizando su estabilidad, comportamiento hidrodinámico y respuesta frente a las acciones ambientales propias del entorno offshore.

Posteriormente, se estudia la integración de los sistemas de electrólisis y almacenamiento de hidrógeno en la plataforma, evaluando diferentes soluciones de almacenamiento, tanto en celdas internas de hormigón como mediante tanques de alta presión. El análisis considera criterios de seguridad, compatibilidad estructural, eficiencia y operatividad en ambiente marino, incluyendo la identificación de escenarios operativos y accidentales. La metodología incluye asimismo el desarrollo y validación de materiales y recubrimientos destinados a mejorar la estanqueidad y durabilidad de los sistemas de almacenamiento frente a la permeabilidad del hidrógeno. Finalmente, se realizan análisis tecnoeconómicos comparativos con soluciones convencionales, evaluando costes, escalabilidad y potencial de replicabilidad.

3. Resultados esperados

Se espera validar la viabilidad técnica de una plataforma flotante integrada capaz de producir y almacenar hidrógeno verde en entornos offshore, manteniendo niveles adecuados de seguridad, robustez estructural y comportamiento hidrodinámico. El proyecto permitirá cuantificar las ventajas de convertir la energía eólica marina en hidrógeno in situ, reduciendo la necesidad de evacuación eléctrica y mejorando la flexibilidad del sistema. Los resultados proporcionarán criterios técnicos para la integración de estas plataformas con infraestructuras portuarias, facilitando el desarrollo de nuevos modelos logísticos asociados al hidrógeno verde y su aplicación en la descarbonización de servicios portuarios y marítimos.

Conclusiones

HYDROSTORE propone un modelo innovador de infraestructura energética offshore que integra generación eólica, producción y almacenamiento de hidrógeno verde en una única plataforma flotante. Este enfoque permite abordar de forma conjunta los retos técnicos y económicos asociados a la evacuación de energía y a la variabilidad del recurso renovable. El proyecto posiciona a los puertos como elementos clave en la futura cadena de valor del hidrógeno. Los resultados de HYDROSTORE sientan las bases para el desarrollo de sistemas energéticos marinos más flexibles, sostenibles y replicables.

Diseño de lagunas de olas para surf con tecnología Wavegarden

Pablo Rodríguez^a, Alberto García^b

^aTYPSA; ppalmeiro@typsa.es; ^bTYPSA; agarcia@typsa.es .

1. Introducción

En la última década, las lagunas de olas artificiales para la práctica del surf se han consolidado como una nueva tipología de infraestructura recreativa que presenta retos técnicos propios de la ingeniería de costas. Los procesos físicos asociados a la generación, propagación, transformación y disipación del oleaje reproducen, a escala controlada, fenómenos característicos del medio marítimo, lo que implica aplicar criterios de diseño habituales en obras costeras y portuarias.

En este contexto, TYPSA ha participado en diversos proyectos de lagunas de olas desarrolladas con tecnología Wavegarden, tanto en España como internacionalmente, aportando su experiencia en ingeniería civil y marítima tanto en fases iniciales de viabilidad como en el diseño y la asistencia técnica durante la construcción.

El diseño realizado por TYPSA abarca todos los ámbitos de la obra (movimiento de tierras, diseño estructural, diseño geotécnico, eléctrico, comunicaciones y control, tratamiento de agua, etc.). Esta ponencia se enfoca en los aspectos más relacionados con la ingeniería de costas y portuaria.



Fig. 1 Surf Park Beyond (São Paulo). Fuente: Beyond the Club (2025)

2. Diseño civil y batimetría de la laguna

La laguna de olas constituye el elemento central de este tipo de proyectos y su diseño geométrico está fuertemente condicionado por los requisitos hidrodinámicos del sistema de generación de oleaje. La geometría en planta y alzado responde a criterios estrictamente funcionales relacionados con la propagación del frente de ola, la localización de la rotura y la disipación progresiva de la energía, evitando reflexiones no deseadas y zonas de interferencia.

Desde el punto de vista de la ingeniería civil, estos condicionantes se traducen en la necesidad de ejecutar fondos y taludes con tolerancias geométricas muy ajustadas para que se cumplan los objetivos de calidad de la ola. En estos proyectos, TYPESA integra los requisitos hidrodinámicos de Wavegarden como proveedor tecnológico con criterios de estabilidad estructural, constructibilidad y durabilidad.

La definición de la batimetría es uno de los aspectos más críticos del proyecto. El fondo de la laguna actúa como un elemento activo en la transformación del oleaje, de forma análoga a los perfiles naturales de playa o a las estructuras sumergidas en ingeniería costera. La precisión exigida en la construcción ha requerido la generación de aplicaciones específicas para la generación de la superficie en un modelo digital que permita posteriormente la construcción dentro de las tolerancias.

Las condiciones geotécnicas constituyen otro de los factores determinantes en los proyectos de lagunas de olas. De manera similar a muchas infraestructuras portuarias, estas instalaciones se emplazan con frecuencia en terrenos con presencia de suelos blandos y niveles freáticos altos. Por ello, es necesario definir mejoras del terreno que limiten los asentamientos y, por tanto, que eviten variaciones significativas en la batimetría o roturas en la impermeabilización.

Los análisis realizados incluyen el cálculo de asentamientos y la verificación de la capacidad portante del terreno bajo las estructuras asociadas a la laguna frente a las cargas generadas por el oleaje.

Por otro lado, el sistema de generación de olas introduce cargas hidrodinámicas específicas que deben ser consideradas en el diseño de la obra civil. Estas cargas incluyen presiones dinámicas sobre muros y estructuras sumergidas, así como acciones cíclicas asociadas al movimiento repetitivo del mecanismo generador. TYPESA ha abordado la evaluación de estas acciones aplicando metodologías propias de la ingeniería marítima, combinando formulaciones teóricas del oleaje con criterios de seguridad adaptados a un régimen de operación intensivo.

Ensayos en modelo físico 3D de agitación y buques atracados en el Puerto de Las Palmas

Juan Piñero Coloma^a, Ana Bezuarte, José María Valdés Fernández de Alarcón^c,
 Antonia Bordón Guerra^d, María Rodríguez de Segovia Sáez^e

^aCEDEX-Centro de Estudios de Puertos y Costas, juan.pinero@cedex.es; Ana Bezuarte Barrio

^bCEDEX-Centro de Estudios de Puertos y Costas, ana.bezuarte@cedex.es; ^cCEDEX-Centro

de Estudios de Puertos y Costas, jose.M.Valdes@cedex.es; ^dAutoridad Portuaria de las

Palmas, abordon@palmasport.es; ^ePuertos del Estado, frodriguezdesegovia@puertos.es;

1. Introducción

La Autoridad Portuaria de Las Palmas tiene prevista la ampliación de la Dársena de África mediante la realización de tres configuraciones futuras. En el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, se ha realizado ensayos 3D en modelo físico a escala reducida para cada una de las futuras configuraciones para el estudio de la agitación y el comportamiento de buques atracados, con el fin de valorar la operatividad de los atraques con las condiciones de oleaje existentes.



Fig. 1 Modelo 3D de la Dársena de África. Fuente: CEDEX

2. Ensayos de agitación

En los ensayos de agitación se evalúan las condiciones de agitación en el interior y en la entrada a las dársenas. La escala que se está utilizando en los ensayos es de 1:100 y los oleajes que se están ensayando son los correspondientes al punto SIMAR más cercano.

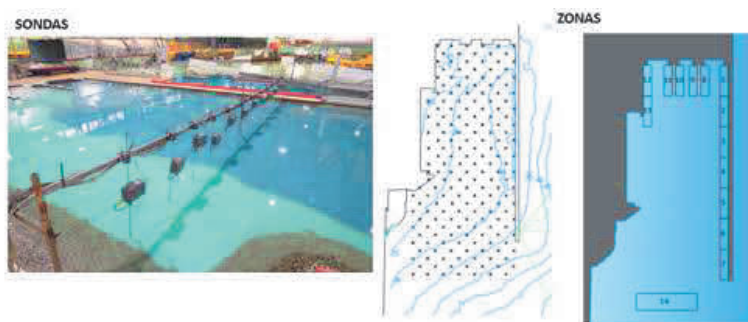


Fig. 2 Ensayos de agitación. Fuente: CEDEX

3. Ensayos de buques atracados

El objetivo principal de los ensayos de comportamiento de buques atracados es conocer el nivel de explotación y operatividad de los muelles. Para ello se analizan las amplitudes de los movimientos de los buques así como las tensiones en las amarras y las reacciones en las defensas, cuando se encuentran sometidos a las condiciones de agitación generadas por la acción de los oleajes típicos de la zona.

Los buques ensayados en el Puerto de las Palmas fueron el Volcán del Teide, un Portacontenedores de 294 m de eslora y un VLCC de 221 m.

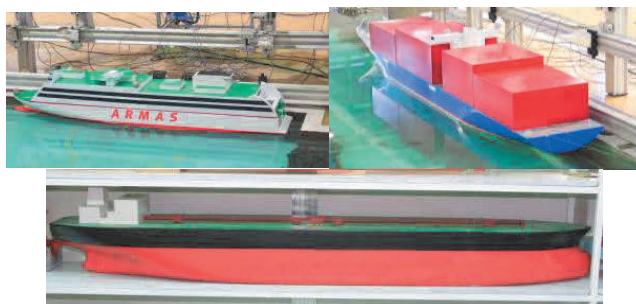


Fig. 3 Buque ensayados. Fuente: CEDEX

Diseño y ejecución de una solución integral en Marina Port Fòrum (Barcelona) validada mediante ensayos en modelo físico

Oriol García Arribas^a, Enrique Peña González^b, José Sande González-Cela^b, Alba Jiménez Moreno^a, Andrés Figuero Pérez^b

^aEnginyeria Reventós SL. C/Pere IV 363-381. 08020 Barcelona (, ogarcia@ereventos.com, , ajimenez@ereventos.com); ^bCentro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), Universidade da Coruña, Campus de Elviña, A Coruña, 15071, (, enrique.penag@udc.es, , jose.sande@udc.es, , andres.figuero@udc.es)

1. Introducción

Al objeto de mejorar el comportamiento del dique de abrigo de Marina Port Fòrum durante los temporales y adaptarlo al cambio climático, se realizó un estudio de alternativas validado mediante modelo numérico y ensayos en modelo físico en el laboratorio de CITEEC, con modificaciones en la configuración del dique de abrigo y en la bocana.

2. Planteamiento del estudio

2.1. Diseño de alternativas

El proceso de diseño se basó en el análisis de distintas alternativas de actuación orientadas a mejorar simultáneamente la estabilidad del dique de abrigo y la reducción de la agitación interior del puerto. Las soluciones estudiadas combinaron modificaciones en la sección y revestimiento del dique existente con actuaciones en la configuración de la bocana.

2.2. Ensayos en modelo físico

Los ensayos para la optimización de la solución planteada se realizaron en la Dársena Multidireccional de Oleaje (25m x 33m x 1m) del CITEEC de la Universidade da Coruña. Se analizó la estabilidad, las presiones sobre el espaldón y la agitación (*Fig. 1*) frente a los oleajes de la dirección más energética.



Fig. 1 Ensayos de situación inicial (izq.) y de una alternativa (dcha.)

3. Remodelación del Puerto

Como resultado del proceso de análisis y validación desarrollado, en 2025 se iniciaron las obras de remodelación integral de la Marina Port Fòrum, actualmente en ejecución. Las actuaciones se centran en:

2.3. Modificaciones interiores

(1) Revestimiento de escollera interior en toda la longitud del dique de abrigo. (2) Martillo en el morro: Se construye con escollera de 6 tn. El dique se calcula con una anchura en coronación de unos 7.2 metros y un talud exterior de 2:1, su cota de coronación será de 2.80 m metros por encima del nivel del mar.

2.4. Modificaciones del dique de abrigo

Esta actuación consta de la construcción de un dique en talud apoyado sobre el dique de abrigo actual, a lo largo de toda su longitud, que consta de un talud formado por Xbloc® de 8 m3 y una berma formada por Xbloc® y Xbase®, tal y como se indica en la Fig.2.

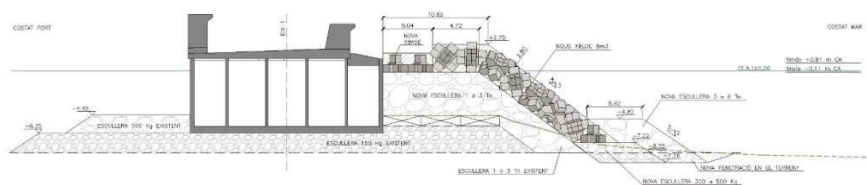


Fig. 2 Definición geométrica de la solución adoptada en el dique de abrigo

Adicionalmente, se han previsto actuaciones de refuerzo estructural de la superestructura, incluyendo la reparación de zonas dañadas y la ejecución de contrafuertes, con el objetivo de mejorar la estabilidad global del conjunto.

Conclusiones

La solución final adoptada para Marina Port Fòrum es el resultado de un enfoque integral basado en el análisis conjunto de alternativas, modelización numérica y ensayos en modelo físico. Estos ensayos han permitido identificar los mecanismos responsables de la agitación y de las solicitaciones estructurales, y optimizar las actuaciones proyectadas. La remodelación ejecutada mejora significativamente la estabilidad del dique de abrigo y reduce la agitación interior frente a temporales de distinta procedencia. El estudio confirma el valor del modelo físico como herramienta clave en el diseño de infraestructuras portuarias complejas.

Campaña de ensayos en modelo físico 2D y 3D de la inundación costera en el Malecón Tradicional de la Habana: conclusiones sobre efectos de escala

Antonio Tomás^a, Beatriz Rodríguez^a, Cesar Vidal^a, Luis Fermín Cordova^b, Patricia Horta^b, Daniela Cordova^b, Juan José Díaz^c, André Cardoso^d, Francisco Cerda^d, Delia Regueira^a, Moesha Henry^a, Andrés P. Mendoza^a, Álvaro Álvarez^a

^aInstituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria, España), , antonio.tomas@unican.es; ^bCentro de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad Tecnológica de La Habana (CIH-CUJAE, Cuba), cordovalopez1962@gmail.com; ^cEmpresa de Servicios Ingenieros Hidráulicos Occidente (ESIHO, Cuba), jjespildora@gmail.com; ^dR5 Marine Solutions, Portugal, andrecardoso@r5engineers.com

1. Introducción

La **inundación costera** recurrente en el **Malecón Tradicional de La Habana** constituye uno de los principales problemas de riesgo costero de la ciudad, presentando impactos significativos sobre la seguridad de la población y el patrimonio urbano, así como comprometiendo la funcionalidad de las infraestructuras. Este fenómeno, asociado a la acción combinada del oleaje extremo, el nivel del mar y la morfología costera, ha sido objeto de estudio por parte de equipos técnicos y científicos cubanos durante las últimas décadas.

En este contexto se desarrolla el presente proyecto, que propone una aproximación integral en laboratorio (2D y 3D) para comprender en profundidad la compleja física asociada a los eventos de rebase e inundación costera en el Malecón Tradicional. A través de ensayos en modelo físico se evalúa el desempeño de distintas alternativas de protección planteadas por el equipo cubano. Más que definir una solución constructiva definitiva, la campaña experimental persigue identificar estrategias y acciones infraestructurales viables, aportando criterios técnicos sólidos para orientar futuras fases de diseño y eventual ejecución.

2. Campañas en modelo físico bidimensional (2D) y tridimensional (3D)

En primer lugar, se llevaron a cabo los **ensayos 2D** en el **Canal de Oleaje, Corrientes y Tsunamis (CoCoTsu)** de IHCantabria, con 56 m de longitud, 2 m de ancho y una altura variable entre 2,5 m y 1,67 m. Estos ensayos se centraron en el análisis de la estabilidad y del rebase por oleaje para distintas alternativas de protección, evaluando tanto la situación actual, caracterizada por un muro vertical coronado a la cota +3,96 m NMM, como cinco nuevas alternativas de defensa, que incluían la elevación del muro, rompeolas tipo berma frente al muro, así como rompeolas exentos de materiales sueltos (con manto principal compuesto por piezas de hormigón monocapa) y soluciones mixtas (estructura vertical combinada con berma

de materiales sueltos). En total, se ensayaron seis secciones tipo a una **escala 1:38**, reproduciendo estados de mar con alturas de ola significativa entre 2 y 7 m, periodos de pico de 10 a 12 s y niveles del mar entre +0 y +2,3 m NMM, considerando la máxima marea astronómica, la sobre-elevación por cambio climático estimada para el año 2050 y la sobre-elevación registrada durante el huracán Wilma, ocurrido en octubre de 2005.

A partir de los resultados obtenidos en la campaña 2D, se procedió al diseño de las soluciones a ensayar en el modelo físico 3D, centrado en validar y verificar el rendimiento frente al rebase del oleaje de las soluciones diseñadas para reducir las inundaciones a lo largo de los 2 km del Malecón Tradicional, considerando un total de seis alternativas: la situación existente y cinco alternativas de defensa costera, basadas en las soluciones ensayadas en el 2D. Los **ensayos 3D** se desarrollaron en el **Gran Tanque de Ingeniería Marítima (Cantabria Coastal and Ocean Basin, CCOB)** de IHCantabria, de 30 m de largo, 44 m de ancho y 4,75 m de profundidad. a una **escala 1:60**.

De forma complementaria, se realizó una **campaña 2D en el Canalillo** de IHCantabria (24 m de largo, 0,6 m de ancho y 0,75 m de profundidad), también a **escala 1:60**, con el fin de optimizar la construcción del modelo 3D. Asimismo, esta campaña permitió abordar como objetivo secundario el análisis de los efectos de escala, mediante la comparación de los resultados de rebase obtenidos para una misma sección tipo a las escalas 1:38 y 1:60.

Conclusiones

Los ensayos realizados constituyen una base sólida para comprender los principales procesos asociados a la inundación costera en el Malecón Tradicional, incluyendo los mecanismos de rebase, la estabilidad hidráulica de las alternativas de protección y la cuantificación de fuerzas del oleaje sobre edificaciones clave. Un aspecto diferencial del estudio es su **enfoque multiescala**, una aproximación poco habitual en este tipo de trabajos. Asimismo, la experimentación ha permitido simular aproximadamente 2 km de frente costero con un nivel de detalle suficiente para reproducir y analizar los procesos tridimensionales que gobiernan estos eventos extremos de rebase. Finalmente, los sistemas experimentales empleados han facilitando la evaluación del comportamiento hidráulico frente a distintas propuestas infraestructurales, lo que aporta una información clave para futuras fases de diseño.

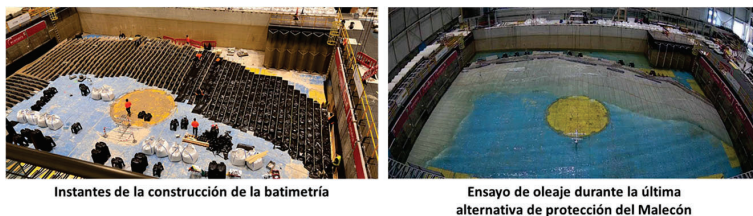


Fig. 1 Fotos de distintos instantes de la campaña de ensayos 3D en el CCOB (IHCantabria)

Ensayos en modelo físico para el análisis de las características hidráulicas de estructuras construidas con bloques Caleta

José María Valdés Fernández de Alarcón^a, José Vara^b, César Gutiérrez Revilla^c,
Eli Montoya^d

^a CEDEX-Centro de Estudios de Puertos y Costas, jose.m.valdes@cedex.es; ^b Berenguer Ingenieros josevara@beringenieros.com; ^c CEDEX-Centro de Estudios de Puertos y Costas, cesar.gutierrez@cedex.es; ^d Berenguer Ingenieros Eli Montoya eli.montoya@beringenieros.com;

1. Introducción

El Bloque Caleta es una solución constructiva innovadora y sostenible para la formación de muelles, diques y riberas marítimas o fluviales de baja reflexión. La pieza se caracteriza por una geometría modular que integra una red interconectada de canales y perforaciones, diseñada para disipar de forma eficiente la energía del oleaje y de las corrientes.

La atenuación se produce mediante procesos combinados de desfase de las ondas reflejadas, generación de turbulencias internas y eliminación del movimiento orbital del agua, reduciendo significativamente la agitación en dársenas y zonas de atraque.

La solución permite un ahorro de material de hasta un 30 % respecto a bloques macizos, reduciendo peso, costes de fabricación y logística. Desde el punto de vista constructivo, el sistema presenta elevada robustez, facilidad de manipulación y posibilidad de comportamiento estructural monolítico.

Adicionalmente, su elevada permeabilidad y red de cavidades favorecen la colonización biológica, contribuyendo a la integración ambiental de las infraestructuras portuarias.

Los ensayos en modelo físico descritos en el presente artículo demuestran su eficacia para un amplio rango de periodos de oleaje, sin limitaciones asociadas al tamaño unitario del bloque.

2. Ensayos en modelo físico

El estudio realizado por el CEDEX, en sus instalaciones del Laboratorio de Experimentación Marítima del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), consistió en la realización de ensayos en modelo físico a escala reducida, para la evaluación del comportamiento hidrodinámico ante los fenómenos de remonte del oleaje sobre la pared frontal de las estructuras construidas mediante Bloques Caleta y los efectos de reflexión y transmisión del oleaje.

Las estructuras objeto de ensayo corresponden a estructuras de tipología vertical, de tipo dique o muelle, de manera que la sección tipo queda definida en función de diferentes combinaciones de anchura (expresada en número de capas de Bloques Caleta) y altura (expresada en niveles o número de Bloques Caleta en altura) de las mismas. En la Figura 1 se muestra la geometría de los bloques utilizados.

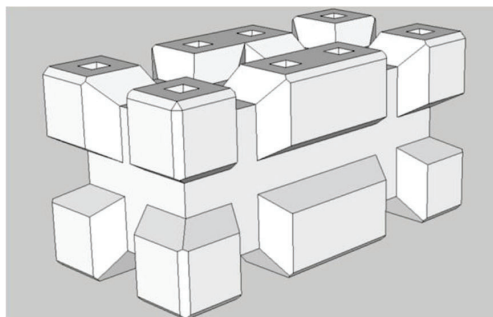


Fig. 1 Bloque Caleta Tipo

Los ensayos se llevaron a cabo en el canal de oleaje de 51 m de largo, 1 m de anchura y 1,50 m de altura disponible en el Laboratorio de Experimentación Marítima del CEPYC. El oleaje reproducido en los ensayos fue de tipo REGULAR. Las características de los oleajes utilizados en los ensayos fueron las siguientes: alturas de ola 0.03, 0.05 y 0.07 m para períodos desde 0.67 hasta 2.24 s, lo cual equivale a una escala teórica de 1:15, a alturas de 0.45, 0.75 y 1.05 m y períodos desde 2.6 hasta 8.6 s respectivamente

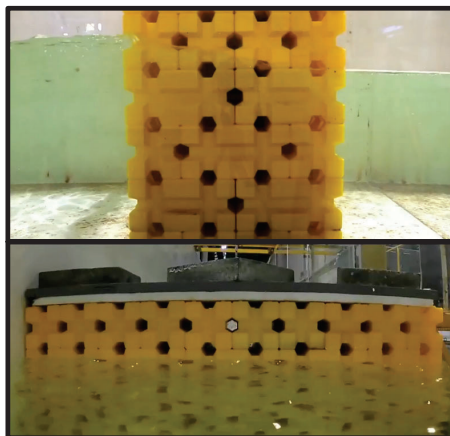


Fig. 2 Vista lateral y frontal de una de las estructuras ensayadas

Caracterización estocástica del inicio del daño en diques de escollera mediante técnicas de fotogrametría RGB-D

Miguel Santamaría^a, Angel Molina-Salas^b, Antonio Moñino^c, María Clavero^d

Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales, IISTA, Universidad de Granada

^a , miguelsancer@ugr.es; ^b , amsalas@ugr.es; ^c , amonino@ugr.es; ^d , mclavero@ugr.es

1. Introducción

La estabilidad de los diques de escollera enfrenta desafíos crecientes por el cambio climático y eventos extremos. Tradicionalmente, su diseño se ha basado en fórmulas empíricas deterministas; sin embargo, la incertidumbre asociada es alta, dividiéndose en componentes aleatorios y epistémicos (Scaravaglione y Melby, 2025). Caracterizar el inicio del daño es crítico (Losada, 2021), pues su acumulación es un proceso estocástico que debe cumplir con el Teorema del Límite Central (Castillo et al., 2012). Este estudio analiza las primeras movilizaciones de piezas mediante una resolución temporal de alta frecuencia, capturando fenómenos omitidos en ciclos de ensayo convencionales.

2. Metodología

Los ensayos se realizaron en el Canal de Ola-Corriente del GDFA usando un modelo de dique homogéneo (talud 1:2). Se priorizó la fase incipiente con una discretización de alta resolución: series acumulativas de 50 olas hasta alcanzar 200.

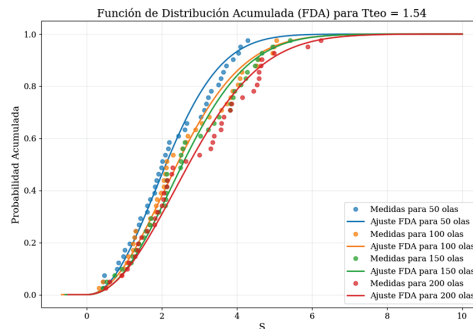


Fig. 1 Función de distribución acumulada de los datos experimentales

Para garantizar representatividad estadística, cada condición se repitió cinco veces de forma independiente, reconstruyendo el talud tras cada ensayo. La evolución del daño se cuantificó

con una cámara RGB-D, generando nubes de puntos de alta densidad para determinar el área erosionada y el volumen desplazado.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos demuestran que el inicio del daño es un proceso altamente sensible a la configuración inicial y que su naturaleza estocástica es evidente desde las primeras 50 olas. Los datos se ajustaron a funciones de distribución estadística como se muestra en la figura 1. Este ajuste permite describir el daño como una función continua, donde para una condición de oleaje se obtiene un rango de probabilidades, figura 2. La caracterización estocástica del daño inicial D^*_0 permitirá evaluar la contribución del daño inicial al daño total acumulado, siguiendo el modelo propuesto por Castillo et al.

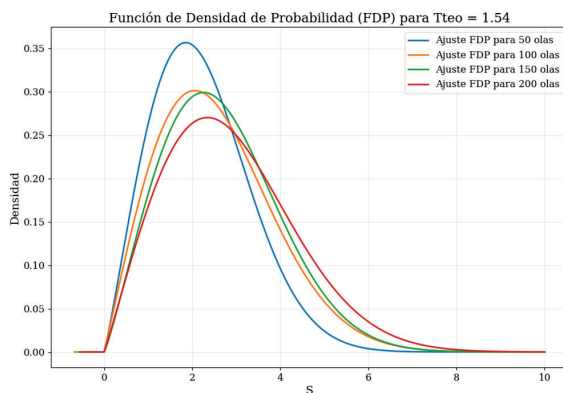


Fig. 2 Función de densidad de probabilidad de los datos experimentales

Bibliografía

- CASTILLO, C., CASTILLO, E., FERNANDEZ-CANTELI, A., MOLINA, R., & GOMEZ, R. (2012). "Stochastic Model for Damage Accumulation in Rubble-Mound Breakwaters Based on Compatibility Conditions and the Central Limit Theorem". *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 138(3).
- LOSADA, M. Á. (2021). "Method to assess the interplay of slope, relative water depth, wave steepness, and sea state persistence in the progression of damage to the rock layer over impermeable dikes". *Ocean Engineering*, 239, 109904.
- SCARAVAGLIONE, G., & MELBY, J. A. (2025). "A comprehensive review of the primary sources of uncertainty in stone armor stability". *Coastal Engineering*, 205.

Metodología para ensayos a escala reducida sobre sistemas fotovoltaicos flotantes sometidos a oleaje

Jesús Florido^a, María Clavero^b, Edgar Mendoza^c

Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales, IISTA, Universidad de Granada

^a  jesusfo@correo.ugr.es; ^b  mclavero@ugr.es

Grupo de Costas y Puertos, IINGEN, Universidad Nacional Autónoma de México,

^a  jfloriadoo@iingen.unam.mx; ^c  emendoza@iingen.unam.mx

1. Introducción

Dados los efectos de cambio climático y la necesidad de afrontar la demanda energética de territorios costeros e insulares desde una perspectiva más sostenible, se ha propuesto investigar y desarrollar proyectos de sistemas de generación energética solar flotante, mismos que, en comparación con su análogo terrestre, sostienen el potencial de ser 13% más eficiente por kWh/m² (IRENA, 2021). Dentro de los distintos esfuerzos a los que estos sistemas están expuestos, se ha identificado que los esfuerzos ambientales son los más desafiantes en la transición hacia ambientes marinos (Shi, Yan, Ren, Yuan, & Liu, 2023), afectando su integridad e incluso rendimiento. La complejidad de la interacción entre el panel flotante, el oleaje y el vector solar llevan a la necesidad de verificar el comportamiento de estos sistemas en laboratorio antes de su implementación en una situación real in-situ. Para ello, se puede recurrir a ensayos realizados a escala reducida, que deben ser planificados para que la escalabilidad del modelo sea adecuada. En este trabajo, se planteó una metodología que permita estudiar la dinámica de un modelo a escala reducida de sistemas fotovoltaicos flotantes bajo los efectos del movimiento del oleaje en zonas marinas.

2. Metodología

La metodología propuesta integra los datos de entrada tanto de las dimensiones como de las capacidades de las instalaciones experimentales, así como las condiciones del oleaje en el sitio de estudio y las dimensiones físicas y geométricas del sistema de generación solar flotante. Con base en estos parámetros, se estableció una matriz de ensayos experimentales y se definieron los principios de similitud dinámica necesarios para realizar la reducción de escala del prototipo. Para ello se ha hecho uso del Teorema Pi de Buckingham, a partir del cual se reducen n variables físicas a $(n-k)$ términos adimensionales, permitiendo asegurar la semejanza física entre modelo a escala y prototipo.

El proceso metodológico se desarrolló de manera iterativa, ajustando los datos de entrada para asegurar que la reducción de escala presentara la mayor similitud dinámica posible. Con

la información recabada, se realizaron ensayos preliminares aplicando esta metodología a un modelo preliminar (Figura 1).

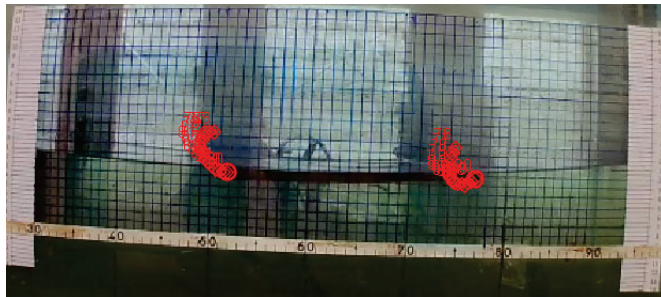


Fig. 1 Vista en sección de trayectoria de bordes del panel flotante. Ensayos preliminares

3. Resultados y Discusión

Siguiendo la metodología planteada, se debe asegurar que la escala de fuerzas entre prototipo y modelo sea la misma para el fluido, los anclajes y el objeto flotante. En función de la conceptualización del fenómeno a estudiar, se propusieron un total de 10 variables independientes y una dependiente. Las variables independientes seleccionadas fueron: Longitud de la máxima cuerda del panel o estructura flotante paralela a la dirección de incidencia del oleaje (L_p), profundidad del fondo en el sitio de estudio (h), altura de ola (H), periodo de ola (T), velocidad del fluido (U), aceleración de la gravedad (g), densidad del fluido (ρ), masa del prototipo (M_p), masa del anclaje (M_{an}) y ángulo de rotación de la superficie respecto a un origen definido en su geometría (Θ). La variable dependiente se ha tomado como la distancia recorrida por aun punto de seguimiento definido sobre la superficie flotante.

De esta manera se han obtenido los monomios adimensionales que permiten la realización adecuada de ensayos sobre paneles flotantes, que se mostrarán con más detalle en las jornadas.

Bibliografía

- OFFSHORE RENEWABLES: AN ACTION AGENDA FOR DEPLOYMENT. (2021). INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. ABU DHABI.
- SHI, W., YAN, C., REN, Z., YUAN, Z., LIU, Y., ZHENG, S., LI, X., & HAN, X. (2023). REVIEW ON THE DEVELOPMENT OF MARINE FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. *OCEAN ENGINEERING*, 286, 115560. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.OCEANENG.2023.115560](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115560)

Integración del planeamiento marino y terrestre en la gobernanza costera. Casos del Mar Menor de Murcia y deslinde del Parque de Doñana

Francisco Javier Córdoba Donado^a, Vicente Negro Valdecantos^b, Nerea Portillo Juan^c

^aEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory. ETSIC. UPM. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, doctorando investigador, fcordon@ciccp.es

^bEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory. ETSIC. UPM. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, catedrático, vicente.negro@upm.es

^cEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory. ETSIC. UPM. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos, investigadora, nf.portillo@upm.es

1. Introducción

Las zonas costeras concentran una elevada complejidad: usos económicos estratégicos, ecosistemas frágiles y riesgos crecientes derivados del cambio climático. Sin embargo, su gestión continúa fragmentada. El planeamiento terrestre (TSP) se centra en urbanismo e infraestructuras, mientras que el planeamiento marino (MSP) prioriza conservación y compatibilidad de usos. Esta desconexión genera conflictos, duplicidades y, sobre todo, impactos acumulativos que no se abordan de manera integrada.

El artículo propone la metodología de Integrated Spatial Planning (ISP) (Córdoba Donado et al, 2025), que unifica MSP y TSP mediante una zonificación multinivel coherente con las competencias administrativas (municipal, regional, estatal e internacional) e incorpora explícitamente la adaptación al cambio climático (Frazao-Santos et al, 2020). Los casos del Mar Menor y Doñana ilustran cómo la fragmentación institucional y la falta de integración pueden derivar en crisis ecológicas y conflictos de gobernanza (Córdoba-Donado et al., 2025).

2. Metodología

La metodología ISP (Córdoba-Donado et al, 2025) articula cuatro zonas marinas vinculadas a niveles de gobierno, extendiendo explícitamente el ámbito de cada administración sobre tierra y mar:

Zona 1 (Municipal + 12 nm): PGOU (Plan General de Ordenación Urbana) y planes especiales extendidos al mar, gestión de descargas, usos recreativos y defensas costeras.

Zona 2 (Regional + 24 nm): estrategias territoriales y planes de costa, coordinación de políticas agrarias e hídricas con objetivos marinos.

Zona 3 (Estatul + EEZ 200 nm): POEM (Plan de Ordenación del Espacio Marítimo), puertos, energía y telecomunicaciones, asegurando coherencia con metas climáticas y de biodiversidad.

Zona 4 (Internacional): organismos internacionales IOC-UNESCO, coordinación transfronteriza y cumplimiento de marcos globales.

La gobernanza integrada se apoya en cuatro pilares:

- Coordinación interadministrativa mediante comités mixtos tierra-mar.
- Instrumentos unificados que armonicen regulaciones sectoriales.
- Plataformas comunes de información (GIS, metadatos, escenarios climáticos).
- Participación multisectorial para legitimar decisiones y reducir conflictos.

Además, incorpora mecanismos de gobernanza adaptativa con indicadores y umbrales de activación que ponen en marcha medidas graduales frente a presiones críticas.

Conclusiones

La integración del planeamiento marino y terrestre es condición indispensable para una gobernanza costera eficaz y sostenible. La zonificación ISP cierra el vacío operativo en la interfaz tierra-mar, alinea competencias en distintas escalas y vincula usos con adaptación climática.

Los casos del Mar Menor y Doñana demuestran que la desconexión actual produce impactos y conflictos que sólo se corrigen con instrumentos integrados, indicadores comunes y comités mixtos con participación científica.

En definitiva, el ISP permite pasar de una gestión reactiva y fragmentada a una planificación resiliente, capaz de equilibrar desarrollo económico, conservación ambiental y adaptación climática en las zonas costeras.

Referencias

- BARRAGÁN, J.M. & GARCÍA SANABRIA, J. (2018). *La gestión integrada del Mar Menor (Murcia, España): alcance territorial de un sistema socio-ecológico litoral*. En: Ciencia regional y Andalucía... pp. 233–256.
- CÓRDOBA-DONADO, F.J., NEGRO-VALDECANTOS, V., GÓMEZ-PINA, G., MUÑOZ-PÉREZ, J.J., MORENO-BLASCO, L.J. (2025). *Marine Spatial Planning (MSP) and Terrestrial Spatial Planning (TSP): The path towards an integration of both plans*. Preprints. Coasts peer review process. <https://www.preprints.org/manuscript/202503.1692/v2>
- FRAZAO-SANTOS, J. et al. (2020). “Integrating climate change in ocean planning”. Nature Sustainability, 3.

Plan Bahía, un caso de éxito de GIZC en la bahía de Santander

María Merino González-Pardo^a, María Recio Espinosa^a, Raúl Medina Santamaría^a

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain 

maria.merino@unican.es; maria.recio@unican.es; raul.medina@unican.es.

Introducción a Plan Bahía: Plan Bahía (*Plan de Gestión Integrada de la Bahía de Santander*) surge en 2019 con la creación de la Mesa de la Bahía y la firma del *Protocolo General de Actuación entre las Administraciones Competentes*. El objetivo de este acuerdo interinstitucional es coordinar a todas las entidades responsables en la gestión del estuario y establecer una planificación colaborativa y sostenible en el contexto de cambio climático. Uno de los principales retos de Plan Bahía es la evolución morfodinámica de El Puntal, una flecha arenosa que cierra lateralmente la bahía y que condiciona los usos de navegación, comerciales, marisqueros y recreativos del entorno. Además, Plan Bahía aborda otros retos que requieren un enfoque holístico, como la adaptación a los efectos del cambio climático, la degradación del sistema dunar de El Puntal por usos inadecuados, el declive de las especies marisqueras, o la coordinación interinstitucional. Plan Bahía se ha desarrollado con la vocación de unir a diferentes actores para asegurar la sostenibilidad de los usos y recursos de la bahía de Santander y fortalecer los mecanismos de gobernanza para la GIZC.

El proceso de elaboración de Plan Bahía: La metodología de Plan Bahía se basa en el ciclo de planificación GIZC (GESAMP, 1996) y comienza con un diagnóstico integrado de las componentes físico-ambiental, socioeconómica y de gobernanza de la bahía. Este diagnóstico combina datos ambientales y revisión de estudios científicos previos para evaluar el estado del estuario y su evolución. A partir de ello se identifican y seleccionan los temas clave que conforman las prioridades de planificación, para las que se elaboran planes de actuación específicos. El proceso metodológico, tanto en la fase de diagnóstico como de planificación, incorpora una fuerte dimensión participativa e interinstitucional. En la fase de diagnóstico se organizaron más de una decena de actividades consultivas que permitieron la identificación de retos y la validación de las prioridades de planificación. En la fase de planificación, destaca el trabajo colaborativo con las instituciones competentes, tanto para la selección de medidas, como para la elaboración de su plan de implementación.

Los resultados de Plan Bahía: Plan Bahía constituye un plan de acción articulado en torno a diez temas clave (Fig.1). Para cada uno de ellos se ha definido un objetivo general y dos objetivos específicos, diseñados para abarcar de forma equilibrada las dimensiones ambiental, socioeconómica y de gobernanza. Sobre esta estructura se establece un conjunto de acciones concretas orientadas a resolver las problemáticas detectadas y a impulsar una gestión integrada y sostenible del estuario.

TEMAS CLAVE PRIORITARIOS:	
#1 Erosión de playas y alargamiento de El Puntal	#6 Ordenamiento de actividades
#2 Pérdida de calado en el interior de la Bahía	#7 Visión integrada del modelo turístico
#3 Ocupación de superficies intermareales	#8 Puesta en valor del patrimonio social y cultural
#4 Adaptación al cambio climático	#9 Desarrollo integral de instrumentos
#5 Sobrecarga del sistema de saneamiento	#10 Colaboración interinstitucional para la GIZC

Fig. 1 Temas clave prioritarios de Plan Bahía. Fuente: IHCantabria (2026)

En total, Plan Bahía recoge más de 30 acciones, que se describen en detalle, y para las que se identifican los actores implicados en su implementación, el presupuesto estimado, el calendario de ejecución y las interacciones con otras acciones para asegurar coherencia y eficiencia en su ejecución. Las acciones abarcan diferentes tipologías, como intervenciones físicas, medidas de restauración ambiental, o acciones de refuerzo de los mecanismos de gobernanza. Parte de estas acciones ya se han puesto en marcha, como la elaboración del *Estudio del Canal de Navegación y Sistema de Playas Somo-Loredo-El Puntal y Propuesta de Medidas*, financiado por la Autoridad Portuaria, lo que pone de manifiesto el interés de las administraciones implicadas y el valor de las acciones propuestas.

El futuro de Plan Bahía: La continuidad de Plan Bahía está estrechamente vinculada al compromiso de las entidades firmantes del *Protocolo General de Actuación*, cuya participación continuada pone de manifiesto la eficacia del protocolo como instrumento de gobernanza interinstitucional. Además, se prevé la incorporación de nuevas entidades, reforzando aún más la estructura colaborativa y la legitimidad del proceso. Asimismo, la implementación del plan se ha visto fortalecida por su integración en dos nuevos proyectos. Por un lado, Plan Bahía constituye uno de los casos de referencia para el desarrollo metodológico de planes GIZC en estuarios de la costa española, dentro del proyecto de *Creación de Sistema Integrado de Toma de Decisiones para la Gestión del Dominio Público Marítimo Terrestre*, del Ministerio de Transición Ecológica. Por otro lado, el proyecto GRAAL (*Governance and Regional Atlantic Area Lighthouse*), del programa Interreg Atlántico, da continuidad a las fases de planificación e implementación, a través de la puesta en marcha de grupos de trabajo y “*living labs*” temáticos, y de una secretaria técnica para la Mesa de la Bahía. El grupo de trabajo sobre “*Ordenación de los usos de El Puntal*” ha realizado ya avances significativos para la prevención de usos inadecuados de El Puntal, constituyendo un ejemplo vivo de trabajo colaborativo entre los actores de la Bahía.

Referencias

- GRUPO MIXTO DE EXPERTOS SOBRE LOS ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LA PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO (GESAMP), (1996). *Las contribuciones de la ciencia a la gestión integrada de zonas costeras. Reports and Studies, n.º 61*. Roma: FAO. 66 pp.
- INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (IHCantabria), 2026. *Plan de Gestión Integrada de la Bahía de Santander*.

Visión artificial aplicada a la gestión de la ocupación en playas

**Ignacio Toledo Sepulcre^a, Luis Aragonés Pomares^a, Mireia Sempere-Tortosa^b,
Manuel Alamán-Escolano^c, Diego Marcos-Jorquera^c, Virgilio Gilart-Iglesias^c**

^aDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, , nacho.toledo@ua.es; ^bDepartamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante; y ^cDepartamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Alicante.

1. Introducción

Las playas son un activo económico clave en el Mediterráneo, cuyo uso se ha intensificado desde la década de 1950 con la expansión del turismo de sol y playa, incrementando la presión antrópica sobre los ecosistemas litorales y favoreciendo la erosión costera. La Capacidad de Carga Turística (CCT) establece el umbral máximo de uso compatible con la sostenibilidad, aunque su cuantificación es variable; de forma general se adopta un valor de 5 m² por bañista (Rodella, 2020), cuyo incumplimiento genera pérdida de confort y degradación ambiental. La ocupación de playas se ha estimado tradicionalmente mediante conteos manuales y encuestas, métodos costosos y sujetos a errores (Roca, 2008). En contraste, las técnicas de videometría y visión artificial permiten automatizar el conteo de usuarios y obtener datos continuos y más fiables para la gestión sostenible (Sempere-Tortosa, 2024).

Esta investigación propone un enfoque basado en inteligencia artificial para automatizar el conteo de usuarios en la Playa de Poniente (Benidorm), identificando sectores y periodos de mayor ocupación y proporcionando a las Administraciones Públicas una herramienta para optimizar la gestión y promover un turismo sostenible.

2. Resultados

Se instalaron 17 cámaras BOSCH AUTODOME IP starlight 7000i en farolas del paseo marítimo de la Playa de Poniente (Benidorm, España), próximas a los accesos, para contabilizar la entrada y salida de usuarios (Fig. 1a). El sistema generó casi 5 millones de registros entre julio de 2023 y junio de 2024 y alcanzó una tasa de acierto del 90 %, validada mediante conteos manuales. El sistema permitió conocer la ocupación en tiempo real e identificar los periodos en los que se superó la capacidad de carga de la playa (5 m²/persona).

En la Playa de Poniente este umbral se superó 26 de los 31 días de agosto en el sector S05 de la playa. El periodo donde se registró la mayor saturación durante este mes fue entre las 10:00 y las 13:00 y entre 17:00 y las 19:00 (Fig. 1b), con un valle a la hora de comer. Esta información puede ser incorporada a paneles digitales informativos en los accesos de las playas para que los visitantes elijan otros sectores de la playa menos concurridos, evitando la

aglomeración (Fig. 1c). El enfoque propuesto proporciona una herramienta valiosa para que las autoridades tomen decisiones informadas para una mejor gestión de espacios costeros.

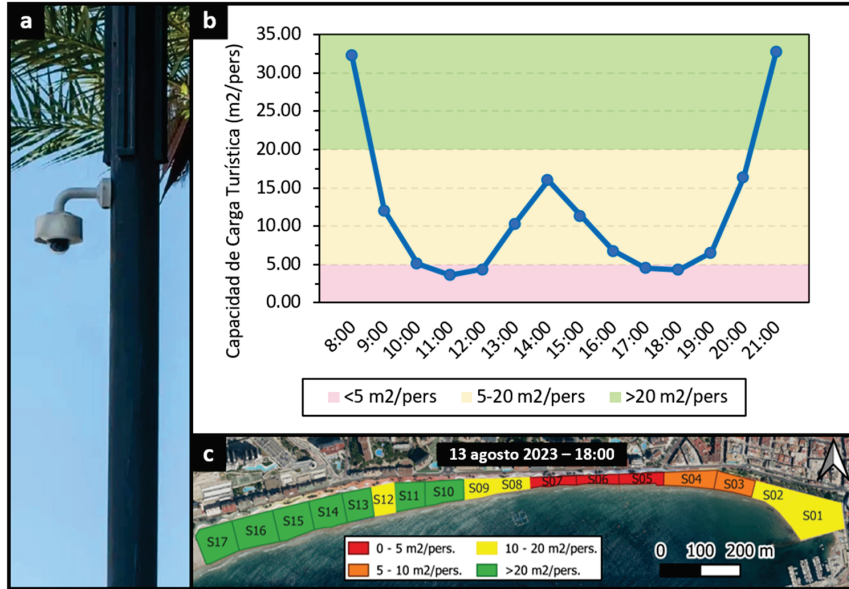


Fig. 1 a) Cámara instalada en una farola en Benidorm, b) Evolución de la CCT en el sector S05 el 11/08/2023, c) Información para usuarios a incorporar en paneles informativos. Fuente: propia

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ayto. de Benidorm su colaboración, especialmente por facilitar el acceso a la infraestructura de videovigilancia y a los datos necesarios para el estudio.

Referencias

- ROCA, E.; RIERA, C.; VILLARES, M.; FRAGELL, R. y JUNYENT, R. (2008). "A combined assessment of beach occupancy and public perceptions of beach quality: A case study in the Costa Brava, Spain" en *Ocean & Coastal Management*, 51, 12, p. 839–846.
- RODELLA, I.; MADAU, F.; MAZZANTI, M.; CORBAU, C.; CARBONI, D.; SIMEONI, U. y PARENTE, L. (2020). "Carrying capacity as tool for beach economic value assessment (case studies of Italian beaches)" en *Ocean & Coastal Management*, 189, 105130.
- SEMPERE-TORTOSA, M.; TOLEDO, I.; MARCOS-JORQUERA, D.; CARBONELL, D.; GILART-IGLESIAS, V. y ARAGONÉS, L. (2024). "A new occupancy index model based on artificial vision for enhancing beach management" en *Journal of Environmental Management*, 370, 122675.

Regeneraciones de playas: aclaraciones sobre aspectos ambientales basadas en la Ingeniería de Costas y en la experiencia española existente

Gregorio Gómez Pina^a, Luis Moreno Blasco^b, Francisco González Alcón^c

^aEscuela Politécnica Superior de Algeciras (Univ. Cádiz), gregoriogpina@yahoo.es

^bUniversidad Politécnica de Madrid, luisjuan.moreno@upm

^cTecnoambiente, francisco.gonzalez@tecnoambiente.com

Introducción

España contó con un número muy importante de actuaciones en la costa, destacando como pionera en el campo de las regeneraciones de playas (Gómez Pina, 1999). Aunque el número de regeneraciones de playas ha disminuido considerablemente, por una serie de motivos que no van a ser tratados en este artículo, al plantearse cualquier actuación de regeneración, surgen toda una serie de cuestiones formuladas principalmente por los técnicos que analizan los aspectos medioambientales de dichas actuaciones, que en nuestra opinión merecen ser aclaradas desde el punto de vista de la ingeniería de costas y de la extensa experiencia existente de dichas obras.

Objetivo

El objetivo principal de este artículo, es el de enumerar y aclarar una serie de aspectos ambientales, asociados a las actuaciones de regeneraciones de playas, que en muchas ocasiones se dan como verdaderos, a la hora de formularse condicionantes, que a nuestro entender no están suficientemente probados, y que pueden tener un efecto negativo desde el punto de vista de la aprobación definitiva del proyecto, ejecución de la obra, medidas ambientales desproporcionadas, plazo y presupuesto.

Dichos aspectos ambientales tendrían relación con los siguientes puntos, que serían tratados en profundidad en el artículo definitivo:

- Ocupación del fondo marino
- Generación de turbidez
- Modificación del patrón de velocidades
- Sedimentación sobre fondos sensibles: tiempo y espesor
- Aclaración sobre los distintos tipos de regeneraciones de playas existentes
- Grado de eficacia de las obras sumergidas
- Efectos negativos introducidos por el diseño de obras sin la aportación adecuada de arena

Regeneraciones de playas: aclaraciones sobre aspectos ambientales basadas en la Ingeniería de Costas y en la experiencia existente

- Tiempo de permanencia de la arena en las obras de regeneraciones de playas
- Papel de los captadores de arena como único método de estabilización de playas
- Integración de los espigones de contención litoral y obras exentas de baja cota como parte del paisaje y del urbanismo litoral
- Aspectos ambientales relacionados con la aportación artificial de arena durante la fase de vertido en playa y por fondo

Referencias

GÓMEZ-PINA, G. (1999). "Beach Nourishment: Fundamentals. The Spanish "Experience". Proc. of the Short Course on Coastal and Port Engineering. En *5th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC)*. Cape Town, Sudáfrica.

GÓMEZ-PINA, G. (2004). The importance of aesthetic aspects in the design of coastal groins. *Journal of Coastal Research*

MORENO, L., GARCÍA-FLETCHER, A., PÉREZ, C. y WILDSCHUT, L. (2010). "Consideraciones Medioambientales en la Explotación de Yacimientos de Arena en Aguas Profundas". En *CONAMA 10*. Madrid, España.

GARCÍA FLETCHER, A., DíEZ, G., MORENO, L., TAMAYO, O., BRIZUELA, L., PÉREZ, C., FERNÁNDEZ COVARSI, M. (2009). "Investigación de Campo de Yacimientos Estratégicos de Arena en la Costa Mediterránea Española". En *X Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*. Santander, España.

Restauración ambiental del sistema dunar de San Juan de Nieva y El Espartal (Asturias): intervención integral frente a la reactivación dunar y el uso público intensivo

**Miguel Á. Reyes-Merlo^a, Javier Menéndez^a, Francisco J. Bello-Millán^b,
Fernando de la Torre-Fernández^a**

^aDemarcación de Costas del Estado en Asturias. Dirección General de la Costa y el Mar. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, mareyes@miteco.es

^bAEMET (Agencia Estatal de Meteorología)

1. Introducción

El sistema dunar de San Juan de Nieva y El Espartal (Castrillón, Asturias, Figura 1) constituye uno de los enclaves de mayor valor ambiental del litoral asturiano. A pesar de las actuaciones de estabilización y mejora ejecutadas en los años 2000 por la Demarcación de Costas en Asturias, la dinámica dunar ha seguido evolucionando bajo la influencia combinada de agentes antrópicos, meteorológicos y procesos morfológicos propios del sistema. Estudios recientes han permitido constatar una expansión acelerada de algunas porciones de la duna que en ciertos sectores ha llegado a comprometer tanto las infraestructuras cercanas como la funcionalidad ecosistémica del entorno. Con el paso del tiempo, la persistencia de estos condicionantes ha producido un notable deterioro del sistema. A partir del conocimiento acumulado en las últimas décadas y con el objetivo de preservar la integridad del campo dunar y regenerar los espacios degradados, la Demarcación de Costas en Asturias promovió el “*Proyecto constructivo y estudios ambientales para la restauración ambiental de las playas de San Juan de Nieva y El Espartal; t.m. de Castrillón (Asturias)*”, cuyas obras se ejecutaron entre septiembre de 2024 y junio de 2025 con un presupuesto de 1.768.183,10 €.

2. Métodos y resultados

El diseño y ubicación de las actuaciones se fundamentan en análisis geomorfológicos y morfodinámicos, empleando ortofotografías multitemporales, MDTs y estudios específicos sobre la evolución dunar desde 1956 hasta la actualidad (INDUROT, 2017). En este trabajo se muestra cómo la duna en deflación del extremo occidental, la más próxima al núcleo de población de Salinas, ha experimentado un crecimiento exponencial tanto en superficie como en profundidad (Figura 1, b). A la luz de estos resultados, se proyectaron y ejecutaron dos tipos de actuaciones:

*Restauración ambiental del sistema dunar de San Juan de Nieva y El Espartal (Asturias):
intervención integral frente a la reactivación dunar y el uso público intensivo.*

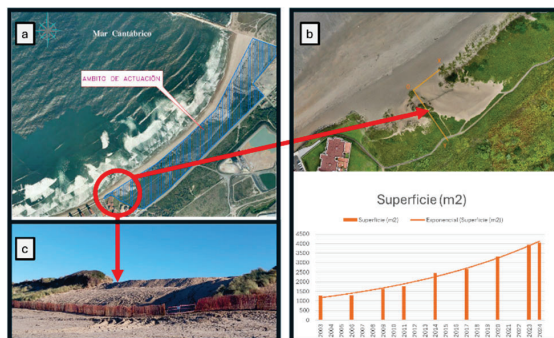


Fig. 1. a) Ámbito de actuación, en rojo, duna en deflación. b) Evolución superficial de la duna en deflación c) Frente dunar restaurado y reperfilado

a) Obras de estabilización y regeneración de la cubierta vegetal

En las zonas afectadas por erosión artificial y pérdida de vegetación se aplicaron técnicas de reperfilado superficial, siguiendo las mejores prácticas recogidas en el *Manual de restauración de dunas costeras* (Ministerio de Medio Ambiente, 2007), facilitando la fijación de arena mediante captadores y especies vegetales autóctonas, además de recuperar puntualmente la morfología del cordón dunar (Figura 1, c). También se eliminaron especies vegetales invasoras, como el pino marítimo.

b) Obras de protección del cordón dunar

Se incorporaron sistemas de cerramiento reforzados con barreras vegetales, combinando especies autóctonas de porte arbóreo, arbustivo, y de restos de corta de pino; seleccionadas por su eficacia, integración paisajística y durabilidad. Asimismo, se rehabilitó la pasarela existente y se reordenaron los accesos. De esta forma se compatibiliza la protección del sistema dunar con la garantía del acceso público al mar. Como parte integral de la intervención se instalaron paneles informativos, fomentando la concienciación ciudadana.

En conjunto, este trabajo propone una metodología replicable para la restauración de sistemas dunares basada en la compatibilidad entre medidas blandas, análisis técnico y conservación ambiental.

Referencias

- INDUROT – Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (2017). *Estudio geomorfológico y de la cubierta vegetal de las dunas de El Espartal, en el T.M. de Castrillón (Asturias)*. Universidad de Oviedo.
- Ministerio de Medio Ambiente (2007). *Manual de restauración de dunas costeras*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente.

Proyecto Life integrado humedales: una oportunidad para los humedales costeros

José Ramón Martínez Cordero^a, Sergio Calleja de Abia^b

a. Cuerpo de Ingenieros de caminos, canales y puertos del Estado. Coordinador del Área de gestión del dominio público marítimo-terrestre, de la Dirección General de la Costa y el Mar.(e-mail: jmcordero@miteco.es).

b. Jefe de Area de la Dirección General de la Costa y el Mar, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (e-mail: scalleja@miteco.es).

1. Introducción

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico presenta a la Comisión Europea una propuesta de **proyecto LIFE integrado** como uno de los instrumentos para contribuir a cumplir los objetivos del **Plan Estratégico de Humedales 2030**. Se trata de un proyecto muy ambicioso, con la implicación de la AGE, de 13 gobiernos autonómicos y dos diputaciones forales vascas.

Este proyecto tiene como **objetivo general impulsar la restauración de humedales de la Red Natura 2000 en España, contribuyendo a la ejecución del Plan Estratégico de Humedales 2030 (PEH2030) y al Reglamento de Restauración de la Naturaleza**. Se ejecutarán **284 actuaciones de restauración** en humedales en **107 espacios** de la Red Natura 2000 de **las 17 Comunidades Autónomas**, que suponen un total de en torno a **21 800 hectáreas** que, sumadas a las que se restaurarán con fondos complementarios, **ascienden a más de 26 100 hectáreas, el 130 % del objetivo de restauración** previsto en el PEH2030.

Esta iniciativa tiene un especial foco en la restauración de los ecosistemas de humedal, atendiendo a los requerimientos de hábitats y especies prioritarias de los humedales de España, para mejorar la **integración** de distintas **políticas ambientales** de ámbito nacional y europeo, de **actores clave** y de **otras vías de financiación** complementaria al programa LIFE.

El partenariado incluye a cuatro unidades del MITECO (DGBBD y DGCM como socios, la OECC como asociada y la Fundación Biodiversidad como coordinadora del proyecto), 13 gobiernos regionales de Comunidades Autónomas (Andalucía, Aragón, Asturias, Cantabria, Cataluña, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Galicia, Madrid, Murcia, Navarra, La Rioja y Comunidad Valenciana) y 2 de diputaciones forales (Álava y Guipúzcoa), así como 4 empresas y fundaciones públicas (Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León, TRAGSA, SARGA y GAN) y 4 ONG ambientales (Fundación Naturaleza y Hombre,

Fundación Global Nature, SEO/BirdLife y WWF-España). Organizaciones de productores y sindicatos agrarios y ganaderos han aportado cartas de apoyo para su participación en el desarrollo del proyecto, pero desestimando la ejecución directa de acciones.

Cuenta con un presupuesto total de **160,5 M €**, financiados de la siguiente manera: 34,5M € por las CCAA y ONG (40% de su presupuesto) y 65 M € por MITECO como contribución de sus propias actuaciones, 30 M € de la CE y 31 M € de cofinanciación de MITECO. Adicionalmente se espera la movilización de 97 M € de fondos complementarios.

El proyecto comenzaría en abril de 2026 y finalizaría en 2035 (10 años).

En España existen, al menos, 2.000 humedales, la mayor parte de ellos continentales (92 %). Muchos de ellos son pequeños humedales de agua dulce (46 %), aunque únicamente representan el 2 % de la superficie húmeda total.

Durante los últimos 200 años ha desaparecido entre el 60 % y el 75 % de la superficie húmeda original y la mitad de los humedales existentes se considera que se encuentran alterados o muy alterados.

Las principales **causas de degradación y pérdida** de humedales son:

- Los cambios de usos del suelo originados principalmente por el sector agrario (aunque también afecta el desarrollo urbanístico, las infraestructuras y la industria).
- La alteración de regímenes hídricos.
- La contaminación.
- Las alteraciones hidromorfológicas.
- Las especies exóticas invasoras.
- El cambio climático.

Esta situación se ve empeorada por la falta de conocimiento en algunos espacios y la insuficiente financiación, así como por la necesidad de mejora para compatibilizar las actividades productivas con la conservación de estos ecosistemas, entre otras cuestiones, lo que está provocando una **ralentización** en la aplicación de **medidas y acciones de conservación y restauración** imprescindibles para la **recuperación** de estos ecosistemas.

Durante la exposición se hará un repaso de los proyectos incluidos en este proyecto por la Dirección General de la Costa y el Mar, analizando los principales retos y expectativas.

Caracterización de eventos extremos e impactos asociados y su monetización en el Puerto de Valencia

Fernando Manzano-Muñoz^a, Rafael Molina^b

^aOrganismo Público de Puertos del Estado (OPPE), 28042 Madrid, Spain; fmanzano@puertos ,

^bUniversidad Politécnica de Madrid . ETSI de Caminos, Canales y Puertos, (UPM), CEHINAV-UPM, 28040 Madrid, Spain; rafael.molina@upm.es 

1. Introducción

En la actualidad, conceptos como la productividad y la ganancia, el rendimiento y la optimización, se han convertido en objetivos fundamentales para cualquier empresa u organismo; es también el caso de cualquier puerto marítimo comercial, que busca maximizar su eficiencia y resultados en un entorno altamente competitivo. En este contexto, la evaluación y gestión del riesgo se muestra como una disciplina clave para mejorar la eficiencia operativa en los puertos, al permitir anticipar y mitigar posibles incidentes que pueden afectar a las infraestructuras y a las operaciones. Una de las principales amenazas para el buen funcionamiento de un puerto, es la ocurrencia de eventos extremos climáticos, cada vez más frecuentes e intensos debido al cambio climático. Analizar los efectos históricos (cierres y paradas operativas) y caracterizar los eventos extremos que los producen (temporales con fuerte viento y oleaje) junto al coste económico que conllevan, se hace imprescindible para poder entender la importancia de profundizar en los detalles de este tipo de sucesos, ya que sólo así será posible convertir el riesgo en oportunidad de mejora continua para, incluso en las situaciones más desfavorables, poder optimizar recursos, reducir el tiempo de inactividad y maximizar la continuidad del flujo de las operaciones, contribuyendo a aumentar la confiabilidad y competitividad del puerto, generando valor añadido y buena reputación de manera interna y de cara a sus usuarios.

2. Metodología

La metodología propuesta adapta y combina enfoques de evaluación del riesgo climático aplicados al estudio de eventos de rebase de diques; al análisis de la operatividad portuaria frente a eventos extremos. Este estudio parte de la creación de una base de conocimiento consolidada de datos climáticos y consecuencias en el contexto del Puerto de Valencia. Dada la falta de información consolidada sobre paradas operativas y su origen en las bases de datos, esta información se recabó mediante consulta a expertos, minería en RRSS y medios de comunicación local. A continuación, se analizan dichos datos históricos meteoceánicos, operativos y de infraestructura, considerando el estado del arte en la definición de los

umbrales críticos asociados a los agentes, evaluando el riesgo no sólo en términos de probabilidad de ocurrencia, sino también desde la perspectiva menos analizada hasta la fecha: las consecuencias económicas. El estudio se centra en dos modos principales de parada: el cierre del acceso al puerto debido al oleaje y la suspensión de las operaciones de carga y descarga de contenedores por acción del viento, analizando tanto su comportamiento individual como su interrelación. Se presenta un caso de estudio y se analizan diferentes escenarios, cuantificando el impacto en términos operativos y su monetización.

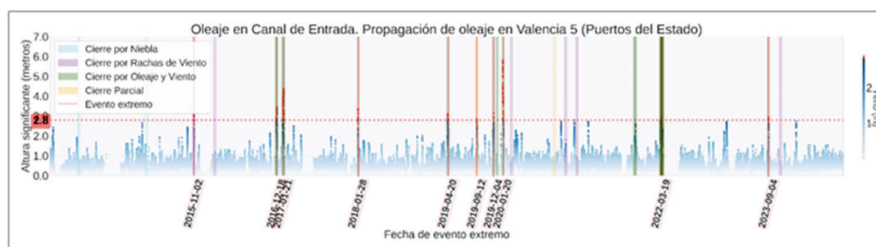


Fig. 1 Altura significativa de ola (hm0) en la bocana del Puerto de Valencia e identificación de eventos extremos asociados a la superación de umbral

3. Conclusión y perspectiva

Frente a los enfoques prospectivos de iniciativas como CLIMPACT y ECCLIPSE, este trabajo adopta una aproximación histórica basada en el análisis de eventos extremos pasados, aportando una herramienta útil para la gestión portuaria a corto plazo. Este trabajo pone de manifiesto, en primer lugar, la falta de integración de fuentes oficiales para caracterizar el riesgo operativo y cuantificar el impacto de los cierres y paradas operativas. Paralelamente, aunque cada vez contamos con fuentes climáticas históricas y de pronóstico a corto plazo de mayor calidad y densidad, aún carecemos de datos climáticos a la escala y resolución necesaria para responder preguntas vinculadas con el riesgo operativo. La falta de registros homogéneos sigue limitando el alcance del análisis de riesgos en el sistema portuario.

Aun así, los resultados muestran una buena correlación entre condiciones meteoceánicas y paradas operativas, así como un impacto económico concentrado principalmente en terminalistas y navieras, con riesgos reputacionales y operativos que no resultan compensados.

Se concluye que es necesaria una mejora sustancial en la gobernanza de datos, los sistemas de monitorización y predicción, y el desarrollo de herramientas integradas de apoyo a la decisión, estableciendo como futuras líneas la creación de marcos regulatorios comunes, registros normalizados de eventos extremos y la necesidad de un observatorio climático portuario.

Herramienta inteligente de prevención para la resiliencia climática de estructuras marítimas

Pilar Díaz-Carrasco^a, Enrique M. Padilla^b, Alejandro Martínez-Castro^c,
Enrique García-Macias^c

^aUniversidad de Sevilla,  pdiaz7@us.es; ^bUniversitat Politècnica de Catalunya,  enrique.padilla@upc.edu; ^cUniversidad de Granada,  amcastro@ugr.es;  enriquegm@ugr.es

1. Introducción

Las estructuras marítimo-costeras son infraestructuras críticas para la protección de la población, los ecosistemas y la actividad económica. Sin embargo, están sometidas a procesos de degradación progresiva que reducen su vida útil y aumentan el riesgo de fallos estructurales con graves consecuencias. Esta problemática se verá intensificada por el cambio climático (CC), debido al aumento del nivel del mar y a temporales más frecuentes/extremos.

Aunque existen avances en la evaluación del impacto del CC en regiones costeras y puertos (Croquer y col., 2023; Lucio y col., 2024), la investigación orientada al diagnóstico estructural y al mantenimiento preventivo de estructuras marítimas sigue siendo limitada. En este contexto, la Monitorización de la Salud Estructural (SHM), apoyada en el uso de Gemelos Digitales (DTs) de las estructuras (Chiachío et al., 2022), ofrece un marco prometedor para la detección temprana de daños y la gestión proactiva de estas infraestructuras, aunque su aplicación en entornos marítimos es aún incipiente.

Este trabajo presenta los resultados preliminares del primer objetivo (O1) del proyecto INTEL-MAR (PID2024-161211OA-I00) cuyo objetivo global es desarrollar una metodología integrada de diagnóstico para el mantenimiento preventivo de estructuras civiles sometidas a los efectos del cambio climático. En particular, el O1 desarrolla una herramienta clasificadora de riesgo para cuantificar la vulnerabilidad de las estructuras marítimas.

2. Herramienta clasificadora de riesgo: metodología y resultados

Elaboración de una base de datos exhaustiva de estructuras marítimas y de variables asociadas para el litoral español. La metodología se organiza en un flujo de cuatro niveles:

Nivel 1 – Clasificación geográfica: segmentación de los 8.000 km de litoral español en 6 fachadas costeras, provincias y regiones con condiciones climáticas y morfológicas comunes.

Nivel 2 – Tipología estructural: identificación de las principales estructuras marítimas (espigones, diques y muros) y clasificación en función de su funcionalidad y servicio.

Nivel 3 – Integración de datos: recopilación de datos climáticos históricos, proyecciones climáticas futuras coherentes con los escenarios SSP del IPCC (2023), parámetros estructurales, y descriptores ambientales (batimetría y geomorfología).

Nivel 4 – Clasificador de riesgo: implementación y comparación de modelos supervisados de aprendizaje automático para clasificar la vulnerabilidad estructural en categorías de riesgo en distintos escenarios de CC. La interpretación de los resultados se apoya en “SHapley Additive Explanations” (SHAP) para identificar la relevancia de las variables más influyentes en la estimación del riesgo de cada modo de fallo considerado según la estructura tipo.

La Fig.1 muestra los resultados preliminares del riesgo del modo de fallo rebase para el escenario SSP5-8.5 de aumento del nivel del mar (SLR) en los diques del litoral andaluz. Para el año 2100, los 18 diques de Cádiz (SLR = 0,85 m) y los 3 diques de Huelva (SLR = 0,80 m) superarán el umbral de riesgo moderado, mientras que las proyecciones para Málaga, Granada y Almería se mantendrán por debajo de 0,80 m.

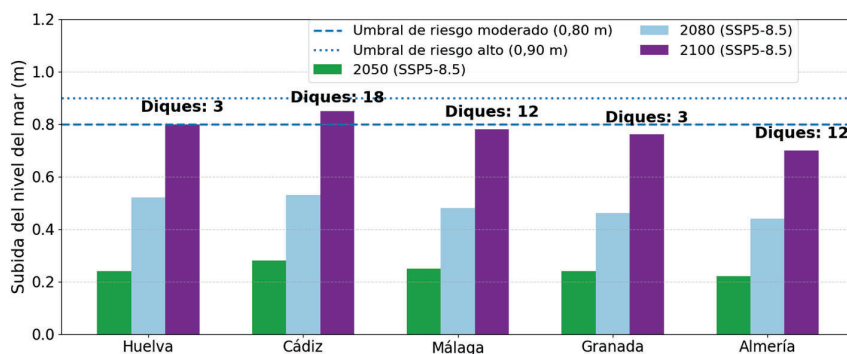


Fig. 1. Riesgo de rebase en diques de Andalucía según las proyecciones SSP del IPCC (2023)

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MCIN/AEI/10.13039/501100011033) a través del proyecto PID2024-161211OA-I00.

Referencias

- CHIACHÍO, M.; MEGÍA, M.; CHIACHÍO, J.; FERNÁNDEZ, J.; JALÓN, M. L. (2022). “Structural digital twin framework: Formulation and technology integration” en *Automation in Construction*, vol. 140, art. 104333.
- CROQUER, S.; DÍAZ-CARRASCO, P.; TAMIMI, V.; PONCET, S.; LACEY, J.; NISTOR, I. (2023). “Modelling wave-structure interactions including air compressibility: a case study of breaking wave impacts on a vertical wall along the Saint-Lawrence Bay” en *Ocean Eng.*, vol. 273, art. 113971.
- IPCC (2023). Summary for Policymakers. 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” en *IPCC Reports*, Ginebra, Suiza, pp. 1–34.
- LUCIO, D.; LARA, J. L.; TOMÁS, A.; LOSADA, I. J. y col. (2024). “Probabilistic assessment of climate-related impacts and risks in ports” en *Reliability Eng. & Sys. Safety*, vol. 251, art. 110333.

Evaluación de riesgos debidos al cambio climático en el Sistema Portuario de Titularidad Estatal

Verónica Morales-Márquez^a, Begoña Pérez-Gómez^a, Íñigo Losada^b, Javier L. Lara^b,
María Fuentes Álvarez de Eulate^b, Yailín Fernández González^b, Antonio Góngora^a

^aPuertos del Estado, (ID <https://orcid.org/0000-0002-2500-7298>, vmorales@puertos.es; ID <https://orcid.org/0000-0003-4595-5743>, bego@puertos.es; agongora@puertos.es)

^bGrupo de Riesgos Climáticos, adaptación y resiliencia. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (ID <https://orcid.org/0000-0002-9651-9709>, inigo.losada@unican.es; ID <https://orcid.org/0000-0003-0968-1909>, jav.lopez@unican.es; ID <https://orcid.org/0000-0001-8511-1356>, maria.fuentes@unican.es; yailin.fernandez@unican.es)

1. Resumen

El Sistema Portuario de Titularidad Estatal está especialmente expuesto a los efectos del cambio climático debido a su localización en el dominio público marítimo-terrestre y al carácter estratégico de sus infraestructuras y servicios. La concentración de activos críticos y actividades esenciales hace necesario anticipar y gestionar de forma adecuada los riesgos asociados a la evolución del clima y de los procesos océano-meteorológicos. En este contexto, Puertos del Estado, en colaboración con IHCantabria y con la participación de las Autoridades Portuarias, está desarrollando un análisis preliminar de riesgos climáticos para el conjunto del sistema portuario estatal.

El objetivo es proporcionar una visión homogénea, a escala estatal, del riesgo climático en los puertos españoles, que sirva de base para la priorización de actuaciones y su integración en los procesos de planificación y toma de decisiones. El análisis se enmarca en el Plan de Trabajo de Adaptación al Cambio Climático del sistema portuario y en el Programa de Trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), dando respuesta a los compromisos de seguimiento y reporte a los organismos competentes.

La evaluación se fundamenta en el enfoque del IPCC, que define el riesgo como la interacción entre peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. La metodología, coherente con la aplicada previamente en puertos autonómicos y en la costa española, aborda peligros relevantes como el ascenso del nivel del mar, los cambios en el régimen de oleaje, las inundaciones costeras y las variaciones en los eventos meteorológicos extremos, considerando distintos horizontes temporales y escenarios de cambio climático.

La exposición se evalúa mediante la identificación de activos portuarios potencialmente afectados, incluyendo infraestructuras, áreas operativas, servicios y actividades críticas. La

vulnerabilidad incorpora aspectos físicos, funcionales y organizativos, así como la capacidad adaptativa, permitiendo una comparación del riesgo climático a escala estatal e identificando los puertos con mayor riesgo relativo.

Para garantizar coherencia y trazabilidad, la evaluación se estructura en una metodología multinivel: el Nivel 1 corresponde a un análisis cualitativo basado en criterio experto; el Nivel 2 a un análisis cuantitativo simplificado con modelado de baja resolución e indicadores homogéneos, que incluye un catálogo general de medidas de adaptación; y el Nivel 3 a análisis cuantitativos detallados con modelado de alta resolución, orientados a la definición de medidas específicas en puertos con riesgos elevados.

El trabajo se desarrolla en estrecha colaboración con las Autoridades Portuarias mediante un grupo de trabajo que valida progresivamente los resultados e incorpora el conocimiento local. Asimismo, se prevé la revisión por un grupo de expertos independientes para reforzar la calidad técnica y la robustez metodológica. Los resultados se integrarán en instrumentos clave de planificación, como el Plan de Empresa, y se vinculan al desarrollo del Observatorio Portuario de Cambio Climático, como herramienta de seguimiento continuo del riesgo y de apoyo a la mejora de la resiliencia del sistema portuario estatal.

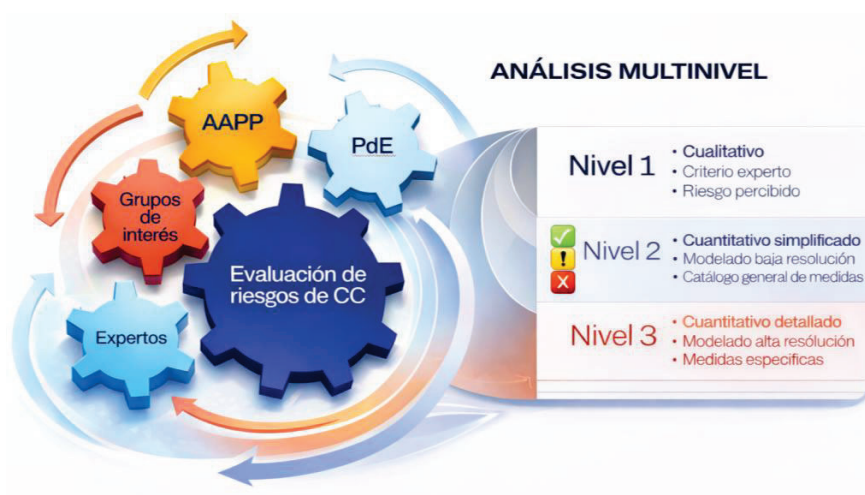


Fig. 1. Esquema metodología multinivel y grupos de colaboración para la evaluación de riesgos de cambio climático para el Sistema Portuario de Titularidad Estatal.

Fuente: elaboración propia

Riesgos y adaptación al cambio climático en puertos: herramientas operativas para la toma de decisiones

**María F. Álvarez de Eulate^a, Iñigo J. Losada Rodríguez^a, Javier L. Lara^a,
Yailín Fernández González^a, Luis Pedraz Polo^a, Marco A. Vega Marichalar^a,
Sergio Cózar Rodríguez^a, Bárbara Herrero Olavarri^a**

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander,
España, maria.fuentes@unican.es; iñigo.losada@unican.es; jav.lopez@unican.es

Resumen

El cambio climático está alterando los regímenes meteo-oceánicos que condicionan la seguridad, funcionalidad y operatividad de las infraestructuras portuarias. El aumento del nivel medio del mar, los cambios en oleaje y viento, la intensificación de eventos extremos y su combinación con dinámicas locales incrementan la exposición a impactos como inundación costera e interior, rebase, agitación, sedimentación, erosión y daños en activos críticos. Estos efectos pueden traducirse en mayores costes de mantenimiento, pérdidas de operatividad y necesidad de actuaciones de adaptación progresiva, con implicaciones directas en la planificación de inversiones y la gestión del riesgo. Además, al ser nodos clave dentro de cadenas logísticas y energéticas interdependientes, las paradas o degradaciones del nivel de servicio pueden generar efectos en cascada (desabastecimientos, congestión, retrasos acumulativos y sobrecostes), afectando no solo a la actividad portuaria, sino también a sectores industriales y a la economía regional y nacional. Todo ello, junto con la creciente demanda de transparencia y rendición de cuentas, refuerza la necesidad de cuantificar y reportar de forma consistente la exposición al riesgo físico y las medidas de adaptación asociadas (TNFD, CSRD, Taxonomía UE...).

En este contexto, el análisis de riesgo físico de origen climático se consolida como una herramienta esencial para anticipar impactos, cuantificar potenciales consecuencias y priorizar medidas de adaptación bajo distintos escenarios socioeconómicos de cambio climático y diferentes horizontes temporales. En este sentido, IHCantabria ha desarrollado a lo largo de los últimos 20 años marcos metodológicos de referencia para la evaluación del riesgo climático, alineados con los enfoques del IPCC a través de la caracterización e integración de sus tres componentes: peligrosidad (considerando peligros individuales y compuestos), exposición y vulnerabilidad. Además, estos marcos metodológicos, desarrollados a medida para sectores concretos, incorporan el principio de proporcionalidad, que permite abordar el análisis desde aproximaciones escalables en función del objetivo y escala de análisis, desde análisis de riesgo percibido, el cribado o identificación de estrategias y medidas de adaptación (“pre-screening”), hasta evaluaciones de alta resolución orientadas

al diseño de medidas concretas. En definitiva, este enfoque multinivel permite caracterizar la evolución del riesgo presente y futuro, identificar potenciales “hotspots” y apoyar la toma de decisiones estratégicas y operativas.

IHCantabria ha trasladado esta experiencia acumulada al desarrollo de herramientas y plataformas digitales aplicadas a diferentes sectores económicos como infraestructuras críticas (puertos, carreteras, aeropuertos, ferrocarril), construcción, seguros, turismo, forestal, entre otros. En la presente ponencia se presentará una herramienta orientada a generar perfiles de riesgo actuales y futuros en el sector portuario bajo distintos escenarios climáticos, identificar las posibles medidas de adaptación (incluyendo soluciones constructivas, basadas en la naturaleza o incluso híbridas y de gobernanza) a implementar para hacer frente a los potenciales impactos, así como re-evaluar el riesgo tras su implementación. Estas herramientas por lo tanto, facilitan la toma de decisiones del gestor, proporcionando la comparación de alternativas, priorizando intervenciones, identificando el momento óptimo de implementación, integrando métricas relevantes para la gestión portuaria y, finalmente, contribuyendo a aumentar la resiliencia climática en los procesos de planificación y toma de decisiones.

Finalmente, atendiendo a las necesidades de reporte en términos de riesgos climáticos y sostenibilidad, este tipo de análisis y herramientas aporta un soporte directo a las crecientes exigencias de reporting y divulgación climática en organizaciones que gestionan activos costeros, al permitir documentar de forma trazable la identificación de riesgos físicos, su evolución bajo escenarios climáticos, y su compromiso con su reducción a través de la identificación y planificación de medidas de adaptación.

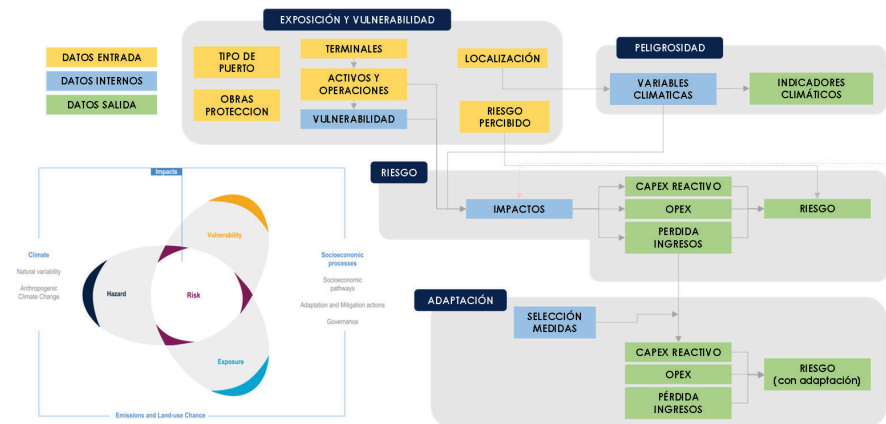


Fig. 1 Diagrama conceptual de la herramienta de análisis de riesgo.

Fuente: elaboración propia (2025)

Integración del riesgo climático en la planificación costera y marítima (AcuAdapt): aplicación a la acuicultura marina española

Carlos V.C. Weiss, Bárbara Ondiviela, Daniel Depellegrin, Elvira Ramos, José Juanes

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain
dacruzcv@unican.es, 0000-0002-6777-5527; barbara.ondiviela@unican.es, 0000-0001-6902-1166;
daniel.depellegrin@unican.es, 0000-0002-6493-9506; elvira.ramos@unican.es,
0000-0002-2613-5865; antonio.juanes@unican.es, 0000-0003-1825-2858

1. Introducción

El cambio climático representa uno de los principales desafíos para la gestión de las zonas costeras y marinas, con impactos directos sobre actividades productivas altamente dependientes de las condiciones ambientales, como la acuicultura marina. El aumento de la temperatura del mar, la modificación de los patrones de oleaje y viento, la acidificación y la mayor frecuencia de eventos extremos afectan tanto a la viabilidad ambiental de las áreas de cultivo como a la integridad de las infraestructuras y a la operatividad de las explotaciones.

En este contexto, las políticas de adaptación al cambio climático en España, enmarcadas en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), subrayan la necesidad de mejorar el conocimiento sobre los riesgos climáticos en sectores estratégicos del litoral y de disponer de herramientas que permitan anticipar impactos y orientar la toma de decisiones. De forma complementaria, los procesos de planificación costera y marítima, incluyendo la ordenación del espacio marítimo (MSP/POEM), requieren integrar la dimensión climática y el análisis de riesgo para garantizar un uso sostenible y resiliente del espacio marino.

La acuicultura marina se sitúa en la intersección entre la política climática, la planificación espacial y la gestión integrada de las costas. La incorporación de evaluaciones de riesgo climático, basadas en información espacialmente explícita y coherente a distintas escalas, resulta clave para evitar conflictos de uso, reducir la exposición a riesgos crecientes y apoyar estrategias de adaptación tanto a nivel sectorial como territorial.

2. El proyecto AcuAdapt

El proyecto AcuAdapt tiene como objetivo diagnosticar y evaluar el riesgo climático actual y futuro de la acuicultura marina en España, considerando zonas costeras abiertas, rías y estuarios. El enfoque combina información climática reciente con cartografía disponible a escala nacional y autonómica, con el fin de generar evidencias técnicas útiles para apoyar la adaptación del sector y su integración en los procesos de planificación costera y marítima.

La evaluación se basa en la aplicación conjunta de dos metodologías consolidadas. Por un lado, se adopta el marco de evaluación del riesgo climático del IPCC (2014), que integra las dimensiones de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Por otro, se emplea un Índice de Idoneidad Acuícola (WEISS et al., 2018) que permite valorar la viabilidad del cultivo a partir de criterios biológicos, estructurales y operativos, aplicados a especies y instalaciones.

La amenaza climática se caracteriza a partir de variables ambientales y mete-oceanográficas relevantes para la acuicultura, analizadas mediante registros históricos y proyecciones climáticas del CMIP6 bajo escenarios de emisiones intermedias y altas. La exposición se define por la localización espacial de especies, infraestructuras y actividades acuícolas existentes o potenciales, mientras que la vulnerabilidad se estima mediante la aplicación de umbrales técnicos que reflejan la sensibilidad de los sistemas de cultivo frente a cambios ambientales y eventos extremos.

El análisis de idoneidad de cultivo en condiciones actuales y futuras permite identificar áreas con distinta capacidad para sostener la actividad acuícola. La integración de los componentes biológico, estructural y operativo facilita la detección de zonas de riesgo, zonas estables y oportunidades emergentes, así como la evaluación de posibles desplazamientos espaciales de la actividad bajo escenarios climáticos futuros, considerando la compatibilidad normativa.

El proyecto incorpora un diagnóstico socioeconómico preliminar para contextualizar los resultados biofísicos y explorar la capacidad de adaptación del sector, a partir del cual se formulan medidas de adaptación orientadas a mejorar la resiliencia de la acuicultura marina.

En conjunto, AcuAdapt aporta un enfoque metodológico integrado y espacialmente explícito que contribuye a reforzar la implementación de las políticas de adaptación al cambio climático y a facilitar la incorporación del riesgo climático en la planificación costera y marítima, apoyando una gestión más preventiva y resiliente del litoral.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el proyecto AcuAdapt, financiado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico de España.

Referencias

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of WG I, II and III to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland.

WEISS, C.V.C. ONDIVIELA, B., GUANCHE, R., CASTELLANOS, O.F., JUANES, J. (2018). A global integrated analysis of open sea fish farming opportunities. *Aquaculture*. V. 497, p. 234-245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.054>

Evaluación del riesgo por tsunamis en puertos

**Sergio Padilla Álvarez^a, Ignacio Aguirre-Ayerbe^b, Mauricio González^c,
Íñigo Aniel-Quiroga^d, David Galán^e, Ana Garrido López^f**

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain , padillas@unican.es; ^b IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain , ignacio.aguirre@unican.es; ^c IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain , mauricio.gonzalez@unican.es; ^d IDOM, Consultoría Ingeniería Arquitectura, S.A.U., Bilbao, Spain, , inigo.anielquirola@idom.com; ^e IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain, , david.galan@unican.es y ^f Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz, amgarrido@puertocadiz.com

1. Introducción

Las instalaciones portuarias son nodos vitales en la cadena de suministro global, facilitando el 80% del comercio mundial por volumen. Los tsunamis, como eventos de baja probabilidad y alto impacto ("High Impact – Low Probability"), a menudo son subestimados o ignorados en la planificación de la resiliencia y la gestión de riesgos del puerto. Por ejemplo, un censo de daños realizado después del tsunami con el tsunami de Tohoku en 2011 reveló que 77 % de las empresas ubicadas en puertos a lo largo de la costa este se vieron afectadas (Suppasri et al., 2022).

2. Evaluación cuantitativa de la afección directa por tsunami a los principales elementos que componen la cadena logística de la mercancía

Para la evaluación del riesgo por tsunami en puertos se han convolucionado la Peligrosidad por tsunamis, la Exposición y la Vulnerabilidad de los elementos del puerto (UNDRR, 2015). Este marco ha permitido ir más allá de los análisis de riesgos convencionales, integrando:

- (i) La modelización numérica probabilística de la generación, propagación e inundación de tsunamis de origen sismotectónico (Basili et al., 2021).
- (ii) Caracterización de las áreas operativas del puerto, así como la evaluación de la exposición estática y dinámica de la superestructura de los activos portuarios (contenedores, gruas, rampas, bodegas, tanques, mercancías y las personas).
- (iii) Caracterización de la vulnerabilidad a través de las funciones de fragilidad de los activos del puerto.
- (iv) Evaluación de los daños asociados a la pérdida de su funcionalidad y posibles víctimas humanas.

Este trabajo se presentan como el primer estudio de la evaluación de riesgo por tsunamis en infraestructuras portuarias en España, bajo la cooperación de los gestores de riesgos de la APBC y mediante un enfoque práctico para orientar futuros los protocolos de respuesta y planes de evacuación.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto Análisis y generación de herramientas y metodologías para evaluar impactos y operatividad, financiado por el MCIU de España, La AEI y FEDER. (Grant 10.13039/501100011033). Además de un especial agradecimiento a La Autoridad Portuaria de la bahía de Cádiz (APBC).

Referencias

- Basili, R., Brizuela, B., Herrero, A., Iqbal, S., Lorito, S., Maesano, F. E., Murphy, S., Perfetti, P., Romano, F., Scala, A., Selva, J., Taroni, M., Tiberti, M. M., Thio, H. K., Tonini, R., Volpe, M., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Løvholt, F., ... Zaytsev, A. (2021). The Making of the NEAM Tsunami Hazard Model 2018 (NEAMTHM18). *Frontiers in Earth Science*, 8, 616594. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.616594>
- Suppasri, A., Nishida, T., Pakoksung, K., Cheng, A. C., Chua, C. T., Iwasaki, T., Pescaroli, G., & Imamura, F. (2022). Quantifying tsunami impact on industrial facilities and production capacity in ports: An application to Sendai Port, Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 78, 103141. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103141>
- UNDRR. (2015). *Disaster Risk Assessment*. Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/terminology/disaster-risk-assessment>

C4Flood: Inundaciones inducidas por el cambio climático en ciudades costeras

Jared Ortiz-Angulo^{a1}, Manuel Zornoza-Aguado^a, Javier Tausia^a, Alba Ricondo^b, Paula Camus^c, Laura Cagigal^a, Beatriz Pérez-Díaz^{a,c}, Mirian Jiménez^a, Sonia Castanedo^a, Fernando Méndez^a, Nicolás Hortal^d, Gonzalo Santos^d, Sara Calvo^d

^aGeoOcean group, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria  jared.ortizangulo@unican.es;  manuel.zornoza@unican.es;  javier.tausia@unican.es;  laura.cagigal@unican.es;  beatriz.perez@unican.es;  mirian.jimenes@unican.es;  sonia.castanedo@unican.es;  fernando.mendez@unican.es

^bCollege of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences. Oregon State Univeristy.  alba.ricondo@oregonstate.edu;

^cDepartamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación, Universidad de Cantabria.  paula.camus@unican.es;  beatriz.perez@unican.es;

^dACADAR Ingeniería y Consultoría (grupo MCVALNERA). nhs@acadar.es; gsp@acadar.es; scf@acadar.es;

1. Introducción

El incremento de las inundaciones costeras asociado al cambio climático ha motivado la implementación de un marco normativo en Europa y España (Directiva 2007/60/CE; RD 903/2010) basado en la evaluación y delimitación de áreas de riesgo, la elaboración de mapas de peligrosidad y la planificación adaptativa. Sin embargo, la aplicación práctica de estos marcos se ve limitada por la falta de metodologías que integren de forma eficiente los distintos forzamientos costeros, manteniendo un equilibrio adecuado entre capacidad predictiva y coste computacional.

2. Metodología

Este trabajo propone un marco metodológico para caracterizar la inundación costera, adaptable según la disponibilidad de datos, recursos computacionales y nivel de detalle requerido. Los niveles más simples combinan aproximaciones empíricas y de tipo “bathtub” (intersección estática de la topografía con una cota) para la inundación, mientras que los complejos integran metamodelos (considerando forzamientos costeros y pluviales), obteniendo extensiones de inundación de alta resolución. Este enfoque permite seleccionar sistemáticamente la estrategia más adecuada para cada área urbana. Como caso de aplicación se presenta la playa de El Sardinero (Santander, Cantabria), donde se implementa una estrategia de anidamiento de metamodelos (Fig 1a).

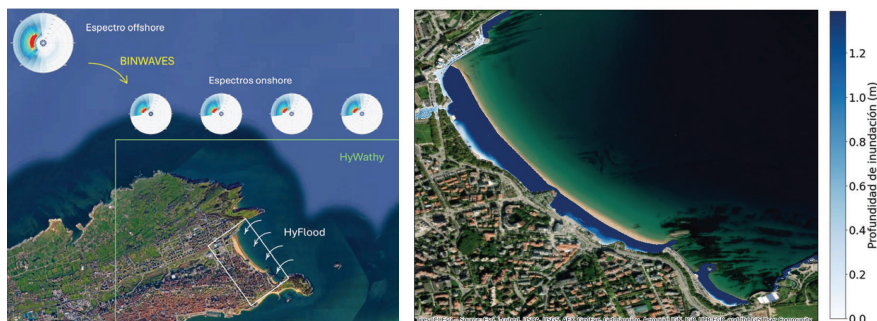


Fig. 1 a) Esquema metodológico del anidamiento de metamodelos propuesto para la obtención de la inundación en la zona urbana; b) Resultado de inundación obtenido en la playa de El Sardinero (Santander, Cantabria). Fuente: elaboración propia

3. Resultados

El ejemplo de aplicación en la playa de El Sardinero consta de los siguientes pasos:

- 1) propagación espectral del oleaje offshore-nearshore con Binwaves (Cagigal et al., 2024);
- 2) modelado de la respuesta hidrodinámica costera con HyWathy (Zornoza-Aguado et al., 2025) utilizando XBeach no hidrostático para poder obtener niveles de mar totales frente a la costa;
- 3) modelado de la inundación urbana con HyFlood (Ricondo et al., 2026) con SFINCS, que considera forzamientos costeros y pluviales (Fig. 1b). Una vez implementada la metodología permite evaluar el riesgo de inundación costera en ciudades costeras de manera rápida y efectiva, reduciendo costes computacionales y facilitando la planificación y gestión del riesgo.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido elaborada en el marco del proyecto EasyFlood (PID2023-150689OB-I00 - MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y C4Flood (CPP2023-010627 - MICIU/AEI/10.13039/501100011033).

Referencias

- CAGIGAL, L., MÉNDEZ, F., RICONDO, A., GUTIÉRREZ-BARCELÓ, D., BOSSERELLE, C., HOEKE, R., (2024). "BinWaves: An additive hybrid method to downscale directional wave spectra to nearshore areas". *Ocean Modelling*, 189, 102346.
- RICONDO, A., CAGIGAL, L., STORLAZZI, CURT D., MERRIFIELD, MARC., MENDEZ, F.J., RUGGIERO, PETER. (2026). "HyFlood: A Surrogate-Model-Based Framework for Compound Coastal Flooding". *En revisión*.
- ZORNOZA-AGUADO, M., PÉREZ-DÍAZ, B., CAGIGAL, L., CASTANEDO, S., MENDEZ, F.J. (2025). "HyWaThy: Hybrid modeling of nearshore waves with different bathymetric states". *Coast. Eng.* 202, 104837.

Análisis de inundación compuesta en zonas costeras mediante redes neuronales LSTM entrenadas con el modelo hidrodinámico 2D Iber

Ania Fernández-Portillo^a, Juan F. Farfán-Durán^b, Javier Sopelana^c, Jared Ortiz-Angulo^d, Esteban Sañudo^a, Jerónimo Puertas^a, Paula Camus^d, Luis Cea^a

^a Universidade da Coruña, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil (CITEEC), Campus de Elviña, A Coruña 15071, España, emails: ania.fernandez@udc.es , e.sanudo@udc.es , jeronimo.puertas@udc.es , luis.cea@udc.es 

^b Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland, email: j.farfán@udc.es 

^c Acuática Ingeniería Civil S.L. 36202, Vigo, España, email: jsopelana@aquaticaingenieria.com 

^d GeoOcean group, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, email: jared.ortizangulo@unican.es , paula.camus@unican.es 

1. Introducción

La Directiva Europea de Inundaciones 2007/60 CE obliga a los países miembros a desarrollar Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundaciones (MAPRI) para todas las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundaciones (ARPSIs), las cuales sirven de herramienta ante la toma de decisiones y la elaboración de los planes de gestión. Muchas de estas ARPSIs se ubican en entornos costeros, donde se dan dinámicas compuestas debido a la combinación de distintos forzadores como la marea, el caudal fluvial o la precipitación local. Existen diferentes enfoques para el análisis de estos fenómenos (Sopelana J., 2022), donde resulta complejo encontrar un equilibrio entre el coste computacional y la definición de las variables forzadoras.

2. Metodología

Con el fin de mejorar la caracterización y predicciones en zonas con dinámicas de inundación compuesta a escala local, poniendo el foco en la zona estuarina, se propone una nueva metodología mediante el uso de un modelo subrogado del software de modelización hidrodinámica 2D Iber (Sanz-Ramos et al., 2025) entrenado con series híbridas simuladas en continuo. Se escoge como caso de estudio el núcleo costero de Ponteceso (Galicia), situado en el estuario del río Anllóns, un área fuertemente presionada históricamente y donde convergen distintas dinámicas de inundación compuesta.

La metodología parte de la generación de series sintéticas extensas de las dinámicas forzadoras mediante un emulador climático multiescala (Cagigal et al., 2020) y el modelo

hidrológico agregado *MHIA* (Farfán-Durán, J.F., 2022). Disponiendo de las series sintéticas simultáneas de las variables de nivel del mar y caudal correlacionadas, se seleccionan eventos extremos para formar series híbridas que se simulan en continuo en un modelo hidrodinámico 2D Iber+ de detalle (García-Feal et al., 2018). Los resultados de las variables de velocidad y calados obtenidos se utilizan para entrenar un modelo subrogado basado en redes neuronales *LSTM* (*Long Short-Term Memory*) que nos permitirá simular series a largo plazo con un bajo coste computacional.

3. Resultados

Esta metodología híbrida entre un modelo físico de inundación 2D y modelos de IA basados en LSTM, entrenados a partir de simulaciones continuas, permite utilizar series extensas de las dinámicas forzadoras para definir las zonas inundables y aportar predicciones a corto plazo con un coste computacional asumible, lo cual constituye, hoy en día, una de las principales limitaciones en el análisis de inundación compuesta.

Agradecimientos

Agradecer a la financiación del Ministerio de España de Ciencias e Innovación (MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y de la Unión Europea-NextGenerationEU/PRTR, en el marco del Proyecto MyFlood: sistema multiescala híbrido para la predicción a corto plazo y las proyecciones de cambio climático de la inundación debido a fenómenos compuestos (PLEC2022-009362. C17. I3. BDNS 632932).

Referencias

- CAGIGAL, L., RUEDA, A., ANDERSON, D., RUGGIERO, P., MERRIFIELD, M. A., MONTAÑO, J., COCO, G., & MÉNDEZ, F. J. (2020). "A multivariate, stochastic, climate-based wave emulator for shoreline change modelling". *Ocean Modelling*, 154, 101695. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2020.101695>
- FARFÁN-DURAN, J. F., CEA, L. (2022). *MHIA Model* ("Modelo Hidrológico Agregado"), HydroShare, <https://doi.org/10.4211/hs.d98161b9f3fb4d03a4358f6c8b5f2c04>
- GARCÍA-FEAL, O., GONZÁLEZ-CAO, J., GÓMEZ-GESTEIRA, M., CEA, L., DOMÍNGUEZ, J. M., & FORMELLA, A. (2018). "An accelerated tool for flood modelling based on Iber." *Water*, 10 (10), 1459. <https://doi.org/10.3390/w10101459>
- SANZ-RAMOS, M., SAÑUDO, E., LÓPEZ-GÓMEZ, D., GARCÍA-FEAL, O., BLADÉ, E., CEA, L. (2025). "Evolution of the two-dimensional numerical modelling of free surface flows through Iber software". *Ingeniería del agua*, 29(2), 114-131. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.23259>
- SOPELANA, J. (2022) "Estudio de inundaciones compuestas en estuarios y tramos de ríos costeros. Aplicación en ríos del Noroeste de España". *Tesis Doctoral*. Universidade da Coruña. <http://hdl.handle.net/2183/30481>

HyFlood: un modelo híbrido para la inundación costera compuesta

Alba Ricondo^a, Laura Cagigal^b, Curt D. Storlazzi^c, Mark Merrifield^d, John Marra^e, Fernando J. Mendez^b, Peter Ruggiero^a

^aCollege of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences. Oregon State University. 
alba.ricondo@oregonstate.edu; peter.ruggiero@oregonstate.edu.

^bGeoOcean group, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria. laura.cagigal@unican.es; fernando.mendez@unican.es;

^cU.S. Geological Survey, Pacific Coastal and Marine Science Center, Santa Cruz, California, USA.
cstorlazzi@usgs.gov.

^dScripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA. 
mamerrifield@ucsd.edu

^eEast-West Center, Hawai'i, USA marraj.hawaii@gmail.com

1. Introducción

La inundación costera compuesta, causada por la compleja interacción entre forzadores oceánicos y atmosféricos, constituye una amenaza crítica para la resiliencia litoral. Actualmente, la caracterización de estos eventos se ve limitada debido a la escasez de registros observacionales de alta resolución y al elevado coste computacional de los modelos numéricos de alta fidelidad. Estas limitaciones restringen tanto la capacidad predictiva a corto plazo como la evaluación probabilística del riesgo de inundación. Como alternativa, este trabajo presenta HyFlood, un modelo híbrido estadístico-numérico para la estimación eficiente de la inundación compuesta y su aplicación al sur de O'ahu (Hawái).

2. Metodología HyFlood

La metodología integra: (1) la generación de escenarios sintéticos multivariados del forzamiento met-oceánico parametrizado; (2) la selección de eventos representativos; (3) la simulación de la inundación mediante el acoplamiento de modelos de alta fidelidad (Fig. 1a-b), incluyendo BinWaves (Cagigal et al., 2024), modelo híbrido basado en SWAN, para la propagación del oleaje desde aguas profundas; el modelo híbrido HySwash (Ricondo et al., 2024), basado en SWASH-1D, para la resolución de la hidrodinámica en la zona de rompientes a lo largo de perfiles transversales; y el modelo SFINCS-GPU, que simula procesos fluviales, pluviales y forzados por el oleaje; (4) la reducción de la dimensionalidad de los campos espacio-temporales de inundación mediante análisis de componentes

principales; y (5) la reconstrucción de dichos campos mediante modelos de regresión por procesos gaussianos.

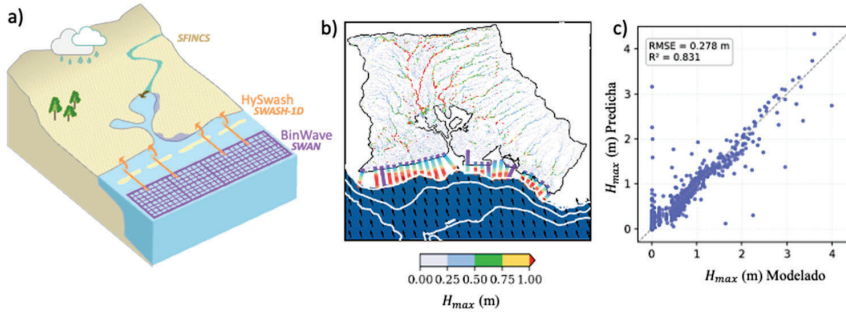


Fig 1. (a) Esquema metodológico del acoplamiento de modelos. (b) Simulación de oleaje, hidrodinámica en la zona de rompientes e inundación compuesta para un escenario sintético representativo. (c) Máximo de inundación modelado y reconstruido por HyFlood en el Aeropuerto Internacional de O'ahu.

3. Resultados

La validación numérica de HyFlood (Fig. 1c) demuestra su capacidad para reproducir la distribución espacial de la inundación costera compuesta. HyFlood proporciona una alternativa computacionalmente eficiente al modelado dinámico tradicional. Su alta eficiencia convierte HyFlood en una herramienta especialmente adecuada para sistemas de alerta temprana, análisis de riesgo probabilístico y el diseño y optimización de estrategias dinámicas de adaptación costera.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Office of Naval Research (proyectos Phoenix, MURI y ESTCP) y por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España (proyectos HyBay, TWINPEACS, C4Flood y CACCI).

Referencias

- CAGIGAL, L., MÉNDEZ, F., RICONDO, A., GUTIÉRREZ-BARCELÓ, D., BOSSERELLE, C., HOEKE, R., (2024). "BinWaves: An additive hybrid method to downscale directional wave spectra to nearshore areas". *Ocean Modelling*, 189, 102346.
- RICONDO, A., CAGIGAL, L., STORLAZZI, CURT D., MERRIFIELD, MARC., MENDEZ, F.J., RUGGIERO, PETER. (2026). "HyFlood: A Hybrid Statistical-Dynamical Downscaling Framework for Compound Coastal Flooding". *En revision*.

Trayectorias dinámicas para la reducción del riesgo de inundación

Alexandra Toimil^a, Moisés Álvarez-Cuesta^b, Iñigo J. Losada^c, Sara Novo^d, Iria Suárez^e,
Saúl Torres-Ortega^f, Raúl Medina^g

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Isabel Torres
15, 39011, Santander, España. ^a  0000-0002-2067-872X, toimila@unican.es;

^b  0000-0002-1180-0746, alvcuestam@unican.es; ^c  0000-0002-9651-9709, losadai@unica.es;

^d  0009-0009-7795-0817, novos@unican.es; ^e  0009-0002-5156-575X, suarezci@unican.es;

^f  0000-0003-0619-2608, torress@unican.es; ^g  0000-0002-0126-2710, medinar@unican.es.

1. Introducción

Las zonas costeras, por su posición de transición entre tierra y mar, concentran procesos físicos y ecológicos que las hacen especialmente dinámicas y, a la vez, vulnerables al cambio climático. La alteración de las condiciones históricas, en particular la subida del nivel del mar y los cambios en los eventos meteorológicos extremos, intensifica la inundación y la erosión, dos impactos que no actúan de forma aislada sino que se refuerzan mutuamente y pueden comprometer infraestructuras, actividades económicas y ecosistemas (Toimil et al., 2023). En este contexto, planificar la adaptación requiere herramientas capaces de representar de forma realista la interacción inundación–erosión, incorporar la incertidumbre asociada y traducir resultados en información útil para la toma de decisiones. En este trabajo analizamos los beneficios de adaptación y mitigación en la reducción del riesgo de inundación en La Manga del Mar Menor (Murcia), una barra arenosa altamente antropizada de 21 km. Para ello, proponemos un enfoque basado en trayectorias adaptativas (Toimil et al., 2021), que permite integrar la incertidumbre en la planificación dinámica y se aplica, por primera vez, al riesgo compuesto de inundación costera y erosión.

2. Metodología

La aproximación propuesta combina modelos basados en procesos para cuantificar la evolución conjunta de erosión e inundación bajo cambio climático. En primer lugar, se estima la erosión de largo plazo inducida por la dinámica marina y la subida del nivel del mar, y a partir de ella se actualiza de manera consistente la topo-batimetría, de forma que las modificaciones de la línea de costa y de los perfiles costeros queden incorporadas en el estado físico sobre el que se propaga la inundación. Sobre estas topografías evolutivas se simula la inundación por eventos extremos (distintos periodos de retorno) combinados con trayectorias de subida del nivel del mar del AR6, explorando escenarios de emisiones SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5 y percentiles de aumento del nivel medio del mar (5, 50 y 95) para capturar la incertidumbre de origen climático. La salida del modelado hidráulico se traduce en mapas

de profundidad/extensión de inundación y, a partir de ellos, el riesgo se cuantifica de 2020 a 2100 como daño esperado anual (DEA) mediante la integración de la exposición (en términos de capital construido) y funciones de vulnerabilidad dependientes del calado alcanzado en cada edificio. En los escenarios con adaptación se representa el efecto de un portafolio de soluciones basadas en la naturaleza, estructurales y no estructurales que permiten estrategias de avance, protección y retirada planificada, incorporando tanto su capacidad de reducir la peligrosidad (p. ej., atenuación y disipación) como de limitar la exposición y vulnerabilidad. La implementación se organiza en forma de plan dinámico: algunas medidas se aplican una única vez en momentos definidos, mientras que otras se activan y dimensionan mediante un sistema de monitorización con umbrales. Es decir, se implementan solo cuando y en la medida necesaria. Esto permite construir rutas de adaptación y evaluar su desempeño bajo la incertidumbre del cambio climático y de un entorno cambiante.

3. Resultados

Los resultados se presentarán como la evolución temporal del DEA residual bajo los distintos escenarios de emisiones y trayectorias de aumento del nivel del mar, mostrando cómo dicho riesgo desciende o se estabiliza a medida que se activan las medidas dentro de las rutas de adaptación. La contribución de cada medida a la reducción del riesgo es heterogénea: algunas generan beneficios prácticamente inmediatos tras su implementación, mientras que otras requieren tiempos de preparación significativos asociados a diseño, tramitación, financiación o aceptación social, desplazando su efecto en el tiempo. Asimismo, el análisis permitirá identificar que la eficacia relativa de las medidas depende del escenario de emisiones, de modo que determinadas soluciones resultan más eficientes y robustas en escenarios de menor forzamiento radiativo, mientras que en escenarios de altas emisiones es necesario combinar medidas o transitar hacia estrategias con mayor capacidad de transformación.

Referencias

- TOIMIL A, ALVAREZ-CUESTA M, LOSADA IJ (2023) Neglecting the effect of long-and short-term erosion can lead to spurious coastal flood risk projections and maladaptation. *Coast. Eng.*, 179, 104248.
- TOIMIL A, LOSADA IJ, HINKEL J, NICHOLLS R (2021) Using quantitative dynamic adaptive policy pathways to manage climate change-induced coastal erosion. *Clim. Risk Manag.*, 33, 1003.

Los estudios de inundación de la costa como herramienta para la gestión integral de la zona costera. Casos de las playas del Pinet y La Marina (T.M,s de Elche y Santa Pola, Alicante)

Jose María Medina Villaverde^{a,b}, José Manuel de la Peña Olivas^c

^aCentro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX, , jose.m.medina@cedex.es;

^bUniversidad Francisco de Vitoria, , Josemaria.medina@ufv.es, cDr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, , jmpoingenieria@gmail.com.

1. Introducción

La creciente presión sobre los sistemas litorales debido al cambio climático, la subida del nivel medio del mar y la intensificación de episodios de oleaje extremo plantea importantes retos para la ingeniería de costas y, en particular, para la definición y gestión del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) conforme a la normativa española vigente. Este trabajo presenta una síntesis de los principales hallazgos y desafíos derivados del reciente estudio técnico realizado por el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX en las playas del Pinet y La Marina, situadas en la costa de Elche y Santa Pola (Alicante), con especial atención a la calidad de datos de oleaje, la evolución litoral y las implicaciones legislativas y de gestión.

2. Contexto y motivación

La Ley 22/1988 de Costas, desarrollada a través de su reglamento y actualizada parcialmente en diversas disposiciones, establece criterios técnicos y jurídicos para la determinación del DPMT, basados principalmente en la posición de la línea de máxima pleamar ordinaria (MPO) y otros indicadores derivados de la dinámica litoral. Sin embargo, la intensificación de procesos erosivos y la ampliación de zonas inundables dificulta la aplicación robusta de estos criterios, especialmente cuando las series de datos ambientales son limitadas o de baja resolución.

Las playas del Pinet y La Marina constituyen sistemas arenosos abiertos al mar Mediterráneo, expuestos a episodios de oleaje y evolución litoral que, en las últimas décadas, han mostrado tendencias de retroceso de la línea de costa y cambios significativos en sus perfiles transversales. En este contexto, el estudio del CEDEX se diseñó con los siguientes objetivos:

Los estudios de inundación de la costa como herramienta para la gestión integral de la zona costera. Casos de las playas del Pinet y La Marina (T.M.s de Elche y Santa Pola, Alicante)

- Evaluar la incertidumbre y calidad de los datos de oleaje disponibles (mediciones in situ, reanálisis y modelos numéricos).
- Cuantificar la evolución reciente del litoral y su relación con las variables hidrodinámicas.
- Analizar las implicaciones para la delimitación del DPMT y las necesidades de actualización metodológica en la gestión costera.

3. Calidad de los datos de oleaje y métodos de análisis

Un aspecto crítico del estudio fue la evaluación de la calidad y representatividad de los datos de oleaje empleados para estimar condiciones de diseño y estadísticas de extremos.

4. Evolución del litoral en Elche y Santa Pola

El análisis de la evolución de playa se basó en interpretación de **ortofotos y fotos de satélite históricas**, perfiles topobatimétricos y datos LiDAR disponibles en los últimos 20 a 30 años.

5. Implicaciones para la delimitación del DPMT y gestión

La combinación de **incertidumbre en datos de oleaje y dinámica litoral activa** genera problemas técnicos y jurídicos para la definición de límites precisos del DPMT:

- No es posible reproducir lo que ocurrió con el máximo temporal registrado. Por otra parte, no siempre las olas más altas y largas inundan más. Depende, entre otras cosas, del punto de rotura (debido a la batimetría) y otras causas.
- La derivación del **límite superior del DPMT** con base en la MPO pierde consistencia cuando la variación temporal de la línea de costa supera las escalas de referencia utilizadas en legislación.
- La falta de criterios claros para incorporar eventos extremos raros (evento 100 años) en la definición del dominio genera discrepancias entre administraciones y expertos.
- La **variabilidad morfológica natural** y la respuesta a eventos extremos hacen necesaria una revisión de métodos de determinación del DPMT que incorporen análisis probabilísticos y modelización dinámica.

Referencia

MEDINA-VILLAVARDE, J.M. (2023). *Estudio de las playas del Pinet y La Marina (T.M. de Elche y Santa Pola, Alicante)*. Madrid, Centro de Estudios de Puertos y Costas - CEDEX

Protección costera frente a inundación y límites de la actividad turística en Benidorm

Andrea Costales-Llata, Alexandra Toimil, Moisés Álvarez-Cuesta, Iñigo J. Losada

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain.

 0009-0008-1668-6349, costalesa@unican.es;  0000-0002-2067-872X, toimila@unican.es;

 0000-0002-1180-0746, alvcuestam@unican.es;  0000-0002-9651-9709, losadai@unican.es

1. Introducción

El turismo costero constituye una actividad económica clave en la región mediterránea, con España como uno de los destinos principales. Sin embargo, esta actividad se encuentra seriamente amenazada por el efecto combinado de inundaciones y procesos erosivos cada vez más intensos y frecuentes, agravados por el aumento del nivel medio del mar (ANMM). El incremento de la exposición de áreas costeras densamente pobladas pone de manifiesto la importancia del rol que desempeñan los elementos que conforman el frente costero como buffers de protección. Estos elementos pueden ser naturales, como playas, dunas o vegetación costera e intermareal, o antrópicos, como diques o paseos marítimos. Su efecto combinado no es lineal, de modo que el valor de protección resultante no puede estimarse como la simple suma de sus contribuciones individuales. Variaciones en el nivel del mar o la ocurrencia de tormentas sucesivas, así como otros escenarios, pueden provocar el fallo de uno o varios de estos elementos e incrementar el riesgo de forma significativa.

El fallo de los elementos del frente costero en la reducción del riesgo de inundación se asocia a la existencia de umbrales a partir de los cuales estos componentes pueden experimentar cambios que desencadenan impactos abruptos o irreversibles (*Lenton & Ciscar 2013*). En usos especialmente sensibles, como la actividad turística, la superación de dichos umbrales puede inducir transformaciones en el sistema socioeconómico, con la consiguiente pérdida de valor y degradación de servicios (*van Ginkel et al., 2020*).

El presente estudio propone una metodología para identificar los límites de la actividad turística debidos al fallo de los elementos del frente costero como defensas ante inundaciones inducido por el ANMM y tormentas sucesivas. Esta metodología se ha aplicado de forma piloto en Benidorm, uno de los principales referentes del turismo de “sol y playa” en España.

2. Metodología

Para la identificación de los umbrales se ha optado por seguir un enfoque bottom-up (de abajo a arriba), basado en escenarios de ANMM incrementales a diferentes casos de estudio. Los

casos se han definido combinando: (i) escenarios de erosión frente a mantenimiento de las playas actuales; (ii) presencia/ausencia de praderas marinas; y (iii) la ocurrencia de dos eventos de tormenta consecutivos sin un periodo previo de recuperación. Este diseño experimental permite aislar y cuantificar la contribución de cada elemento de forma individual y conjunta, sobre la hidro-morfodinámica y la inundación costera.

Para ello, se ha diseñado una cadena de modelado que comienza con la regionalización del oleaje, la simulación de la erosión a largo plazo (escala mensual), el modelado hidrodinámico y morfodinámico de tormentas y la propagación de la inundación costera para los diferentes escenarios analizados. Sobre estos resultados físicos, se ha realizado una evaluación económica que considera tanto los daños en la infraestructura mediante el empleo de funciones de daño como la pérdida de actividad económica asociada a la industria hotelera, calculada a partir de los días de inactividad.

3. Resultados

Los resultados muestran que, para niveles bajos de ANMM, la influencia de la vegetación sobre la inundación costera es despreciable, ya que su papel como atenuante de la cota de inundación (CI) no resulta significativo debido a la elevada cota de la playa. En un rango intermedio, cuando la CI alcanza la playa sin cubrirla por completo, su efecto se vuelve significativo. Por el contrario, su función protectora desaparece tanto cuando la playa se encuentra completamente inundada como cuando se producen dos eventos de tormenta consecutivos sin tiempo suficiente para la recuperación del sistema.

Los resultados también muestran que, para pequeños incrementos de ANMM, el área inundada es mayor en los escenarios en los que la playa no se erosiona, ya que la reducción de la CI tiene un mayor peso que la reducción de la playa seca, siendo la contribución del set-up el factor determinante en la CI. Este patrón se invierte para valores más altos de ANMM, donde la pérdida de la playa seca domina el comportamiento del sistema, superando el efecto reductor de la CI.

Además, el presente estudio pone de manifiesto que los cambios en el área inundada influyen en gran medida en los activos turísticos expuestos, así como en la actividad turística asociada.

Referencias

- Lenton, T.M., Ciscar, J.C.: Integrating tipping points into climate impact assessments. *Climatic Change* 117, 585–597, <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0572-8>, 2013.
- van Ginkel, K. C. H., Haasnoot, M., and Wouter Botzen, W. J.: A stepwise approach for identifying climate change induced socio-economic tipping points, *Climate Risk Management*, 37, 100445, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100445>, 2022.

Planificación y gestión portuaria basada en datos: eficiencia energética, gobernanza institucional y spillovers en el transporte marítimo europeo

Javier Vaca Cabrero^{a,b}, Alberto Camarero Orive^{a,b}, Nicoletta González-Cancelas^{a,b}

^a Department of Transport, Territorial and Urban Planning Engineering, School of Civil Engineering, Universidad Politécnica de Madrid, Calle Profesor Aranguren, 3, 28040, Madrid (Spain) , <https://orcid.org/0000-0002-0453-8989>, j.vaca@upm.es; , <https://orcid.org/0000-0002-0614-8714>, alberto.camarero@upm.es, , <https://orcid.org/0009-0008-6223-1900>, nicoleta.gcancelas@upm.es

^b Cátedra sobre Logística Portuaria de Puertos del Estado- UPM, School of Civil Engineering, Calle Profesor Aranguren, 3, 28040, Madrid (Spain)

1. Resumen

La integración del transporte marítimo en el EU Emissions Trading System (EU ETS) y el desarrollo del sistema de Monitorización, Notificación y Verificación (MRV) han generado una infraestructura digital de datos que transforma las posibilidades de análisis para la planificación y gestión portuaria (Flodén et al., 2024; Luo et al., 2023; Xing et al., 2025). No obstante, la literatura sobre eficiencia energética marítima continúa centrada principalmente en el buque individual o en análisis agregados de flota, sin considerar adecuadamente las interdependencias institucionales asociadas a los puertos de registro (Bayraktar et al., 2025).

Este trabajo propone un enfoque espacial-institucional que interpreta los registros marítimos como nodos administrativos dentro de una red de gobernanza, donde los estándares de certificación, inspección y control pueden influir indirectamente en el desempeño operativo (Kara, 2022; Sampson & Bloor, 2007). A partir de datos del sistema EU MRV, se analiza si la eficiencia energética de un buque está condicionada por el desempeño medio de otros buques bajo el mismo entorno institucional.

Metodológicamente, se aplica un Modelo Durbin Espacial (SDM), que permite capturar efectos directos e indirectos entre unidades interdependientes (Anselin, 2021; Zhang et al., 2023). La matriz de pesos se define en función de la afiliación administrativa —y no geográfica— lo que permite modelizar la proximidad institucional en entornos regulados.

El análisis empírico se centra en buques portacontenedores e incluye variables como consumo de combustible, emisiones de CO₂, tiempo de navegación e indicadores de intensidad energética, en línea con los marcos actuales de evaluación del rendimiento energético marítimo (Chen et al., 2024; Godet et al., 2023; Lu & Theocharis, 2025).

Los resultados evidencian una dependencia institucional positiva y estadísticamente significativa: la mejora en la eficiencia media del entorno administrativo incrementa la eficiencia individual, generando un efecto multiplicador sistémico. Desde la perspectiva de la gestión portuaria, el sistema MRV emerge no solo como herramienta de cumplimiento normativo, sino como base para el diseño de incentivos y la coordinación institucional en entornos portuarios digitalizados.

Referencias

- Anselin, L. (2021). *Spatial models in econometric research*. Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance.
- Bayraktar, M., Mollaoglu, M., & Yuksel, O. (2025). Scientometric analysis of energy efficiency indicators in maritime transportation. *Sustainability*, 17(8), 3612.
- Chen, X., Lv, S., Shang, W., Wu, H., Xian, J., & Song, C. (2024). Ship energy consumption analysis and carbon emission exploitation via spatial-temporal maritime data. *Applied Energy*, 360, 122886.
- Flodén, J., Zetterberg, L., Christodoulou, A., Parsmo, R., Fridell, E., Hansson, J., Rootzén, J., & Woxenius, J. (2024). Shipping in the EU emissions trading system: Implications for mitigation, costs and modal split. *Climate Policy*, 24, 1–19.
- Godet, A., Nurup, J. N., Saber, J. T., Panagakos, G., & Barfod, M. B. (2023). Operational cycles for maritime transportation: A benchmarking tool for ship energy efficiency. *Transportation Research Part D*, 121, 103840.
- Kara, E. G. E. (2022). Determination of maritime safety performance of flag states based on the Port State Control inspections using TOPSIS. *Marine Policy*, 143, 105156.
- Lu, P.-H., & Theocharis, D. (2025). The influence of energy efficiency and carbon indicators on ship prices. *Maritime Economics & Logistics*, 27(3), 549–566.
- Luo, X., Yan, R., & Wang, S. (2023). After five years' application of the EU MRV mechanism: Review and prospectives. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140006.
- Sampson, H., & Bloor, M. (2007). When Jack Gets out of the Box: The problems of regulating a global industry. *Sociology*, 41(3), 551–569.
- Xing, H., Chang, S., Ma, R., & Wang, K. (2025). EU MRV data-based review of the ship energy efficiency framework. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(8), 1437.
- Zhang, D., Dai, X., Wang, Q., & Lau, C. K. M. (2023). Impacts of weather conditions on systemic interdependence across multi-timescales. *Energy Economics*, 123, 106732.

Propuesta metodológica para el estudio económico financiero y análisis de la solvencia financiera en concesiones de instalaciones náutico-deportivas

Juan-José Ortega

Dirección General de Costas, Puertos y Aeropuertos, Generalitat Valenciana, ortega_juaalm@gva.es

1. Introducción

El estudio económico financiero es un documento técnico y no administrativo clave para determinar el plazo de una concesión, o su prórroga, y su viabilidad. El estudio analiza en clave financiera el impacto y su pronóstico de la gestión de activos portuarios, que su adecuada comprensión requieren de un profundo conocimiento técnico.

El estudio supone una parte inescindible del proyecto técnico para la concesión demanial de instalaciones náutico-deportivas, normalmente puertos deportivos que son gestionados indirectamente por marinas o clubes náuticos. Las inversiones efectuadas mediante herramientas de colaboración público-privada están siendo una parte importante en el desarrollo y necesaria renovación de las infraestructuras portuarias autonómicas. La cuantificación del volumen de la inversión viene determinada y condicionada por las conclusiones del estudio económico financiero que se pretende revisar, de ahí su importancia.

Estando próximos los vencimientos de las concesiones otorgadas en la década de los noventa previamente a las transferencias de competencias de parte de las infraestructuras portuarias a las autonomías, se trata de una oportunidad única para establecer una metodología y contenidos mínimos de un documento clave para establecer un volumen adecuado de la inversión y plazo mínimo, sin comprometer la viabilidad de la concesión.

2. Problemática y estado del arte

En el marco normativo, se consulta la legislación portuaria y costera de ámbito nacional y también autonómico. En las determinaciones normativas se condiciona el plazo y el volumen de la inversión a este estudio económico financiero, pero no se establecen los contenidos mínimos requeridos y de aplicación específica en instalaciones náutico-deportivas.

Las publicaciones en relación con la materia están enfocadas al análisis grandes obras y concesiones dentro de puertos de interés general (pe: MEIPOR 2016), o el estudio del impacto económico de los puertos de interés general, siendo estas conclusiones no escalables a puertos autonómicos o dentro de puertos de interés general, las concesiones de náutica-

deportiva. En el marco general, el estudio puede asimilarse a una cuenta de pérdidas y ganancias del Plan General Contable, sin embargo, las particularidades del sector dificultan su adaptación, siendo necesaria una herramienta financiera *ad hoc* elaborada por un perfil técnico portuario.

La importancia de los puertos autonómicos a nivel socioeconómico en el territorio que ocupan y su zona de influencia es indubitada, siendo una infraestructura esencial para satisfacer la creciente demanda del turismo náutico. No obstante, existe ausencia de criterios consensuados y de documentación técnica económica financiera específica en el ámbito, que unidas a la inaplicabilidad de las publicaciones citadas por ser de objeto sensiblemente dispar: dificultan el análisis, comprensión y formulación de conclusiones pertinentes al estudio examinado.

3. Objetivo

En base a la problemática expuesta, se propone una metodología para la elaboración de estudios económicos financieros que a su vez pueda emplearse para el examen de un documento clave en la consecución de la tramitación de concesiones demaniales en el ámbito portuario náutico-deportivo, y a su vez, discutir la idoneidad del criterio de la solvencia financiera frente al habitual económico para afrontar la inversión requerida.

4. Propuesta metodológica del estudio económico-financiero

La propuesta, suciamente descrita, consiste en definir una serie de contenidos mínimos estructurados en: A. Superficies y actividades portuarias, B. Estudio de tarifas, C. Estudio económico financiero e índices de rentabilidad. Las principales relevancias son: la adecuada identificación de activos portuarios, obtener el cuadro de tarifas como un *output* y no mediante iteraciones sucesivas para una rentabilidad objetivo, y la correcta periodificación.

5. Conclusiones y discusión: solvencia financiera frente a criterios económicos

Establecidos los contenidos mínimos y las pautas para la elaboración del estudio, se propondrá un umbral mínimo en índices de rentabilidad obtenidos por métodos dinámicos.

Se discute complementar la solvencia acreditada mediante la cifra de negocio, con la capacidad financiera necesaria para inversión, calculada la punta de financiación por medio de proyecciones que contemplen la financiación de las obras y los gastos de explotación, considerando un fondo de maniobra suficiente estimado en una anualidad de gastos de explotación. Este disponible requerido es notablemente superior al diferencial de inversión total e ingresos por cesión de amarres de uso preferente, pero es el disponible que garantiza la consecución de la inversión sin comprometer la viabilidad en los primeros ejercicios.

El retorno de las buenas prácticas en el diseño en planta de diques de protección portuaria

Estefanía Giraldo Franco, Beatriz Rodríguez Fernández, Francisco Luis Martín Gallego, Antonio Tomás Sampetro, Gabriel Díaz- Hernández

Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria),
estefania.giraldo@unican.es, beatriz.rodriguez@unican.es, martinfl@unican.es, tomasan@unican.es,
gabriel.diaz@unican.es

1. Introducción y objetivos

En las últimas décadas, el diseño de diques de abrigo portuario ha evolucionado notablemente, incorporando nuevas tipologías estructurales, materiales avanzados y herramientas de análisis cada vez más sofisticadas. Sin embargo, en numerosos puertos, especialmente aquellos de origen más antiguo o sometidos a ampliaciones parciales, se detectan deficiencias en la aplicación de criterios geométricos fundamentales de diseño en planta. Estas deficiencias se manifiestan, en particular, en una relación inadecuada entre la longitud y configuración del dique principal y el contradique, con consecuencias directas sobre el nivel de abrigo interior y la operatividad portuaria.

El presente trabajo busca recopilar las reglas clásicas de buena práctica asociadas al diseño geométrico portuario en planta, y reinterpretarlas con ayuda de las técnicas modernas de modelización y análisis de agitación interior. Para ello, el estudio se ilustra a través del análisis de dos puertos con características similares, en los que se han identificado problemas de agitación interior asociados a una insuficiente longitud relativa del dique principal respecto al contradique.

El objetivo principal es analizar cómo la longitud y configuración del dique principal y el contradique, para un ancho de bocana requerido, condicionan el grado de protección frente al oleaje y, en consecuencia, la capacidad del puerto para operar de forma segura y eficiente.

2. Metodología

El estudio se ha basado en una metodología desarrollada por el Grupo de Puertos e Infraestructuras Costeras del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria) a lo largo de los últimos 20 años. Esta metodología integra el análisis de clima marítimo exterior de larga duración (más de 30 años de datos horarios océano-meteorológicos), la propagación del oleaje desde offshore hasta el entorno portuario mediante modelos espectrales de tercera generación, el análisis de la agitación interior portuaria mediante el uso de un modelo basado en las ecuaciones elípticas de la pendiente suave, y todo ello apoyado en técnicas estadísticas que permiten reducir el coste computacional del

estudio y acelerar la reconstrucción de las series temporales de agitación de larga duración en distintos puntos representativos del interior del puerto.

Para cada caso de estudio se han analizado la situación actual y varias alternativas de prolongación del dique principal, evaluando su impacto sobre: los niveles de agitación interior en las principales áreas operativas, y la frecuencia de superación de umbrales operativos asociados a maniobras de atraque y operaciones de carga y descarga.

Los resultados se han interpretado desde una perspectiva operativa, relacionando los niveles de agitación con criterios funcionales y de seguridad comúnmente empleados en puertos comerciales.

De forma complementaria, se ha analizado estadísticamente la anchura de bocana en relación con los buques de diseño para diversos puertos de España.

3. Resultados

Los resultados obtenidos confirman que la longitud relativa del dique principal respecto al contradique es un factor clave en la reducción de la agitación interior y en la mejora de la operatividad portuaria, como cabía esperar. Sin embargo, también ponen de manifiesto que, a partir de cierta longitud, las mejoras adicionales presentan rendimientos decrecientes.

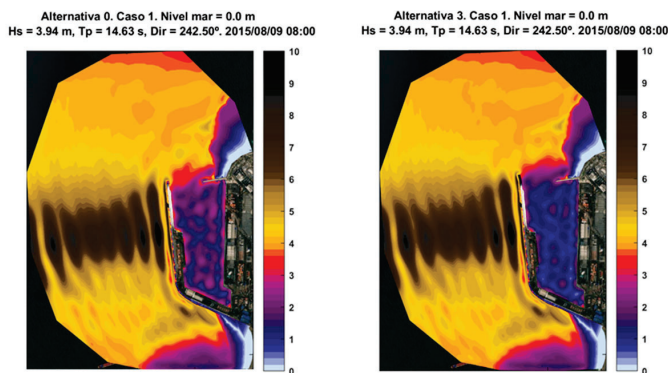


Fig. 1 Comparación de los mapas de agitación interior (Hs) correspondientes a dos longitudes del dique principal

Conclusiones

El presente trabajo aboga por la recuperación de criterios de diseño en planta bien fundamentados en las fases iniciales, proporcionando reglas de buena práctica que faciliten el posterior ajuste geométrico de las obras de abrigo, apoyadas en las técnicas numéricas y estadísticas del estado del arte y orientadas a satisfacer las necesidades reales de operatividad de los puertos modernos.

¿Cada cuántos años debe mantenerse un dique rompeolas?

Delia Regueira^a, Mireia López-Paredes^b, Antonio Tomás^a, César Vidal^a, Corrado Altomare^b, Mario Hernaez^c

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander,

 delia.regueira@unican.es,  antonio.tomas@unican.es,  cesar.vidal@unican.es

^bUniversitat Politècnica de Catalunya, Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC),

 mireia.lopez.paredes@upc.edu,  corrado.altomare@upc.edu

^cAutoridad Portuaria de Bilbao, mhernaez@bilbaoport.eus

1. Introducción

El mantenimiento de los diques rompeolas constituye uno de los principales retos en la gestión del ciclo de vida de las infraestructuras portuarias, especialmente en un contexto de cambio climático, incremento del nivel del mar y creciente presión operativa. Tradicionalmente, las estrategias de mantenimiento se han basado en criterios reactivos o en intervalos temporales fijos, sin una vinculación directa con predicciones de la evolución real del daño estructural ni con la pérdida progresiva de funcionalidad.

En este trabajo se plantea una pregunta clave desde un enfoque cuantitativo y operativo: ¿cómo determinar cada cuántos años debe mantenerse un dique rompeolas para garantizar niveles aceptables de servicio y seguridad? Para responderla, se presenta una metodología basada en el análisis sistemático de ratios de mantenimiento, definida y aplicada en el marco del proyecto PI-BREAK (*Predictive Intelligent System for Optimising Breakwater Maintenance*), utilizando como caso de estudio el dique de Punta Lucero (Puerto de Bilbao).

2. Metodología

La metodología se basa en la aplicación de bases de datos de proyecciones de clima marítimo y nivel del mar (actual, 2050, 2075 y 2100), a la determinación de la evolución del nivel de daño asociado a modos de fallo último y de la funcionalidad asociada a modos de fallo de servicio. A partir de esta información se realiza un análisis sistemático de ratios de mantenimiento. Esta metodología se aplica a varias alternativas de protección de la zona de arranque del dique para la determinación de los ratios de mantenimiento asociados a: 1) El Estado Límite Último (ELU) correspondiente al modo de fallo de desplazamiento de las piezas del manto principal, caracterizado por el parámetro de daño Nod, según el Rock Manual, y 2) El Estado Límite de Servicio (ELS) asociado al modo de fallo por rebase, caracterizado por el caudal medio de rebase, que según el EurOtop (2018). El ratio de mantenimiento asociado al ELU se define como el tiempo medio necesario para alcanzar un

determinado daño acumulado. El ratio de mantenimiento asociado al ELS se calcula como el tiempo medio anual entre eventos de rebase que superan un determinado umbral de caudal.

3. Resultados y discusión

El análisis comparativo entre los distintos horizontes climáticos pone de manifiesto que la subida progresiva del nivel del mar tiene un impacto directo en la seguridad, debida al daño acumulado en el manto principal del dique y en la funcionalidad, debida al deterioro progresivo de las infraestructuras protegidas por el dique, asociado al aumento de la frecuencia de superación de los umbrales de rebase. Como consecuencia, el tiempo necesario para alcanzar niveles de daño relevantes se reduce, y los ratios de mantenimiento, definidos tanto para el ELU como para el ELS, disminuyen progresivamente a medida que aumenta el nivel del mar, evidenciando una mayor demanda de mantenimiento en escenarios climáticos futuros.

Conclusiones

El uso combinado de ambos ratios permite identificar ventanas temporales óptimas para la intervención, así como comparar la eficacia de distintas estrategias de mantenimiento y adaptación geométrica, proporcionando una base objetiva para la toma de decisiones, respondiendo de forma cuantitativa y operativa a la pregunta inicial. Aunque el análisis se aplica a un dique de la escala del dique de Punta Lucero, el enfoque desarrollado es transferible y replicable a otras infraestructuras portuarias, constituyendo una herramienta de apoyo a la gestión del ciclo de vida de diques rompeolas en un contexto de creciente incertidumbre climática.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto PI-BREAK, financiado mediante la subvención PLEC2021-007810 por la convocatoria MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea a través de los fondos NextGenerationEU/PRTR.

Referencias

- CIRIA, CUR y CETMEF (2007). *The Rock Manual: The Use of Rock in Hydraulic Engineering* (2nd edition). C683. London: CIRIA.
- EUROTOP (2018). *Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures*. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., et al. <http://www.overtopping-manual.com>.

Metodología para la realización de las evaluaciones de riesgos de las simulaciones de maniobra de buques

Andrés Hernández González, María Eugenia Prieto Estévez

CEDEX-CEPYC, Madrid,  andres.hernandez@cedex.es. CEDEX-CEPYC, Madrid
 m.eugenia.prieto@cedex.es

1. Introducción

Se ha definido una metodología de evaluación de riesgos de las simulaciones de maniobras de buques, enmarcada dentro del área temática de Planificación y gestión de puertos. Digitalización, innovación y ciberseguridad.

El objetivo de establecer una metodología para la evaluación de riesgos de las simulaciones de maniobra de buques es el de implementar un método objetivo y fácilmente aplicable a través de una serie de procedimientos que permitan determinar la seguridad de cada simulación. Esta metodología pretende, aplicando una serie de procedimientos de análisis de riesgos, acotar los parámetros mediante los que determinar la seguridad de una determinada maniobra. Entre estos parámetros se incluye el criterio del personal náutico que participa en el estudio y el criterio de la persona que lo dirige.

2. Metodología

La evaluación de riesgos consta de tres partes: numérica, náutica (realizada por el personal náutico que realiza la simulación) y final (realizada por la persona que dirige el proyecto) que tiene en cuenta las dos anteriores.

Con carácter general, en todas las evaluaciones de riesgos, se asignará una puntuación del 1 al 5, siendo 1 riesgo muy bajo y 5 riesgo muy alto.

2.1 Evaluación de riesgos numérica

En esta primera evaluación de riesgos se tiene en cuenta la reserva de los medios de maniobra y del margen de maniobra del buque durante la simulación. La reserva de medios de maniobra se calcula incluyendo los tiempos de uso de la máquina, el timón, las hélices de maniobra y de los remolcadores. La reserva de margen de maniobra se estima midiendo las distancias mínimas de paso a las zonas de peligro identificadas y midiendo la velocidad del buque o su ángulo de deriva en los tramos críticos de la maniobra, también puede incluir otros parámetros como la velocidad de giro y el resguardo bajo quilla, definiendo cada uno de estos factores como elemento crítico.

2.2 Riesgos asociados a la reserva de margen de maniobra

Al comienzo de cada estudio se deben identificar los peligros y restricciones del puerto. Los elementos críticos son parámetros medibles de la navegación del buque como su velocidad lineal, su velocidad de giro, su ángulo de deriva o la distancia de paso por algún punto determinado de la planta del puerto.

Finalmente, se obtendrá la puntuación total del riesgo asociada a la reserva de margen de maniobra, que corresponderá siempre el máximo riesgo encontrado en cualquiera de los elementos críticos.

2.3. Evaluación de riesgos náutica

Una vez finalizada la maniobra, el personal náutico rellenará un formulario de evaluación de riesgos. En dicho formulario se clasifican los niveles de riesgo en base a su juicio profesional y a su experiencia.

Evaluación de riesgos náutica por parte del capitán o piloto		
Observaciones durante la ejecución de la simulación	Nivel de riesgo	Puntuación
- Colisión o varada - Pérdida del control del buque - Estrés grave del piloto o capitán	Muy alto	5
- Control del buque mantenido usando la reserva de los medios de maniobra durante mucho tiempo - Dificultad para mantener la distancia al límite navegable: el buque sobrepasó el límite - Estrés considerable del piloto o capitán	Alto	4
- Control del buque mantenido en el límite de la reserva de medios de maniobra - Dificultad moderada para mantener la distancia al límite navegable: el buque roza el límite - El estrés en el puente a sido rutinario	Moderado	3
- Control del buque mantenido por debajo del límite de la reserva de medios de maniobra - Mínima dificultad para mantener la distancia al límite navegable - El estrés en el puente a sido ligero y mínimo	Bajo	2
- Control del buque mantenido sin dificultad, uso de medios de maniobra mínimos - Se ha mantenido la distancia al límite navegable sin dificultad - No ha existido estrés en el puente durante la maniobra	Muy bajo	1

Fig. 1 Evaluación de riesgos náutica

Por último, las condiciones meteorológicas límites operativas para los buques y atraques estudiados serán en las que las maniobras se puedan ejecutar dentro un nivel de riesgo final del 1 al 2. Si el riesgo final es 3, la maniobra será factible siempre que se apliquen los controles de riesgos propuestos.

Referencias

SWIFT, A. J. (2ª edición de 2004). *Bridge Team Management: A Practical Guide*. Reino Unido: The Nautical Institute

MARCOM (2014), *Harbour Approach Channels Design Guidelines*. MarCom-Report-121. Bruselas: PIANC Secrétariat Général.

Determinación del crucero tipo del Puerto de Málaga y de Cartagena. Metodología de cálculo del Onshore Power Supply

José Ignacio Parra Santiago^a, Jerónimo Antonio Esteve Pérez^b
David Díaz Gutiérrez^c

^aUniversidad Politécnica de Madrid,  joseignacio.parra.santiago@upm.es

^bUniversidad Politécnica de Cartagena,  jeronimo.esteve@upct.es

^cUniversidad Politécnica de Madrid,  david.diaz@upm.es

Resumen

El transporte marítimo está acometiendo una serie de medidas para alcanzar un menor impacto ambiental de su operación. En lo que refiere a la estancia de los buques en puerto, la tecnología Onshore Power Supply (OPS) es una de las alternativas que se puede aplicar para conseguir la transición “verde” del transporte marítimo. Asimismo, en los últimos años se han publicado varias normativas (destaca el “Fit for 55”), con una inminente entrada en vigor, que ponen el foco de atención en el OPS. Para poder aplicar esta tecnología en un determinado puerto se requiere de un exhaustivo análisis de su tráfico marítimo que permita caracterizar el consumo energético de los buques que hacen escala.

Los buques cuando atracan en puerto suelen utilizar sus motores auxiliares para generar electricidad y mantener activos varios sistemas a bordo, lo cual implica la emisión continua de gases de escape. Este trabajo se centra en una de las medidas técnicas aplicadas en el transporte marítimo y los puertos verdes: el uso de sistemas OPS. Esta tecnología permite a los barcos apagar sus motores y conectarse a una red eléctrica de tierra mientras están atracados.

La tecnología OPS es conocida por varios términos o denominaciones, incluyendo cold ironing, alternative maritime power, shore-to-ship power, shore-to-ship electrification, shore to ship connection y shore-side electricity technology, lo que refleja la adopción generalizada y los diversos beneficios que ofrece. El sistema OPS está ubicado en una terminal portuaria. Recibe la electricidad de la red eléctrica local y luego convierte la electricidad en los voltajes y frecuencias adecuados para los buques. El sistema de conexión tierra-buque consiste en cables que conectan la interfaz de alimentación en tierra con la interfaz receptora de energía a bordo. El sistema receptor de energía a bordo del buque recibe la energía transmitida por el sistema de conexión y la utiliza para abastecer las instalaciones a bordo. En cuanto al

suministro de electricidad de la red local, es fundamental que provenga de fuentes renovables para lograr una reducción neta de emisiones.

La preocupación continua por la descarbonización despierta interés en la investigación sobre las emisiones del transporte marítimo y las medidas para descarbonizar el transporte marítimo. Este trabajo trata sobre la selección del buque óptimo para aplicar la tecnología OPS basada en el tráfico marítimo alojado por un puerto determinado. La investigación realizada se aplica al tráfico de cruceros registrado en los puertos españoles de Cartagena y Málaga. Se eligen los cruceros como tráfico marítimo a analizar porque atracan en terminales especializadas, de forma regular y en la misma posición. Estos son aspectos cruciales para la aplicación de la tecnología OPS. El análisis realizado en esta investigación puede proporcionar sugerencias que ayuden a la toma de decisiones a operadores de terminales portuarias (y armadores) en la fase de implementación de la tecnología OPS en sus terminales (y buques).

Además, este trabajo presenta la determinación del buque de crucero tipo para los casos del Puerto de Málaga y el Puerto de Cartagena, determinando que más del 80% de los buques realizan una escala de al menos 8 horas, focalizándose en las horas centrales del día. A su vez, muestra, con carácter determinista la relación directa que existe en cuanto al GT con la agrupación de buques por eslora, lo que supone un aumento exponencial del consumo de MW para el puerto de estudio en función de la tipología de crucero que recale en este.

La investigación realizada en este documento ha proporcionado información valiosa sobre la posible implementación de la tecnología OPS en los cruceros en los puertos de Cartagena y de Málaga. Contribuye a dar un gran paso adelante en la planificación de la estrategia para implementar esta tecnología ecológica y superar algunos de los retos actuales a los que se enfrenta.

Palabras clave: Crucero; Puerto de Málaga; Puerto de Cartagena; OPS; optimización.

Caracterización aerodinámica en túnel de viento de un sistema fotovoltaico flotante marino

Marta Ordóñez-García^a, Claudia González Gutiérrez^b, Carlos Rodríguez Casado^c, Antonio Navarro Manso^d, Alejandro Cebada Relea^e, Mario López Gallego^f

^aDpto. de Construcción, CUIDA y DyMAST, Universidad de Oviedo, , ordonezmarta@uniovi.es;

^bDpto. de Energía, CUIDA y GIFD, Universidad de Oviedo, , UO288902@uniovi.es; ^cDpto. de Energía, CUIDA y GIFD, Universidad de Oviedo, , rodriguezccarlos@uniovi.es; ^dDpto. de Energía, CUIDA y GIFD, Universidad de Oviedo, , navarroantonio@uniovi.es; ^eDpto. de Construcción, CUIDA y DyMAST, Universidad de Oviedo, , cebadaalejandros@uniovi.es; ^fDpto. de Construcción, CUIDA y DyMAST, Universidad de Oviedo, , mario.lopez@uniovi.es.

Resumen

La energía fotovoltaica flotante (FPV) ha experimentado un gran crecimiento reciente en masas de agua continentales. Para expandir estos aprovechamientos a las vastas superficies oceánicas se están investigando soluciones capaces de resistir y operar bajo condiciones extremas (Koonthar et al., 2024). Su diseño debe buscar además la maximización de la estabilidad durante condiciones operativas, ya que impacta directamente en la generación.

HelioSea es un sistema FPV marino compuesto por: un seguidor solar de doble eje para variar tanto la inclinación (α) como el azimut (β) de los paneles, y una plataforma de tipo mini-TLP (*Tension-leg platform*) para restringir los movimientos (Fig. 1). Su coste nivelado de la energía oscila entre 160-270 €/MWh, similar a otras renovables marinas (Claus et al., 2024).

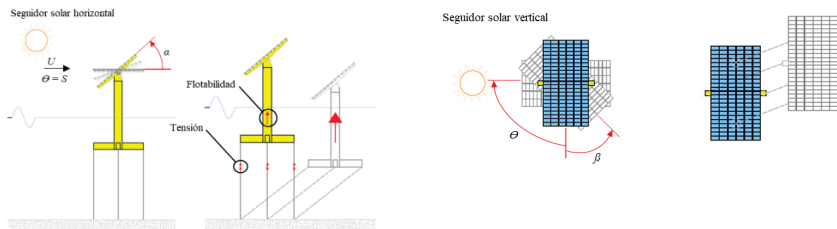


Fig. 1 Diseño conceptual de HelioSea. Fuente: Claus et al. (2024).

Para desarrollar HelioSea es necesario caracterizar con precisión su interacción aero- e hidrodinámica. Su subestructura ya se ensayó en tanque de olas a escala 1:30 (Claus et al., 2024), mientras que en este trabajo se presentan los resultados de la caracterización aerodinámica en túnel de viento de su superestructura. Gracias a los resultados de la modelización física es posible optimizar HelioSea en términos estructurales y de producción.

Los ensayos se realizaron en la cámara principal del túnel aerodinámico de circuito cerrado ETHAN50-ablWT, de sección $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ y velocidad máxima de 45 m/s , destinada a ensayos con flujo uniforme y muy baja turbulencia. Se empleó un modelo físico a escala 1:50 instrumentando la mitad con 112 tomas de presión distribuidas por igual entre las superficies superior e inferior, resultando 56 puntos de registro en una matriz de 7×8 (Fig. 2). Las pruebas se realizaron para valores de α entre 0 y 50° y direcciones de flujo, Θ , de 0 a 180° .

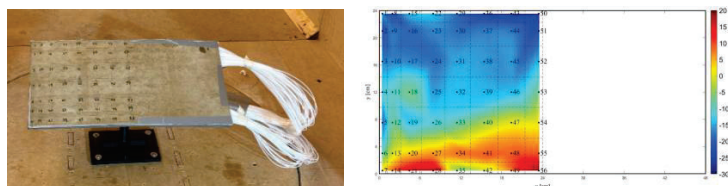


Fig. 2 Modelo físico a escala 1:50 (izq.) y resultados de presión en la cara superior (dcha.)

Cada toma de presión se conectó a un escáner para registrar los datos durante el ensayo. Dos canales adicionales se conectaron a un tubo de Pitot para medir la velocidad del flujo no perturbado, referencia para normalizar las presiones en el modelo (Fig. 2) y obtener los coeficientes de presión (C_p). Estos últimos permiten determinar los coeficientes aerodinámicos adimensionales de arrastre (C_D), sustentación (C_L) y momento (C_M).

Previamente se realizaron cálculos aerodinámicos para diferentes valores de α utilizando los coeficientes del Eurocódigo (UNE-EN 1991-1-4, 2018), válidos para ángulos de ataque $\Omega = \Theta - \beta = 0$ o 180° en los que la carga es máxima. Para ángulos de ataque diferentes cabe la interpolación con valores nulos (cuando $\Theta = \pm 90^\circ$), aunque no resulte precisa.

Los resultados experimentales revelan coeficientes menos conservadores que el Eurocódigo y permiten conocer la variabilidad de los coeficientes para valores intermedios de Ω . Con los resultados se calibraron simulaciones aero- e hidrodinámicas de la estructura completa para caracterizar la estabilidad bajo estados combinados de mar y viento.

Referencias

- CLAUS, R., SOTO, F., CEBADA, A., LÓPEZ, M., CLEMENTE, D., GIANNINI, G. Y ROSA-SANTOS, P. (2024). “Experimental proof of concept of HelioSea: A novel marine floating photovoltaic device” en *Ocean Engineering*, vol. 299, p. 117184.
- UNE-EN 1991-1-4 (2018). Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento.
- KOONDHAR, M. A., ALBASHA, L., MAHARIQ, I., GRABA, B. B. & TOUTI, E. (2024). “Reviewing floating photovoltaic (FPV) technology for solar energy generation” en *Energy Strategy Reviews*, vol. 54, p. 101449.

Análisis y predicción de la deformación de las protecciones contra la socavación en subestaciones offshore tipo jacket

Javier Sarmiento^{a,b}, Raúl Guanche^{a,b}, Álvaro Álvarez^a, Jorge Castro^a

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Isabel Torres 15, 39011, Santander, Spain.

^bCEHINAV, DACSON, ETSIN, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Av. de la Memoria 4, Madrid, 28040, Spain.

sarmientoj@unican.es, raul.guanche@upm.es, alvarezva@unican.es, castroji@unican.es,

1. Introducción

El diseño y el correcto funcionamiento de los sistemas de protección contra la socavación alrededor de estructuras offshore apoyadas o cimentadas sobre el fondo marino son fundamentales para prevenir fallos geotécnicos y evitar alteraciones en los modos propios de vibración de la estructura. En los últimos años, se han propuesto diversas formulaciones para el diseño de protecciones contra la socavación compuestas por rocas sueltas alrededor de estructuras de tipo monopilote (Broekema et al., 2024). No obstante, cuando se trata de estructuras de mayor complejidad, como las subestaciones offshore, la información disponible en la literatura resulta limitada o, en algunos casos, inexistente.

Las subestaciones offshore son, habitualmente, estructuras de tipo jacket compuestas por varios grupos de pilotes (Sarmiento et al., 2024). Teniendo en cuenta la escasez de información disponible, la investigación realizada se centró en la caracterización y parametrización de la deformación de las protecciones contra la socavación, compuestas por rocas sueltas, alrededor de esta tipología estructural.

2. Metodología

La respuesta de las protecciones de tipo roca se evaluó mediante la realización de ensayos experimentales a escala reducida. Los ensayos se llevaron a cabo en el tanque de oleaje-corriente CCOB, ubicado en las instalaciones de IHCantabria. Se analizaron cuatro subestaciones offshore de tipo jacket (Fig. 1, izquierda). En total, se realizaron 20 ensayos bajo condiciones combinadas de oleaje y corriente alineados, en los que el parámetro de movilidad de las rocas osciló entre 0,35 y 2,60. Todos los estados de mar generados experimentalmente fueron previamente calibrados, y la deformación de la protección se evaluó mediante un escáner láser 3D (Fig. 1, derecha).

3. Resultados

La realización de los experimentos físicos permitió identificar los principales patrones de deformación de la protección contra la socavación de tipo roca alrededor de las estructuras

analizadas. Las deformaciones más significativas de la protección se observaron principalmente en torno a los grupos de pilotes y a los mud mats. No obstante, en algunos casos específicos en los que la elevación inferior de la estructura se encontraba muy próxima a la cota de coronación de la protección, también se detectaron deformaciones bajo estos elementos. Asimismo, los principales resultados obtenidos permitieron parametrizar la deformación de la protección contra la socavación en función de la geometría de los grupos de pilotes y/o del número de movilidad no perturbado.

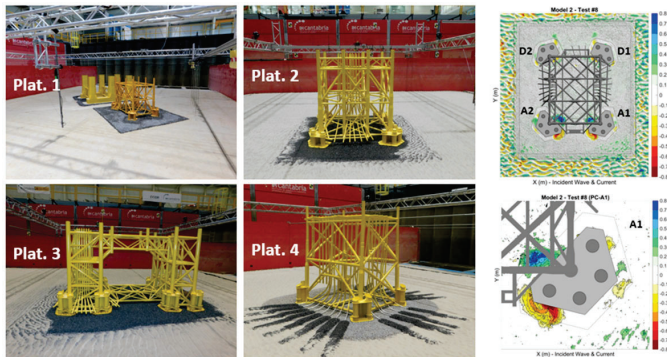


Fig. 1. 1) Izquierda: Estructuras ensayadas. 2) Derecha: Resultados de láser escáner

Conclusiones

Gracias a las investigaciones desarrolladas en este trabajo, se ha logrado caracterizar y parametrizar la deformación de las protecciones contra la socavación de tipo roca alrededor de estructuras complejas de tipo jacket, utilizadas principalmente para albergar subestaciones offshore. Las nuevas formulaciones predictivas han permitido el desarrollo de herramientas ingenieriles que actualmente se están aplicando en el diseño y análisis de distintas subestaciones offshore ubicadas en el mar del Norte.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a DRAGADOS OFFSHORE, SCOTTISH POWER, TENNET y AMPRION por su apoyo y financiación en esta investigación.

Referencias

- Broekema Y. B., van Steijn P. W., Wu M. & Robijns T., 2024. "Predicting loose rock scour protection deformation around monopiles using the relative mobility number and the Keulegan–Carpenter number". *Ocean Engineering*, 300(117475).
- Sarmiento J., Guanche R., Losada I.J., Rosendo E.M, Guindo A., Ladrón de Guevara J. 2024. "Scour processes around pile clusters of jacket foundations under steady currents". *Ocean Engineering*, 313-Part 2(119502)

Proyecto MAR+: caracterización experimental del dique OWC de Mutriku

 Cristina Casal Escaloni^a,  Álvaro Álvarez Vázquez^a, David Blanco Iturbe^a, 
Jon Lekube Garagar^b, Raúl Guanche García^c

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria
cristina.casal@unican.es; alvaro.alvarez@unican.es; david.blanco@unican.es

^bBiMEP Biscay Marine Energy Platform jlekube@bimep.com;

^cUniversidad Politécnica de Madrid raul.guanche@upm.com

1. Introducción

Las infraestructuras portuarias evolucionan hacia soluciones multifuncionales, combinando abrigo con sostenibilidad y generación de energía. En este marco, los diques verticales con integración de convertidores tipo columna de agua oscilante (OWC) constituyen una tipología híbrida donde coexisten procesos propios de obras marítimas convencionales y dinámicas asociadas a la captación energética. La planta de Mutriku es un ejemplo singular al integrar múltiples cámaras OWC en el paramento de barlovento de un dique vertical portuario. La campaña se planteó con enfoque reproducible y alineado con estándares internacionales de ensayo.

2. Metodología experimental

Se presentan ensayos físicos a escala reducida sobre una configuración representativa del dique OWC de Mutriku, concebidos para analizar el comportamiento hidrodinámico de este tipo de infraestructuras. Se reprodujeron distintos estados de mar y configuraciones operativas de las cámaras, instrumentando el modelo para caracterizar (i) la respuesta de la superficie libre en el interior de las OWCs, (ii) las distribuciones de presión sobre el paramento frontal y (iii) la interacción hidrodinámica entre cámaras adyacentes. El diseño del modelo físico incorporó elementos geométricos y criterios operativos de la planta de Mutriku reportados en la literatura (López-Mendia et al., 2025).

La definición de los casos de ensayo, los criterios de similitud y la estrategia de adquisición y control de calidad se plantearon de forma reproducible y en línea con las recomendaciones establecidas para ensayos en tanque de convertidores de energía del oleaje, siguiendo la IEC TS 62600-101 (IEC, 2015). En este marco, se adoptó una planificación sistemática de condiciones de oleaje y configuraciones operativas, prestando especial atención a la repetibilidad de las mediciones y a la consistencia del procedimiento experimental.

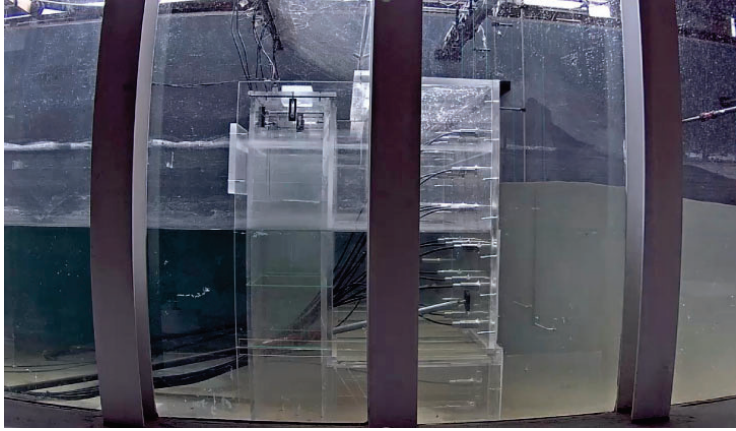


Fig. 1 Modelo físico e instalación experimental durante la campaña de ensayos del dique OWC de Mutriku (vista lateral)

3. Resultados y conclusiones

Los resultados permiten identificar tendencias en la respuesta interna de las cámaras, en las leyes de presión sobre el dique y en el grado de acoplamiento entre cámaras bajo distintas condiciones de oleaje. Se destaca el valor de los ensayos físicos como soporte para comprender los procesos dominantes y como base para el desarrollo y futura validación de herramientas de modelado numérico aplicables al análisis, diseño y optimización de soluciones OWC integradas en diques verticales.

Agradecimientos

Proyecto CPP2021-009079 financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación y por “Unión Europea NextGenerationEU.”

Referencias

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (2024). *Marine energy - Wave, tidal and other water current converters - Part 103: Guidelines for the early stage development of wave energy converters - Best practices and recommended procedures for the testing of pre-prototype devices*. IEC TS 62600-103:2024. Geneva: IEC.

LÓPEZ-MENDIA, J., ARISTONDO, A., RICCI, P., LEKUBE, J., CEBALLOS, S. y ROBLES, E. (2025). “Improving the power production of Mutriku Wave Power Plant throughout tuning the actual generator and damping valve limits” en *Ocean Engineering*, 315, 119917.

Coastalock 2.0: ingeniería y ecología para la nueva generación de protecciones costeras

Beatriz Rodríguez Fernández^a, Francisco Luis Martín Gallego^a, Jorge Gutiérrez Martínez^b, Fernando Colom Jover^b, Javier Olalde^b, Moesha D. Henry^a, César Vidal Pascual^a, Antonio Tomás Sampredo^a, Álvaro Álvarez Vázquez^a, Andrés Mendoza^a

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,
 beatriz.rodriguez@unican.es, martinfl@unican.es, henrym@unican.es, vidalc@unican.es,
tomasan@unican.es, alvarezva@unican.es, mendozaap@unican.es

^b EONcrete AQUA, S.L., jorge@econcretetech.com, fernando@econcretetech.com,
javier@econcretetech.com

1. Introducción

Tradicionalmente, el diseño de protecciones costeras ha priorizado la **seguridad estructural y la funcionalidad hidráulica**, omitiendo la interacción con el medio marino. Sin embargo, la incorporación de **criterios ambientales y ecológicos** en el diseño de infraestructuras marítimas se ha convertido en un elemento clave para garantizar su **sostenibilidad, resiliencia y aceptación social** a largo plazo.

En este contexto, en 2021 **EONcrete** presentó el **Coastalock™** la primera pieza de protección monocapa, que combina criterios avanzados de ingeniería hidráulica y estructural con un diseño específicamente orientado a la **mejora ecológica de las estructuras costeras**. Ahora, en 2026 presenta el Coastalock 2.0, la última versión de la pieza de protección de manto monocapa de EONcrete diseñada con criterios ecológicos. Esta versión optimizada integra criterios avanzados de ingeniería hidráulica y estructural, profundizando en el concepto original y optimizando el volumen de material y la porosidad del manto, así como la operatividad en la construcción. Su geometría compleja y su fabricación con hormigón biopotenciador están concebidas para favorecer un comportamiento hidráulico y estructural adecuado bajo la acción del oleaje, al tiempo que permite recrear **hábitats marinos en zonas sumergidas e intermareales**, incluyendo piscinas intermareales para el asentamiento y protección de organismos juveniles y alevines, contribuyendo a la generación de biodiversidad en entornos tradicionalmente improductivos.

La validación de este enfoque multifuncional requiere un análisis experimental riguroso que permita evaluar de forma objetiva el comportamiento hidráulico y la estabilidad estructural de la pieza bajo condiciones de oleaje controladas, pero representativas de situaciones reales. Con este objetivo, se ha llevado a cabo una **campaña experimental bidimensional (2D) en canal de oleaje**, destinada a analizar la respuesta del Coastalock 2.0 frente a diferentes niveles de carga hidráulica.

Los ensayos se han desarrollado en el **Canal de Oleaje, Corrientes y Tsunamis (CoCoTsu)** del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (**IHCantabria**), una instalación de referencia internacional en el ámbito de la ingeniería marítima. El canal, con 56 m de longitud, 2 m de ancho y una altura variable entre 2,5 m y 1,67 m, junto con su sistema de generación de oleaje, permite reproducir con precisión oleaje irregular y analizar fenómenos clave para entender el comportamiento de estructuras de protección costera frente a la acción del oleaje.

2. Campaña experimental en modelo físico

El objetivo principal de la campaña experimental consistió en **verificar la estabilidad de la pieza Coastalock 2.0** en manto monocapa en el talud frontal de estructuras sometidas a la acción del oleaje, tales como revestimientos y diques en talud. Para ello, la geometría de la estructura se definió con una cota de coronación suficiente para garantizar que la estabilidad del talud frontal no se viera condicionada por el rebase del oleaje ni por posibles daños en la coronación o en el paramento trasero, y con una cota de cimentación lo suficientemente profunda como para evitar la necesidad de un pie de protección que pudiera influir en el comportamiento del talud.

Además de analizar la estabilidad, se profundizó en el análisis del comportamiento hidráulico de la estructura, evaluando el **run-up** y la **reflexión del oleaje**. Proporcionando con todo ello información cuantitativa esencial para la definición de criterios de diseño y para la validación de esta nueva tipología de pieza de protección.

A su vez, a propuesta de EConcrete, se estudiaron distintas configuraciones del manto variando la orientación de las piezas, con el objetivo de maximizar su capacidad para la generación de diferentes tipos de hábitat, según las condiciones de contorno.

En cuanto al diseño del programa experimental, se consideraron tres peraltes de ola distintos (0,07, 0,04 y 0,02), cada uno con seis escalones crecientes de altura de ola significativa (H_s), definidos en función de las limitaciones del generador de oleaje y asegurando que las condiciones de oleaje máximas a ensayar correspondieran a condiciones de oleaje sin rotura.

Los ensayos se realizaron a una **escala 1:18**, la mayor compatible con las limitaciones de la instalación experimental para los mayores oleajes objetivo, con valores de H_s comprendidos entre 2,8 m y 7 m y periodos de pico (T_p) en el rango de 5 s a 15 s, a escala prototipo.

Conclusiones

La campaña experimental evidencia la importancia de disponer de infraestructuras especializadas y experiencia consolidada, como las de IHCantabria, para evaluar nuevas piezas de protección costera. Estos ensayos combinan metodologías clásicas de estabilidad y funcionalidad hidráulica con enfoques específicos adaptados a geometrías complejas y criterios ecológicos, permitiendo validar soluciones innovadoras, como el Coastalock 2.0.

Evaluación experimental de la protección costera mediante modelos físicos de Posidonia oceánica sumergida y emergida

Carlos Astudillo-Gutierrez^a, Joan Pau Sierra^{a,b}, Cesar Möso^{a,b} y Vicente Gracia^{a,b}

^aLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain;

^bCentre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC), Barcelona, Spain.

1. Introducción

La Posidonia oceánica es una fanerógama marina endémica del mar Mediterráneo que habita en aguas que van desde zonas costeras someras hasta profundidades de 60 metros (Ondiviela, 2014). Al igual que otras praderas, la Posidonia oceánica presenta un ciclo de floración y de crecimiento vertical y horizontal anual (Wittmann, 1984). En otoño, es común en estas praderas que sufran el desprendimiento de hojas y frutos (Wittmann, 1984), pero también ocurre en episodios de temporales, donde una parte de sus plantas son arrancadas desde el fondo, siendo transportadas por el oleaje hacia las zonas cercanas a la línea de orilla. Según las condiciones de oleaje, estos restos pueden permanecer en flotación, formar acumulaciones aisladas o estructurarse en la parte emergida de la playa (Trog, 2023). Comprender la hidrodinámica asociada a las praderas de Posidonia oceánica resulta fundamental para evaluar su contribución como servicio ecosistémico en la protección costera. Asimismo, es necesario cuantificar el efecto protector de la fracción de biomasa que alcanza la zona supralitoral, cuya acumulación desempeña un papel esencial en la mitigación de los procesos erosivos de las playas. El objetivo de este trabajo es presentar un conjunto de ensayos en laboratorio, basados en modelos físicos de praderas simuladas, con el propósito de cuantificar los cambios hidromorfológicos que experimenta una playa arenosa en presencia de praderas, tanto sumergidas como emergidas. En este sentido se busca presentar una propuesta integral para optimizar el diseño y el uso de estas estructuras en la gestión costera.

2. Metodología

Se realizaron ensayos experimentales en el *Canal d'Investigació i Experimentació Marítima* (CIEM) de la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC), durante el periodo 2019-2025. El canal cuenta con dimensiones de 100 m de longitud, una anchura de 3 m y una profundidad de 4.5 m. En todos los experimentos se generaron condiciones de oleaje erosivo, con una altura de ola significativa (H_s) de 0.6 m y un periodo pico (T_p) de 3.71 s, sobre un fondo móvil de arena de tamaño medio de sedimento (d_{50}) de 0.25 mm y una pendiente inicial de 1:15. Tanto la pradera sumergida como la emergida fueron construidas con PVC de 0.5 mm de espesor, tal como se detalla en Astudillo (2022); Astudillo-Gutierrez (2024, 2025). Los principales parámetros evaluados fueron la atenuación de la altura de ola y la evolución

morfológica del perfil de arena, con especial énfasis en la erosión de la playa. La variación de la altura de ola se monitorizó utilizando una red de sensores previamente calibrados y distribuidos a lo largo del canal, incluyendo transductores de presión de poros (PPT), sensores acústicos de oleaje (AWG) y sensores resistivos de oleaje (RWG). Asimismo, la morfología se registró con un perfilador mecánico a lo largo del centro del perfil, utilizándose los datos resultantes para calcular el volumen neto de transporte de sedimento y la evolución de la línea de orilla. Los hallazgos de este estudio permiten establecer criterios técnicos sobre la configuración óptima de las praderas sumergidas, basándose en parámetros tales como la longitud, densidad o disposición de las plantas, proporcionando directrices para optimizar su efecto hidrodinámico protector. Paralelamente, el análisis de la pradera emergida permite esclarecer los mecanismos físicos de interacción oleaje-estructura, validando su capacidad para mitigar la erosión y mejorar la resiliencia del perfil de playa.

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido financiación del programa de investigación e innovación «Horizonte Europa» de la Unión Europea en el marco del acuerdo de subvención n.º 101213138 —Proyecto COAST-SCAPES— HORIZON-MISS-2024-CLIMA-01.

Referencias

- ASTUDILLO, C., GRACIA, V., CACERES, I., SIERRA, J. P., Y SANCHEZ-ARCILLA, A. (2022). "Beach profile changes induced by surrogate Posidonia Oceanica: Laboratory experiments". *Coastal Engineering*, 175, 104144.
- ASTUDILLO-GUTIERREZ, C., GRACIA, V., CACERES, I., SIERRA, J. P., & SANCHEZ-ARCILLA, A. (2024). "Influence of seagrass meadow length on beach morphodynamics: An experimental study". *Science of the Total Environment*, 921, 170888.
- ASTUDILLO-GUTIERREZ, C., SIERRA, J. P., MÖSSO, C., & GRACIA, V. (2025). "Impact of banquette structures on a sandy beach profile: Laboratory experiments". *Coastal Engineering*, 104815.
- ONDIVIELA, B., LOSADA, I., LARA, J., MAZA, M., GALVAN, C., BOUMA, T., & VAN BELZEN, J. (2014). "The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate". *Coastal Engineering*, 87, 158–168.
- TROGU, D., SIMEONE, S., RUJU, A., PORTA, M., IBBA, A., & DEMURO, S. (2023). "A four-year video monitoring analysis of the posidonia oceanica banquette dynamic: A case study from an urban microtidal mediterranean beach (poetto beach, southern sardinia, italy)". *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), 2376.
- WITTMANN, K. J. (1984). "Temporal and morphological variations of growth in a natural stand of Posidonia oceanica (L.) delile". *Marine ecology*, 5(4), 301–316.

Evaluación de la capacidad de retención de plásticos flotantes por vegetación en estuarios atlánticos: resultados experimentales en canal hidráulico

Laura Pérez-García^{a*}, Paula Núñez^a, Margot Sánchez^a, Ana J. Abascal^a, Andrés García^a

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria

^{a*}  perezgarl@unican.es

La contaminación plástica es uno de problemas medioambientales más importantes en la actualidad. Aproximadamente 8–12 millones de toneladas de plástico alcanzan anualmente el océano desde fuentes terrestres, acumulándose en ríos y estuarios (Jambeck et al., 2015). Los estuarios actúan como zonas de transición donde la combinación de mareas, corrientes y aportes fluviales favorece tanto la acumulación como el transporte de residuos (Lebreton et al., 2017). En particular, los estuarios atlánticos desempeñan un papel relevante como filtro natural (Mazarrasa et al., 2019). Este estudio describe la metodología y resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio realizados para cuantificar la capacidad de retención de dos especies de vegetación típicas de estuarios atlánticos (Chytry et al., 2020): *Halimione portulacoides* y *Juncus maritimus*.

Los ensayos se realizaron en un canal hidráulico (fig. 1). Se replicaron veintinueve condiciones hidrodinámicas representativas de las corrientes típicas observadas en estuarios atlánticos, resultantes de la combinación de diferentes niveles de agua, caudales y velocidades del viento. Se utilizaron plantas naturales y nueve tipos de plásticos. Para cada combinación se liberaron cinco ítems plásticos, con diez réplicas por condición. La eficiencia de atrapamiento se evaluó a partir del ratio entre el número de ítems atrapados con respecto al número de ítems liberados. La capacidad de cada especie se determinó como el promedio de la eficiencia de atrapamiento en el conjunto de ensayos realizados.

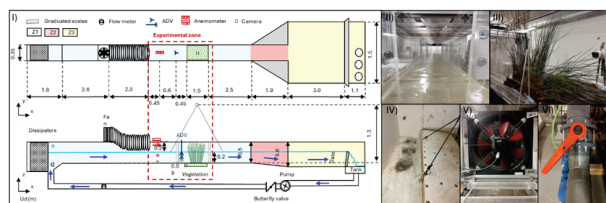


Figura 1. Experimentos. Diseño: I) vista general del canal hidráulico, II) canal hidráulico, III) montaje experimental con vegetación y cámara, IV) compuerta, V) ventilador y VI) bomba con válvula de mariposa

Los resultados mostraron que ambas especies presentaron eficiencias elevadas (~90%), con pequeñas variaciones asociadas a la altura de lámina de agua. *Halimione portulacoides* experimentó ligeras reducciones a mayores niveles de inundación debido a la apertura de corredores en la parte alta de la planta. *Juncus maritimus* mantuvo retención estable incluso con viento. Los plásticos con formas alargadas y planas mostraron mayor retención que los tapones pequeños, en concordancia con estudios sobre interacción forma-tipo de vegetación (de Los Santos et al., 2021; Núñez et al., 2025).

Los resultados obtenidos confirman que la vegetación de estuarios atlánticos constituye un mecanismo eficaz de atrapamiento de residuos plásticos, subrayando la necesidad de integrar parámetros de retención en modelos predictivos de transporte de plásticos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por: (1) Proyecto ARES (FIH21/00219) dentro de la "ESTRATEGIA CONJUNTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN CIENCIAS MARINAS" Programa colaborativo de I+D+I integrado en el plan comentario en el área de ciencias marinas financiado por la Unión Europea-NextGenerationEU, Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia; (2) Proyecto HIGEA (PID2021-127358NB-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE); y (3) Proyecto PLASTICOL (PID2024-160081OB-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE).

Referencias

- DE LOS SANTOS, C. B. et al. (2021). Microplastic retention in vegetated canopies. *Environmental Pollution*, vol. 269, p. 116050. doi: 10.1016/j.envpol.2020.116050
- CHYTRÝ, M., TICHÝ, L., HENNEKENS, S. M., KNOLLOVÁ, I., JANSSEN, J. A. M., RODWELL, J. S., SCHAMINÉE, J. H. J. (2020). "EUNIS Habitat Classification". *Applied Vegetation Science*, vol. 23, p. 648–675. doi: 10.1111/avsc.12519
- JAMBECK, J. R. et al. (2015). Plastic waste inputs. *Science*, vol. 347(6223), p. 768–771. doi: 10.1126/science.1260352
- LEBRETON, L. C. et al. (2017). River plastic emissions. *Nature Communications*, vol. 8, p. 15611. doi: 10.1038/ncomms15611
- MAZARRASA, I. et al. (2019). Marine litter accumulation. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 144, p. 117–128. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.04.060
- NÚÑEZ, P. et al. (2025). Trapping by *Spartina maritima*. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 216, p. 118005. doi: 10.1016/j.marpolbul.2025.11800

Plan de adaptación del litoral vasco frente al cambio climático

**Adolfo Uriarte^a, Asier López^b, Mari Mar Alonso^c, Santiago Gaztelumendi^d,
M^a Estibaliz Martín^e, Leire Ansorena^f**

^a Dirección de Patrimonio Natural y Adaptación al Cambio Climático. Eusko Jaurlaritz - Gobierno Vasco. C/ Donostia-San Sebastián 1, 01010 Vitoria – Gasteiz (adolfo.uriarte@euskadi.eus).

^b URA, Agencia Vasca del Agua. Edificio Boulevard, Portal de Gamarra, 1A, planta 11, 01013 Vitoria-Gasteiz. (a-lopezetxebarria@uragentzia.eus).

^c Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, C/ Alameda Urquijo 36, 6º -48011- Bilbao (Bizkaia). (MariMar.Alonso@ihobe.eus).

^d EuskalMet. Parque Tecnológico de Araba, C/ Albert Einstein 44, E6, Of 303, CP 01510, Vitoria - Gasteiz (s-gaztelumendi@euskalmet.eus).

^e Servicio Ordenación del Territorio y Planeamiento. Departamento de Vivienda y Agenda Urbana. Eusko Jaurlaritz - Gobierno Vasco. (me-martin@euskadi.eus).

^f DAEM, Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología. Eusko Jaurlaritz - Gobierno Vasco c/ Portal de Foronda, 41, 01010 – Vitoria – Gasteiz. (l-ansorena@euskadi.eus).

1. Introducción

El desarrollo industrial del País Vasco de finales del siglo XIX, el consecuente aumento de la población y la necesidad de ocupación de los terrenos, transformaron intensamente la franja litoral vasca. La superficie del País Vasco a menos de 5 km de la costa es el 18 % del territorio y en ella residen 1,4 millones de personas, el 60 % de la población total vasca. Gran parte se concentra en zonas estuarinas como la Ría de Bilbao, el estuario del Urumea (Donostia-San Sebastián) o el estuario de Txingudi/Bidasoa (Irún-Hondarribi).

El oleaje de la costa vasca ha producido importantes daños costeros, especialmente si el pico del temporal coincide con la pleamar y es viva; en valores ambientales (dunas de la playa de Laida en los años 50) o en obras portuarias (dique de Punta Galea en 1978). El último evento notable fueron los temporales de 2014 con daños graves en el puerto de Bermeo e importante erosión en playas como la de Zarautz. Además, el litoral vasco está expuesto a eventos de fuerte precipitación como el de agosto de 1983 en Bilbao, donde el agua alcanzó niveles históricos, causando 43 muertes, miles de evacuados y enormes pérdidas económicas.

2. Diagnóstico a 2050 y 2100

El incremento del nivel medio del mar asociado al cambio climático constituye una amenaza cada vez más relevante para el litoral vasco. Investigaciones anteriores han confirmado un aumento sostenido del nivel del mar del orden de 3 cm por década desde la década de 1990.

Las proyecciones climáticas indican que este ascenso podría alcanzar aproximadamente 25 cm en 2050 y hasta 1 metro en 2100 en los escenarios más desfavorables.

La población vasca potencialmente afectada por inundación costera en 2100 podría multiplicarse por 6, pasando de unas 7.000 personas actualmente a 42.000. Este impacto se produciría en zonas urbanas de ámbitos estuarinos (Ría de Bilbao, Donostia-San Sebastián, Irún-Hondarribi) mientras que los núcleos urbanos, protegidos por puertos generalmente, están menos amenazados. El impacto sobre las playas, primera línea de defensa frente a los temporales de varias zonas densamente pobladas y con gran actividad socioeconómica, sería muy grave, con pérdidas de superficie de playa seca del 50 % al 75 % en 2100.

3. Adaptación a través de la gobernanza

Teniendo presente que el nivel del mar seguirá subiendo y la población y las actividades seguirán concentrándose cerca de la costa, los impactos aumentarán y será necesario adaptarse. Un elemento clave es establecer criterios de uso y explotación de la información climática que haga posible que se incorporen en las herramientas de las Políticas Territoriales y Sectoriales y en la Ordenación del Territorio y también desarrollar conocimiento y experiencias exitosas que puedan ser aplicadas a diversas zonas del litoral.

Para afrontar este desafío en el País Vasco se ha configurado una mesa de coordinación interdepartamental denominada KAIA (Klima Aldaketaren InpaktuA), coordinada por la Dirección de Patrimonio Natural y Adaptación al Cambio Climático, a través de Ihobe, en la que participan la Agencia Vasca del Agua-URA, la Dirección de Planificación Territorial y Agenda Urbana, la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología y Euskalmet.

La principal función de la mesa KAIA es la de impulsar el diseño, definición e implantación de proyectos demostradores de adaptación. En esta primera fase, con 5 proyectos demostradores, 4 de ellos son de entorno costero:

- **Zarautz:** remodelación del paseo, análisis del contorno de carretera y contradique, remodelación de los accesos a la playa y mejora ambiental del sistema dunar.
- **Bakio:** marisma urbana y bosque inundable en el cauce del río Estepona.
- **Estuario del Bidasoa/Txingudi:** ampliación de la marisma en Plaiaundi, estudio de alternativas en el barrio de Mendelu y estudio de ampliación de la marisma de Jaizubia.
- **Ría de Bilbao:** generar una gobernanza compleja y abordar con mayor conocimiento los impactos del cambio climático en la Ría, analizando con todos los agentes las medidas a adoptar a medio y largo plazo. Desarrollar una adaptación incremental a corto plazo en zonas concretas y plantear soluciones basadas en la naturaleza en emplazamientos como punta Kaiku y punta Zorroza.

Evaluación de riesgos en la costa mediante test de estrés

Moisés Álvarez Cuesta^a, Iñigo J. Losada^b, Javier L. Lara^c

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 0000-0002-1180-0746, alvcuestam@unican.es; ^b  0000-0002-9651-9709, losadai@unican.es; ^c

 0000-0003-0968-1909 lopezjav@unican.es

1. Introducción

La evaluación de riesgos climáticos y la planificación de la adaptación se han basado tradicionalmente en enfoques descendentes, en los que las proyecciones climáticas se derivan de modelos climáticos globales (GCMs) forzados por distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, contruidos a partir de trayectorias de desarrollo socioeconómico. Estas proyecciones, una vez regionalizadas, se emplean como forzamiento de modelos de impacto físicos y socioeconómicos para analizar riesgos específicos, como inundaciones urbanas, erosión costera o pérdida de operatividad de infraestructuras portuarias. Bajo este esquema, el riesgo se estima evaluando si el sistema funciona o no bajo un conjunto de escenarios climáticos futuros.

No obstante, los enfoques descendentes presentan limitaciones significativas que comprometen su utilidad para la toma de decisiones. Las trayectorias de emisiones reales pueden desviarse de las consideradas en los GCMs, generando condiciones climáticas fuera del rango proyectado. Además, la continua mejora del conocimiento científico conduce a actualizaciones frecuentes de las proyecciones, lo que puede volver obsoletos los estudios de riesgo existentes. A ello se suma la variabilidad en la capacidad de los GCMs para reproducir distintas variables climáticas según la región, así como la falta de consenso entre modelos, que introduce incertidumbres desde el inicio del proceso. Estas incertidumbres se propagan y amplifican a lo largo de la cadena de modelización, dando lugar a un abanico amplio de futuros posibles que puede dificultar o incluso paralizar la toma de decisiones. Asimismo, este enfoque ofrece una visión limitado del comportamiento del sistema, ya que permite identificar si se produce o no un fallo, pero no las condiciones de variables que lo provocan, y suele estar desconectado de las capacidades y prioridades de las partes interesadas (Pisor et al., 2022).

En este contexto, los enfoques ascendentes emergen como una alternativa complementaria. Estos métodos parten del conocimiento local del sistema y requieren la participación activa de los actores involucrados, centrándose en la identificación de las vulnerabilidades climáticas y no climáticas. Entre ellos, los test de estrés constituyen una herramienta clave, al permitir explorar de forma sistemática un amplio rango de condiciones externas y evaluar bajo qué combinaciones el rendimiento del sistema se vuelve inaceptable (Fowler et al., 2024). Al no

estar ligados a proyecciones específicas de los GCMs, los test de estrés se consideran enfoques escenario-neutral y facilitan la definición de umbrales críticos y superficies de fallo, proporcionando información relevante para la gestión del riesgo y la adaptación. A pesar de las fortalezas de los métodos de escenario-neutral, las proyecciones de los GCMs siguen representando la mejor estimación disponible del clima futuro, por lo que su integración con enfoques ascendentes resulta fundamental. La combinación de ambos enfoques permite situar el conjunto discreto de proyecciones climáticas dentro del espacio de exposición definido por los test de estrés, lo que posibilita estimar la probabilidad de alcanzar umbrales de riesgo críticos.

2. Aplicación en la costa

La evaluación de riesgo costero basada en test de estrés presenta diversos retos metodológicos. Entre los principales se encuentran la identificación de las variables climáticas y no climáticas relevantes, la definición de los rangos de variación realistas y suficientemente amplios, el modelado numérico de un elevado número de combinaciones de escenarios y la determinación de los umbrales de rendimiento del sistema que delimitan las condiciones aceptables de funcionamiento.

En este trabajo se presentan dos casos de estudio que ilustran el potencial de los test de estrés en el análisis del riesgo costero y abordan algunos de los retos metodológicos. El primero se centra en el riesgo de inundación costera en la ciudad de La Habana, donde se evalúan las consecuencias sobre activos y población ante eventos compuestos de origen pluvial, fluvial y por rebase del oleaje, bajo distintos escenarios de aumento del nivel medio del mar y diferentes niveles de rendimiento del sistema de drenaje. El segundo caso analiza la supervivencia de las playas en desembocaduras fluviales, examinando la evolución morfodinámica del sistema costero mediante la consideración conjunta de los procesos de erosión asociados al aumento del nivel medio del mar y los procesos de acreción derivados de los aportes sedimentarios fluviales, bajo distintos escenarios de aumento del nivel medio del mar y variaciones en los caudales sólidos fluviales inducidas por factores climáticos y no climáticos.

Referencias

- FOWLER, K.J., McMAHON, T.A., WESTRA, S., HORNE, A., GUILLAUME, J.H., GUO, D. *et al.* (2024). *Climate stress testing for water systems: Review and guide for applications*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 11(6), e1747.
- PISOR, A.C., BASURTO, X., DOUGLASS, K.G., MACH, K.J., READY, E., TYLIANAKIS, J.M. *et al.* (2022). *Effective climate change adaptation means supporting community autonomy*. Nature Climate Change, 12(3), 213–215

Arquetipos de riesgos climáticos urbanos: una evaluación multirriesgo de las zonas costeras europeas

Antonio Milla^a, Javier L. Lara^a, David Lucio^a, Iñigo J. Losada^a

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain, antoniojesus.milla@unican.es; david.lucio@unican.es; jav.lopez@unican.es; inigo.losada@unican.es

1. Introducción

En un contexto climático caracterizado por la intensificación de la frecuencia y severidad de los fenómenos extremos, se identifica una tendencia de las evaluaciones de riesgo a ignorar la concomitancia de eventos, subestimando así la peligrosidad real de los Eventos Extremos Compuestos (CEE) en los entornos costeros. La dificultad para capturar la naturaleza sinérgica de los peligros de origen marítimo y atmosférico de forma integrada en entornos urbanos costeros constituye un reto para la ingeniería y el análisis de riesgo. Por ello, se propone una metodología para el desarrollo de arquetipos como herramienta para la identificación de patrones de riesgo recurrentes en áreas costeras, que considera factores fundamentales como los principales usos de suelo y perfiles de vulnerabilidad. A partir de la categorización de los frentes urbanos costeros mediante arquetipos, se favorece la identificación de dinámicas de riesgo comunes, que contribuyen a la definición de estrategias de adaptación arquetipo-específicas y robustas, garantizando la resiliencia de los frentes costeros ante un escenario climático cada vez más hostil y complejo.

2. Metodología

La fase inicial se fundamenta en el desarrollo y aplicación de un emulador climático multivariante (Lucio et al., 2024), una herramienta diseñada para obtener aquellos eventos de baja probabilidad pero alto impacto, manteniendo la posible concomitancia entre eventos. Mediante el uso de funciones de cópula y funciones generalizadas de extremos, este emulador modela correctamente las interdependencias físicas y la interacción simultánea de variables atmosféricas y marítimas. Sobre esta base estadística, y tras integrar datos detallados de exposición física y socioeconómica junto con indicadores de vulnerabilidad, el modelo permite cuantificar de forma integrada el riesgo mediante indicadores para los siete peligros climáticos definidos: inundaciones costeras, olas de calor, incendios forestales, sequías, precipitaciones extremas, anomalías térmicas marinas y vientos extremos. Con el propósito de gestionar la información multidimensional, se aplican algoritmos de aprendizaje no supervisado para obtener patrones de riesgo recurrentes dentro de las categorías diferenciadas de uso del suelo. Este análisis avanzado tiene como objetivo fundamental identificar

configuraciones territoriales que, a pesar de pertenecer a contextos geográficos distantes, presentan comportamientos de riesgo y perfiles de exposición análogos, permitiendo la agrupación de áreas metropolitanas en unidades funcionales comparables. Este paso resulta esencial para transformar los datos climáticos brutos y los mapas de riesgo complejos en herramientas de planificación urbana. Al categorizar el litoral en estos arquetipos de riesgo, se facilita un diagnóstico estandarizado que permite a los gestores públicos comparar ciudades según el origen climático del riesgo, estableciendo una base científica sólida para la implementación de estrategias de adaptación.

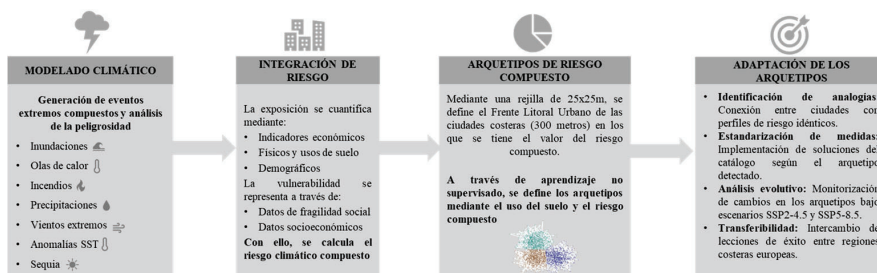


Fig. 1. Marco metodológico del análisis para la creación de arquetipos de riesgo

3. Aplicación a un caso de estudio

Se ha aplicado esta metodología al caso de estudio de 31 ciudades costeras europeas, donde se realiza una discretización espacial con una resolución de 25x25 metros en una franja litoral de 300 metros. A través de este análisis, se definen los arquetipos de riesgo climático, agrupando zonas con usos de suelo y dinámicas de riesgo compuesto similares, permitiendo comparar comportamientos urbanos más allá de su ubicación geográfica específica (Fig. 2.). Estos arquetipos son evaluados tanto para el presente como para proyecciones futuras (2050-2070 y 2080-2100), bajo los escenarios climáticos SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Este enfoque ha permitido localizar entornos urbanos con elevado riesgo climático, estableciendo una base comparativa para la transferencia de estrategias de adaptación entre ciudades con perfiles análogos, proporcionando una hoja de ruta escalable para mejorar la resiliencia frente a eventos extremos.

Referencias

LUCIO, D., LARA, J. L., TOMÁS, A., & LOSADA, I. J. (2024). Projecting compound wave and sea-level events at a coastal structure site under climate change. *Coastal Engineering*, 189, 104490. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104490>

Herramientas para la gestión del riesgo climático en el sector hotelero costero

**Esther Barrios-Crespo^a, Paloma Carrillo-de-Albornoz^b, Adam J. Terando^b,
Iñigo J. Losada^a, Erika Harms^b, María F. Álvarez de Eulate^a, Javier L. Lara^a,
Yailín Fernández^a**

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de La Universidad de Cantabria, Santander, Spain,
esther.barrios@unican.es, maria.fuentes@unican.es, inigo.losada@unican.es, jav.lopez@unican.es

^bIberostar Hotels & Resorts, Palma de Mallorca, Spain,
paloma.carrillo@grupoiberostar.com; adam.terando@iberostar.com, erika.harms@iberostar.com

Resumen

El sector hotelero, especialmente en destinos costeros, se encuentra cada vez más expuesto a los efectos del cambio climático, tanto por impactos agudos (p. ej., tormentas, inundaciones costeras) como por procesos crónicos (p. ej., aumento del nivel del mar, erosión, estrés hídrico). En este contexto, IBEROSTAR Hotels and Resorts promueve un modelo de turismo responsable, comprometido con la preservación del océano y la gestión sostenible de sus destinos. A través de su iniciativa Wave of Change (Iberostar wave of change, 2023), la compañía impulsa la protección y restauración de ecosistemas marinos y costeros mediante prácticas de economía circular, iniciativas de pesca sostenible y la mejora de la salud ecológica de los entornos costeros asociados a sus establecimientos, integrando conservación ambiental y actividad turística. Además, en 2022 IBEROSTAR lanzó su Coastal Health Roadmap, orientado a la conservación y restauración de ecosistemas marinos y costeros y a la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza para reducir riesgos climáticos sobre infraestructuras costeras, playas y hábitats adyacentes. En paralelo, el incremento de los requerimientos regulatorios y corporativos en materia ESG está generando una necesidad creciente de herramientas de evaluación y reporting que permitan cuantificar riesgos físicos y dependencias de los activos turísticos, así como medir el desempeño y efectividad de las acciones de adaptación y restauración, contribuyendo a una toma de decisiones basada en evidencia.

IHCantabria cuenta con una trayectoria consolidada en la evaluación del riesgo climático y en el desarrollo de herramientas científico-técnicas orientadas a la toma de decisiones y a la gestión de activos en entornos costeros. Esta experiencia integra el uso de bases de datos climáticas históricas y proyecciones futuras, la aplicación del marco de riesgo del IPCC (peligro–exposición–vulnerabilidad), y el diseño de indicadores y metodologías que permiten

capturar de forma sistemática el impacto potencial del cambio climático sobre infraestructuras, operación y servicios ecosistémicos asociados.

En este trabajo se presentará el desarrollo de tres índices complementarios aplicables al sector hotelero. El Climate Risk Index (CRI) se construye siguiendo el marco del IPCC, definiendo el riesgo como combinación de peligro, exposición y vulnerabilidad, e incorporando además una caracterización financiera del activo (CAPEX, OPEX e ingresos) para facilitar la toma de decisiones y la priorización de actuaciones en términos de adaptación. La metodología contempla un enfoque por etapas que incluye la definición de la unidad costera evaluada, la estimación de la vulnerabilidad a partir de sensibilidad y capacidad adaptativa, la caracterización de peligros climáticos mediante indicadores (p. ej., nivel del mar, estrés hídrico, precipitación extrema, ciclones) y el cálculo de indicadores agregados de riesgo. El Risk Mitigation Index (RMI) complementa el CRI mediante el seguimiento estructurado de medidas de adaptación y mitigación, permitiendo evaluar la efectividad de acciones ya implementadas por los hoteles así como aquellas a implementar a través de indicadores específicos. Finalmente, y para dar respuesta a las necesidades de reporting mencionadas, se ha establecido un modelo de reporting basado en la información generada por los índices CRI, RMI y CHI, orientado a dar respuesta a los principales requerimientos de transparencia y reporte en materia ESG. Este modelo permite organizar y presentar de forma homogénea la información relacionada con la exposición a riesgos físicos, las medidas de mitigación y adaptación implementadas y la evolución de variables ambientales y sociales relevantes, facilitando su alineación con marcos regulatorios y voluntarios de sostenibilidad.

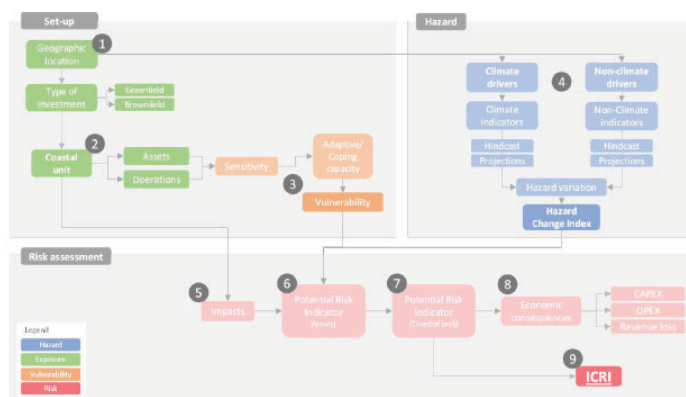


Fig. 1 Diagrama de la metodología global del CRI

Referencias

IBEROSTAR WAVE OF CHANGE (2023) <https://waveofchange.com/>

Estrategias y oportunidades para la resiliencia territorial: la percepción social en el litoral catalán

Montserrat Badia^b, Míriam Villares^a, Elsa Giffard^b y Elisabet Roca^c

^aInstitut de Ciències i Tecnologies de la Sostenibilitat y Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya,  ORCID:0000-0001-6910931X, miriam.villares@upc.edu ^bInstitut de Ciències i Tecnologies de la Sostenibilitat, elsa.giffard@upc.edu,  ORCID0009-0008-4754-7720 montse.badia.puyol@upc.edu; ^cInstitut de Ciències i Tecnologies de la Sostenibilitat y Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya,  ORCID0000-0001-9432-0029, elisabet.roca@upc.edu.

1. Introducción

Esta comunicación se basa en el análisis de una encuesta sobre la percepción social de las SBN en la zona costera catalana ante la perspectiva del cambio climático. Analiza la capacidad del territorio para reducir su vulnerabilidad. Se propone para *el área temática 7: Cambio climático, eventos extremos, gestión de riesgos y resiliencia en puertos y costas*. El estudio tiene como objetivo la identificación de las barreras sociales, económicas y culturales para evaluar la aceptación de estas soluciones.

2. Metodología y marco conceptual de la investigación

El marco conceptual del estudio es un análisis de percepción de los riesgos costeros del cambio climático y de la aceptación social de medidas. Se busca explorar las percepciones de los usuarios del litoral catalán en relación a los efectos del cambio climático, las preferencias por distintas estrategias de adaptación y sus opiniones sobre proyectos de restauración de dunas y retranqueo de infraestructuras de primera línea de mar. A través del despliegue de una encuesta a nivel de toda Cataluña, el objetivo es no solo recopilar datos sobre las opiniones de la población, sino también identificar los factores clave –tanto barreras como impulsores– que condicionan su aceptación o rechazo hacia soluciones basadas en la restauración de ecosistemas y la deconstrucción de infraestructuras en zonas vulnerables. Para hacerlo, el estudio profundizará en las actitudes de la población hacia diferentes medidas de adaptación costera, evaluando su nivel de apoyo o resistencia según factores como edad, nivel de estudios, propiedad de vivienda y proximidad al mar. De esta forma, se podrá evaluar si este tipo de soluciones se perciben como una oportunidad para mejorar la calidad ambiental y si también sirven para fomentar una adaptación climática resiliente, subrayando su potencial para superar las percepciones iniciales de resistencia que pueden existir en ciertos sectores de la sociedad (Sauer et al., 2022).

3. Los resultados básicos

La encuesta realizada a una muestra de 587 entrevistados, expresa las siguientes resultados: Respecto la edad, los grupos más representados son los de 36-50 y 51-65 años, que en conjunto constituyen el 67 % de los participantes. Una distribución de género equilibrada, con un 53 % de mujeres y un 46 % de hombres, y un pequeño porcentaje (1 %) de personas que no indican su género. En relación al nivel educativo, destaca que el 77 % posee educación superior, seguido por un 18 % con estudios secundarios y un 4 % con educación primaria. Finalmente, en términos de zona costera, el Maresme es la región con mayor representación (16%), seguido de Costa Daurada (11 %) y Costa Brava (7 %), lo cual refleja una distribución variada de zonas de residencia entre los participantes.

Una de las respuestas más relevantes está ligada a la pregunta de si es necesaria la gestión del litoral se constata que un 79 % reconoce que es urgente gestionar los riesgos costeros ahora, antes de que sea demasiado tarde. Pero cuando se pregunta por la forma de actuar, es cuando aparecen algunas divergencias. Para identificar estas divergencias, se han analizado las diferentes percepciones por grupos, respecto las diferentes medidas de adaptación costera con las siguientes variables: A) por grupos de edad, B) región costera, C) propiedad de una vivienda en el litoral, y si es así, D) si la propiedad se encuentra en el frente marítimo, o en menos de un kilómetro de la playa. Estas respuestas dan la clave para comprender las diferencias entre territorios y su capacidad de resiliencia o vulnerabilidad

Referencias

- ANDERSON, C., & RENAUD, F. (2022). A review of public acceptance of nature-based solutions: The 'why,' 'when,' and 'how' of success for disaster risk reduction measures. *Ambio*, 50(8), 1550-156510.
- GOMEZ MARTÍN, E., GIORDANO, R., PAGANO, A., VAN DER KEUR, P., & MANEZ COSTA, M. (2020). Using a system thinking approach to assess the contribution of nature-based solutions to sustainable development goals. *Science of the Total Environment*, 738, 139693.
- RAMIREZ-AGUDELO, N.A.; BADIA, M.; VILLARES, M.; ROCA, E. (2022) Assessing the benefits of nature-based solutions in the Barcelona metropolitan area based on citizen perceptions. "Nature-based solutions", 2022, vol. 2, p. 100021:1-100021:11.
- SAUER, I.; ROCA, E.; VILLARES, M. (2022) Beach users' perceptions of coastal regeneration projects as an adaptation strategy in the western Mediterranean. "Journal of hospitality & tourism research", vol. 46, núm. 3, p. 418-441.

Adaptación costera Cala Millor 2050: ciencia y gobernanza para una costa resiliente

Verónica Cánovas^a, Miriam García^b, Mauricio González^a, Raúl Medina^a

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, , canovasv@unican.es; ^bLANDLAB, Laboratorio de Paisajes S.L.P.

1. Introducción

El aumento del nivel medio del mar (ANMM) está intensificando los procesos de erosión e inundación en las zonas costeras, generando una creciente preocupación entre los gestores del litoral. Conforme a las últimas proyecciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), se prevé una aceleración del ANMM, lo cual agravará estos impactos en las próximas décadas, afectando especialmente a playas urbanas, cuya capacidad natural de adaptación se encuentra reducida por la ocupación del frente costero.

Cala Millor (Islas Baleares, España) constituye un ejemplo representativo de esta vulnerabilidad. La intensa ocupación del frente litoral asociada al desarrollo turístico desde los años 60-70 afecta a su resiliencia frente al cambio climático. Durante años se han estado llevando a cabo aportes periódicos de arena, soluciones de escasa durabilidad y poco adecuadas frente a escenarios de cambio climático. Además, estas intervenciones puntuales pueden generar efectos ambientales no deseados, como alteraciones en praderas de Posidonia oceanica.

En este contexto surge el proyecto LIFE AdaptCalaMillor, cuyo objetivo es identificar soluciones sistémicas e integradas para la adaptación de Cala Millor mediante un enfoque participativo, multidisciplinar y replicable en otros entornos costeros urbanos.

Este trabajo sintetiza el procedimiento seguido para la identificación de esas soluciones, que están siendo objeto de discusión en varios foros con la ciudadanía y las partes interesadas para identificar los posibles condicionantes a tener en cuenta en la toma de decisiones sobre la solución a adoptar.

2. Datos y métodos

Se han analizado las dinámicas actuantes en la zona de estudio, la evolución histórica de la línea de costa y se ha realizado un diagnóstico integrado del ámbito de estudio en la situación actual y futura. Estos diagnósticos han permitido definir los objetivos estratégicos y específicos de adaptación y proponer posibles medidas de adaptación considerando las dimensiones física, medioambiental, socioeconómica y urbana, atendiendo al mismo tiempo

a las necesidades y demandas sociales de los ciudadanos y las partes interesadas. Estas medidas se han combinado entre sí para constituir estrategias integradas para Cala Millor.

3. Resultados

El diagnóstico integrado ha permitido identificar temáticas clave y cuestiones críticas sobre los posibles riesgos de Cala Millor frente al cambio climático, constituyendo la base para definir sus objetivos de adaptación. En este estudio se han establecido 8 objetivos estratégicos y 67 objetivos específicos, alineados con los establecidos a nivel regional, nacional e internacional para favorecer su coherencia y aceptación institucional.

A partir de estos objetivos y de los resultados de la evaluación del riesgo, se ha elaborado un catálogo preliminar de medidas de adaptación para los distintos tramos de costa de Cala Millor. Dichas medidas abarcan soluciones naturales, basadas en la naturaleza, estructurales y no estructurales, y se organizan atendiendo a su dimensión física, ambiental, socioeconómica y urbana. Estas medidas se han discutido con actores de interés y partes interesadas en varios talleres participativos y reuniones sectoriales, lo que ha permitido identificar condicionantes técnicos, ambientales y jurídicos y definir estrategias integradas específicas para Cala Millor.

Dichas estrategias se han debatido también, dando lugar a una adaptación de las mismas considerando los condicionantes identificados, reduciendo las soluciones propuestas a tres con sus variantes en función del elemento de cotención en la zona Norte. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de las estrategias integradas propuestas.



Fig. 1 Estrategia de retranqueo con berma parque

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el proyecto LIFE AdaptCalaMillor (LIFE21 GIC/ES/101074227), cofinanciado por el Programa LIFE de la Unión Europea. Las opiniones y la documentación proporcionadas en esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de CINEA/Comisión Europea.

Desarrollo de herramientas para un sistema de alerta temprana regional en la Costa Vasca

**Aritz Abalia^a, Irati Epelde^a, Pedro Liria^a, Roland Garnier^a, Asier Nieto^a,
José Daniel Gómez^b, Santiago Gaztelumendi^b, Iñaki de Santiago^a**

^aAZTI Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), , aabalia@azti.es;

^bBasque Meteorology Agency (EUSKALMET)

1. Introducción

La urbanización y densificación de la franja costera incrementan la exposición a tormentas oceánicas, especialmente en frentes marítimos urbanos bajos, vulnerables al rebase y a inundaciones debido al efecto conjunto de oleaje y nivel del mar. Además, esta situación podría agravarse debido el aumento del nivel del mar causado por el cambio climático. Una de las medidas de adaptación más extendidas es el desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana (SAT), orientados a optimizar la gestión del riesgo mediante la activación anticipada de protocolos preventivos frente a eventos extremos. El estudio busca implementar un sistema de monitorización y previsión local, aplicable a entornos costeros diversos a escala regional.

La Costa Vasca situada en el norte de España dentro del Golfo de Vizcaya, se caracteriza por ser abrupta con acantilados y playas encajadas, sometida a oleaje severo y gran variabilidad en estructuras de protección, morfología, urbanización y densidad poblacional, lo que la convierte en una zona de estudio con elevada exposición y gran variabilidad a escala regional. Son siete las playas analizadas en el presente estudio; Muskiz, Arriatera, Saturrarán, Itzurun, Gaztetape, Malkorbe y Zarautz (Figura 1), identificadas como las más expuestas de la Costa Vasca al oleaje incidente en Abalia et al. (2024).

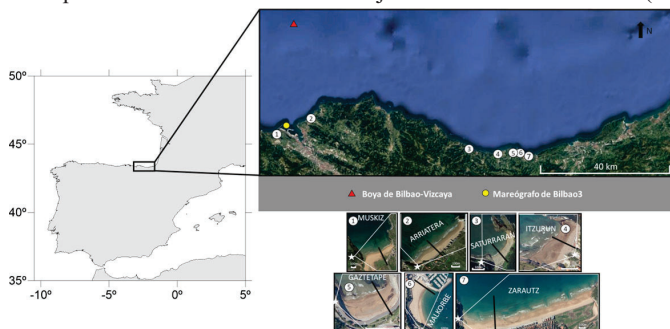


Fig. 1 Zona de estudio: Costa Vasca

2. Datos

Se dispone de parámetros morfológicos y estructurales de las playas, obtenidos mediante mediciones GPS *in situ* y la red de videometría del País Vasco (Liria et al., 2021). Estos incluyen cotas del pie y la cresta de las estructuras de protección (3.2-9 m respecto al nivel medio); pendientes medias del frente de playa (0.015-0.07); y orientaciones (300°-90°). Para desarrollar y validar el SAT se emplearon datos de oleaje (3–9 m de altura, periodos 9–19 s, dirección NW) medidos en la boya de Bilbao-Vizcaya, nivel del mar (0,7–2,3 m respecto al nivel medio) obtenidos del mareógrafo de Bilbao3 y alertas cualitativas obtenidas de la red de videometría costera del País Vasco de tormentas entre 2023 y 2025.

3. Desarrollo, validación y puesta en marcha del SAT

El SAT incluye tres módulos: (i) propagación del oleaje mediante SWAN, desde aguas abiertas hasta la zona de rotura; (ii) estimación del *runup* usando la formulación de Stockdon et al. (2006); y (iii) clasificación de niveles de alerta según la relación entre el *runup* calculado y las cotas de las estructuras de protección.

Los resultados de la validación se muestran mediante el porcentaje de acierto del SAT y son los siguientes para cada playa: Muskiz 93 %, Arriatera 100 %, Saturraran 55 %, Itzurun 80 %, Gaztetape 81 %, Malkorbe 100 % y Zarautz 58 %.

El SAT funciona de forma operativa desde octubre de 2025 para evaluar la peligrosidad de las tormentas, y su validación se realizará continuamente durante el invierno 2025/2026 utilizando datos del sistema de videometría costera del País Vasco.

Agradecimientos

Se agradece a STORMPACT (COPERNICUS MARINE NATIONAL COLLABORATION PROGRAMME; 24263-COP-INNO USER 9000) y Regions4Climate (Horizon Europe, DOI: 10.3030/101093873) haber podido realizar este estudio.

Referencias

- Abalia, A., (2024). “Analysis of the coastal flooding exposure of embayed beaches at a regional scale using a video monitoring network: Basque Coast (Spain)”. *Ocean & Coastal Management*, 254, 107193.
- Liria, P., (2021). “KOSTASystem, a coastal videometry technology: development and applications”. In *9th EuroGOOS International conference* (pp. 485-491).
- Stockdon, H. F., (2006). “Empirical parameterization of setup, swash, and runup”. *Coastal engineering*, 53(7), 573-588.

Prueba de concepto para un sistema avanzado de alerta temprana en tiempo real para eventos de inundación costera en la Playa del Sardinero (Santander, España)

Gabriel Díaz-Hernández^a, Alejandro González Valle^a, Ambre Froucher^b, Antonio Tomás^a

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria,

 gabriel.diaz@unican.es , alejandro.gonzalezv@unican.es , antonio.tomas@unican.es

^bL'Ecole Nationale Supérieure d'Electronique Informatique Télécommunications Mathématique et

Mécanique de Bordeaux – Bordeaux INP, ambre.foucher@bordeaux-inp.fr

1. Introducción

Este trabajo presenta el desarrollo de una Prueba de Concepto (PdC) para un sistema operacional avanzado orientado a la predicción en tiempo real y a la alerta temprana de episodios de inundación costera en Playa del Sardinero, Santander (España). La iniciativa surge con el objetivo de reforzar la gestión del riesgo costero en entornos urbanos altamente expuestos, donde la combinación de temporales, oleaje extremo y condiciones locales de playa puede generar impactos significativos sobre infraestructuras, servicios y seguridad ciudadana. Para ello, se propone un enfoque basado en modelización numérica de última generación y capacidad de cálculo acelerada, que permita obtener predicciones detalladas, rápidas y operativas bajo condiciones meteorológicas adversas.

Un elemento diferenciador del sistema es su enfoque en la representación explícita de procesos físicos claves responsables de la inundación durante temporales, como la generación de ondas infragravitatorias y las oscilaciones de surf-beat, que modulan el nivel de agua en la zona de rompiente y amplifican los procesos de sobre-elevación e inundación. Esta aproximación permite capturar componentes de baja frecuencia que suelen quedar subestimadas en modelos simplificados, pero que resultan determinantes en escenarios extremos. Además, el sistema incorpora, por primera vez en el estado del arte, la simulación continua e ininterrumpida a lo largo de todo el evento de temporal, a través de la integración del oleaje y niveles del mar instantáneos a lo largo de una ventana de 3 días.

2. Metodología general

El sistema operacional se basa en el modelo numérico CELERIS, una herramienta hidrodinámica acelerada mediante GPU, diseñada para simular en alta resolución procesos de dinámica costera compleja con tiempos de cómputo compatibles con aplicaciones en tiempo real. La metodología implementada en la PdC se estructura en cuatro componentes principales:

- Modelización hidrodinámica en tiempo real de eventos extremos asociados a rebase e inundación costera identificados con técnicas de clustering. Se ejecutan simulaciones de propagación y transformación del oleaje en la costa, resolviendo la dinámica no lineal en la zona de rompiente y el flujo de rebase e inundación. La aceleración GPU permite incrementar resolución espacial y temporal manteniendo tiempos operativos.
- Integración explícita de procesos de baja frecuencia. El sistema integra de forma directa la generación y evolución de ondas infragravitarias y surf-beat, fundamentales en la amplificación del nivel de agua y en el desencadenamiento de procesos de inundación, basado en ejecuciones continuas durante todo el evento de temporal (concatenación de estados de mar en una misma simulación). Esto permite representar con mayor realismo la componente de inundación asociada a oscilaciones de largo periodo, especialmente relevante durante temporales intensos.
- Validación con eventos extremos reales y protocolo de alerta. La PdC se ha evaluado reproduciendo los eventos extremos de 2014 en Playa del Sardinero, que provocaron importantes inundaciones y daños. La reproducción de estos casos reales permite analizar la capacidad del sistema para generar predicciones de inundación de alta resolución y visualizaciones dinámicas del proceso. De manera operativa, el sistema estará diseñado para ser interoperable con protocolos locales como el Plan de Emergencia Municipal de Santander (PEMUSAN) que incorporará un protocolo de alertas basado en umbrales de riesgo predefinidos (por ejemplo, niveles de inundación, extensión afectada y/o indicadores hidrodinámicos críticos).

En conjunto, esta PdC representa un avance significativo hacia la implementación real de sistemas operacionales de predicción de inundación costera, proporcionando una herramienta flexible, científicamente robusta y orientada a mejorar la resiliencia y la preparación frente a temporales extremos en costa.



Fig. 1. Ejemplo de la PdC mostrando el evento de rebase en la playa del Sardinero, Santander de 2014

Sistema de oceanografía operacional basado en inteligencia artificial para puertos y estuarios: aplicación en la Bahía de Santander

Ana J. Abascal^a, Germán Aragón^a, Mirko Rupani^b, Jonathan B. Valle^a, Antonio Pérez-Quintana^a, Luciana Badano^a, Javier García-Alba^a, Rodrigo Manzanás^c, Andrés García^a

^a IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. 
abascalaj@unican.es

^b TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Derio, Spain

^cDepartamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación, Universidad de Cantabria, Santander, Spain

Los estuarios son entornos dinámicos y de alto valor ecológico y socioeconómico, en los que convergen actividades como la navegación, los puertos, las áreas urbanas y el turismo. Su gestión eficaz depende en gran medida de una adecuada comprensión de las condiciones hidrodinámicas, especialmente de la dinámica de las corrientes. En este contexto, los sistemas de oceanografía operacional, que proporcionan predicción en tiempo real de las variables hidrodinámicas, se han consolidado como herramientas clave para múltiples sectores, como la gestión de riesgos costeros, la seguridad marítima o el turismo azul. A pesar de los avances realizados en las últimas décadas, el desarrollo de este tipo de sistemas es complejo, especialmente en áreas semiconfinadas, como puertos, bahías y estuarios, debido a la alta resolución espacial requerida, la complejidad de los procesos que deben ser modelizados y el alto coste computacional asociado. En este contexto, las técnicas de Inteligencia Artificial (IA) ofrecen nuevas oportunidades para el desarrollo de sistemas más eficientes desde el punto de vista computacional, facilitando su implementación, mantenimiento y sostenibilidad a largo plazo.

En este trabajo se presenta el Sistema de Oceanografía Operacional Estuarino basado en IA ([Santander – OEFS – AI] *Santander Operational Estuarine Forecast System based on Artificial Intelligence*) desarrollado en la Bahía de Santander en el marco del Plan Complementario de I+D+i en Ciencias Marinas, ThinkInAzul, y del proyecto COSNORTH enmarcado dentro del Programa Nacional de Colaboración del Servicio Marino de Copernicus. Como predictandos, el sistema utiliza variables hidrodinámicas obtenidas del Servicio Marino de Copernicus (concretamente del sistema Atlantic-Iberian Biscay Irish-Ocean Physics Analysis and Forecast), forzamientos meteorológicos de MeteoGalicia y caudal del río proporcionado por los sistemas de IHCantabria. Para la implementación del modelo se ha aplicado una metodología híbrida basada en redes neuronales profundas (*deep learning*) y modelado hidrodinámico con Delft3D. El sistema está actualmente ejecutando en

*Sistema de oceanografía operacional basado en inteligencia artificial para puertos y estuarios:
aplicación en la Bahía de Santander*

la infraestructura de IHCantabria, proporcionando operacionalmente la predicción a 3 días de corrientes superficiales y nivel del mar en la Bahía de Santander y el entorno portuario. El sistema ha sido calibrado y validado con diferentes campañas hidrodinámicas realizadas en la zona de estudio. En la presentación se mostrará la implementación del sistema, su validación (véase la figura 1) y los servicios de valor añadido en la Bahía de Santander, especialmente para la prevención y gestión de la contaminación marina y riesgos de inundación costera.

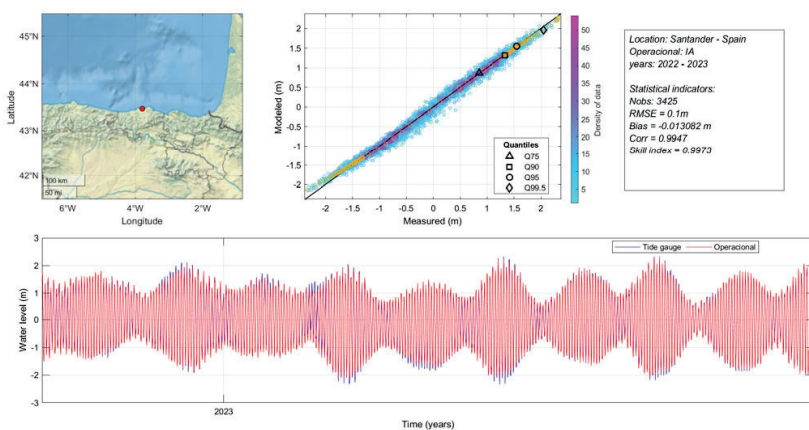


Fig. 1. Ejemplo de validación del nivel del mar proporcionado por el sistema Santander – OEFS – IA

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente desarrollado en el marco del programa *ThinkInAzul*, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación con fondos de la Unión Europea *NextGenerationEU (PRTR-C17.I1)* y por la Comunidad Autónoma de Cantabria, del proyecto *COSNORTH* financiado por *Mercator Ocean International*, en el marco del Programa Nacional de Colaboración del Servicio Marino de Copernicus: *EU COASTAL MONITORING DEMONSTRATORS* y del proyecto *PID2024-159500OB-I00* financiado por *MICIU/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE*.

Reconstrucción avanzada de la altura de ola para aplicaciones portuarias mediante técnicas de *Deep Learning*: aplicación en el entorno costero de Arrigunaga

Manuel Viñes^a, César Möso^a, Lohitzune Solabarrieta^b, Joaquim Sospedra^a,
Manel Grifoll^a, Agustín Sánchez-Arcilla^a

^aUniversitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech (UPC), Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM), Barcelona, Spain, , manuel.vines@upc.edu, cesar.mosso@upc.edu, Joaquim.sospedra@upc.edu, manel.grifoll@upc.edu, agustin.arcilla@upc.edu; ^bAZTI Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Gipuzkoa, Spain; lsolabarrieta@azti.es, iepelde@azti.es; ^cDepartamento de Salud, Seguridad y Medio Ambiente de la Autoridad, Autoridad Portuaria de Bilbao, APB, Santurtzi, Spain, mhernaez@bilbaoport.eus; ^dDepartamento de Planificación, Proyectos y Construcción, Autoridad Portuaria de Bilbao, APB, Santurtzi, Spain, aojanguren@bilbaoport.eus.

1. Introducción

Los estudios del clima medio y extremal son esenciales para comprender la dinámica litoral y el diseño de infraestructuras (Mösso et al., 2020). En ese aspecto y en la actualidad, el modelado numérico y el uso de *Machine Learning* (ML) para obtener predicciones y/o series, resulta cada vez más relevante para que los análisis sean estadísticamente fiables (Viñes et al., 2025). Sin embargo, estos registros medidos frecuentemente presentan huecos debidos a los elevados costes de despliegue y mantenimiento y/o fallos técnicos. En este aspecto, este estudio aborda la reconstrucción robusta de dichas series mediante técnicas de *Deep Learning* (DL), empleando como variable predictora la altura de ola significativa (H_s) obtenida a través de campañas intensivas (CI) y simulación numérica.

2. Metodología

La metodología propuesta combina un *pipeline* de preprocesado en el que, tras ajustar en ambas series su frecuencia de muestreo (homogeneización temporal), se escalan y se construyen variables derivadas, hecho que permite implementar redes *Long Short-Term Memory* (LSTM) y *Temporal Convolutional Networks* (TCN) (Yao et al., 2023). Para garantizar la correcta generalización, se emplea una validación cruzada temporal con origen rodante, junto con optimización de hiperparámetros, de modo que el modelo reconstruya con una cobertura temporal mucho más amplia (años) y caracterice así el clima de oleaje medio y extremal.

3. Resultado y discusión

La Figura 1 muestra la serie temporal de H_s reconstruida para la playa de Arrigunaga, así como la comparación directa con los datos observados en la CI durante el periodo de *test*.

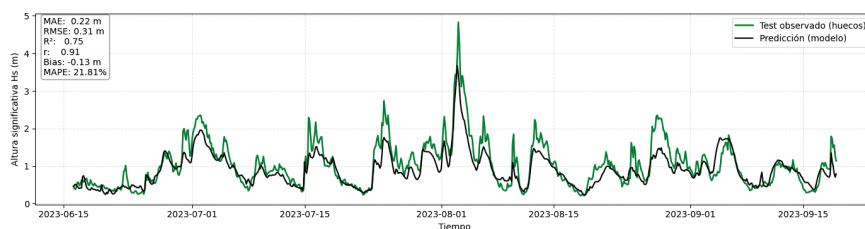


Fig. 1 Comparación entre la serie temporal de altura de ola significativa (H_s) observada y la serie reconstruida a través de la arquitectura TCN para la playa de Arrigunaga durante el periodo de *test*

Los resultados ponen de manifiesto una adecuada capacidad del modelo para reproducir la variabilidad temporal del oleaje, tanto en condiciones medias como durante episodios de mayor energía ($r > 0.90$ y $MAE < 0.25$ m), lo que permite mejorar la base de datos para análisis de agitación y evaluación de la operatividad de infraestructuras costeras.

4. Conclusiones y agradecimientos

La aplicación de modelos de DL ha demostrado ser una herramienta eficaz para la reconstrucción de series de H_s en entornos costeros de interés portuario. La metodología propuesta permite generar series continuas y consistentes de H_s a partir de información procedente de campañas cortas, optimizando los estudios de operatividad, planificación futura y la toma de decisiones en el diseño y gestión de infraestructuras marítimas.

Finalmente, los autores desean expresar su agradecimiento al Dep. de Inv. y Univ. de la Generalitat de Catalunya (SGR-Cat 2021; 2021SGR00600), y la asistencia técnica para el seguimiento medioambiental del proyecto de extracción de arena en el sector norte de la Zona II de la Autoridad Portuaria de Bilbao, y del proyecto del espigón central para la ampliación del Puerto de Bilbao en el Abra Exterior (2022-2026).

Referencias

- Mösso, C., et al., (2020). Sediment Mobility at Fangar Bay (NW): Management Implications Under Present and Future Climates. *Jour. of Coa*. <https://doi.org/10.2112/S195-174.1>
- Viñes, M., et al., (2025). Morphodynamic predictions based on ML. Performance for pocket beaches near Bilbao port. *Front. in Envir. Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1600473>
- Yao, J, et al., (2023). A novel approach based on TCN-LSTM for predicting waterlogging depth with monitoring station. *PLOS ONE*, . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286821>

Metodología integrada para la evaluación de la respuesta hidrodinámica y de la calidad de aguas de baño en estuarios bajo escenarios de cambio climático

Javier F. Bárcena^a, Jagoba Lupiola^b, Ibio Rivas^c, Javier García-Alba^a, Andrés García^a

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España.

^bbarcenajf@unican.es; ^cTeam Ingeniería y Consultoría S.L., Zamudio, España.; ^cAcciona – Departamento de Ingeniería Hidráulica, Erandio, España.

1. Introducción

La evaluación de la respuesta de los estuarios ante escenarios de cambio climático requiere metodologías capaces de integrar simultáneamente aspectos hidrodinámicos, presiones antrópicas derivadas del saneamiento urbano y parámetros de calidad de agua relevantes para la salud pública. En este trabajo, IHCantabria presenta una metodología integrada para la evaluación conjunta de la hidrodinámica, los vertidos de los sistemas de saneamiento y la calidad de las aguas de baño en estuarios bajo futuros escenarios climáticos. El enfoque se basa en la combinación de modelos numéricos tridimensionales y herramientas de simulación hidráulica validadas a escala real. Dicha metodología se aplica al estuario de Suances (Cantabria, España, Figura 1), siendo transferible a cualquier estuario del mundo.

2. Metodología

(1) Modelización hidrodinámica tridimensional (Delft3D-FLOW). Se desarrolla un modelo 3D que reproduce la circulación, estratificación y propagación mareal en el estuario. Se calibran niveles, corrientes, temperatura y salinidad mediante campañas de campo. Los escenarios de cambio climático consideran proyecciones para 2050 bajo RCP 4.5 y RCP 8.5, incorporando aumentos del nivel del mar, variaciones de salinidad y temperatura, y cambios en los caudales fluviales.

(2) Simulación del sistema de saneamiento (SWMM). Se implementa la red de saneamiento (colectores, EDAR y tanques de tormenta), generando series temporales de caudal y concentración de E. coli para los diferentes puntos de vertido. Se consideran alteraciones en la precipitación y en la temperatura del aire que afectan la frecuencia y magnitud de los vertidos.

(3) Modelización de la calidad de aguas de baño (Delft3D-WAQ). El transporte y decaimiento de E. Coli se simula incorporando mortalidad dependiente de temperatura, salinidad y radiación solar. Los vertidos calculados con SWMM se introducen al sistema junto con la concentración fluvial de base, permitiendo estimar la evolución espaciotemporal de la contaminación fecal en el estuario y en las zonas de aguas de baño.

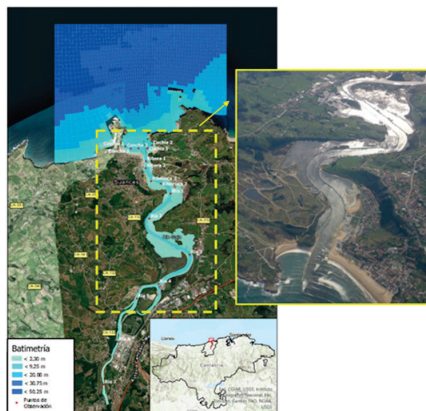


Fig. 1 Zona de estudio para la aplicación de la metodología integrada: saneamiento del Saja-Besaya y estuario de Suances

3. Resultados y conclusiones

Los resultados hidrodinámicos muestran un desplazamiento aguas arriba de la zona de estratificación debido al ascenso del nivel del mar y a la disminución de los aportes fluviales. La intrusión salina se intensifica y la dominancia mareal aumenta durante los periodos de estiaje. Respecto al saneamiento, la reducción de la precipitación y el aumento de la temperatura originan una disminución en los eventos de alivio y en los volúmenes vertidos. Finalmente, la modelización de la calidad del agua evidencia un incremento significativo de la mortalidad de *E. coli* bajo escenarios futuros, resultado de la mayor temperatura del agua y del contacto más temprano con aguas salinas por efecto de la intrusión mareal.

La metodología integrada demuestra ser una herramienta robusta para evaluar impactos combinados y no lineales del cambio climático en la dinámica estuarina y la calidad de las aguas de baño, ofreciendo un marco replicable y aplicable a cualquier estuario en proceso de planificación o gestión costera.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el: (1) Proyecto HIGEA (PID2021-127358NB-I00-MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y (2) Proyecto PLASTICOL (PID2024-160081OB-I00-MICIU/AEI/10.13039/501100011033).

Referencias

- LUPIOLA, J.; BÁRCENA, J. F.; GARCÍA-ALBA, J.; y GARCÍA, A. (2023). “A numerical study of mixing and stratification alterations in estuaries using the Potential Energy Anomaly” *en Frontiers in Marine Science*, vol. 10, Art. 1206006. DOI: 10.3389/fmars.2023.1206006.
- RIVAS NORIEGA, I. (2024). *Análisis del efecto del cambio climático sobre los vertidos del saneamiento y la calidad del agua*. Trabajo Final de Máster. Santander: Universidad de Cantabria.

Adaptación al cambio climático en entornos costeros combinando modelos híbridos y algoritmos de optimización

Pablo Alonso-Alguacil^a, Victor Collado^b, Beatriz Pérez-Díaz^a, Roberto Mínguez^b,
Borja González Reguero^c, Sonia Castanedo^a, Fernando Méndez^a

^aUniversidad de Cantabria, Santander, España, , alonsoap@unican.es; , beatriz.perez@unican.es; , sonia.castanedo@unican.es; , fermando.mendez@unican.es; ^bUniversidad Carlos III de Madrid, España, vicollad@pa.uc3m.es; , rminguez@est-econ.uc3m.es y ^cUniverstiy of California Santa Cruz, , breguero@ucsc.edu

1. Introducción

El aumento de fenómenos climáticos extremos y del nivel del mar incrementa el riesgo para las comunidades costeras, cuyas capacidades de adaptación se ven limitadas por la elevada incertidumbre en la predicción de impactos y la complejidad de los sistemas costeros (Toimil et al., 2021). En este trabajo se pretende desarrollar un prototipo metodológico para evaluar los efectos del cambio climático sobre el riesgo de inundación costera, identificar las estrategias de adaptación más eficientes y determinar los periodos óptimos para su implementación, con el objetivo de mantener un nivel de riesgo aceptable.

Apia, la capital del Estado Independiente de Samoa, se seleccionó como área de estudio debido a su alta vulnerabilidad asociada a la baja altitud, característica común en muchas islas del Pacífico, y por su potencial para aplicar medidas de adaptación basadas en la naturaleza, incluyendo la protección de arrecifes de coral y la restauración de manglares.

2. Metodología

Para abordar este problema se utilizan metodologías probabilísticas basadas en emuladores que reproducen las principales dinámicas de inundación costera. Estos emuladores capturan de manera realista las correlaciones entre distintos agentes, en este estudio incluyendo ciclones tropicales, anomalías del nivel del mar y mareas, permitiendo generar cronologías sintéticas de eventos para evaluar el nivel de riesgo (Anderson et al., 2019).

Para reducir el elevado coste computacional de los enfoques probabilísticos (e.g., simulaciones dinámicas de cronologías sintéticas) se utilizan modelos híbridos que integran modelado numérico de alta fidelidad con técnicas de aprendizaje estadístico. Esta estrategia permite traducir las cronologías de eventos en impactos. Al incorporar en los metamodelos los efectos del cambio climático, como el aumento del nivel medio del mar, y los impactos de las medidas de adaptación, es posible evaluar el nivel de riesgo en múltiples escenarios,

considerando tanto los efectos individuales como las interacciones entre cambio climático y adaptación. Una vez calibrados, estos modelos híbridos pueden integrarse en algoritmos de optimización, permitiendo realizar un análisis de coste-beneficio que minimiza la evolución del riesgo frente a los costes de adaptación, y respaldando la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia.

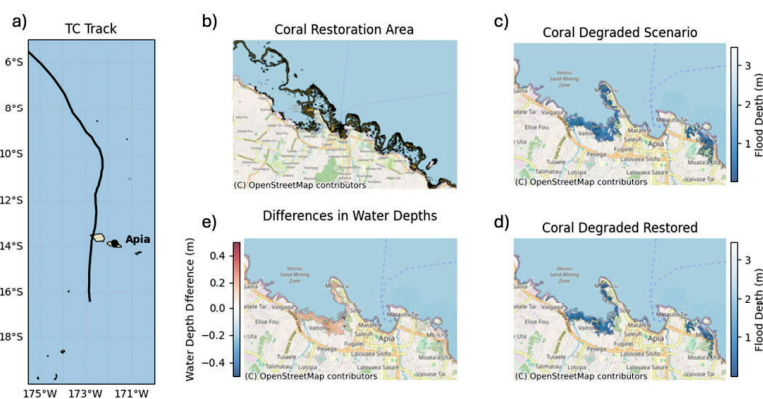


Fig. 1 Modelado de un evento de inundación: (a) Traza sintética; (b) Área de implementación de la medida de adaptación; (c, d) Manchas de inundación para escenarios de restauración y degradación del arrecife de coral; (e) Diferencias entre ambos. Fuente: elaboración propia

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con fondos del proyecto HyBay (PID2022-141181OB-I00, MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE). P.A.A. agradece al Ministerio Ciencia, Innovación y Universidades la financiación de su contrato (PREP2022-000316).

Referencias

- TOIMIL, A., CAMUS, P., LOSADA, I.J., ALVAREZ-CUESTA, M. (2021). “Visualising the uncertainty cascade in multi-ensemble probabilistic coastal erosion projections” en *Front. Mar. Sci.* 8 <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.683535>.
- ANDERSON, D.L., RUGGIERO, P., MENDEZ, F.J., BARNARD, P.L., ERIKSON, E.H., O’NEILL, A.C., MERRIFIELD, M., RUEDA, A., CAGIGAL, L., MARRA, J. (2021). “Projecting Climate Dependent Coastal Flood Risk with a Hybrid Statistical Dynamic Model” en *Earth’s Future*, doi: 10.1029/2021EF002285

Predicción del oleaje en 2050: ¿extrapolar tendencias históricas o confiar en los modelos climáticos?

Laura Cagigal^a, Fernando J. Méndez^a, Pablo Alonso^a

^aGrupo de Ingeniería Geomática y Oceanográfica, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria

 laura.cagigal@unican.es;  fernando.mendez@unican.es;  pablo.alonsoalguacil@unican.es

1. Introducción

La proyección de variables meteo-oceánicas a medio plazo (horizonte 2050) es fundamental para la evaluación del riesgo costero, el diseño de infraestructuras marítimas y la planificación del recurso eólico marino, entre otras aplicaciones. En este contexto, variables como el oleaje, el viento y la circulación atmosférica deben ser representadas de forma coherente a escalas regionales.

Una de las principales fuentes de incertidumbre en estas proyecciones es la elección del enfoque metodológico. Por un lado, la extrapolación de tendencias históricas ofrece una aproximación sencilla, directamente basada en observaciones o reanálisis. Por otro, los modelos climáticos globales del conjunto CMIP6 proporcionan proyecciones físicamente consistentes, pero presentan importantes diferencias entre modelos, así como sesgos sistemáticos y limitaciones de resolución que dificultan su uso directo a escalas regionales.

Este trabajo presenta una **comparación sistemática entre las tendencias históricas observadas y los cambios proyectados por los modelos climáticos**, con el objetivo de identificar en qué plazos temporales resulta razonable seguir utilizando extrapolaciones de tendencias y cuándo es necesario recurrir a proyecciones climáticas. Para ello, se emplea un marco basado en tipos de tiempo del Atlántico Norte, que permite conectar la circulación atmosférica a gran escala con variables meteo-oceánicas de interés.

2. Metodología

Se definen 36 tipos de tiempo en el Atlántico Norte a partir de campos espaciales de **presión a nivel del mar** y de su **gradiente**, empleando un análisis de componentes principales (PCA) seguido de una técnica de *clustering*, en este caso **K-means**, que permite identificar un conjunto reducido de condiciones sinópticas representativas (Fig. 1a).

A partir de esta clasificación, se analiza la evolución histórica de los tipos de tiempo mediante la estimación de tendencias a largo plazo en sus probabilidades de ocurrencia. Estas tendencias se comparan con los cambios proyectados por los modelos climáticos del conjunto **CMIP6**, asignando cada estado atmosférico simulado a uno de los tipos de tiempo previamente definidos.

Dada la elevada dispersión existente entre los modelos climáticos, se construye un **ensemble CMIP6** seleccionado en función de su capacidad para reproducir el clima histórico. La selección se realiza mediante un método de **ranking**, siguiendo la metodología propuesta por

Pérez *et al.* (2014), que permite identificar los modelos con mejor desempeño en la simulación de la circulación atmosférica pasada en la cuenca del Atlántico Norte.

Finalmente, tanto las tendencias históricas como las proyecciones del ensemble se emplean como base para la generación de **series sintéticas futuras** de variables meteo-oceánicas mediante emuladores estadísticos basados en **modelos logísticos**, garantizando la coherencia temporal y la representatividad climática de los escenarios generados.

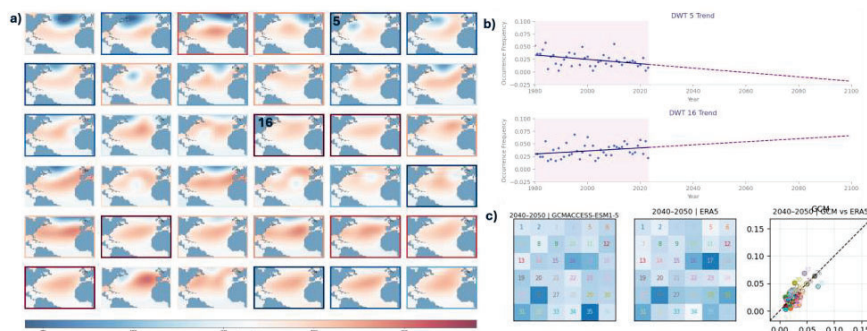


Fig. 1 Análisis de las tendencias de los tipos de tiempo en el Atlántico Norte y comparación con proyecciones climáticas. (a) Clasificación de la circulación atmosférica en 36 tipos de tiempo sinópticos, donde los colores rojo y azul indican tendencias positivas y negativas, respectivamente, en la probabilidad de ocurrencia durante el periodo histórico. (b) Ejemplo de la evolución temporal de la probabilidad de ocurrencia de dos tipos de tiempo, incluyendo la extrapolación de las tendencias históricas. (c) Comparación entre las tendencias históricas extrapoladas y los cambios proyectados por un modelo climático global para el periodo 2040–2050

Conclusiones

La comparación entre las tendencias históricas y las proyecciones del conjunto CMIP6 indica que **existen escalas temporales en las que la extrapolación de tendencias resulta consistente**, proporcionando una base sólida para la generación probabilística de climas meteo-oceánicos plausibles a medio plazo mediante emuladores climáticos (Anderson *et al.*, 2019).

Agradecimientos

Esta investigación ha sido elaborada en el marco de los proyectos: CE4Wind (CPP2022-010118 MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y Unión Europea- Next GenerationEU/PRTR) y Perfect-Storm (2023/ TCN/003 - Gobierno de Cantabria/FEDER, UE).

Referencias

- Anderson, D., Rueda, A., Cagigal, L., Antolínez, J.A.A., Mendez, F.J., Ruggiero, P., 2019. Time-varying emulator for short and long-term analysis of coastal flood hazard potential. *J. Geophys. Res. Ocean.* 1–26. <http://dx.doi.org/10.1029/2019JC015312>.
- Perez, J., Menendez, M., Mendez, F.J. *et al.* (2014). Evaluating the performance of CMIP3 and CMIP5 global climate models over the north-east Atlantic region. *Clim Dyn* 43, 2663–2680. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2078-8>

Generación de forzadores hidrodinámicos para la evolución costera de Carolina del Norte a diferente escalas temporales

Jennifer Montaña^a, Laura Cagigal^a, Beatriz Pérez-Díaz^b, Etienne Faugere^a,
Pablo Alonso-Alguacil^a, Jared Ortiz-Angulo^a, Fernando Méndez Incera^a

^aUniversidad de Cantabria (Grupo GeoOcean)  jennifer.montano@unican.es; 
laura.cagigal@unican.es;  beatriz.perez@unican.es,  etienne.faugere@unican.es; 
pablo.alonsoalguacil@unican.es ;  jared.ortizangulo@unican.es;  fernando.mendez@unican.es

Introducción

Las predicciones cuantitativas de la erosión y la acreción costera son fundamentales para la planificación y protección de las comunidades costeras. En las últimas décadas se han desarrollado nuevos enfoques de modelado para predecir la evolución de la línea de costa a distintas escalas temporales, cuyo rendimiento depende de forma crítica de la calidad de los forzadores atmosféricos y oceánicos.

Este trabajo muestra la adquisición de dichos forzadores para alimentar una gran cantidad de modelos morfodinámicos que buscan predecir la evolución de la costa de Carolina del Norte a diferentes escalas temporales y espaciales en el contexto del *Shoreshop*, que busca comparar de forma objetiva la capacidad predictiva de distintos modelos —incluyendo enfoques tradicionales y técnicas de aprendizaje automático— al ser todos ellos forzados con el mismo conjunto de datos (*ShoreShop1*: Montaña et al., 2019; *ShoreShop2*: Mao et al., 2025). El *Shoreshop 3* abarca escalas desde cambios diarios locales hasta la evolución de toda la costa (cientos de kilómetros) a largo plazo, requiriendo forzadores oceánicos de alta resolución espacial y temporal. Para cumplir con este objetivo, hemos desarrollado emuladores climáticos, usados en conjunto con modelos aditivos híbridos (*BinWaves*; Cagigal et al. 2023), que permiten generar forzadores de alta resolución espacial y temporal a bajo coste computacional, abarcando el clima presente (1940–2025), pasado (1870–presente) y futuro (hasta 2100).

Metodología

2.1. Metamodelo de Ciclones Tropicales (CTs)

Para estimar el campo espacio–temporal del espectro direccional del oleaje en la zona de influencia de los ciclones tropicales (CTs), se emplearon bases de datos históricas de trazas de ciclones junto con trazas sintéticas, con el fin de ampliar la casuística de escenarios posibles en Carolina del Norte.

2.1. Emulador Clima Regular

Adicionalmente, se desarrolló un emulador de clima regular para el periodo 1940–2025, con la posibilidad de incorporar la ocurrencia de un CT en un día específico. Para ello, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) a los campos de presión atmosférica y sus gradientes, identificando los patrones dominantes de variabilidad espacial (Funciones Ortogonales Empíricas, FOEs) y sus coeficientes temporales asociados (CPs) (Camus et al., 2014). Las series diarias de componentes principales se ajustaron a los registros históricos, permitiendo definir la relación con distintos tipos de oleaje (TOs) diarios. Asimismo, se generaron series sintéticas considerando la estacionalidad y la influencia de patrones atmosféricos de gran escala, como la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Madden–Julian (MJO).

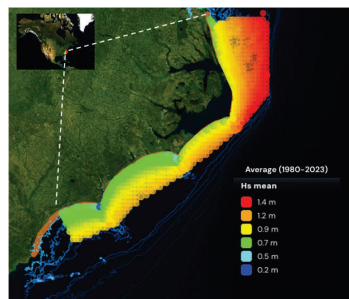


Fig. 1 Zona de estudio

Resultados

La combinación del emulador de clima presente con el análisis de ciclones tropicales (CTs) y el modelado híbrido mediante BinWaves permitió traducir los patrones climáticos a escala de cuenca en climas de oleaje locales en aguas someras (TOs), incluyendo de forma explícita la influencia de los CTs. Este marco de emulación se aplicó tanto a reconstrucciones del clima pasado (1870–presente) como a proyecciones futuras (presente–2100), incorporando escenarios de aumento medio del nivel del mar y posibles cambios en la trayectoria e intensidad de los CTs asociados al calentamiento global. Adicionalmente, se generó un hindcast de oleaje horario de alta resolución espacial (hasta 500 m en zonas costeras) para el periodo 1980–2023, obtenido de forma computacionalmente eficiente mediante BinWaves.

Referencias

- Cagigal, L., Mendez F., Ricoondo, A., et al., (2023) BinWaves: An additive hybrid method to downscale directional wave spectra to nearshore areas. *Ocean Modelling*.
- Camus, P., Menéndez M., Mendez F. et al., (2014). A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. *JGR: Oceans*.
- Mao, Y., Coco, G., Vitousek, S. et al., (2025) Benchmarking shoreline prediction models over multi-decadal timescales. *Commun Earth Environment*.
- Montaño, J., Coco, G., Antolínez, J.A.A. et al. Blind testing of shoreline evolution models. *Sci Rep* 10, 2137 (2020).

Variabilidad estacional y a largo plazo de los sistemas de oleaje y su relación con forzamientos climáticos en el Golfo de Panamá

Ruby Vallarino-Castillo^{a*}, José A. A. Antolínez^b, Vicente Negro-Valdecantos^a, Jesús Portilla-Yandún^c

^aEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory (ECOREL), Universidad Politécnica de Madrid, Campus Ciudad Universitaria, Calle del Profesor Aranguren 3, 28040 Madrid, Spain, (*ruby.vallarino@alumnos.upm.es, vicente.negro@upm.es); ^bDepartment of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, Netherlands (J.A.A.Antolinez@tudelft.nl) and ^cCentro de Investigación en Modelización Matemática (MODEMAT), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador (jportilla@ymail.com).

1. Introducción

La erosión costera y las inundaciones son problemas crecientes en el Golfo de Panamá, donde la variabilidad del oleaje determina la estabilidad de las costas y el transporte de sedimentos. En esta cuenca semi-cerrada, los sistemas de oleaje están modulados por forzamientos climáticos locales (i.e., los chorros de vientos de bajo nivel de Panamá y del Chocó) y remotos, asociados a la Zona de Convergencia Intertropical, los vientos alisios del Pacífico y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Estas interacciones controlan la energía incidente y generan fluctuaciones estacionales e interanuales que intensifican la erosión y las inundaciones. Este estudio analiza la variabilidad estacional y multidecenal de los sistemas de oleaje en el Golfo de Panamá mediante el atlas GLOSWAC-5 (Portilla-Yandún, 2025), que permite identificar espectros de energía y direcciones dominantes. Se seleccionaron tres puntos representativos en la entrada del golfo para evaluar la dinámica del oleaje entre 1969 y 2023. Se reconocieron cinco sistemas principales: SO1, oleaje de mar de fondo del Océano Austral; SO2, generado por vientos del Pacífico subtropical; SO3 y SO4, asociados a los chorros de viento de bajo nivel (i.e., “jets”) de Panamá y del Chocó; y SO5, asociado a tormentas del Pacífico norte, cuya influencia es limitada (Vallarino-Castillo, 2026).

2. Metodología

Se analizó la dinámica de los sistemas de oleaje entre 1969 y 2023. La primera fase evaluó la frecuencia mensual y la altura significativa (Hs) para identificar patrones estacionales y multimodalidad, clasificando las olas según su orientación relativa (paralela, cruzada y opuesta). En la segunda fase, los datos se agruparon en tres intervalos de 17–18 años, diferenciando las estaciones secas (diciembre–abril) y húmeda/lluviosa (mayo–noviembre). Se aplicaron análisis exploratorios y regresión cuantílica (percentiles 50 y 95) para detectar tendencias y cambios en los eventos extremos.

3. Resultados

Los análisis iniciales de la variabilidad estacional de los sistemas de oleaje en el área de estudio mostraron que el sistema SO1 dominó durante todo el año, con una frecuencia superior al 90% cada mes. SO1 alcanzó su altura máxima de ola en mayo, mientras que el sistema SO3, que se propaga en la dirección opuesta, presentó una actividad reducida. Durante la temporada seca, SO3 predominó el 70% del tiempo, aunque su influencia varió debido a la morfología del Golfo. En la temporada lluviosa, los sistemas SO2 y SO4 se volvieron más activos, manteniendo ocurrencias consistentes, aunque SO4 fue menos prominente en algunas zonas. El análisis de correlación reveló interacciones complejas, con SO1 correlacionado negativamente con SO3 y SO5, y SO3 correlacionado positivamente con SO5. El análisis de regresión cuantílica (1969-2023) mostró aumentos moderados en las alturas de las olas durante la temporada lluviosa entre 1969 y 1987, con una disminución en los eventos extremos en el período posterior. Entre 1988 y 2005, la intensidad de las olas aumentó, especialmente en la temporada seca, asociada a eventos relacionados con el fenómeno de ENOS. Entre 2006 y 2023, se observó una disminución de las olas grandes durante la temporada seca, mientras que en la temporada lluviosa se registró un aumento progresivo, particularmente en los sitios más afectados por ENOS. La variabilidad de los sistemas SO3 y SO5 estuvo influenciada por la actividad ciclónica en el Pacífico y la variabilidad interanual. Estos resultados subrayan la importancia de la variabilidad de los sistemas de oleaje y la necesidad de profundizar en el análisis de la relación entre ENOS y el oleaje en el Pacífico Tropical Oriental.

Conclusión

El estudio evidencia que la interacción entre oleajes del hemisferio sur, los chorros de viento de bajo nivel y la influencia de ENOS, define un régimen multimodal altamente sensible a la variabilidad climática del Pacífico Tropical Oriental. La descomposición espectral de los sistemas de oleaje permitió identificar cambios en la contribución relativa de fuentes locales y remotas, así como una intensificación progresiva del forzamiento del hemisferio sur. Estos hallazgos sugieren un aumento sostenido del potencial energético incidente sobre las costas del golfo, con implicaciones directas para la evolución morfodinámica, la planificación costera y la adaptación al cambio climático.

Referencias

- Portilla-Yandún J, Bidlot J-R (2025). "A global ocean spectral wave climate based on ERA-5 data: GLOWAC-5". *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2025JC022629>
- Vallarino-Castillo R, Antolínez JAA, Negro-Valdecantos V, Portilla-Yandún J (2026). "Beyond understanding the role of far-field climate in the Gulf of Panama coastal dynamics: an analysis of long-term and seasonal variability of wave systems". *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-025-08007-w>

HyWindSea: un metamodelo rápido y eficiente para la reconstrucción del mar de viento de alta resolución en bahías y puertos

Gabriel Bellido Prieto^a, Paula Camus^a, Laura Cagigal^a y Fernando J. Méndez^a

^aGrupo de Ingeniería Geomática y Oceanografía (GeoOcean), Universidad de Cantabria. 
<https://orcid.org/0009-0002-0659-1254>, bellidog@unican.es; 
<https://orcid.org/0000-0002-8957-307X>, paula.camus@unican.es; 
<https://orcid.org/0000-0001-5384-6382>, cagigall@unican.es; 
<https://orcid.org/0000-0002-5005-1100>, mendezf@unican.es

1. Introducción

La operatividad portuaria y las actividades náuticas en entornos costeros semi-cerrados dependen del oleaje local, pero con frecuencia solo se dispone de datos offshore, insuficientes para caracterizar estuarios, bahías o puertos con dinámica compleja. La escasa resolución espacial impide representar adecuadamente procesos clave como la marea, el viento y el oleaje generado localmente. Este trabajo propone una metodología basada en la combinación de dos metamodelos: HyWind, para incrementar la resolución del viento, y HyWindSea, para transformar dicho campo de vientos en oleaje de alta resolución incorporando procesos locales. Esta cascada de metamodelos se presenta como una técnica rápida y precisa, adaptable a diferentes entornos costeros, y constituye una herramienta de gran utilidad para múltiples aplicaciones como la gestión del litoral, el análisis de riesgos costeros o la evaluación de impactos asociados al cambio climático.

2. Metodología

Este trabajo se centra en el metamodelo HyWindSea, una metodología híbrida que combina técnicas estadísticas avanzadas con modelos numéricos de oleaje (SWAN) para reconstruir campos de oleaje generado por viento en dominios costeros y estuarinos a partir de forzamientos atmosféricos de alta resolución. La metodología integra la selección de casos representativos (MDA), la reducción de la dimensionalidad mediante Análisis de Componentes Principales (PCA) y la interpolación no lineal a través de Funciones de Base Radial (RBF), para establecer una relación eficiente entre los campos de viento y el oleaje generado localmente. Además, el metamodelo se entrena de forma independiente para distintos estados de marea, incorporando explícitamente su influencia en la geometría del dominio, el fetch efectivo y la profundidad.

3. Resultados

HyWindSea ha sido aplicado en dos localizaciones de la costa cantábrica: la Bahía de Santander y el estuario de Santoña. En una primera fase se han realizado estudios de sensibilidad basados en la validación cruzada k-fold, alcanzando un error mínimo y manteniendo la rapidez característica de estas metodologías (Zornoza-Aguado et al., 2024). Los resultados muestran que el metamodelo es capaz de capturar los principales patrones espaciales del oleaje con un número limitado de casos. Finalmente, una validación basada en eventos reales de viento intenso demuestra que HyWindSea reproduce de forma realista la generación y propagación del mar de viento bajo diferentes estados de marea y constituye una herramienta eficiente y físicamente consistente para el downscaling de oleaje de alta resolución en entornos costeros semi-cerrados.

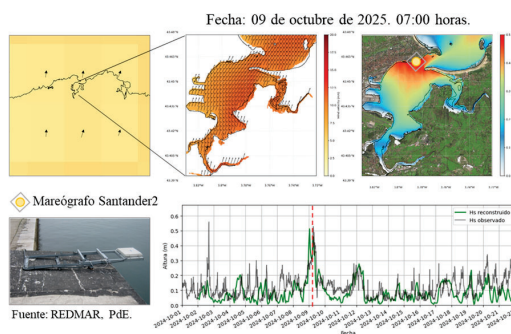


Fig. 1 Reconstrucción del campo de olas local a partir de un campo de vientos de baja resolución, para un evento de vientos fuertes y contraste con datos observados por el Mareógrafo Santander2.

Fuente: Mapas de elaboración propia. Datos de Portus REDMAR, PdE

Agradecimientos

Esta investigación ha sido elaborada en el marco del proyecto HyBay (PID2022-141181OB-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, CE4Wind (CPP2022-010118 MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y Unión Europea- Next GenerationEU/PRTR), Perfect-Storm (2023/TCN/003 - Gobierno de Cantabria/FEDER, UE). Los autores desean agradecer a Puertos del Estado (PdE) por proporcionar datos del mareógrafo Santander2.

Referencias

ZORNOZA-AGUADO, M., PÉREZ-DÍAZ, B., CAGIGAL, L., CASTANEDO, S., & MÉNDEZ, F. J. (2024). An efficient metamodel to downscale total water level in open beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 299, 108705. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2024.108705>

De la tormenta al impacto: arquetipos de huracanes e impactos costeros compuestos

Claudia Cruz-Lorenzo^a, Alexandra Toimil^b, Moisés Álvarez-Cuesta^c

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Isabel Torres 15, 39011, Santander, España,  0000-0002-2545-6544 cruzls@unican.es; ^b 0000-0002-2067-872X, toimila@unican.es y ^c 0000-0002-1180-0746, alvcuestam@unican.es.

Los impactos asociados a huracanes en zonas costeras presentan una elevada variabilidad en su severidad y distribución espacial que no puede explicarse únicamente a partir de la categoría sinóptica del ciclón. Estos impactos emergen de una interacción no lineal entre forzamientos meteorológicos y marinos, modulada por la cinemática del evento, la trayectoria relativa respecto a la línea de costa y las condiciones antecedentes del sistema litoral en cuanto a geomorfología y saturación del terreno (Alipour et al., 2022). En consecuencia, huracanes de intensidad moderada pueden generar daños comparables a los de eventos más intensos, lo que pone de manifiesto las limitaciones de las clasificaciones tradicionales basadas exclusivamente en la velocidad del viento (Barron et al., 2025).

Este estudio presenta un marco conceptual basado en la identificación de arquetipos funcionales de huracanes, definidos como combinaciones de forzamientos dinámicos y estados iniciales del sistema costero que conducen a distintas respuestas hidro-morfodinámicas, así como su aplicación en la costa de la Habana del Este (Cuba). Este enfoque permite integrar la naturaleza compuesta de la peligrosidad, donde precipitación, oleaje, marea meteorológica, evolución morfológica y saturación del terreno interactúan de manera no lineal para controlar la magnitud y extensión de la inundación y la erosión litoral.

El análisis se sustenta en una cadena de modelado numérico multiescala que integra datos atmosféricos, marino-costeros, morfológicos e hidrológicos. La dinámica marina se caracteriza mediante bases de datos de hindcast de 30 años que describen de forma continua el oleaje, la marea astronómica y la marea meteorológica. Los forzamientos atmosféricos se obtienen a partir de simulaciones de regionalización con el modelo WRF (Fernández-Quiruelas et al., 2015), permitiendo reproducir con alta resolución espacial y temporal los campos de viento, presión y precipitación asociados a cada evento. El clima de oleaje costero se reconstruye mediante un procedimiento de downscaling híbrido empleando SWAN (Booij et al., 1999) y técnicas estadísticas, garantizando así la coherencia energética y direccional de las condiciones incidentes (Camus et al., 2011). La evolución topobatimétrica a largo plazo se modela mediante el sistema híbrido IHLANSloc (Álvarez-Cuesta et al., 2023), que acopla la evolución de la línea de costa, la translación de perfiles y la propagación del oleaje, incorporando además los efectos disipativos de arrecifes coralinos y vegetación costera. La respuesta hidro-morfodinámica durante los huracanes se simula con el modelo XBeach, a partir del cual se obtiene la evolución transitoria del fondo y del nivel total del agua (Roelvink et al., 2015). Finalmente, la inundación compuesta se reproduce mediante el modelo SFINCS (Sebastian et al., 2021), integrando forzamientos marinos y meteorológicos espacialmente variables, procesos de infiltración y descargas fluviales, sobre topobatimetrías representativas del valor máximo de la cota de inundación (Sebastian et al., 2021).

Bajo este marco metodológico se analizan huracanes históricos representativos de distintos modos de impacto. El Arquetipo I, ilustrado por Ian (2022), muestra que precipitaciones extremadamente intensas y concentradas, combinadas con una cinemática rápida y forzamientos marinos moderados, pueden generar inundaciones compuestas dominadas por el componente pluvial-fluvial y una erosión costera significativa asociada a la persistencia del nivel del mar cerca de la duna. El Arquetipo II, representado por Irma (2017), evidencia un modo de impacto controlado por la persistencia temporal de forzamientos oceánicos extremos, oleaje, set-up y marea meteorológica, que produce inundaciones costeras severas y una redistribución sedimentaria marcada, incluso en ausencia de precipitaciones intensas sobre la zona de estudio. El Arquetipo III, ejemplificado por Ike actuando sobre un litoral previamente degradado tras Gustav (2008), pone de manifiesto el papel crítico de las condiciones antecedentes y de la memoria morfodinámica, que amplifican de manera no lineal tanto la extensión de la inundación compuesta como el retroceso de la línea de costa.

Los resultados muestran que los impactos más severos no están asociados necesariamente a los máximos instantáneos de los forzamientos, sino a su sincronización espacio-temporal y a su superposición sobre un sistema costero previamente debilitado. El enfoque basado en arquetipos funcionales proporciona así una herramienta conceptual para interpretar la severidad de los impactos costeros asociados a huracanes.

- Alipour, A., Yarveysi, F., Moftakhari, H., Song, J. Y., & Moradkhani, H. (2022). A Multivariate Scaling System Is Essential to Characterize the Tropical Cyclones' Risk. *Earth's Future*, 10(5). <https://doi.org/10.1029/2021EF002635>
- Álvarez-Cuesta, M., Losada, I. J., & Toimil, A. (2023). A nearshore evolution model for sandy coasts: IH-LANSloc. *Environmental Modelling & Software*, 169, 105827. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105827>
- Barron, N. R., Didlake, A. C., Zhang, Y., & Reasor, P. D. (2025). Investigating the Characteristics and Dynamics of Convective Updrafts in Observed and Simulated Tropical Cyclone Rainbands. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130(19). <https://doi.org/10.1029/2024JD043152>
- Camus, P., Mendez, F. J., Medina, R., & Cofiño, A. S. (2011). Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. *Coastal Engineering*, 58(6), 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.02.003>
- Fernández-Quiruelas, V., Fernández, J., Cofiño, A. S., Blanco, C., García-Díez, M., Magariño, M., Fita, L., & Gutiérrez, J. M. (2015). *WRF4G: WRF experiment management made simple*. <https://doi.org/10.5194/gmdd-8-6551-2015>
- Roelvink, D., van Dongeren, A., McCall, R., Hoonhout, B., van Rooijen, A., de Vet, L., van Geer, P., & Nederhoff, K. (2015). *XBeach Manual Model description and reference guide to functionalities*.
- Sebastian, A., Bader, D. J., Nederhoff, C. M., Leijnse, T. W. B., Bricker, J. D., & Aarninkhof, S. G. J. (2021). Hindcast of pluvial, fluvial, and coastal flood damage in Houston, Texas during Hurricane Harvey (2017) using SFINCS. *Natural Hazards*, 109(3), 2343–2362. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04922-3>
- Stansfield, A. M., & Rasmussen, K. L. (2025). The Response of Tropical Cyclone Inner Core and Outer Rainband Precipitation to Warming in Idealized Convection-Permitting WRF. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130(4). <https://doi.org/10.1029/2024JD042217>

Marco multiescalar de modelización del riesgo costero frente al cambio climático para la restauración de manglares como solución basada en la naturaleza en el Golfo de Montijo (Panamá)

Yailin Fernández González^a, María F. Álvarez de Eulate^a, David L. Fernández^a, Moisés Á. Cuesta^a, Javier L. Lara^a, Laura Canevari-Luzardo^b, Lucas Mira^b

^aIHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España

^bITACA Soluciones Industriales – Panamá

maria.fuentes@unican.es; yailin.fernandez@unican.es; jav.lopez@unican.es

Resumen

Las zonas costeras afrontan riesgos crecientes derivados del ascenso del nivel del mar, los eventos extremos y las presiones antropogénicas, lo que exige estrategias de adaptación climática integradas. Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), en particular la restauración de manglares, proporcionan servicios ecosistémicos clave, como la estabilización de la línea de costa, el soporte a la biodiversidad y el secuestro de carbono, sosteniendo los medios de vida locales. Este trabajo explora el caso del Golfo de Montijo (Panamá), un humedal designado como zona RAMSAR, donde se implementó una metodología multiescalar e integradora que combina diagnósticos científicos con mecanismos de gobernanza participativa para el codiseño de un plan de restauración de manglares y de desarrollo local.

La dimensión técnica se basó en el análisis de 37 años (1985–2022) de evolución de la línea de costa mediante imágenes satelitales procesadas con CoastSat, identificando patrones de erosión y acreción en el Golfo de Montijo. Para proyectar cambios futuros, se integraron procesos naturales y antrópicos, diferenciando entre zonas de playas y zonas de manglar. En las playas, se combinaron las tendencias históricas con escenarios de subida del nivel del mar del IPCC AR6. Para las costas de manglar, se estimó combinando las tendencias históricas de erosión y acreción con los niveles de inundación proyectados, definiendo una franja de amortiguación que refleja las posibles posiciones futuras de la línea de costa bajo diferentes escenarios de cambio climático.

La modelización del peligro de inundación se llevó a cabo mediante un marco multiamenaza que combinó Modelos Digitales de Elevación de alta resolución, la modelización del oleaje en aguas someras con SWAN y simulaciones hidrodinámicas con SFINCS. Los niveles de inundación permanente se calcularon a partir de la combinación de mareas astronómicas, proyecciones de ascenso del nivel del mar y caudales medios de los principales ríos

Marco multiescalar de modelización del riesgo costero frente al cambio climático para la restauración de manglares como solución basada en la naturaleza en el Golfo de Montijo (Panamá)

tributarios. Se analizaron los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para los horizontes 2030, 2050 y 2100, generando mapas de extensión y profundidad de inundación para distintos periodos de retorno, simulando procesos de inundación compuesta, para tiempo presente y futuro.

El riesgo de erosión se cuantificó mediante modelos de balance sedimentario, integrando el aporte de sedimentos fluviales derivado de datos satelitales y con la herramienta Sediment Delivery Ratio del paquete InVEST.

Paralelamente, la extensión espacial y el estado de los manglares se cartografiaron utilizando datos Sentinel-2, integrando índices de vegetación (NDVI, MNDWI, NWI) y validándolos con datos de campo. Estos análisis respaldaron la construcción de un Indicador de Idoneidad de Manglar, que sintetizó tres capas: (i) exposición a peligros costeros; (ii) viabilidad ambiental; y (iii) factibilidad socioinstitucional. Este índice integrado permitió identificar zonas adecuadas para conservación, restauración o intervenciones híbridas (Beeston et al., 2023).

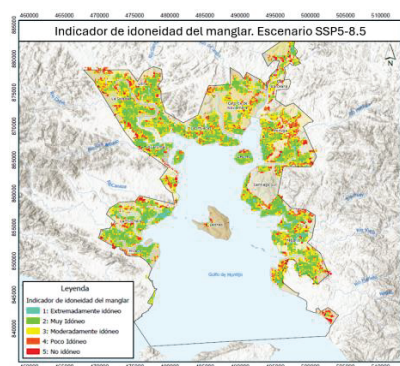


Fig. 1 Diagrama conceptual de la herramienta de análisis de riesgo. Fuente: Elaboración propia.

La metodología integró la modelización del riesgo de inundación con un análisis participativo de la vulnerabilidad socioeconómica y de la capacidad adaptativa de las comunidades, combinando información espacial con datos obtenidos mediante encuestas y entrevistas. Los resultados se comunicaron mediante mapas, modelos tridimensionales e infografías, facilitando procesos de validación colectiva que derivaron en un Plan de Restauración de Manglares avalado por la comunidad y en un Plan de Desarrollo Económico Comunitario orientado a actividades sostenibles. En su conjunto, el caso del Golfo de Montijo constituye un referente transferible de restauración costera basada en la evidencia científica y en el liderazgo comunitario en América Latina.

BEESTON, M., CAMERON, C., HAGGER, V., HOWARD, J., LOVELOCK, C., SIPPO, J., TONNEIJK, F., VAN BIJSTERVELDT, C. y VAN EIJK, P. (eds.) (2023). Best practice guidelines for mangrove restoration. Restoration Ecology. <https://doi.org/10.1111/rec.13885>

Alternativas de actuación en zonas urbanas con alto riesgo de inundación: aplicación al barrio costero de San Cristóbal (Las Palmas de Gran Canaria)

**Miriam García-Oliva^a, Melva Martín-Hidalgo^b, José Francisco Sánchez-González^c
Alberto Martín-Coronel^d**

^a Centro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX, , miriam.garcia@cedex.es; ^b Centro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX, , melva.martin@cedex.es y ^c Centro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX, , jose.f.sanchez@cedex.es y ^d Dirección General de la Costa y el Mar, amcoronel@miteco.es

1. Introducción

El alto riesgo de inundación costera en numerosas ciudades se ha convertido en un grave problema por su afección directa a la población en aquellas zonas más vulnerables, que además se verá aumentado debido al Cambio Climático. Por tanto, su gestión constituye un reto para la seguridad pública y exige una adaptación coordinada entre el urbanismo y la defensa del litoral. En el marco de esta última, se presenta aquí una metodología para la propuesta de soluciones para la reducción del riesgo de inundación costera aportando un ejemplo de su aplicación el barrio de San Cristóbal, en Las Palmas de Gran Canaria.

2. Diagnóstico

Inicialmente, se llevó a cabo un diagnóstico de la situación, recopilando la información necesaria, utilizando entre otras fuentes los trabajos anteriores del CEPYC para la DPCM.

Del análisis de la zona se extrae que el frente litoral de San Cristóbal se localiza sobre una rasa rocosa de baja cota, con edificaciones y paseo marítimo situados a alturas reducidas respecto a la pleamar. Esta condición se une a la desaparición progresiva de la playa, elemento disipador del oleaje, y la presencia de un muro como principal defensa. Los registros históricos confirman la recurrencia y severidad de las inundaciones, incluso bajo temporales con periodos de retorno relativamente bajos. La impulsividad del rebase, así como los puntos bajos en el viario y sus deficiencias de drenaje, provocan que incluso en temporales de intensidad media se generen anegamientos locales, mientras que en episodios más severos las inundaciones sean generalizadas y afecten directamente a la población.

Tras la consulta de los instrumentos de planificación y evaluación del riesgo existentes (Directiva 2007/60/CE de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, Plan Estratégico Nacional de Protección de la Costa y PIMA Adapta Costas de Canarias) se obtiene que el

barrio de San Cristóbal se encuentra íntegramente dentro de un Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación y que las proyecciones de subida del nivel del mar agravarán la frecuencia, extensión y severidad de las inundaciones a lo largo del siglo XXI.

3. Propuesta de alternativas

A partir de este diagnóstico, se plantean tres estrategias de gestión del riesgo. Primero, se contempla la retirada planificada, reduciendo permanentemente la exposición de la población mediante la reordenación del frente litoral y la relocalización progresiva de usos y edificaciones. Al ser un proceso largo, se enfoca de manera adaptativa, con medidas iniciales de protección, como pueden ser el refuerzo y recrecimiento del muro. Segundo, se consideran alternativas de protección bajo un enfoque cautelar, es decir, se diseñarían para mantener los niveles de riesgo en umbrales aceptables a lo largo de toda su vida útil. Se distingue protección a medio plazo y largo plazo, analizando, respectivamente, ejemplos propuestos de diques adosados al muro o exentos. Estas soluciones presentan distintos grados de eficacia, coste e impacto ambiental y paisajístico. Por último, se proponen medidas de acomodación, complementarias a las demás, que reduzcan la vulnerabilidad y mejoren la capacidad de respuesta. Estas incluirían: sistemas de alerta temprana y protocolos de evacuación, mejora del drenaje, adaptación funcional de edificaciones e infraestructuras, así como acciones de información y concienciación de la población.

El principal criterio técnico utilizado para la comparación entre las medidas propuestas ha sido la capacidad de reducción del rebase, analizada según los estándares europeos.

Como conclusión, esta metodología subraya la necesidad de coordinación efectiva entre las administraciones competentes y adecuada consideración de la dimensión social del problema.



Fig. 1 Vista del paseo y el barrio hacia el norte. Fuente: elaboración propia

BlueMath: un repositorio open-source programado en Python para el desarrollo de proyectos oceanográficos, desde simulaciones numéricas hasta emuladores climáticos

**Javier Tausía^a, Laura Cagigal^a, Fernando Méndez^a,
Valvanuz Fernández-Quiruelas^a, Alba Ricondo^b, Etienne Faugère^a,
Gabriel Bellido^a, Jennifer Montaña^a, Jared Ortiz-Angulo^a, Pablo Alonso^a**

^aGeoOcean group, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria.  tausiaj@unican.es;  cagigall@unican.es;  mendezf@unican.es; 
fernqv@unican.es;  faugeree@unican.es;  bellidog@unican.es;  montanoj@unican.es; 
ortizanguloj@unican.es;  alonsoap@unican.es ^bOregon State University. 
alba.ricondo@oregonstate.edu

1. Introducción

Ante los crecientes desafíos globales asociados a los peligros costeros y al cambio climático, resulta fundamental disponer de herramientas sólidas de análisis estadístico y numérico. En particular, las metodologías capaces de analizar de forma multivariante procesos meteorológico-oceanográficos (como oleaje, mareas, ciclones tropicales y extratropicales, entre otros) a través de múltiples escalas espaciales y temporales, son clave para la predicción de eventos de inundación, la evaluación de riesgos y la planificación de estrategias de adaptación.

BlueMath nace para responder a esta necesidad como una plataforma open-source y colaborativa, que conecta a grupos de investigación y universidades de todo el mundo con el objetivo de democratizar el acceso a modelos avanzados, metodologías numéricas y soluciones basadas en inteligencia artificial. Al ser de código abierto, BlueMath fomenta la transparencia, la reproducibilidad científica y el desarrollo comunitario, permitiendo que tanto investigadores como profesionales adapten, extiendan y reutilicen las herramientas según sus necesidades específicas. Hasta donde sabemos, BlueMath constituye una de las primeras iniciativas de este tipo en el ámbito de la ciencia e ingeniería costera.

2. BlueMath Tool

BlueMath (<https://github.com/GeoOcean/BlueMath>) es un repositorio open-source de herramientas en Python que integra técnicas estadísticas de última generación junto con "wrappers" de modelos numéricos. Su arquitectura modular abarca desde herramientas básicas hasta la creación de metamodelos ad-hoc mucho más complejos, proporcionando

BlueMath: un repositorio open-source programado en Python para el desarrollo de proyectos oceanográficos, desde simulaciones numéricas hasta emuladores climáticos

servicios climáticos integrales. Además, la plataforma facilita la creación de soluciones accesibles, personalizables y escalables, incluyendo flujos de trabajo preparados para su despliegue en entornos de computación en la nube.

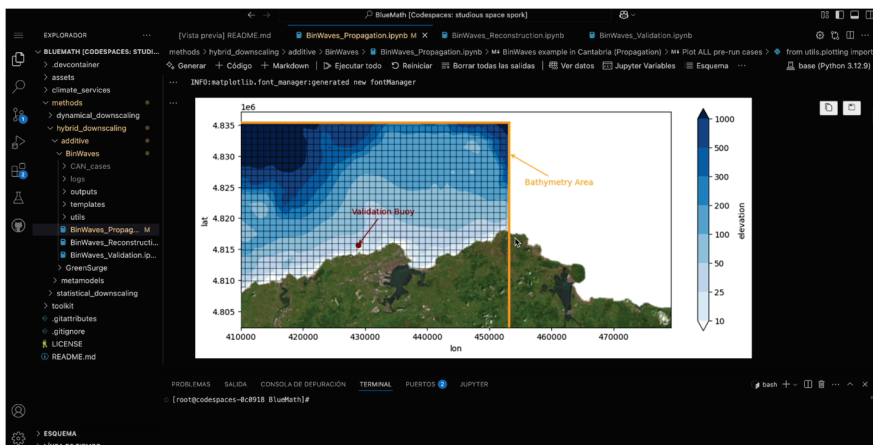


Figura 1. Captura de pantalla de un notebook de BlueMath que se está ejecutando en un codespace (máquina virtual en servidores de Microsoft, via GitHub)

Actualmente, el ecosistema BlueMath se organiza en los siguientes módulos principales:

BlueMath-Toolkit – Herramientas fundamentales (por ejemplo, minería de datos, "wrappers" de modelos numéricos y análisis estadístico).

BlueMath-Statistical Downscaling – Conjunto de métodos puramente estadísticos, incluyendo aumento de la resolución, clasificación de eventos extremos, etc.

BlueMath-Hybrid Downscaling – Enfoques híbridos estadístico-numéricos.

BlueMath-Climate Services – Servicios climáticos completos.

Muchas de estas herramientas ya han sido aplicadas con éxito en publicaciones científicas, proyectos de investigación y cursos de formación. Gracias a su desarrollo abierto y a sus actualizaciones continuas impulsadas por la comunidad, BlueMath se consolida como un recurso clave para avanzar en el análisis de riesgos costeros y en la evaluación de los impactos del cambio climático.

Diferencias en indicadores físicos de resiliencia frente a la subida del nivel del mar en playas arenosas de Cádiz y Málaga

**Antonio Contreras de Villar^a, Francisco Contreras^a, Bismarck Jigena^b,
Patricio Pouillet^c, Juan J. Muñoz^b**

^aEscuela Técnica Superior de Ingeniería de Algeciras, Universidad de Cádiz, Avda. Ramon Puyol s/n, 11202 Algeciras, Spain, antonio.contreras@uca.es, francisco.contreras@uca.es; ^bCASEM, University of Cádiz, Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real, Spain, bismarck.jigena@uca.es, juanjose.munoz@uca.es; ^cDemarcación de Costas de Andalucía Atlántico, Marianista Cubillo 7, 11071, Cádiz ppouillet@miteco.es

Resumen

La subida, asociada al cambio climático, del nivel del mar constituye una presión creciente sobre los sistemas costeros, al modificar los niveles extremos de inundación y las condiciones físicas que sustentan la función protectora y el uso de las playas arenosas (IPCC, 2022). En este trabajo se analizan las diferencias en indicadores físicos directamente relacionados con la resiliencia del litoral, entendida como la capacidad de los sistemas costeros para absorber perturbaciones marinas y mantener sus funciones esenciales, en playas representativas de ambientes mesomareales atlánticos (provincia de Cádiz) y micromareales mediterráneos (provincia de Málaga).

Se aplica una metodología físicamente basada que integra proyecciones de subida del nivel del mar bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, marea astronómica y residuo meteorológico, incorporando explícitamente el run-up del oleaje estimado mediante el modelo numérico en fase resolvente IH2VOF, desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria). A partir de perfiles topográficos de alta resolución, obtenidos mediante levantamientos GPS diferencial y escáner láser terrestre, se cuantifican métricas de respuesta funcional de la playa, centradas en la superficie seca disponible y la anchura efectiva de playa bajo condiciones extremas actuales y futuras (2026–2045 y 2081–2100).

Los resultados muestran una reducción progresiva de la superficie seca y de la anchura de playa en todos los casos analizados, con un incremento significativo de los niveles extremos de inundación hacia finales de siglo y bajo escenarios de altas emisiones. La inclusión del run-up del oleaje conduce sistemáticamente a mayores niveles de inundación que los estimados a partir de niveles de agua en calma, especialmente en playas micromareales mediterráneas de la provincia de Málaga, donde se observan pérdidas relativas muy elevadas de playa seca bajo condiciones extremas. En contraste, las playas atlánticas de la provincia

de Cádiz, caracterizadas por perfiles más anchos y una mayor modulación mareal, presentan una respuesta más gradual bajo escenarios moderados.

Los resultados ponen de manifiesto que las evaluaciones basadas exclusivamente en niveles de agua en calma tienden a subestimar los cambios en los indicadores físicos que condicionan la respuesta funcional del litoral frente a la subida del nivel del mar. El enfoque adoptado proporciona una base cuantitativa sólida para caracterizar estos indicadores, relevantes para el análisis de la exposición y la capacidad funcional de las playas en el contexto de la resiliencia costera, y constituye una herramienta útil de apoyo a la gestión integrada del litoral y a la planificación de estrategias de adaptación frente al cambio climático (Toimil et al., 2023; Contreras-de-Villar et al., 2026).



Fig. 1. Localización de las playas de estudio en la costa sur de España, correspondientes a ambientes mesomareales atlánticos en la provincia de Cádiz y micromareales mediterráneos en la provincia de Málaga. Se indican los emplazamientos representativos utilizados para el análisis comparativo de los indicadores físicos de resiliencia frente a la subida del nivel del mar

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PCM_00124, con fondos Next Generation EU, y cofinanciado por la Junta de Andalucía.

Referencias

- IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- CONTRERAS-DE-VILLAR, A., PRANZINI, E., ANFUSO, G., & MUÑOZ-PEREZ, J.J. (2026). A new and more accurate overfill ratio for beach nourishments and its comparison with James' RA. *Marine Geology*, 107705.
- TOIMIL, A., LOSADA, I.J., ÁLVAREZ-CUESTA, M., & LE COZANNET, G. (2023). Demonstrating the value of beaches for adaptation to future coastal flood risk. *Nature Communications*, 14, 1–11.

Escalas temporales y espaciales de las fuentes de información geométricas en puertos: bases para la evaluación de la vulnerabilidad

Jaime Sánchez^{a,b} , Rafael Molina^a , David Díaz^a ,
Alfredo Fernández-Landa^b  Jose Ignacio Parra Santiago^a 

^aETSI Navales, Universidad Politécnica de Madrid (UPM); ^bDetektia Earth Surface Monitoring S.L.

1. Introducción y metodología

Las infraestructuras portuarias presentan una alta susceptibilidad a la deformación debido a su ubicación sobre interfaces geotécnicas complejas y a las cargas operativas a las que son sometidas. Tradicionalmente, su vigilancia ha dependido de métodos de nivelación geométrica y sistemas GNSS, técnicas que, aunque precisas, resultan limitadas

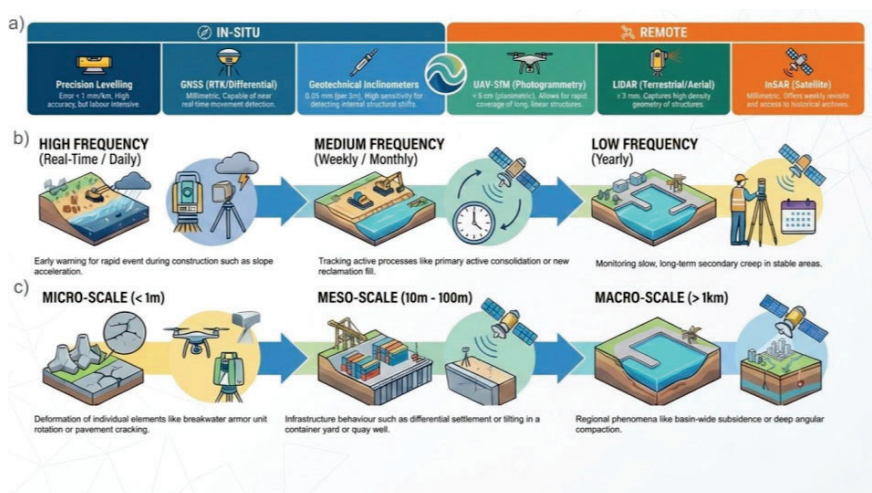


Figura 1: Clasificación de metodologías de monitorización según tecnología (In-Situ vs Remota), resolución temporal (tiempo real a anual) y escala espacial (micro a macro).

por su dispersión espacial y por las interrupciones que causan en la operativa portuaria. Frente a esto, el desarrollo de tecnologías remotas como la fotogrametría mediante

drones (UAV-SfM), el escáner láser (LiDAR) y la interferometría satelital (InSAR) ha permitido una cobertura mucho más amplia y frecuente, facilitando el control desde elementos individuales hasta recintos portuarios completos.

La metodología propuesta organiza estas herramientas para evitar errores de muestreo o "aliasing", clasificándolas según su alcance. En la microescala, se utilizan drones y LiDAR para analizar elementos específicos como los bloques de escollera. Para la mesoescala estructural se emplea el InSAR de Banda X, mientras que la macroescala recurre al InSAR de Banda C para monitorizar fenómenos de subsidencia regional. Este enfoque permite adaptar la tecnología a la escala del problema, garantizando una evaluación precisa de la vulnerabilidad estructural.

Finalmente, el análisis se complementa con una gestión temporal que ajusta la técnica a la velocidad del movimiento detectado. Mientras que los sensores in situ se destinan a alertas en tiempo real y movimientos rápidos, las técnicas satelitales y la nivelación anual se enfocan en procesos de asentamiento más lentos. La estrategia óptima reside en un flujo de trabajo híbrido: se realiza un cribado masivo inicial mediante técnicas remotas para identificar anomalías y se aplica una auscultación detallada directa solo en los puntos críticos detectados.

Referencias

- ARZA, M. et al. (2024). "On-Site Stability Assessment of Rubble Mound Breakwaters Using UAV Photogrammetry and RANSAC" en *Remote Sensing*, 16(2), 331.
- CRIADO, M. (2018). "Nuevas técnicas aplicadas a la auscultación de movimientos en Ingeniería Civil" en *Revista Mapping*, 188, 3–8.
- GARCÍA-LÓPEZ, S. et al. (2025). "Application of UAV-SfM Photogrammetry to Monitor Deformations of Coastal Defense Structures" en *Remote Sensing*, 17(1), 71.
- MESUREX (2023). *Uso de inclinómetros en aplicaciones geotécnicas*. Nota técnica.
- PROS, F. et al. (2013). "Control del asentamiento de los diques Este y Sur del Puerto de Barcelona mediante datos InSAR" en *XV Congreso AET*.
- TOMÁS, P. et al. (2019). "Radar Interferometry Techniques for the Study of Ground Subsidence Phenomena" en *Journal of Geodetic Monitoring*.

Proyecciones climáticas regionalizadas de oleaje en la costa española

Adrián Acevedo, Marta Ramírez Pérez, Hector Lobeto, Alejandro Gonzalez Valle, Andrés-Felipe Julio Barragan, Melisa Menéndez

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España,

 acevedoa@unican.es

1. Introducción

El cambio climático puede alterar variables met-oceánicas que son fundamentales para la ingeniería costera y portuaria. Entre las dinámicas marinas, el aumento del nivel del mar y los cambios en el oleaje son especialmente determinantes, ya que condicionan procesos erosivos, eventos de inundación, la fiabilidad de las estructuras de defensa, etc. El estudio de los cambios en el oleaje ha avanzado significativamente en los últimos años, especialmente gracias a iniciativas como la comunidad COWCLiP (Hemer et al., 2012). No obstante, los análisis de COWCLiP sobre los cambios en el oleaje a partir de conjuntos robustos de proyecciones se ha llevado a cabo fundamentalmente a escala global (Morim et al., 2019). Existen algunos estudios que abordan esta problemática desde una perspectiva regional (Lira-Loarca et al., 2022, Perez et al., 2015), aunque los estudios de cambios en el oleaje a alta resolución espacial en costa considerando información batimétrica de alta resolución y los procesos físicos que alteran el oleaje en profundidades reducidas son muy limitados y se han abordado únicamente en zonas concretas (Alvarez-Cuesta et al., 2021, Toimil et al., 2021).

En base a lo anterior, este trabajo presenta tres objetivos: (1) desarrollar una metodología eficiente para el desarrollo de proyecciones climáticas de oleaje de alta resolución espacial, (2) generar una base de datos de oleaje, homogénea para toda España, con información histórica y de proyecciones de cambio climático de alta resolución espacial, que alimente modelos de impacto costero y permita el diseño y análisis de operatividad en ingeniería; y (3) evaluar los cambios del oleaje en la costa y analizar las diferencias en las señales de cambio con respecto las proyecciones obtenidas con una resolución espacial más grosera.

2. Metodología

La metodología desarrollada persigue el desarrollo de proyecciones regionalizadas de oleaje con una resolución espacial de 100 metros, así como generar proyecciones para cada escenario futuro que se plantea, que permita definir un marco de incertidumbre adecuado para la toma de decisiones de las futuras estrategias de adaptación.

Los forzamientos y las condiciones de contorno necesarios para el desarrollo de proyecciones climáticas regionalizadas de alta resolución incluyen los vientos en superficie, los parámetros

del oleaje y las variaciones del nivel del mar (marea astronómica, marea meteorológica e incremento de nivel de mar). Además, este estudio también lleva a cabo una reconstrucción histórica (hindcast) desde el año 1979. Esto permite evaluar la pericia de las simulaciones climáticas durante el clima presente, utilizando como periodo de referencia 1995-2015, de manera consistente con los estudios del IPCC-AR6 (IPCC 2023.).

Para el desarrollo del hindcast del oleaje, se utiliza como forzamiento atmosférico el reanálisis regionalizado CERRA, de oleaje el hindcast de oleaje global GOW3, de marea meteorológica de GOS y la marea astronómica se reconstruye a partir de los constituyentes armónicos resultantes del modelo TPXO9v5. Las proyecciones de oleaje se han desarrollado para dos escenarios de cambio climático, definidos a partir de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs, por sus siglas en inglés): SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Respecto a los modelos climáticos globales (GCMs) se han utilizado los datos o regionalizaciones de los modelos MRI-ESM2-0, MPI-ESM1-2-HR, EC-Earth3 y CNRM-CM6-1-HR procedentes del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project) para todos los inputs, excepto para el incremento del nivel medio del mar que se han utilizado el proporcionado por el IPCC.

Para que el método sea abordable desde un punto de vista computacional, se aplican técnicas de aprendizaje automático. A partir de las variables de partida, se hace una selección no-lineal multivariante de casos, tanto para el hindcast, como para cada simulación climática procedente de un GCM, incluyendo los dos SSPs contemplados y las variaciones de nivel futuras. Estos casos se simulan numéricamente mediante el modelo de oleaje SWAN. Posteriormente, se reconstruyen las series temporales horarias a partir de los casos simulados. A partir de estas series temporales de los parámetros del estado de mar se calculan los estadísticos y se evalúan los cambios en el corto, medio y largo plazo para cada escenario de cambio climático, así como las variaciones en estas señales de cambio espaciales a lo largo de la costa española (incluyendo los archipiélagos de Baleares y Canarias).

3. Resultados

Tras la reconstrucción de las series temporales, se ha evaluado el cambio proyectado en diferentes parámetros del estado de mar del oleaje a alta resolución a lo largo del siglo XXI (ej. cambios durante el posible clima futuro durante el periodo 2081-2100 con respecto al clima presente durante el periodo de referencia). Se han evaluado los cambios no solo en las climatologías medias, sino también ante condiciones de temporal, de gran interés por su relevancia en los impactos costeros. Además, se evalúa la diferencia en estos cambios con respecto los cambios disponibles de proyecciones de oleaje con resolución espacial más grosera. Los resultados indican diferencias importantes debidas al comportamiento del oleaje en zonas someras en los periodos y direcciones del oleaje.

Sostenibilidad en acción: programas, proyectos y metas ambientales

Dennis Louwerse^a, Tirou Kaameswaran^b, Julia Lucia van der Schans^c

^aProject Lead STS Sustainability, Van Oord N.V., dennis.Louwerse@vanoord.com; ^bProject Engineer Offshore wind, Van Oord N.V., kaameswaran.Tirou@vanoord.com y ^cEngineer, Van Oord N.V., jula.vanderSchans@vanoord.com.

1. Introducción

La comunicación completa “Sostenibilidad en Acción: Programas, Proyectos y Metas Ambientales” presenta el programa S.E.A. (Sustainability Earth Actions), una iniciativa de la empresa Van Oord, formulado en base a cuatro pilares de sostenibilidad fundamentales: 1.potencialización de la transición energética; 2.aceleración de las acciones climáticas; 3.empoderamiento de la naturaleza y de las comunidades; 4.la reducción de emisiones netas hace a cero.

2. Objetivos

- Evidenciar el papel de las soluciones offshore de Van Oord en la transición energética, destacando el desarrollo de energías renovables marinas y la exploración de tecnologías emergentes que amplían el alcance de las infraestructuras energéticas sostenibles.
- Presentar los avances en adaptación climática mediante soluciones basadas en la naturaleza, herramientas de análisis del riesgo costero y experiencias colaborativas que contribuyen a reforzar la resiliencia de comunidades y ecosistemas litorales.
- Mostrar cómo la integración de iniciativas de restauración ambiental, participación comunitaria y estrategias de descarbonización alineadas con objetivos científicos permite maximizar el impacto positivo en entornos marinos y portuarios..

3. Metodología

Van Oord viene desarrollando una importante participación en la expansión de la energía eólica marina. Su objetivo es contribuir con el mercado de infraestructura de energía renovable, rumbo a una transición energética más robusta y sostenible. Para la comunicación propuesta se combinaron datos operativos de 2023, estudios piloto y herramientas digitales.

4. Resultados

En 2023, Van Oord alcanzó una longitud total acumulada de protección costera de 545,7 kilómetros. Participa del programa “Building with Nature III 2023-2027”. Realización de estudios y pilotos por medio de su iniciativa Ocean Health. Participación en una campaña de Salud Oceánica que implicaba la limpieza de basura marina en parceria con la ONG “In The Same Boat”. El programa S.E.A. ofrece un modelo escalable para resiliencia costera.

Conclusiones

Las contribuciones presentadas en esta comunicación aportan herramientas y resultados para sumar al diálogo técnico y científico, alineado con las temáticas de estas Jornadas, contribuyendo al desarrollo de iniciativas y proyectos que combinen innovación, responsabilidad ambiental y beneficios socioeconómicos a largo plazo.

Explorando la batimetría costera mediante observación satelital: las costas del Pacífico panameño como caso de estudio

Ruby Vallarino-Castillo^{a*}, Vicente Negro-Valdecantos^a

^aEnvironment, Coast and Ocean Research Laboratory (ECOREL), Universidad Politécnica de Madrid, Campus Ciudad Universitaria, Calle del Profesor Aranguren 3, 28040 Madrid, Spain,

(*ruby.vallarino@alumnos.upm.es)

La Batimetría Derivada por Satélite (SDB, por sus siglas en inglés) constituye una alternativa para la estimación de profundidades en zonas costeras, basada en el uso de sensores remotos ópticos que permiten obtener información espacial continua sobre amplias extensiones marinas. Entre los enfoques comúnmente empleados se encuentra el modelo empírico propuesto por Stumpf et al. (2003), el cual se fundamenta en la relación de reflectancia entre bandas espectrales y ha sido utilizado en distintos estudios para representar variaciones batimétricas en aguas someras. La aplicación de este tipo de metodologías posibilita la realización de análisis repetitivos en áreas costeras, incluyendo sectores afectados por procesos como la erosión, a partir de imágenes satelitales de acceso abierto, como las de la misión Sentinel-2, cuya resolución espacial permite generar información preliminar a escala regional que puede servir como insumo para estudios posteriores más detallados.

Las áreas de estudio se localizan en el Golfo de Panamá, donde se han descrito características batimétricas asociadas a la concentración del oleaje en zonas próximas a la costa, tradicionalmente identificadas mediante cartas náuticas (Grimaldo, 2014). En esta región también se han reportado cambios en la posición de la línea de playa en los últimos años, lo que sugiere un aumento en la exposición de determinados sectores costeros frente a eventos de oleaje. En este contexto, resulta relevante considerar de manera conjunta aspectos relacionados con la dinámica del oleaje, la variabilidad de la línea de costa y el clima costero, así como la disponibilidad de información batimétrica que contribuya a una mejor comprensión de las diferencias observadas entre sectores cercanos.

En este marco, el presente estudio plantea un análisis comparativo de imágenes satelitales multispectrales de libre acceso y de alta resolución aplicadas a la estimación batimétrica en sectores costeros del Pacífico panameño. Para ello, se prevé el uso de imágenes Sentinel-2 de Copernicus, con resolución espacial de 10 m, junto con imágenes WorldView-2 de Maxar, con resolución de 50 cm. Las imágenes serán seleccionadas durante la temporada seca (diciembre a abril) con el propósito de reducir la influencia de condiciones ambientales, como la turbidez del agua, que puedan afectar los resultados de la estimación batimétrica.

La metodología de este estudio se basa en el enfoque descrito por Perea-Ardila (2020) y Serco Italia SPA (2021), quienes aplicaron el modelo empírico de Stumpf et al. (2003) para la

estimación batimétrica en zonas costeras a partir de imágenes satelitales multiespectrales, en estudios desarrollados en la costa pacífica de Colombia y en Grecia, respectivamente. El procedimiento considera, en una primera etapa, el preprocesamiento de las imágenes, que incluye la homogeneización espacial de las bandas mediante técnicas de re-muestreo, así como la corrección del brillo solar empleando el método propuesto por Hedley et al. (2005), con el fin de atenuar los efectos del reflejo especular sobre la superficie marina.

Posteriormente, se aplica el modelo de Stumpf, basado en la transformación logarítmica del cociente entre bandas visibles (azul y verde), cuya calibración se realiza mediante regresión lineal a partir de valores de referencia batimétrica. La evaluación del desempeño del modelo se lleva a cabo mediante la comparación entre las profundidades estimadas y los valores reportados en cartas náuticas disponibles (C-MAP), utilizando métricas estadísticas como el Error Medio Cuadrático (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2). Asimismo, se realiza un análisis comparativo entre la batimetría derivada a partir de imágenes de acceso libre y aquella obtenida mediante imágenes de alta resolución, con el propósito de explorar posibles diferencias en la precisión y en la aplicabilidad de los resultados en contextos costeros.

El análisis se enfoca en áreas costeras de las provincias de Panamá Oeste y Coclé, donde estudios previos han reportado tasas de erosión del orden de -1.00 m/año, lo que sugiere una mayor exposición a procesos costeros dinámicos. En estas zonas, la batimetría derivada por satélite permite identificar variaciones en la morfología submarina que pueden ser consideradas en el análisis de la interacción entre la batimetría y la dinámica del oleaje. En este contexto, las imágenes de alta resolución (WorldView-2) muestran una mayor capacidad para representar variaciones batimétricas locales, mientras que las imágenes Sentinel-2 resultan útiles para la elaboración de análisis preliminares a escala regional, contribuyendo a la priorización de áreas para estudios posteriores más detallados mediante mediciones in situ.

Referencias

- Stumpf, R. P., Holderied, K. & Sinclair, M. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol. Oceanogr.* 48, 54-556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- Grimaldo, A.M. 2014 Plano de Las Olas Del Golfo de Panamá. *Tecnociencia Universidad de Panamá*, 16, 55-63. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/download/1191/1002/1969>.
- Serco Italia SPA. 2021. Nearshore Bathymetry Derivation with Sentinel-2. (version 1.1). Retrieved from RUS Lectures at <https://rus-copernicus.eu/portal/the-rus-library/train-with-rus/>
- Perea-Ardila M.A., Oviedo-Borrero F. 2020. Satellite-derived bathymetry (SDB): an approach to bathymetric cartography with multispectral images in shallow waters of Bahía Solano, Colombia, "Journal of Marine and Coastal Sciences", Vol. 12, No 1. <https://doi.org/10.15359/revmar.12-1.6>
- Hedley, J., Harborne, A. & Mumby, P. 2005. Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water. *Int. J. Remote Sens.*, 26(10), 2107-2112. <https://doi.org/10.1080/01431160500034086>

Desafíos regulatorios para el despliegue de la energía eólica marina y su cadena de valor en España

Alberto Olivares

Facultad de Ciencias Jurídicas, Universidad Internacional de La Rioja, profesor titular de Derecho administrativo, albertopatricio.olivares@unir.net 

1. Introducción y contexto

La energía eólica marina se ha posicionado como una tecnología estratégica en el marco de la política de energía y clima de la Unión Europea. Por una parte, jugará un rol clave para alcanzar la neutralidad climática en 2050 y, por otra, refuerza la seguridad energética de los Estados.

Sin embargo, su despliegue exige el desarrollo de un marco regulatorio capaz de integrar de forma coherente objetivos de carácter energético, climático, ambiental y marítimo, entre otros. Al mismo tiempo, debe transmitir seguridad y certidumbre a los agentes económicos, para atraer inversión privada.

Esta comunicación se inscribe en el proyecto de investigación SOFTMAR. Analiza los principales desafíos regulatorios asociados al desarrollo de la eólica marina en España desde una perspectiva regulatoria y de gobernanza. El estudio tiene un enfoque interdisciplinar, pero es realizado desde el Derecho. En este sentido, se centra en analizar las relaciones que se producen entre los sistemas sociales, económicos y naturales, y los instrumentos jurídicos implementados para generar espacios de coexistencia.

Desde el estudio del marco jurídico europeo y nacional que acompaña el despliegue de la eólica marina en el espacio marítimo español, el estudio se estructura en torno a tres cuestiones principales:

- i) el régimen jurídico y económico vigente para el despliegue de la eólica marina -con especial referencia a la Hoja de Ruta de la eólica marina, el RD 150/2023 por el que se aprueban los POEM y RD 962/2024, que regula a las energías marinas-. De esta forma, se identifican los principales avances y desafíos en el ámbito normativo.
- ii) la gobernanza del espacio marino y la protección del medio marino como límites y condiciones esenciales del desarrollo de esta actividad;
- iii) la necesaria adaptación de los regímenes jurídicos conexos para favorecer el desarrollo de la cadena de valor de la eólica marina, con especial atención al papel estratégico de los puertos como infraestructuras críticas para la transición energética y la economía azul.

2. La eólica marina y su cadena de valor

La eólica marina se integra en la estrategia UE de economía azul, que concibe a los océanos no solo como espacios productivos, sino también como ecosistemas que deben ser protegidos y restaurados. Este enfoque obliga a compatibilizar el despliegue de infraestructuras energéticas con la conservación de la biodiversidad marina, la pesca, el transporte marítimo, el turismo y otros usos del espacio marino y costero. Todo ello, incrementa la complejidad regulatoria de esta actividad.

La Política Marítima Integrada (PMI) y su normativa de desarrollo (Directivas de estrategias marinas y de ordenación del espacio marítimo) han establecido los principios básicos para una gestión coordinada y sostenible de los mares, situando el buen estado ambiental como límite a las actividades económicas. Estos instrumentos han sido reforzados por las estrategias europeas de energías renovables marinas y por las reformas recientes del marco energético, orientado a acelerar el despliegue de las renovables.

En España, la aprobación de los POEM (RD 150/2023) ha supuesto un avance significativo al identificar zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina y establecer criterios generales de coexistencia de usos. Sin embargo, el despliegue efectivo de esta tecnología se produce en un contexto normativo aún en construcción, caracterizado por la necesidad de definir un nuevo régimen de autorizaciones, concesiones y evaluación ambiental.

Asimismo, el desarrollo de la cadena de valor necesaria para que la implantación de la eólica marina sea acompañada de un ecosistema económico que impulse el crecimiento de los sistemas sociales costeros, es otra línea de trabajo compleja que será abordada en la comunicación. En este sentido, la parte final de este trabajo se dedicará al análisis de la legislación portuaria y de las necesidades de adaptación funcional y normativa de los puertos para impulsar una industria eólica marina con una cadena de valor nacional sólida.

En este contexto, la comunicación pretende contribuir al debate técnico y jurídico sobre el despliegue sostenible y resiliente de la eólica marina en España, poniendo de relieve la necesidad de un marco regulatorio coherente que garantice seguridad jurídica, protección del medio marino y desarrollo económico de las zonas costeras y portuarias.

Agradecimientos

Esta presentación forma parte del proyecto de I+D+i “Desafíos regulatorios para un despliegue sostenible y resiliente de la eólica marina en España (SOFTMAR)”, ref. PID2023-146619OB-100. Financiado por el MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE

Energía eólica marina en España: implicaciones ambientales y criterios de sostenibilidad para su despliegue

Rebeca Sánchez Vázquez

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología. Universidad Internacional de la Rioja.
rebeca.sanchez@unir.net 

1. Introducción

La energía eólica marina se perfila como un elemento esencial en la transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables. Ante el avance del cambio climático y la urgencia de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, esta tecnología supone una opción sostenible y altamente eficiente. España, gracias a la amplitud de su litoral y a sus favorables condiciones de viento, dispone de un notable potencial para impulsar el desarrollo de parques eólicos en el mar. No obstante, su expansión debe llevarse a cabo de forma responsable, teniendo en cuenta tanto los efectos ambientales como los socioeconómicos. La Comisión Europea prevé que, para el año 2050, la energía marina se convierta en una pieza clave del sistema energético europeo. Aun así, tal como establece la “Estrategia de la Unión Europea para aprovechar el potencial de la energía renovable marina para un futuro climáticamente neutro” alcanzar este objetivo requiere adoptar un enfoque diversificado y ajustado a las particularidades de cada país, de modo que se maximice el uso del recurso marino y, al mismo tiempo, se garantice la protección de la biodiversidad.

2. La energía eólica marina en España: retos y oportunidades para su desarrollo responsable

La energía eólica marina constituye un recurso con un elevado potencial en España, no obstante, las condiciones adversas del medio marino (marcadas por la intensidad del oleaje, la variabilidad climática y los efectos corrosivos del agua salina y las brisas costeras) junto con las exigencias tecnológicas para transportar la energía generada hasta tierra firme, hacen que su desarrollo permanezca aún en una fase temprana. España cuenta con un sólido sector científico-tecnológico que impulsa proyectos y líneas de investigación orientadas al desarrollo de las energías marinas. El creciente interés por expandir la energía eólica marina y avanzar hacia los objetivos de descarbonización establecidos por la UE ha motivado a los promotores del sector a presentar numerosos proyectos en distintas demarcaciones marítimas españolas. Además de contribuir a los objetivos de descarbonización, la energía eólica marina genera beneficios adicionales como impulso para la economía local, creación de empleo, la independencia energética y el fomento de la seguridad de abastecimiento (Stranddorf y col.,

2026). Todos ellos alineados con las prioridades estratégicas de la UE. Sin embargo el rápido crecimiento de proyectos previstos para los próximos años ha despertado la preocupación tanto en la comunidad científica como en la sociedad en general respecto a los posibles impactos ambientales, económicos y sociales de este tipo de infraestructuras (Stranddorf y col., 2026). El desarrollo sostenible de los proyectos de energía eólica marina plantea importantes desafíos, desde el punto de vista de los impactos que podrían generar en todo el ciclo de vida de los proyectos. Por ello, resulta fundamental evaluar los efectos acumulativos que generan todas las actividades marítimas (Koondar y col. 2026), así como de todas las fuentes de producción de energía. Estos impactos pueden manifestarse sobre los ecosistemas y la biodiversidad, el paisaje, el patrimonio cultural, la actividad pesquera, la navegación, el turismo, el ocio marítimo y otros sectores económicos asociados (Stranddorf y col., 2026). A estos retos se suman las complejidades técnicas y las elevadas inversiones necesarias para su implantación, lo que exige una estrecha cooperación entre administraciones públicas y entidades privadas, respaldadas por un marco regulatorio sólido y coherente. Solo de este modo será posible avanzar hacia los objetivos previstos y situar a España en una posición de referencias en el ámbito de las energías renovables marinas. La energía eólica marina representa una oportunidad excepcional para progresar hacia un sistema energético sostenible. No obstante, su expansión debe de ir acompañada de una planificación exhaustiva, una normativa precisa y mecanismos de gobernanza eficaces que aseguren la conversión de la biodiversidad marina.

Agradecimientos

La autora agradece al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades el proyecto de generación del conocimiento SOFTMAR (Ref. PID 2023-146619OB-I00)

Referencias

- STRANDDORF L. (2026) "Evaluating environmental impacts and public preferences in offshore wind farm decommissioning" *Environmental Impact Assessment Review*. Volume 118, 108253
- KOONDAR M. (2026) Comparative analysis of onshore, offshore, and floating wind turbines for renewable energy systems: *A review*. *Ocean Engineering*. Volume 343, Part 1, 123243

Integración de datos geofísicos y geotécnicos para la caracterización del subsuelo marino en la plataforma PLEMCAT (Roses, Catalunya)

Amadeu Deu^a, Juan Espliego^a, Patricia Martínez^a y Analidia Navarro^a

^aGEM (Geociencias y Exploraciones Marítimas),  0000-0003-1370-9468, amadeu@gemigeo.com

1. Introducción

La Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT) es una infraestructura singular diseñada para el desarrollo de proyectos pioneros en energía eólica marina flotante y otras energías marinas en el mar Mediterráneo. Sin embargo, su implementación en aguas profundas conlleva retos técnicos significativos en cuanto a la ingeniería y la caracterización del subsuelo marino.

Este artículo presenta los resultados de la integración de una investigación geofísica y geotécnica marina diseñada para la caracterización del subsuelo marino para el diseño e instalación del cable eléctrico submarino y del *hub* de interconexión.

2. Metodología y modelo del terreno

La zona de estudio abarca calados comprendidos entre los -2,5 m y los -150 m NMMA. La investigación se dividió en dos sectores: el trazado del cable de exportación, con una longitud de 23,4 km y un ancho de 300 m, y el área destinada a las turbinas y el nodo de interconexión, que comprende una superficie de 782,3 ha.

Los trabajos de campo comprendieron, por un lado, las siguientes técnicas geofísicas de alta resolución:

- Batimetría multihaz (MBES)
- Sónar de barrido lateral (SSS)
- Sísmica de reflexión (SBP y Sparker)
- Sísmica de refracción
- Tomografía de resistividad eléctrica marina (ERT)
- Magnetometría

Por otro lado, dentro de la campaña de investigación geotécnica se realizaron los siguientes ensayos:

Integración de datos geofísicos y geotécnicos para la caracterización del subsuelo marino en la plataforma de generación de energías renovables marinas PLEMCAT (Roses, Catalunya)

- Ensayos *in situ*: ensayos CPTU de entre 3 y 20 m de profundidad bajo el fondo marino
- Muestreo mediante *Vibro Corer* y *Gravity Corer* de hasta 9 m de penetración bajo el fondo marino.

Asimismo, se llevó a cabo una extensa campaña de ensayos de laboratorio, que abarcó ensayos tradicionales, de resistividad térmica con muestras resaturadas con agua marina y ensayos avanzados.

La integración de todos los resultados permitió definir un modelo del terreno representativo. En la Fig.1 se muestra un esquema de las diferentes fuentes de datos geofísicos y geotécnicos utilizados en la zona de implementación de prototipos y en parte del cable de exportación. No se muestran las técnicas empleadas en la zona más cercana a la costa (sísmica de refracción y ERT).

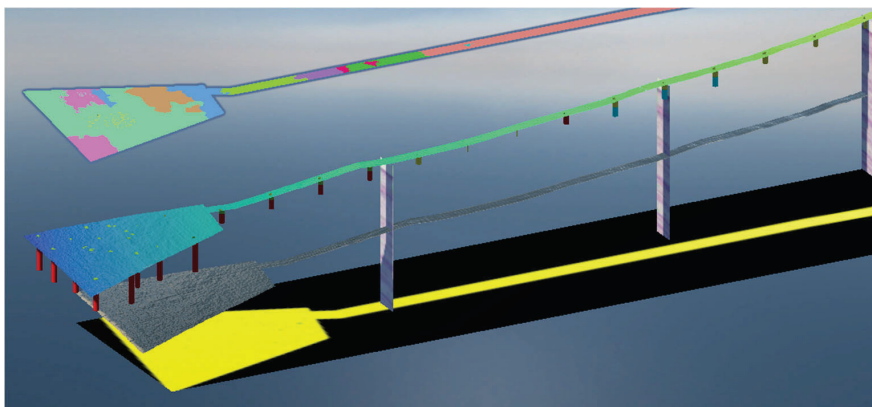


Fig. 1 Esquema de las diferentes fuentes de datos geofísicos y geotécnicos utilizados

Las diferentes técnicas fueron procesadas e interpretadas considerando toda la información disponible. Se identificaron niveles geotécnicos con propiedades geotécnicas y térmicas comunes, lo cual constituye la base fundamental para la definición de un modelo del terreno que sirva para el diseño de todas las infraestructuras, optimizando la ubicación y tipo de anclaje de las turbinas, por un lado, y la ruta y profundidad de enterramiento más adecuada para cable de exportación, por otro.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Institut de Recerca de l'Energia de Catalunya (IREC) por su confianza y por permitir el uso de todos los datos para el desarrollo de este trabajo.

Evaluación de la vulnerabilidad costera de la Comunidad Valenciana incluyendo la calidad del sedimento para la gestión ambiental

Isabel López Úbeda, Pablo Ortiz García^b, José Ignacio Pagán Conesa^c

^aDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, , lopez.ubeda@ua.es; ^bDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, , pog11@alu.ua.es y ^cDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, , jipagan@ua.es.

1. Introducción

Las zonas costeras son interfaces dinámicas con gran valor ecológico y socioeconómico que enfrentan retos como el aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos. En el Mediterráneo, la erosión se agrava por la presión antropogénica, haciendo necesaria la implementación del Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI). Este estudio evoluciona dicho índice integrando la calidad del sedimento como variable determinante para evaluar la resiliencia mecánica y mejorar la gestión ambiental en 253 km de playas distribuidas de la Comunidad Valenciana, bajo un régimen micromareal y clima de oleaje moderado.

2. Metodología

Se evaluó la vulnerabilidad con un CVI ampliado de diez indicadores promediados (Tabla 1).

Variable	Muy baja (1)	Baja (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muy alta (5)
Ancho de playa (m)	>100	100-60	60-30	30-15	<15
Tasa de erosión (m/año)	>+1.5	+1.5 a +0.5	+0.5 a -0.5	-0.5 a -1.5	<-1.5
Ancho de duna (m)	>75	75-50	50-25	25-10	<10
D ₅₀ (mm)	>256.0	256.0-4.0	4.0-1.0	1.0-0.25	<0.25
SQCI	>0.75	0.75-0.60	0.60-0.44	0.44-0.26	<0.26
H _{2%} (m)	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	>2.0
Nivel inundación (m)	<-1.5	-1.5 a -0.5	-0.5 a 0.0	0.0 a +0.5	>+0.5
Vegetación sumergida	<i>P. oceanica</i>	<i>P. oce regresión</i>	<i>Cimodocea nodosa</i>	Mixta	Ausencia
Límite prof. (m)	<4.0	4.0-6.0	6.0-9.0	9.0-12.0	>12.0
% Duna vegetada	100-80	80-60	60-40	40-20	<20

Tabla 1. Umbrales de clasificación para las categorías del Índice de Vulnerabilidad Costera

Las variables geomorfológicas como el ancho de playa y duna se extrajeron de ortofotografías de alta resolución (25 cm/píxel), utilizando promedios trianuales para mitigar la variabilidad estacional. Las tasas de erosión se determinaron mediante Regresión Lineal en un entorno GIS. Un componente innovador fue la incorporación del Índice de Calidad del Sedimento (SQCI) para clasificar su durabilidad mecánica frente al desgaste (Pagán, 2021). Además, se incluyeron factores ecológicos mediante imágenes multispectrales para calcular el NDVI, cuantificando la cobertura vegetal dunar y la presencia de vegetación sumergida. Finalmente, las variables hidrodinámicas de altura de ola y nivel de inundación se derivaron de datos de nodos SIMAR y levantamientos GNSS de alta precisión. Todos los indicadores se categorizaron en cinco niveles de vulnerabilidad aplicando el método de rupturas naturales de Jenks.

3. Resultados

El análisis del litoral valenciano revela una vulnerabilidad crítica, con más del 69 % de los tramos de costa (174 km) situados en niveles a partir de moderado. La integración del SQCI y el tamaño del sedimento —con un 49,2 % de vulnerabilidad muy alta— subraya que la calidad del sedimento es determinante para la resiliencia costera. Paralelamente, la vegetación sumergida y la infraestructura dunar actúan como indicadores clave de fragilidad biótica. El 45 % de los tramos muestran vulnerabilidad alta y muy alta por la ausencia de praderas de *Posidonia oceanica*. Además, el ancho y la cobertura vegetal de las dunas presentan niveles de riesgo muy alto en más del 59% de los tramos. Estos hallazgos posicionan la gestión del sedimento y la preservación de la vegetación como ejes prioritarios para planificar actuaciones de gestión ambiental y regeneración costera, facilitando la adaptación ante el cambio climático y la intensa presión antropogénica característica de la costa de la Comunidad Valenciana.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada gracias a los proyectos *Monitorización y modelado de sistemas costeros vulnerables en la Comunidad Valenciana (GRE23-01A)*, financiado por la Universidad de Alicante, y *Modelado y seguimiento de los cambios en la morfología costera mediante vehículos autónomos aéreos (UAV) y de superficie (USV) (CIGE/2024/56)*, financiado por la Generalitat Valenciana.

Referencias

PAGÁN, J.I., TENZA-ABRIL, A.J., ARAGONÉS, L., VILLACAMPA, Y., LÓPEZ, I. (2021). “Classification of sediment quality according to its behavior in the accelerated particle wear test (APW)” en *Sustainability*, 13, 2633.

Posicionando las herramientas españolas de ingeniería de Costas y Puertos en Europa: el papel del International Centre for Advanced Studies on River-Sea Systems

Enrique M. Padilla^a, Vicente Gracia^a, Daniel González-Marco^a, Manel Grifoll^a, Antonio Torralba^b, Antonio Góngora^c, Begoña Pérez^c, Pablo Lorente^c Agustín Sánchez-Arcilla^a

^aLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya. BarcelonaTech, Barcelona, España,  0000-0003-0532-8809, enrique.padilla@upc.edu;

^bUniversidad de Sevilla, Sevilla, España; ^c Puertos del Estado.

La ingeniería de Puertos y Costas se enfrenta en la actualidad a un escenario de creciente complejidad, marcado por el cambio climático, la intensificación de los eventos extremos, la alteración de los regímenes hidrosedimentarios y la necesidad de compatibilizar el desarrollo de infraestructuras portuarias con la protección de los ecosistemas fluviales y costeros. En este contexto, Europa ha impulsado nuevas infraestructuras de investigación orientadas a integrar conocimiento científico avanzado, capacidades de observación y modelado, y herramientas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión sostenible de los sistemas río-costa-mar-puerto.

El **International Centre for Advanced Studies on River-Sea Systems** responde a esta necesidad estratégica al abordar de forma integrada los procesos físicos, ecológicos y socioeconómicos que operan a lo largo del continuo fluvial, estuarino y costero, prestando especial atención a su interacción con las infraestructuras portuarias. Esta iniciativa ha sido identificada como prioritaria en la hoja de ruta europea de infraestructuras de investigación del **European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI)**, lo que implica su reconocimiento como infraestructura estratégica para Europa desde el punto de vista científico y tecnológico. Sobre esta base estratégica, la infraestructura opera jurídicamente mediante la figura de un **European Research Infrastructure Consortium (ERIC)**, que proporciona el marco legal y organizativo necesario para su funcionamiento, gobernanza y financiación. Mientras que ESFRI identifica y prioriza qué infraestructuras son necesarias para Europa, el ERIC constituye el instrumento que permite hacerlas operativas. En este momento, inicios de 2026, **España está formalizando su adhesión como Estado miembro**, pasando de la fase de planificación estratégica a la participación efectiva.

La participación española se articula a través de un **Nodo nacional**, cuya composición responde directamente a las **tareas técnicas, científicas y operativas** que es necesario abordar para dar servicio a los sistemas río-costa-mar-puerto y a las infraestructuras portuarias asociadas. Este Nodo integra a **Puertos del Estado**, la **Generalitat de Catalunya**,

la **Junta de Andalucía**, la **Universitat Politècnica de Catalunya** y la **Universidad de Sevilla**, conformando un ecosistema equilibrado entre gestión pública, capacidad científica y conocimiento aplicado.

Desde el punto de vista de la **investigación científica e ingenieril española**, la pertenencia al ERIC permite acceder de forma estructurada a datos, modelos y servicios de alto nivel, reforzando la capacidad nacional para desarrollar soluciones avanzadas y comparables a escala europea. Para las **instituciones de investigación**, el Nodo nacional proporciona un marco estable de cooperación que coordina capacidades, evita duplicidades y refuerza su papel como interlocutores científicos ante las administraciones públicas. Desde una perspectiva económica, la contribución asociada a la pertenencia al ERIC se asume de forma coordinada a nivel estatal, **sin generar obligaciones económicas ni administrativas adicionales para las instituciones públicas o privadas que deseen beneficiarse de los servicios de la infraestructura**.

Para las **empresas españolas de ingeniería**, la participación en el ERIC facilita el acceso a conocimiento avanzado y a herramientas científicas validadas en entornos reales, favoreciendo una cooperación más estructurada y continua con entidades y empresas europeas. Esto supone una evolución respecto a los mecanismos tradicionales de colaboración basados exclusivamente en proyectos puntuales, incrementando la competitividad del sector y su capacidad para ofrecer soluciones innovadoras basadas en la ciencia.

Lejos de introducir rigidez o burocracia adicional, el marco ERIC está diseñado para **simplificar la cooperación transnacional**, proporcionando reglas claras de gobernanza, acceso y colaboración que reducen la fragmentación y favorecen el desarrollo científico y tecnológico. En conjunto, la adhesión de España al ERIC y la creación de su Nodo nacional es una oportunidad estratégica para alinear ciencia, instituciones y empresas, posicionando a España como **actor relevante en la definición del futuro de la ingeniería de Puertos y Costas en Europa**. El objetivo de esta ponencia es presentar a la audiencia los objetivos y el alcance del **International Centre for Advanced Studies on River-Sea Systems**, así como las oportunidades que suponen para España en el ámbito del continuo río-costa-mar.

Contribución al análisis forense de una obra pública desde una perspectiva medioambiental. El caso del “Dragado Ambiental de los sedimentos de la Ría de O Burgo (A Coruña)”

Carlos Durán Neira

Biólogo jubilado. Socio fundador de CIS (Centro de Investigaciones Submarinas s.l.) y Hércules Control s.l.  carlosduran@oceanmet.es

1. Introducción

Entendemos por Análisis Forense de una obra a la investigación técnica, sistemática, legal y detallada que permita determinar la casuística de las deficiencias, desviaciones, retrasos e incumplimientos que ocurran en el ciclo de vida de la obra pública, con el fin de identificar responsabilidades y garantizar la transparencia.

Restringirla al ámbito medioambiental es para enmarcar las investigaciones hacia la búsqueda de la casuística y sus consecuencias sobre el medio ambiente y del incumplimiento de la normativa ambiental aplicable.

Así el objetivo central de este análisis es la de investigar, determinar y documentar técnica y legalmente las causas, responsabilidades e impactos ambientales derivados de irregularidades, omisiones y malas praxis en la ejecución de las obras .

2. Contexto del proyecto de dragado ambiental de los sedimentos de la Ría de O Burgo en A Coruña y análisis previo medioambiental

La Ría do Burgo, formada por la desembocadura del río Mero, se caracteriza por su escasa profundidad, sus fondos limosos y arenosos, con una clara evolución para convertirse en marisma. La presencia de hábitats protegidos y el gran interés ornitológico llevaron a la UNESCO a declarar las Mariñas Coruñesas y las tierras del Mandeo como RESERVA DE LA BIOSFERA el 28 de mayo de 2013.

Con fecha 11 de septiembre de 2017 la Secretaria de Estado de Medio Ambiente (MITECO), formuló Declaración de Impacto Ambiental (DIA) favorable del proyecto de “Dragado Ambiental de los sedimentos de la ría de O Burgo (A Coruña)”. La obra fue adjudicada a la UTE ACCIONA-MABSA por el MITECO el 2 de Julio de 2021.

La Dirección General de la Costa y el Mar del MITECO licitó el Contrato de servicios para el cumplimiento del programa de vigilancia ambiental, resultando adjudicataria de los trabajos la UTE PROYFE - AGAS - ADANTIA. (BOE nº 256, de 26/10/2021).

El proyecto, que define la obra, tenía que resolver , entre otras, tres cuestiones importantes:

I.- La gestión de los sedimentos contaminados Para lo que se proyectó un complejo protocolo de actuación para garantizar su aislamiento mediante un sofisticado sistema de dragado que la Dirección General de Costas y el Mar definió como “un dragado quirúrgico” capaz de aislar estos materiales en dos recintos construidos para tal fin y así evitar su dispersión por la Ría.

II.- Gestionar la presencia de la especie protegida *Zostera noltii* , que en los estudios previos se afirmaba que tenía una distribución limitada en el centro de la Ría.

III.- Proteger de impactos la importante ornitofauna acuática en la Ría. En el EsIA se pone de manifiesto que uno de los impactos más significativos de las obras del dragado se produciría sobre la población de aves acuáticas. La D.I.A. obligaba a adaptar el calendario de las obras a la fenología de las especies, impidiendo las labores de dragado durante los meses de invierno (noviembre a Abril).

3. Resultados

A pesar de la dificultad que se ha tenido para disponer de toda la documentación medioambiental de la obra, se ha podido documentar y acreditar múltiples incumplimientos del Plan de vigilancia ambiental de la obra, así como de las exigencias marcadas por la D.I.A., el cronograma de la obra y la normativa de aplicación, lo que ha propiciado la contaminación, el daño a hábitats sensibles y valores naturales de la Ría do Burgo:

El análisis realizado permitió determinar las causas por las que diversas deficiencias técnicas (maquinaria inadecuada, equipamientos que no cumplen las especificaciones, errores de diseño en el sistema de filtrado con geotubos) llevaron a que buena parte de los contaminantes movilizados fueran dispersados de forma masiva por la Ría.

El análisis realizado confirmó que si en la D.I.A. solo se permitía actuar sobre 108.595 m² la acción directa de draga y retroexcavadoras anfibias afectaron a 723.402 m² del habitat 1140 con presencia de *Zostera noltii*.

El análisis realizado confirma que la restricción temporal de dragado en el calendario no fue respetado, lo que se ve reflejado en los censos anuales oficiales con una disminución significativa del número de ejemplares y especies de aves acuáticas que visitan la Ría.

Lamentablemente, sin que los actores de la Administración y de las empresas involucradas hiciesen lo que estaban obligados por contrato y por la normativa para evitarlo.

Dinámica de la basura marina en el Golfo de Bizkaia mediante la observación oceánica, ciencia ciudadana y plataformas digitales

Lohitzune Solabarrieta^a, Oihane C. Basurko^a, María C. Uyarra^a, Anna Rubio^a

^aAZTI Marine Research, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Gipuzkoa, Spain, (, lsolabarrieta@azti.es, , ocabezas@azti.es, , mcuyarra@azti.es).

1. Basuras marinas en el golfo de Bizkaia

Diversos estudios han señalado que el golfo de Bizkaia es un punto crítico para la acumulación de basuras marinas, impulsada por la intensa actividad humana y las dinámicas oceánicas que favorecen su retención. La llegada constante de plásticos de un solo uso, restos pesqueros y basuras en general procedentes tanto de ríos como de zonas costeras ha generado una creciente preocupación ambiental y han impulsado la adopción de medidas regulatorias. Estos materiales no solo afectan a los ecosistemas marinos y a la biodiversidad, sino que también suponen un riesgo para actividades económicas clave como la pesca y el turismo.

En la zona de estudio, las Estructuras de Corrientes Convergentes (CCS) se han identificado como zonas de retención de basura marina flotante (Ruiz et al., 2020). En el año 2022, el proyecto LAMARCA, supuso un primer impulso para comprender el problema de las basuras flotantes. A través de observaciones en el mar con boyas de deriva, modelización oceánica e implicación ciudadana, se amplió el conocimiento sobre la presencia de basuras, sus posibles orígenes y rutas de dispersión, mejorando la comprensión de las dinámicas oceánicas y la reconstrucción de los campos de corrientes superficiales que aumentan la precisión en la detección de las CCS (Bertin et al., 2024). Estas observaciones han proporcionado una información valiosa sobre el comportamiento estacional de las basuras marinas, y permiten simulaciones lagrangianas más robustas de los procesos de transporte y acumulación, incorporando los efectos del arrastre inducido por el viento (Ruiz et al., 2022). A pesar de estos avances, la investigación en esta región sigue siendo espacialmente limitada debido al reducido número de observaciones, que dificulta la toma de decisiones de las autoridades.

Sobre este conocimiento previo se apoya el proyecto ULYSSES – Data for Science (<https://ulyssesproject.org/>), que llega para ampliar de forma notable la resolución espacial y temporal del estudio de la dispersión de basuras flotantes. Su despliegue de 1.050 dispositivos de madera a la deriva (barquitos y boyas con GPS y sensor de temperatura) permite seguir con detalle el transporte de basura desde los ríos hasta mar abierto. Gracias a este proyecto, se generarán conjuntos de datos lagrangianos de alta calidad que mejoran la validación de modelos y la comprensión de procesos clave, como el papel de las estructuras de corrientes en la acumulación de residuos.

2. Acceso a los datos y participación ciudadana

El proyecto LAMARCA comparte los datos y códigos del proyecto a través de la plataforma abierta github (<https://github.com/Fundacion-AZTI/LAMARCA>). Y en los próximos meses estrenará un portal de datos ERDDAP: un servidor que permite acceder, visualizar y descargar datos diversos de forma unificada, con acceso abierto, siguiendo los principios FAIR, fomentando la transparencia y el uso público del conocimiento científico.

Para reforzar la participación ciudadana, el proyecto ULYSSES está desarrollando una plataforma web específica que visualiza en tiempo real las trayectorias de sus dispositivos, junto con la detección de basura fluvial mediante videometría en tres ríos. La plataforma permitirá a los participantes seguir la dispersión simulada de la basura marina a través de sus propios barquitos de madera personalizados y enviará notificaciones cuando los dispositivos se aproximen a la costa, para que los ciudadanos los puedan recoger. Este enfoque interactivo no solo implica a la ciudadanía, sino que también sensibiliza sobre la contaminación marina.

Esta contribución presentará el enfoque desarrollado por los proyectos *ULYSSES* y *LAMARCA* para ampliar el conocimiento sobre las basuras marinas en el golfo de Bizkaia. Se describirán los dispositivos utilizados, la estrategia de ciencia ciudadana implementada y los procesos de integración y visualización de los datos para avanzar en la comprensión de la problemática y favorecer el diseño de estrategias eficaces para su reducción y mitigación.

3. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos ULYSSES y LAMARCA (PID2021-123352OB-C33) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 / FEDER, UE.

Referencias

- Ruiz I, Basurko OC, Rubio A, Delpy M, Granado I, Declerck A, Mader J and Cózar A (2020) Litter Windrows in the South-East Coast of the Bay of Biscay: An Ocean Process Enabling Effective Active Fishing for Litter. *Front. Mar. Sci.* 7:308. doi: 10.3389/fmars.2020.00308
- S. Bertin, A. Rubio, I. Hernández-Carrasco, L. Solabarrieta, I. Ruiz, A. Orfila, A. Sentchev, Coastal current convergence structures in the Bay of Biscay from optimized high-frequency radar and satellite data, *Science of The Total Environment*, Volume 947, 2024, 174372, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174372>.
- I. Ruiz, A. Rubio, A.J. Abascal, O.C. Basurko. Modelling floating riverine litter in the south-eastern Bay of Biscay: a regional distribution from a seasonal perspective *Ocean Sci.*, 18 (2022), pp. 1703-1724, [10.5194/os-18-1703-2022](https://doi.org/10.5194/os-18-1703-2022)

Identificación de especies alóctonas en puertos: ¿eDNA metabarcoding o taxonomía clásica?

Cesar Bordehore^{a,b}, Sofia Duarte^{c,d}, John Y. Dobson^b, Noemí M. Guzmán^e,
Susana Benlloch^e, Laura Matarredona^e, Jesús García-Martínez^e, Aida Mora^f, Rafael
Company^f, Eva S. Fonfría^b

^aDepartamento de Ecología, Universidad de Alicante, España  cesar.bordehore@ua.es; ^bIMEM Ramón Margalef, Universidad de Alicante, España,  john.yanez@ua.es,  eva.fonfría@ua.es;

^cCentro de Biología Molecular e Ambiental (CBMA) y Rede de Investigação Aquática (ARNET), Departamento de Biologia, Universidade do Minho, Portugal y ^dInstituto para a Ciência e Inovação em Bio-sustentabilidade (IB-S), Universidade do Minho  sduarte@bio.uminho.pt. ^eDepartamento de Genética Universidad de Alicante, España, n.marco@ua.es, susana.benlloch@ua.es, laurasm@ua.es,  jesus.garcia@ua.es, ^fFundación Valencia Port, España, amora@fundacion.valenciaport.com, rcompany@fundacion.valenciaport.com.

1. Introducción

Las especies alóctonas (organismos introducidos fuera de su área de distribución natural) constituyen una de las principales amenazadas para la biodiversidad marina ya que pueden convertirse en invasoras, causando impactos ecológicos, económicos y/o de salud pública. En este sentido, el Mar Mediterráneo es uno de los más afectados a nivel mundial con más de 1.000 especies alóctonas registradas y con una tendencia al alza muy significativa en los últimos años (entre 2010 y 2021 las especies alóctonas establecidas aumentaron un 40% según Zenetos et al. 2022). Las principales vías de introducción son el Canal de Suez, el transporte marítimo (aguas de lastre e incrustaciones en los cascos) y la acuicultura (Galil et al. 2018). La detección temprana de especies alóctonas en entornos portuarios resulta de este modo esencial para proteger el medio ambiente y salvaguardar la salud humana e intereses económicos asociados.

En este trabajo, presentamos un estudio piloto realizado en el Puerto de Sagunto, impulsado por la Autoridad Portuaria de Valencia en el seno del proyecot ILIAD en el que se utilizaron en paralelo dos técnicas, por un lado la taxonomía clásica consistente en la identificación de especies mediante microscopía óptica y electrónica y, por otro lado, el eDNA metabarcoding que es una técnica de análisis molecular que identifica múltiples especies en una muestra ambiental, por ejemplo agua o sedimento, mediante el análisis de secuencias cortas de material genético procedente de mucus, heces, exudaciones, etc.

2. Descripción de los trabajos realizados

Los muestreos se realizaron entre el 12 y el 18 de diciembre de 2024, tanto en el interior (dos puntos) como en el exterior del puerto (cinco puntos, tres en las escolleras/paredes adyacentes, y dos más alejados, a una milla al norte y al sur). En ellos se recogieron muestras de varias matrices: agua, plancton, sedimento y organismos incrustantes (raspados de sustratos artificiales), siguiendo los protocolos y recomendaciones de la UNEP/MED, HELCOM-OSPAR y la IMO sobre estudios biológicos en puertos.

Para el análisis genético se utilizó el gen mitocondrial COI como marcador objetivo debido a su alto poder discriminatorio a nivel de especie y a la amplia cobertura de referencias disponible en la base de datos BOLD (plataforma que además también ofrece herramientas integradas, como los informes de discordancia BIN, que facilitan la depuración y validación de las anotaciones taxonómicas).

3. Resultados y conclusiones

A nivel global, el análisis genético detectó una abundancia de especies mucho mayor que el análisis taxonómico, siendo un hallazgo común en estudios que comparan ambas metodologías (Varrella et al. 2025). En cuanto a especies alóctonas, los resultados de eDNA mostraron la misma tendencia, septuplicando los obtenidos por taxonomía, sin haber ninguna coincidencia entre ambas técnicas.

Estos resultados ponen de manifiesto la complementariedad de estas metodologías, confirmando que el mejor enfoque a la hora de detectar especies alóctonas en el medio marino actualmente es la combinación de ambas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en colaboración con la Fundación Valencia Port y RAC/SPA en el marco del proyecto ILIAD financiado por el Programa de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Comisión Europea (acuerdo de subvención nº 101037643).

Referencias

- GALIL, B. et al. (2018). “Mare Nostrum, Mare Quod Invasitur - The History of Bioinvasions in the Mediterranean Sea” en Queiroz Z.A.I & Pooley S. *Histories of Bioinvasions in the Mediterranean*. London: Springer Nature.
- VARRELLA, S. et al. (2025). “A comprehensive assessment of non-indigenous species requires the combination of multi-maker eDNA metabarcoding with classical taxonomic identification” en *Environment International*, 199, 109489.
- ZENETOS, A. et al. (2022). “Established non-indigenous species increased by 40% in 11 years in the Mediterranean Sea” en *Mediterranean Marine Science*, 23, 1, 196-212.

La ampliación del Puerto de Bilbao: 10 años del Programa de Vigilancia Ambiental

Javier Franco^a Aritz Abalia^a, Juan Bald^a, María Jesús Belzunce-Segarra^a, Raúl Castro^a, Silvia Cosín^d, Estíbaliz Díaz^b, Irati Epelde^a, José Germán Fernández^d, Joxe Mikel Garmendia^a, Hélène Gomes^b, Daniel González-Marco^c, Manuel González^a, Joana Larreta^b, Pedro Liria^a, Iratxe Menchaca^a, Iñigo Muxika^a, Ales Padró^d, Sara del Rey^c, J. Germán Rodríguez^a, Agustín Sánchez-Arcilla^c, Joaquim Sospedra^c, Ibai Uria^c, Ainhize Uriarte^b y Manuel Viñes^c

^aAZTI-Investigación Marina, Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110 Pasaia (Gipuzkoa) (, jafranco@azti.es)

^bAZTI-Investigación Marina, Txatxarramendi Ugarte, z/g, 48395 Sukarrieta (Bizkaia)

^cLaboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech, C/ Jordi Girona 1-3, Campus Nord Ed. D1, 08034 Barcelona

^dTecnalia, Unidad de Transición energética, climática y urbana, Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia, Astondo Bidea, Edificio 700, 48160 Derio (Bizkaia)

^eAutoridad Portuaria de Bilbao, Oficinas Centrales, 48980 Santurtzi (Bizkaia)

1. Introducción

En el año 1992 el Puerto de Bilbao comenzó a ejecutar la ampliación y mejora de sus instalaciones en la zona exterior del estuario, donde, desde 2016, se está construyendo el espigón central. Buena parte del material de relleno requerido por la obra se obtiene de extracciones de material arenoso de la Zona II del puerto. Las actuaciones de extracción llevan asociado un Programa de Vigilancia Ambiental (PVA), que garantiza el cumplimiento de las medidas preventivas y correctoras establecidas en la Declaración de Impacto Ambiental. En esta comunicación se presenta la metodología y los resultados más relevantes del PVA entre 2016 y 2025 para caracterizar la evolución ambiental a corto y medio plazo.

2. Contenido del Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)

El PVA del proyecto de extracción de arenas del sector norte de la Zona II y de la construcción del espigón central está estructurado sobre los diferentes componentes a estudiar, que son: 1) Calidad de las aguas; 2) Calidad del aire y niveles de ruido (atmosférico y submarino); 3) Caracterización batimétrica de la zona de dragado y zona de influencia; 4) Caracterización bentónica; 5) Caracterización del sedimento superficial; 6) Seguimiento de playas (hidrodinámica, topo-batimetría, videometría); 7) Recursos y actividades pesqueras; 8) Seguimiento operativo de las actuaciones de dragado y de ejecución de las obras.

3. Ejecución del Programa de Vigilancia Ambiental

Dependiendo de cada componente, se llevan a cabo campañas previas, durante y posteriores a cada extracción o seguimientos generales de la zona. En la Tabla 1 se presenta información resumida del seguimiento multidisciplinar y multiescala realizado.

Componente	Planteamiento de las campañas
Calidad de las aguas ZII	Antes, durante y después de cada extracción; años sin extracción
Calidad de las aguas EC	Campañas mensuales
Seguimiento de la calidad del aire	Fases preoperacional, ejecución y explotación
Seguimiento de los niveles de ruido atmosférico	Fases preoperacional, ejecución y explotación
Seguimiento de los niveles de ruido submarino	Campañas previas a extracción y durante extracción
Caracterización batimétrica de la zona de extracción	Campañas antes y después de cada extracción
Caracterización bentónica y ROV ZII	Campañas antes y después de cada extracción
Caracterización bentónica EC	Campaña antes y después de las obras
Caracterización del sedimento superficial ZII	Campañas antes y después de cada extracción
Caracterización del sedimento superficial EC	Campaña antes y después de las obras
Seguimiento de playas (topobatimetría)	Campañas anuales-semestrales
Seguimiento de playas (hidrodinámica)	Campañas anuales-semestrales
Caracterización Morfodinámica (anual)	Caracterización anual
Seguimiento de playas (videometría)	Seguimiento continuo
Seguimiento de los recursos pesqueros	Obtención de datos anuales
Seguimiento operativo de las actuaciones de dragado ZII	Mensualmente, durante las extracciones
Seguimiento de las actuaciones en el EC	Mensualmente, durante las obras

Tabla 1. Información del seguimiento de los componentes estudiados en el PVA. ZII: Zona II, EC: Espigón Central, ROV: vehículo operado remotamente

4. Resultados y conclusiones

Las principales afecciones a la calidad de las aguas consisten en incrementos de turbidez y sólidos en suspensión y, en menor medida, de las concentraciones de algunos metales. Las afecciones son moderadas en intensidad, reducidas en extensión y de poca duración. No se aprecia impacto significativo en la calidad del aire y en los niveles de ruido. Los fondos sedimentarios de la zona, mayoritariamente arenosos, mantienen unas comunidades bentónicas diversas y con una alta capacidad de recuperación tras las extracciones. Los contaminantes presentan concentraciones bajas, tanto en las etapas anteriores como en las posteriores a las extracciones. Hasta el momento no se han detectado cambios significativos en las playas del entorno. No se ha registrado un impacto significativo de las extracciones sobre la escasa actividad pesquera en la zona.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Autoridad Portuaria de Bilbao, a Ekocean, Topolan, Iproma, Insub y el Centro Tecnológico Naval y del Mar, por su colaboración en este trabajo.

Mejora de la calidad perceptible del agua portuaria mediante procesos mediante soluciones basadas en la naturaleza: experiencia piloto en dársenas del Mediterráneo

Mariano Morell Villalonga^a, Gemma Llàcer Camarasa^{a,b}, Carlos Mahillo Sánchez-Mateos^a, Carlos Garau Fullana^a, Yaiza Samper García^a, Balbina Nogales Fernández^b Marc A. García López^a

^a Garau Ingenieros, Palma de Mallorca, SPAIN, info@garauingenieros.es; ^bDepartamento de Biología Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, SPAIN, bnogales@uib.es.

Introducción

Las aguas portuarias mediterráneas, caracterizadas por bajos niveles de renovación y condiciones generalmente oligotróficas, presentan con frecuencia concentraciones apreciables de nutrientes que favorecen procesos de proliferación biológica y deterioro de la calidad perceptible del agua, manifestados en aumentos de turbidez, cambios de coloración y episodios de malos olores (Middelburg y Levin, 2009). Estos fenómenos pueden estar relacionados con la acumulación de nutrientes en masas de agua subterráneas que vierten al mar y provocan procesos de eutrofización en sistemas costeros y portuarios o con descargas de efluentes urbanos (aguas residuales) o vertidos superficiales de aguas sucias (baldeos) en sistemas donde el confinamiento hidráulico y los procesos internos condicionan fuertemente la respuesta ecológica (Cloern, 2001). Las estrategias habituales de gestión se basan en la renovación forzada del agua mediante bombeos hacia el exterior, trasladando el impacto ambiental fuera de la dársena sin actuar sobre los procesos que lo generan.

La presente comunicación analiza la viabilidad de aplicar en agua marina portuaria un proceso basado en la potenciación de procesos biogeoquímicos naturales mediante un tratamiento ambiental in situ adaptado a las condiciones de un medio marino oligotrófico, en línea con los principios de las soluciones basadas en la naturaleza aplicadas a sistemas costeros (Temmerman et al., 2013).

Establecido el concepto, se han desarrollado ensayos piloto a distintas escalas. Los experimentos se han diseñado para evaluar el comportamiento del proceso bajo condiciones controladas en distintos escenarios representativos de condiciones reales.

Los resultados obtenidos en el marco del proyecto CICERO (Garau Ingenieros) muestran que es posible activar procesos biogeoquímicos naturales con mejoras consistentes en la calidad perceptible del agua y en una disminución del riesgo de procesos de eutrofización en dársenas confinadas, en línea con experiencias previas en entornos marinos controlados.



Fig. 1 Entradas, procesos naturales y estados de nutrientes en aguas del puerto

En conjunto, los resultados confirman la viabilidad del enfoque a nivel de prueba de concepto y ponen de manifiesto el potencial de la aplicación de tratamientos biogeoquímicos naturales asistidos como herramienta de gestión ambiental portuaria, aplicable directamente en el interior de las dársenas y basada en procesos naturales.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del programa Ports 4.0 de Puertos del Estado y del programa Acelera Pyme del al Ministerio de Economía, Comercio y Empresa a la financiación del proyecto CICERO. Asimismo, agradecen la colaboración del Club Náutico del Arenal y del Real Club Náutico de Palma, así como de la Autoridad Portuaria de Illes Balears, que han facilitado la realización de las pruebas en dársenas portuarias, y han dado las orientaciones precisas en cuanto a las condiciones reales de explotación.

Referencias

- CLOERN, J. E. (2001). “Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem” en *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223–253.
- GARAU INGENIEROS. *Cicero*. < <https://www.garauingenieros.es/cicero/> > [Consulta: 23 de enero de 2026]
- MIDDELBURG, J. J. Y LEVIN, L. A. (2009). “Coastal hypoxia and sediment biogeochemistry” en *Biogeosciences*, 6, 1273–1293.
- TEMMERMAN, S. et al. (2013). “Ecosystem-based coastal defence in the face of global change” en *Nature*, 504, 79–83.

Aplicación de la fotogrametría submarina para la inspección y evaluación del estado de conservación de estructuras y conducciones sumergidas y el seguimiento ambiental marino

Vicente Tasso Bermell

Vicente Tasso Bermell (Eurofins OCEANSNELL,  vicente.tasso@etib.eurofins.com)

Las infraestructuras portuarias y costeras requieren un conocimiento continuo y fiable del estado de conservación de sus elementos sumergidos, con el fin de garantizar su funcionalidad estructural, la seguridad de la explotación y la correcta planificación de las actuaciones de mantenimiento y rehabilitación. En este sentido, la inspección periódica de estructuras portuarias, conducciones submarinas, emisarios, estructuras de captación y otras infraestructuras asociadas a entornos portuarios, desaladoras y estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) constituye una actividad esencial dentro de la gestión del dominio marítimo-portuario. De forma complementaria, estos entornos o en sus proximidades pueden albergar comunidades biológicas de elevado valor ecológico, cuya conservación y seguimiento resulta igualmente prioritaria en el marco de la gestión ambiental marina.

Las metodologías tradicionales de inspección basadas en buceo profesional y evaluación visual directa presentan limitaciones significativas en términos de precisión métrica, objetividad, trazabilidad de la información y capacidad de comparación entre campañas, además de estar condicionadas por factores operativos como la visibilidad, el tiempo de inmersión y las condiciones de seguridad. Estas limitaciones afectan tanto a la inspección técnica de infraestructuras como al seguimiento ambiental de comunidades bentónicas, dificultando la obtención de información homogénea y reproducible que sirva de base para la toma de decisiones técnicas y ambientales.

En este contexto, la fotogrametría submarina se ha consolidado como una herramienta eficaz y versátil que permite abordar de forma integrada la inspección técnica de infraestructuras sumergidas y el seguimiento ambiental marino. Mediante la generación de modelos tridimensionales georreferenciados de alta resolución y precisión centimétrica, esta técnica ofrece un registro detallado y objetivo del estado de las estructuras, facilitando la identificación, medición y seguimiento temporal de afecciones habituales en el ámbito portuario, tales como: fisuración, pérdida de sección, socavaciones, desplazamientos, erosión o colonización biológica (fouling). Paralelamente, estos modelos permiten el análisis espacial y temporal de comunidades biológicas asociadas a las infraestructuras y al fondo marino circundante, incluyendo hábitats sensibles, como las praderas de Posidonia oceánica.

Entre las principales ventajas de esta técnica frente al buceo tradicional destacan la mejora en la repetitividad y comparabilidad de las inspecciones, la disminución de la subjetividad en la evaluación del estado de conservación, la posibilidad de realizar análisis detallados en gabinete sin necesidad de nuevas inmersiones y el incremento de la seguridad operativa al reducir los tiempos de trabajo subacuático. Asimismo, la integración de los modelos tridimensionales en sistemas de información geográfica (SIG) y entornos BIM (Building Information Modeling) permite una gestión más eficiente de los activos portuarios, al tiempo que facilita el seguimiento ambiental, la evaluación de afecciones y la planificación de las actuaciones de mantenimiento desde una perspectiva técnica y ambiental integrada.

El presente trabajo describe el flujo de trabajo general de la fotogrametría submarina aplicada tanto a la inspección de estructuras y conducciones sumergidas como al seguimiento de comunidades biológicas en entornos portuarios y costeros, desde la planificación de la campaña y la adquisición de datos hasta el procesado y análisis de resultados. Asimismo, se presentan varios casos de estudio que ponen de manifiesto el potencial de esta metodología como herramienta de apoyo a la ingeniería de puertos y costas, así como a la gestión ambiental marina.

Aproximación multimodelo para diseño de obras de refrigeración industrial

Pablo Bengochea, Javier Garcia, Gabriel Díaz-Hernández, Antonio Tomas

Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, Universidad de Cantabria,
bengocheap@unican.es; javier.garciaalba@unican.es; gabriel.diaz@unican.es;
antonio.tomas@unican.es.

1. Introducción

Las estructuras de captación de agua de mar para sistemas de refrigeración industrial constituyen infraestructuras singulares dentro de la ingeniería civil y costera. Estas obras, formadas principalmente por canales de toma, balsas de amortiguación y estaciones de bombeo, presentan un comportamiento hidrodinámico complejo al estar sometidas simultáneamente a la acción del oleaje, las corrientes y las oscilaciones mareales, bajo estrictas restricciones operativas asociadas a la continuidad del suministro.

Los procesos hidrodinámicos involucrados son: la agitación interior debida a la penetración y reflexión del oleaje en el canal de toma, efectos de oscilación resonante traducidos en sobre-amplificaciones del nivel de mar y la generación de corrientes singulares, por la acción de oscilaciones infragravitatorias en el cuerpo de agua, así como la co-existencia de corrientes mareales. Además, la presencia de elementos auxiliares como muros disipadores, compuertas o cambios bruscos de sección pueden llegar y modificar localmente estos procesos.

El estado del conocimiento actual alude al uso de modelos 3D basados en una aproximación CFD (Computational Fluid Dynamics), que permitiría reproducir de forma integrada los procesos físicos mencionados. Sin embargo, su aplicación directa en infraestructuras reales de gran escala resulta poco práctico e inviable para un proyecto al uso. Por tanto, este estudio propone una aproximación metodológica multimodelo basada en la concatenación de distintos modelos numéricos especializados, orientada al análisis de los procesos físicos, al diseño de soluciones y a la evaluación de límites operativos.

2. Metodología multimodelo

La metodología adopta un enfoque combinado y secuencial, que explota las fortalezas de distintos modelos numéricos para analizar de forma aislada los procesos físicos que gobiernan.

A partir de la **batimetría disponible** y del **diseño geométrico base** de la obra de captación de agua de mar, el esquema de trabajo se articula como sigue.

- En primer lugar, **SWAN**, modelo espectral de oleaje, se emplea para caracterizar la transformación del clima marítimo desde aguas profundas hasta el entorno de la infraestructura. Obteniendo las condiciones de oleaje representativas en el área de estudio, definiendo las condiciones de contorno de los modelos de mayor detalle.
- A continuación, **MSP**, modelo específico de agitación portuaria, se utiliza para evaluar la respuesta del sistema frente al oleaje de onda corta en el interior. Además, permite identificar modos resonantes y oscilaciones asociadas a ondas largas o infragravitatorias.
- Se recurre a **CELERIS**, modelo avanzado de propagación no lineal, para estudiar de forma integrada la generación, propagación e interacción entre el oleaje de onda corta y las ondas infragravitatorias. Su uso resulta valioso para reproducir procesos de acoplamiento multiescala que no pueden captarse con otros modelos.
- Para resolver la interacción entre el oleaje-estructura, se incorpora el modelo **IH2VOF**, modelo CFD basado en las ecuaciones de Navier–Stokes, resolviendo campos de presiones y velocidades, así como procesos asociados disipación turbulenta y dinámica del flujo en proximidad de estructuras.
- Finalmente, se utiliza **Delft3D-FLOW**, modelo hidrodinámico para caracterizar las corrientes inducidas por gradiente de nivel y los patrones de circulación interna, orientado a la evaluación de la operatividad hidráulica del sistema.

Este enfoque **modular y reactivo** facilita la evaluación iterativa de alternativas geométricas, la optimización de elementos disipadores y la verificación de condiciones operativas críticas, siendo además una estrategia eficiente e intercambiable con herramientas equivalentes.

La metodología se ha aplicado a un sistema real de toma de agua para la refrigeración de una central térmica en un entorno costero abierto, sometido a un clima marítimo energético, incluyendo eventos extremos. El sistema objeto está compuesto por un canal de toma con muros verticales, una balsa de amortiguación y una estación de bombeo, incorporando diversos elementos singulares para la disipación del oleaje en su interior.

Conclusiones

La metodología multimodelo se ha aplicado con éxito al análisis hidrodinámico de un sistema real de refrigeración de una central térmica en un entorno costero abierto, abordando de forma integrada un conjunto compuesto por un canal de toma, una balsa de amortiguación y una estación de bombeo, incluyendo elementos singulares. En conjunto, la aproximación multimodelo permite identificar procesos dominantes, evaluar soluciones geométricas y verificar criterios de diseño, confirmando su aplicabilidad en este tipo de proyectos.

CoastGuard: EO aplicado a la dinámica costera

**Yoel-Gerardo Teubel-Ruiz^a, Jaime Almonacid-Caballer^a, Luis-Juan Moreno^b
Vicente Negro**

^aCentro de Observación y Teledetección Espacial (COTESA), info.cotesa@grupotecopy.es

^bUniversidad Politécnica de Madrid, ETSI Caminos canales y Puertos

1. Introducción

La monitorización y gestión eficientes de la dinámica costera son fundamentales para prevenir los impactos del cambio climático y garantizar el uso sostenible de los sistemas marino-terrestres. Este estudio introduce una metodología basada en datos de Observación de la Tierra (EO) para mejorar la precisión y fiabilidad de la monitorización costera (Vos et al. 2019). Entre las principales innovaciones se incluyen la aplicación de superresolución sobre imágenes Sentinel-2 y el desarrollo de algoritmos avanzados para la detección de la línea de costa.

2. Metodología

2.1. Superresolución

El programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea Copernicus proporciona imágenes gratuitas de cobertura global. En este proyecto, se utilizan datos del satélite Sentinel 2.

Sentinel 2 proporciona 13 bandas en el espectro visible e infrarrojo. Dicha constelación está compuesta por dos o tres satélites (dependiendo de las fechas a analizar), con una revisita conjunta de 5 días en latitudes medias.

Las imágenes Sentinel 2 presentan bandas de diferente resolución; 10, 20 y 60 m/píxel. Las de mejor resolución, formadas por las bandas RGB-NIR, poseen una resolución espacial de 10m (Fig. 1 A). Esta resolución limita el detalle de los objetos a detectar en ellas, lo que justifica la aplicación de técnicas de superresolución.

Mediante el uso de Redes Generativas Antagónicas (GAN), la resolución de las imágenes Sentinel-2 se mejora de 10 metros a 2,5 metros por píxel (Fig 1. B), lo que mejora la delimitación de la interfaz agua-tierra. Esta mejora también reduce errores asociados a la espumea y la zona de transición.



Fig. 1. (A) Imagen Sentinel-2 sobre Castellón el 21/12/2023. (B) Imagen superresuelta. (C) línea de costa resultante

2.2. Detección automática de Línea de Costa

Sobre estas imágenes superresueltas se aplican algoritmos automáticos (clasificación preentrenada) específicos para la detección de la línea de costa. Este proyecto utiliza datos multitemporales de Sentinel-2 con superresolución, combinados con validación in situ. El enfoque permite analizar la evolución temporal de la línea de costa.

La metodología seguida para la detección de la línea de costa combina diferentes técnicas. La georreferenciación se sirve de la correlación de fase subpíxel (Guizar-Sicairos et al. 2008). Las imágenes superresueltas se clasifican a nivel píxel mediante un clasificador Multi-Layer Preceptron en agua y no-agua. La línea resultante se suaviza mediante marching squares (Fig 1, C). La metodología es transferible a todos los espacios costeros.

Este proyecto demuestra el potencial de integrar observación de la Tierra (EO) y Deep Learning para la monitorización costera de alta resolución.

Agradecimientos

Ana Patricia García Fletcher (DGCM)

Referencias

- GUIZAR-SICAIIROS, m., THURMAN, S.T., FIENUP, J. R. (2008) "Efficient subpixel image registration algorithms". *Optics Letters*, 33(2), 156. <https://doi.org/10.1364/ol.33.000156>
- VOS, K., SPLINTER, K. D., HARLEY, M. D., SIMMONS, J. A., y TURNER, I. L. (2019). "COASTSAT: a google earth engine-enabled python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery". *Environmental modelling & software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>

Página web

COTESA. *CoastGuard* <https://coastguardcotesa.com>

Gestión de los suelos potencialmente contaminados en el Puerto de Santander

Bárbara Soto Conesa^a, Susana Rubio Pardo^b

^aEMGRISA (Empresa para la Gestión de Residuos Industriales S.A., S.M.E., M.P.), C/ Santiago Rusiñol, 12, 28040 Madrid.  bsoto@emgrisa.es;

^bAutoridad Portuaria de Santander, Muelle Maliaño s/n 39001 Santander

 susana@puertosantander.com

1. Introducción

La principal presión sobre el suelo portuario procede de concesionarios que desarrollan actividades potencialmente contaminantes del suelo, según el RD 9/2005 que establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo, así como los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

La Autoridad Portuaria de Santander (APS) lleva años recopilando información del estado de la calidad de sus suelos portuarios, identificando las actividades potencialmente contaminantes y promoviendo estudios de suelos contaminados y la implementación de una red piezométrica de control.

En consecuencia la APS desarrolló el Plan de Gestión de Suelos Contaminados del Puerto de Santander, que requiere de una herramienta para la gestión gráfica y documental de la ingente cantidad de datos, el rápido acceso y tratamiento de los mismos, de cara a priorizar las actuaciones futuras y la detección de episodios de contaminación relevante en los suelos del puerto.

2. Implementación del GIS como herramienta de gestión de suelos contaminados

El visor GIS implementado en el Puerto de Santander, a través de la herramienta ArcGIS Online, ha sido elaborado por EMGRISA, medio propio y empresa especializada que lleva colaborando con la APS desde 2021.

El GIS permite visualizar distintas capas para la gestión y control de la calidad de los suelos del Puerto de Santander, entre las que destacar las siguientes cartografías:

- Parcelas donde se desarrollan o han desarrollado en el pasado actividades potencialmente contaminantes, CNAE, sustancias y residuos generados, IPS (Informe Preliminar de Suelos), estudios de caracterización, análisis de riesgo ambientales y/p actuaciones correctoras, en caso de proceder.

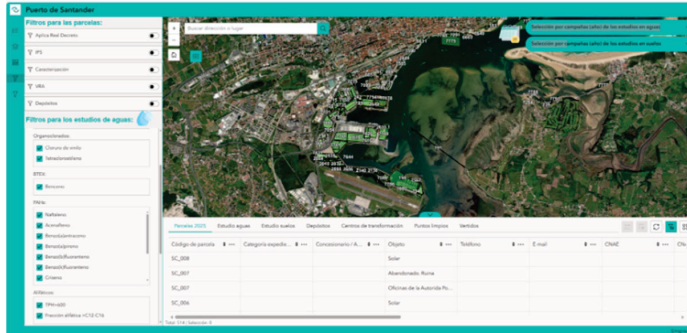


Fig. 1 Parcelas del Puerto de Santander susceptibles de presentar suelos contaminados.
Fuente: Autoridad Portuaria de Santander

- Tanques de almacenamiento de combustible y otras sustancias peligrosas líquidas, con sus especificaciones de capacidad y medidas de prevención de derrames, pruebas de presión, etc., así como focos potenciales de contaminación, actuales e históricos (centros de transformación, puntos limpios, puntose de vertido e infiltración, y redes de drenaje,etc.).
- Localización de puntos de muestreo de suelos y resultados analíticos y profundidad de las muestras analizadas, permitiendo visualizar aquellas que superan los Niveles Genéricos de Referencia del RD 9/2005 por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados así como Niveles de Referencia de metales de la normativa autonómica (en caso de existir).
- Puntos de muestreo de la red piezométrica de control, con sus especificacines constructivas, series de datos analíticos de las campañas de muestreo de aguas subterráneas, lecturas de nivel piezométrico, etc., permitiendo definir en qué puntos se exceden los valores genéricos de no riesgo (VGNR) o valores genéricos de intervención (VGI) para aguas subterráneas de acuerdo al D 665/2023, por el que se modifica el DPH, el Reglamento de la Administración Pública del Agua; y el citado anteriormente RD 9/2005.

La implementación del GIS como herramienta de gestión y visualización de la información permite a la APS la priorización de actuaciones y recursos en materia de gestión de suelos contaminados, facilita la detección de nuevos episodios contaminantes y la correcta gestión de potenciales pasivos ambientales en las parcelas concesionadas, y las actuaciones necesarias antes de finalizar la concesión o reversión definitiva al Puerto.

Mecanismos de integración puerto-ciudad

María del Carmen Cortés Tovar

Jefa de Servicio de Planificación, Proyectos y Obras de la Dirección General de Costas, Puertos y Aeropuertos de la Generalitat Valenciana. cortes_mcatov@gva.es

1. Introducción

Si intentamos definir qué es la **integración puerto-ciudad** podemos encontrar entre la literatura portuaria que es el proceso estratégico de planificación y gestión mediante el cual un puerto y la ciudad que lo rodea buscan convivir de manera armoniosa y sostenible. Su objetivo principal es derribar las barreras físicas e institucionales para transformar antiguos espacios operativos en áreas de uso público.

Pero desde un punto de vista práctico y en nuestra Administración, podemos tratarlo como la solución de las fricciones que surgen entre Administración local y autonómica por un mismo espacio.

2. Distintas figuras de gestión en el espacio de integración

- **ENCOMIENDA DE GESTIÓN:**

Si bien no existe una regulación legal expresa, puede resolverse acudiendo a las encomiendas de gestión reguladas en el artículo 11 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público. La Administración autonómica contrata y dirige las obras y la Administración local se encarga de la prestación del servicio de limpieza, recogida y evacuación de residuos y basuras y de la prestación del servicio de jardinería.

- **CONCESIÓN DE VIALES:**

Existen diversas concesiones para la explotación y conservaciones de viales y explanadas anexas, en las que se exige a la administración local el mantenimiento de las zonas ajardinadas, la señalización horizontal y vertical, las luminarias, la recogida de basuras y el mantenimiento y limpieza viaria. El Ayuntamiento percibe, a cambio, la tasa por ocupación de superficies destinadas a terrazas o bares.

- **CONCESIONES PARA OBRA PÚBLICA:**

También se aprovecha la figura de la concesión para permitir instalaciones municipales como colectores de pluviales, carriles bici, plantas de filtración de agua, puentes, canalizaciones eléctricas...

- **CONVENIO DE CESIÓN:**

Empleado en espacios portuarios con poca actividad portuaria, se cede su ocupación a la Administración Local a cambio del pago de un canon anual. Es la figura que se ha empleado en la playa del Acequión, encajada completamente dentro del Puerto de Torrevieja.

- **AUTORIZACIÓN DE APARCAMIENTOS:**

Algunos Ayuntamientos cuentan con autorizaciones para estacionamiento de la ora, a cambio del abono de la tasa de ocupación y actividad correspondiente.

- **CONCESIONES PARA EDIFICIOS O ACTIVIDADES DE PÚBLICA CONCURRENCIA:**

Son varios los Ayuntamientos que disponen de concesiones para la ocupación de espacios por edificios de museos, ocupaciones de ferias, puestos de venta de artesanía...

- **NUEVA FIGURA DE AUTORIZACIÓN:**

La vigente Ley 2/2014, de 13 de junio, de Puertos de la Generalitat ha introducido recientemente una autorización de ocupación temporal del dominio público portuario, para la realización de obras promovidas por Ayuntamientos y otras Administraciones, con la finalidad de fomentar las relaciones puerto-ciudad.

La realización de esas obras para fines de interés general, cuando no suponga ocupación excluyente para otros usuarios del puerto, requiere un título habilitante diferenciado de las figuras de ocupación previstas anteriormente en la Ley.

Así pues, el DECRETO LEY 10/2025, de 8 de julio, del Consell, de medidas urgentes en materias de puertos de la Generalitat y de minimización del impacto generado por la DANA al Parque Natural de La Albufera, añade un nuevo apartado 3 en el artículo 23 de la Ley 2/2014, de 13 de junio, de Puertos de la Generalitat.

Bajo esta figura la Administración portuaria se encuentra tramitando la autorización de urbanización de la Plaza primero de Mayo al Ayuntamiento de Vinarós y la urbanización del entorno del centro de ocio al Ayuntamiento de Torrevieja.

Recomendaciones para la gestión de la contaminación del suelo en puertos

Raúl López Márquez

EMGRISA (Empresa para la Gestión de Residuos Industriales S.A., S.M.E., M.P.), C/ Santiago Rusiñol, 12, 28040 Madrid.  rllope@emgrisa.es

1. Introducción

El suelo portuario es un recurso escaso y estratégico, cuya adecuada gestión, conservación y aprovechamiento constituye una de las principales responsabilidades de las Autoridades Portuarias.

La principal presión sobre el suelo portuario procede de concesionarios que desarrollan actividades potencialmente contaminantes del suelo según el RD 9/2005, que establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo, así como los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

La contaminación del suelo y aguas subterráneas, aparte del riesgo para la salud de las personas o la posible transferencia a las aguas interiores de los puertos, etc., genera pasivos ambientales que dificultan el otorgamiento de nuevas concesiones o cambios en los usos futuros del suelo, si no se acometen costosos procesos de descontaminación.

En respuesta a esta problemática, Puertos del Estado, con la colaboración de EMGRISA, Medio Propio con más de 35 años de experiencia en gestión de suelos contaminados, ha desarrollado una guía metodológica de carácter general que sirve de apoyo a las AAPP para la mejora en la gestión de los suelos potencialmente contaminados.

2. Alcance de la guía

La guía establece, en sus distintos apartados, las distintas funciones de las AAPP y dentro de las mismas las recomendaciones encaminadas a conocer y prevenir la contaminación del suelo, sus posibles riesgos, y garantizar la asunción de responsabilidades por parte de los operadores que desarrollan actividades potencialmente contaminantes en suelo portuario, entre las que destacan:

Funciones de ordenación y organización del Dominio Público:

- Elaborar un inventario de actividades potencialmente contaminantes, y su actualización periódica.

- Integrar la información de suelos potencialmente contaminados en GIS de que disponga la AP.

Funciones de regulación administrativa del Dominio Público y servicios portuarios y comerciales:

- Incluir condiciones sobre gestión de suelos contaminados en títulos de concesión y autorizaciones de uso privativo, así como en los PPTP de los servicios portuarios a contratar y títulos habilitantes.
- Exigir estudio de calidad de suelo en las transmisiones de concesiones reguladas por el art. 92 del TRLPEMM.
- Crear incentivos económicos para los concesionarios que incorporen medidas preventivas, considerando las inversiones realizadas como criterio favorable en la ampliación del plazo concesional.

Funciones de regulación de la operativa portuaria:

- Elaborar y aprobar normas o códigos de conducta ambiental para la prevención de la contaminación del subsuelo.

Funciones de formación y comunicación:

- Desarrollo de programas formativos para la Policía Portuaria, al objeto de integrar la supervisión de los suelos potencialmente contaminados entre sus tareas de vigilancia.
- Impulsar acciones informativas para empresas concesionarias sobre las implicaciones operativas, jurídicas y económicas de la normativa en materia de suelos contaminados.

Ejecución de obras:

- Caracterizar los suelos de obra de excavación y materiales de aporte en rellenos portuarios.

Funciones de supervisión y control de la actividad portuaria:

- Supervisar, a través de los departamentos de sostenibilidad, que las empresas cumplen con los requisitos establecidos en la legislación de suelos.
- Integrar la supervisión de suelos contaminados en las tareas de vigilancia de la Policía Portuaria, así como en los procedimientos existentes de supervisión y control medioambiental de los operadores portuarios.
- Realizar campañas periódicas de caracterización del suelo, con la implantación/ampliación y seguimiento de la red piezométrica de control.

Análisis de la hidromorfodinámica como motor de la evolución de la producción de los bancos marisqueros en estuarios

Javier García-Alba^a, Javier F. Bárcena^a y Verónica Palomanes Ferreiro^b

^aIHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain,

 garciajav@unican.es; ^b Cofradía de Camariñas, Camariñas.

1. Introducción

La ría de Camariñas (A Coruña, España) constituye un sistema estuarino de elevada sensibilidad hidromorfológica y con una actividad marisquera de gran relevancia socioeconómica. En los últimos años, la Cofradía de Pescadores de Camariñas ha detectado variaciones significativas en la productividad de los bancos marisqueros (véase Figura 1), especialmente a partir de 2014, sin una causa aparente claramente identificada.

Con el objetivo de comprender los procesos físicos que condicionan la estabilidad de los bancos y su capacidad productiva, IHCantabria ha desarrollado un estudio integral que que ha permitido evaluar la relación entre evolución temporal de los principales forzamientos ambientales y su relación con la dinámica sedimentaria con la producción marisquera.

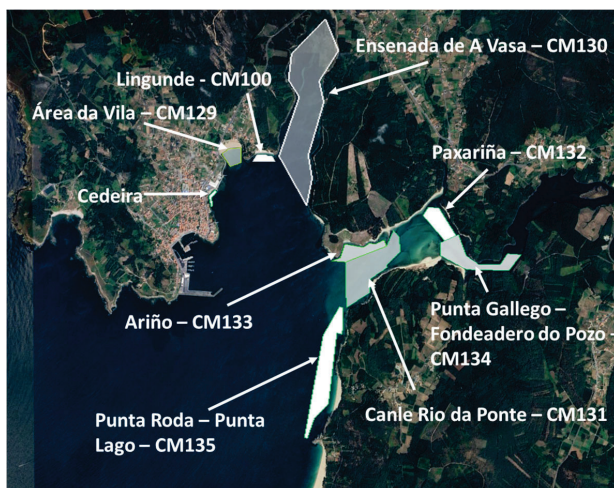


Fig. 1 Localización de los bancos marisqueros en la ría de Camariñas. Fuente: Cofradía de Pescadores de Camariñas

2. Metodología

Se ha explorado cómo la estructura del sedimento y los forzamientos hidrodinámicos de la ría han ido modulando la evolución de los bancos marisqueros en los últimos quince años. El cruce entre dinámica física y respuesta productiva ha revelado patrones que explican la variación encontrada (Figura 2).

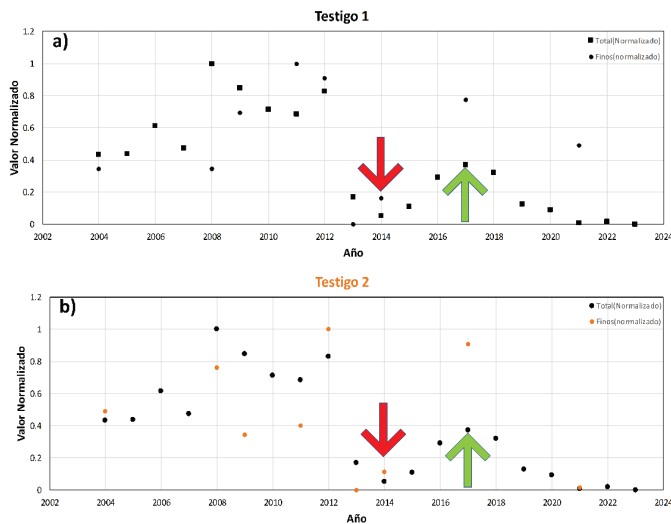


Fig. 2 Comparación entre la serie temporal normalizada de producción marisquera y porcentaje de finos en las que se marca la disminución brusca de la producción en 2014 (flecha roja) y el ligero repunte de la misma en 2017 (flecha verde) a) Testigo 1 (Área da Vila) b) Testigo 2 (Ensenada de A Vasa)

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por la Cofradía de Camariñas a través del contrato para la realización del estudio titulado «Análisis de la hidromorfodinámica sobre la producción de los bancos marisqueros controlados por la Cofradía de Camariñas».

Referencias

ROIBÁS-ROZAS, A., NÚÑEZ, M., MOSQUERA-CORRAL, A., HOSPIDO, A. (2022). «Modeling the Impact of Salinity Variations on Aquatic Environments: Including Negative and Positive Effects in Life Cycle Assessment» en *Environmental science & technology*, vol 56, p. 874-884.

El Maresme: pasado, presente y futuro

Ana María Castañeda Fraile

Demarcación de Costas en Cataluña, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico,
acastaneda@miteco.es, amcfrailc@gmail.com.

1. Introducción

El Maresme, que se extiende a lo largo de unos 47 Km. de costa, discurre entre el mar y la cordillera litoral catalana, formada por terrenos graníticos que, erosionados por los agentes meteorológicos, acaban alimentando las playas a través de las aportaciones torrenciales de las numerosas rieras que alcanzan la costa. Las aportaciones de arena del río Tordera acaban de completar los aportes naturales de estas playas del Maresme.

2. El pasado del Maresme

En sus orígenes, el Maresme se podía definir como una costa abierta, y como tal sus playas se alimentaban de los acarreo de sus ríos (en este caso el río Tordera) y de las rieras y, en menor medida, de los productos provenientes de la meteorización de las partes rocosas de la misma costa

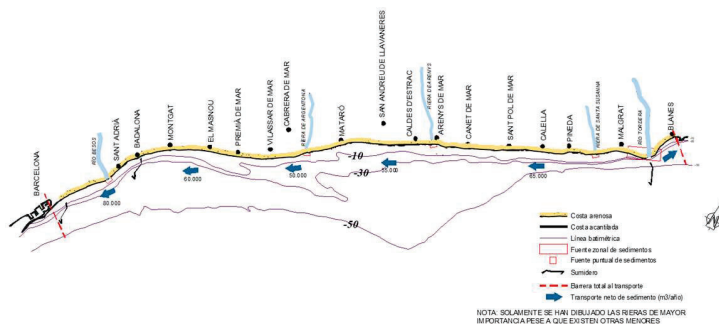


Fig. 1 Esquema de la dinámica litoral del tramo Besòs-Tordera hasta principios del siglo XX

3. La situación actual

Todos los estudios técnicos de ingeniería de costas realizados sobre la costa del Maresme coinciden en que ésta es actualmente **deficitaria de sedimento** debido a la falta de aportes del río Tordera, principal fuente de alimentación, y al estado límite en que se halla la boca de su delta respecto al cañón sumergido que se encuentra frente a ella. Tampoco las rieras, que aportaban discontinuamente material a las costas, lo hacen en la actualidad como antaño. Esta

circunstancia, unida a la alta fragmentación que la actividad humana ha impuesto al litoral del Maresme, hace que exista una total **descompensación sedimentaria** con zonas de acumulación de material y zonas con una erosión o tendencia erosiva importante.



Fig. 2 Port Masnou

4. El futuro que se nos presenta

Como consecuencia del **cambio climático**, las costas se ven afectadas por la variación del nivel del mar. Este hecho plantea el severo problema de la sostenibilidad de nuestras actuaciones en la costa cuando intentamos mantener los recursos costeros.

Además de considerar los aspectos técnicos, funcionales, económicos y sociales, no podemos olvidarnos de incluir el **medio ambiente** como una herramienta de diseño para nuestras actuaciones en el litoral.

Hablar de medio ambiente implica también hablar de **paisaje**, el territorio resultado de las acciones e interacciones de factores naturales y/o humanos.

En el caso del Maresme, especialmente en la zona sur, tenemos que contar con la herencia de un **paisaje industrial** que ha dejado una profunda huella en varios tramos de la costa.

Conclusiones

El Maresme ha dejado de ser una única unidad fisiográfica, una costa arenosa continua, a causa de diferentes actuaciones humanas de muy diferente índole.

No hemos sabido, hasta ahora, corregir los efectos negativos que han tenido muchas actuaciones humanas en la costa.

Tenemos el importante reto de aprender de nuestros errores y corregirlos.

Estereoscopia de fotogrametría aérea como método de determinación del Dominio Público Marítimo Terrestre

Virginia Sierra Prieto

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos. Tragsatec. Asistencia Técnica en el Servicio Provincial de Costas de Gipuzkoa, vsierra@tragsa.es

1. Introducción

Tanto la franja costera (playas, dunas, marismas) como los cauces de las rías se encuentran en continua evolución y cambio bien sea por causas naturales, oleaje, mareas y corrientes o cambio climático, o bien de manera antrópica como consecuencia de obras realizadas, construcción de infraestructuras, urbanización, turismo intensivo, etc. Juntas pueden causar erosión, pérdida de arena en playas y degradación de ecosistemas alterando su equilibrio natural y su morfología. Debido a ello, y aunque en muchos casos, como en la provincia de Gipuzkoa, la costa y las rías ya se encuentran deslindadas, estos deslindes deben ser revisados con el fin de que, en su caso, puedan ajustarse a la realidad morfológica actualmente existente. Así, deberemos partir siempre de un buen conocimiento de la morfología del terreno mediante la realización de estudios técnicos que serán la base física para poder aplicar la normativa de costas y establecer los nuevos límites del dominio público marítimo-terrestre.

Actualmente, el uso de ortofotos, especialmente las realizadas con drones, se ha consolidado como una de las herramientas técnicas más utilizada en los procedimientos de deslinde debido a su capacidad para identificar y localizar playas, sistemas dunares, acantilados y demás elementos que conforman el dominio público marítimo-terrestres. No obstante, no hay que olvidar que una ortofoto es una representación bidimensional, una fotografía aérea georreferenciada, corregida geométricamente para eliminar distorsiones, que tiene precisión de un mapa pero sin relieve natural. Es por ello que el uso de ortofotos para la determinación del dominio público marítimo-terrestre puede presentar diversos inconvenientes y limitaciones técnicas tales como errores métricos a la hora de trabajar con escalas de detalle, inexistencia de datos altimétricos directos o la ocultación de datos por la existencia de vegetación densa o sombras que debemos tener en cuenta.

La estereoscopia o visión espacial de fotogrametría aérea trata de solventar estos inconvenientes al tratarse de una técnica capaz de percibir la profundidad y la estructura espacial del entorno representado consiguiendo una imagen tridimensional con volumen, relieve y profundidad, generando modelos digitales del terreno (MDT) y modelos digitales de elevación (MDE) que permitirán crear mapas topográficos detallados y precisos, detectar fenómenos naturales como deslizamientos de tierras, inundaciones y erosión costera permitiendo delimitar de forma precisa las zonas inundables y con ello los límites del dominio público marítimo-terrestre.

La estereoscopia se basa en el principio de la “visión estereoscópica o estereopsis” que es la capacidad natural que tiene el cerebro humano de fusionar las imágenes ligeramente diferentes que recibe de cada ojo para construir una única imagen tridimensional que nos

permite, entre otras cosas, percibir el volumen o calcular distancias. La estereoscopia artificial trata de imitar este proceso.

Aplicada a la delimitación del dominio público marítimo-terrestre, se basa en la obtención de una visión tridimensional del relieve costero que permitiría identificar con precisión los límites físicos y geomorfológicos que definen esta zona.

Referencias

Proyecto FENIX 3D (año). Desarrollo de sistemas low cost de visualización, y de procesamiento vectorial GIS sobre visión estereoscópica de fotogrametría aérea suministrada como servicio web.

Organizadores



Patrocinador Oro



Patrocinador Plata



Patrocinadores



2026.costasypuertos.com