

# VII CONGRESO NACIONAL DE LA **ATPYC** 4<sup>TH</sup> **MEDITERRANEAN** DAYS

*Working with Nature*



Sevilla · 17-19 de octubre de 2018



Puertos del Estado



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE FOMENTO



Asociación  
Técnica de  
Puertos y  
Costas



Puerto  
de Sevilla



**Autor:**

Asociación Técnica de Puertos y Costas (ATPyC)

**Edita:**

Organismo Público Puertos del Estado

**Imprime:** V.A. Impresores, S.A.

ISBN: 978-84-88740-09-0

Depósito Legal: M-30500-2018

Edición: Octubre 2018

PVP: 50 €

# VII CONGRESO NACIONAL DE LA ATPYC 4 MEDITERRANEAN DAYS

*Working with Nature*

Sevilla  
Octubre de 2018



Puertos del Estado



### **Comité Organizador**

Ornella Chacón Martel. *Presidenta. PUERTOS DEL ESTADO.*

Manuel Gracia Navarro. *Presidente. AUTORIDAD PORTUARIA DE SEVILLA.*

Francisco Esteban Lefler. *Presidente. ASOCIACIÓN TÉCNICA DE PUERTOS Y COSTAS.*

Ángel Pulido Hernández. *Director. AUTORIDAD PORTUARIA DE SEVILLA.*

Victoria Pineda González. *Responsable de Comunicación y Relaciones externas. AUTORIDAD PORTUARIA DE SEVILLA.*

Magéc Montesdeoca González. *Director Corporativo. PUERTOS DEL ESTADO.*

Manuel Arana Burgos. *Secretario. ASOCIACIÓN TÉCNICA DE PUERTOS Y COSTAS.*

Angustias Lerín de Abril. *Jefe de Departamento de Protocolo y Eventos Corporativos. PUERTOS DEL ESTADO*

### **Comité Técnico**

Ángel Pulido Hernández. *AUTORIDAD PORTUARIA DE SEVILLA.*

Gonzalo Gómez Barquín. *PUERTOS DEL ESTADO.*

Paloma Lorente Velázquez-Gaztelu. *JUNTA DIRECTIVA ATPYC*

Ana Lope Carvajal. *PUERTOS DEL ESTADO.*

Rafael Escutia Celda. *PORT INSIGHT*

Alessandro Romano. *PIANC ITALIA*

Renaud Paubelle. *PIANC FRANCIA*

### **Junta Directiva**

Presidente: Francisco Esteban Lefler. *FCC CONSTRUCCIÓN*

Secretario: Manuel Arana Burgos. *PUERTOS DEL ESTADO.*

### **Vocales**

José María Berenguer Pérez. *BERENGUER INGENIEROS*

Sara Calvo Fernández. *MCVALNERA*

Rafael Escutia Celdá. *PORT INSGHT*

Enrique de Faragó Botella. *PROES*

Macario Fernández-Alonso Trueba. *MCVALNERA*

Noelia González Patiño. *DRAGADOS*

Ana Lope Carvajal. *PUERTOS DEL ESTADO.*

Miguel Ángel Losada. *UNIVERSIDAD DE GRANADA*

Jorge Martín Jiménez. *AUTORIDAD PORTUARIA DE BALEARES*

Carlos Sanchidrián Fernández. *PROES*

Miguel Vázquez Romero. *DRAGADOS*

# Prólogo

Este año 2018 celebramos el vigésimo aniversario de la creación de la Asociación Técnica de Puertos y Costas. Este aniversario es una buena oportunidad para echar la vista atrás y reflexionar sobre cuál ha sido la evolución en estas últimas dos décadas, pero, sobre todo, para mirar hacia adelante y diseñar el futuro de la Asociación en los próximos años.

Creada en el año 1998, la ATPYC se configuró inicialmente teniendo como primera y principal misión ostentar la representación de la Sección Nacional Española en PIANC, de la que es heredera. Pero desde entonces ha sido mucho más. Ha conseguido aunar su papel original como representación española en un organismo internacional con el desarrollo de una creciente actividad nacional de la que todos los que formamos parte de esta institución podemos sentirnos orgullosos, y cuyo máximo, aunque no único, exponente lo encontramos en el Congreso Nacional del que este libro forma parte como constancia escrita de las presentaciones impartidas a lo largo de sus sesiones. La Asociación ha apostado desde la primera edición de su Congreso por la edición impresa de un libro de ponencias, bajo la premisa de que la transmisión de conocimiento que supone la celebración de este tipo de eventos permita su consulta como elemento de referencia técnica del sector, tanto para los propios asistentes como para aquellos profesionales que no puedan acudir a la celebración de las jornadas. Este hecho nos consta que ha resultado de gran utilidad por el grado de consultas y referencias que se realizan a las publicaciones llevadas a cabo a lo largo de las seis ediciones precedentes del Congreso, por lo que el libro que ahora presentamos se convertirá, a buen seguro, en un elemento de referencia técnica en los próximos años.

A día de hoy, podemos decir que somos casi cuatrocientos socios, entre individuales y corporativos, los que formamos parte de la ATPYC, configurándonos como la Sección Nacional de PIANC más numerosa y, sin ninguna duda, una de las más activas en cuanto participación, organización de actividades y generación de documentación técnica a nivel mundial. Este hecho no deja de ser un fiel reflejo del nivel que la tecnología española en los sectores portuario y costero ha adquirido en las últimas décadas. Y es que nuestros profesionales y empresas se han configurado como un referente europeo y mundial en la planificación, diseño, construcción y explotación de obras e instalaciones marítimas, particularmente apoyados por la experiencia acumulada a lo largo de estos últimos años en los que el Sistema Portuario de Titularidad Estatal ha experimentado una transformación física sin precedentes, con desarrollos en prácticamente todos los puertos que de él forman parte, algunos de ellos suponiendo un reto técnico de primera magnitud por su dimensión, por la profundidad a la que se desarrollan y por las condiciones de clima marítimo a las que han debido enfrentarse. Y en esta línea de excelencia debemos seguir profundizando en los próximos años, sin ningún género de dudas.

La celebración de nuestro séptimo Congreso Nacional conjuntamente con la cuarta edición de los “Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering” de PIANC se configura como una extraordinaria oportunidad de transmisión de conocimiento entre los profesionales de distintos países en las materias de interés de la Asociación. Un evento organizado a través de la colaboración y el trabajo conjunto entre las Secciones Nacionales de Italia, Francia y España, pero que está abierto a la participación de otros países miembros de PIANC, como demuestra la procedencia de diversos ponentes y congresistas, y que aspiramos a que en futuras ediciones se abra nuevos países, particularmente los situados en la ribera norte de la costa africana, que si bien muchos de ellos aún no son miembros de PIANC, a buen seguro están llamado a serlo en un futuro, y en los que contribución tecnológica española y europea puede configurarse como una factor decisivo en lo que a su desarrollo infraestructural se refiere. Un evento este de los “Meddays” que se ha convertido en un referente para PIANC como elemento de cooperación en el ámbito regional, y que ya se está replicando en otras zonas del mundo, habida cuenta del éxito obtenido, y que tendrá continuidad en las próximas ediciones a celebrar en Italia y Francia como parte del acuerdo alcanzado para tal fin entre las tres Secciones Nacionales.

Para esta edición se ha elegido como título y elemento principal de desarrollo de las ponencias el lema “Working with Nature”, sobre el que versarán una parte importante de las ponencias y presentaciones a desarrollar durante el Congreso y que forman parte del presente libro. Una filosofía implantada y por la que viene apostando PIANC que trata de superar el tradicional concepto correctivo, e incluso podríamos decir que también predictivo, que se ha dado al tratamiento de los aspectos ambientales, para considerar a éstos como un elemento de primera magnitud en la toma de decisiones de los gestores en el ámbito portuario y marítimo, de tal forma que nuestra actividad se integre de la manera más eficiente posible del entorno que nos rodea. Una visión entendemos que avanzada de entender la sostenibilidad como elemento fundamental que toda sociedad moderna demanda como pilar de su desarrollo futuro.

No quiero terminar sin agradecer a la Autoridad Portuaria y a la propia ciudad de Sevilla su disponibilidad, compromiso y colaboración para actuar como anfitrión de esta edición del Congreso Nacional de la ATPYC y de los Mediterranean Days. Un apoyo indispensable para que este evento se haya podido celebrar y mostrar a la comunidad internacional la capacidad de España, tanto desde un punto de vista técnico como organizativo en una sede, Sevilla, que permite aunar ambos aspectos con una incuestionable garantía de éxito.

**Ornella Chacón Martel**

*Presidenta de Puertos del Estado*

*Presidenta de Honor de la ATPYC*

*Primera Delegada de la Sección Nacional Española en PIANC*

# Índice

	<u>Página</u>
Hacia un modelo portuario sostenible: Plan Estratégico del Puerto de Sevilla 2025 <i>Ángel Pulido Hernández</i>	11
Presentation of PIANC WG 176 report: A guide for Applying with Nature to Navigation Infrastructure Projects ..... <i>Paul Scherrer, Víctor S. Magar</i>	19
Sustainable management of ports, estuaries and coastal front by applying the PIANC Working-with-Nature WwN Philosophy - Showcases having the WwN Certificate of Recognition ..... <i>Elmar Fuchs</i>	29
De la sostenibilidad a la gestión adaptativa del proyecto de dragados de mantenimiento en la ría de Guadalquivir ..... <i>Antonio Bejarano Moreno</i>	39
Building with Nature - An alternative engineering approach for sustainable port development ..... <i>F. van der Goot, J. S. M. van Thiel de Vries</i>	53
Trabajando con la Naturaleza-Desarrollo Sostenible de Infraestructura Náutica para Recreación y Turismo ..... <i>Esteban L. Biondi</i>	63
Proyecto LIFE REMoPaF. Recuperación del molusco <i>Patella ferruginea</i> en peligro de extinción ..... <i>Natalia García Estévez, Carmen Pitarch Moreno, Manuel Maestre Delgado, Patricia Fort Santa María</i>	75
Offshore Urban Extension in Monaco: The "Anse du Portier Project" ..... <i>Pierre Aristaghes, Valérie Blanchet, David Compte, Antoine Weulersse</i>	85
La transformación del entorno puerto-ciudad en el Puerto de Eivissa..... <i>J.C. Plaza Plaza, A. Ginard López, J. Jiménez Buedo</i>	99
Construcción de marinas en zonas de alta sensibilidad ambiental, casos de estudio <i>Manuel González Moles, Ozgur Unay Unay, Víctor Jiménez García</i>	107



Importancia de los aspectos ambientales en las obras del acceso ferroviario a la Dársena de Escombreras .....	125
<i>Fermín Rol Rol, José María Gómez Fuster, María José Barahona Moreno, Pedro Arenas Jiménez, Antonio Gómez Gómez, Jonás Sánchez Méndez</i>	
Proyecto y ejecución de nuevos pantalanés de atraque en Las Palmas .....	135
<i>Noelia González Patiño, Jaime Cabrera del Pino, Daniel Pérez Zúñiga, David Barrio Colongues</i>	
Seismic analysis of anchored sheet piles .....	147
<i>B. Even, E. Kapornyai, C. Prum, H. Zillgen, X. Ametller, A. Falqués, H. Pera, A. Sanmartín</i>	
Sistema Pilote-Lámina. Una alternativa innovadora y sostenible para la construcción de infraestructuras portuarias .....	159
<i>E.F. García García, A. Castro Ponte, C. Núñez Temes, G. Iglesias Rodríguez</i>	
Application of the IH2VOF numerical model to evaluate forces on (Flood)Walls and buildings by wave overtopping .....	169
<i>S. De Finis, A. Romano, G. Bellotti</i>	
Análisis de las Condiciones Límite de Permanencia de Buques Atracados en el Pantalán de CEPSA (Algeciras). Medidas de Campo y Modelo de Predicción .....	179
<i>José Ramón Iribarren, Juan Pablo Pérez, Ricardo Pulido, Juan Carlos Carmona, Victoria Martínez, Eva Herradón, Raúl Atienza</i>	
Proyecto AIRIS-PS para la implementación completa del RIS (River Information Services), en el Puerto de Sevilla y en la ría del Guadalquivir.....	191
<i>P. S. Vila, A. Pulido, C. Willems, A. Yanes, A. Torralba</i>	
Gestión ambiental de dragados en el Puerto de Huelva .....	201
<i>Alfonso Peña López-Pazo, Rocío López Picón</i>	
Dragado del Puerto de Cariño. Caso de gestión de materiales de categoría C con anomalías geoquímicas .....	207
<i>Juan Antonio Rodríguez Pardo, Guillermo Bouza Bouza, Ágata Taboada de la Calzada</i>	
Gironde XL: an example of how estuarine scientific research can improve dredging and navigation operations in ports .....	219
<i>Fabrice Klein, Alain Fort, Aldo Sottolichio, Alexis Beudin, Giovanni Mattarolo, Cedric Goeury Angélique Ponçot, Jean-Philippe Argaud, Sylvain Orseau, Fatima Chabi, Pablo Tassi, Nicolas Huybrechts, Hassan Smaoui, Vanessya Laborie, Romain Leroux, Sébastien Barthelemy, Mohamed Ali, Sami Kaidi, Emmanuel Lefrançois</i>	
Estudio pluridisciplinar del estuario del Guadalquivir: hacia una gestión integrada con criterios de sostenibilidad ambiental.....	231
<i>José Carlos García-Gómez</i>	

Técnicas medioambientales en áreas marítimo-fluvial: aplicaciones prácticas en el Delta de l'Ebre y Delta del Llobregat..... <i>J. Galofré, M. Roset</i>	241
Los pequeños salientes costeros y su diseño formal con el paisaje..... <i>Ana María Castañeda Fraile</i>	253
Towards green ports through the integration of renewable energies ..... <i>Javier Abanades, José Landete, Javier Ivars, David López</i>	265
Refuerzo Dique de Abrigo del Puerto de Bermeo ..... <i>Saioa Rezabal, L. Ignacio López de Aguilera, Néstor Urrutxua, Alberto García</i>	275
Servicios climáticos para operaciones marinas en parques eólicos offshore (climate services marine operations in offshore wind farms, CliSMO) ..... <i>J. Ortiz-Angulo Cantos, O. Sainz López, I. J. Losada Rodríguez, C. Izaguirre Lasca, A. Piedra Sisniega, C. Fernández González</i>	283
Occurrence of time clustering of wave storms in the Mediterranean Sea: a spatial analysis ..... <i>A. Romano, G. Besio, R. Briganti, L. Mentaschi, P. De Girolamo</i>	287
Report of MarCom WG 161 - Interaction between offshore wind farms and maritime navigation..... <i>Jean-Charles Cornillou</i>	299
Webgis platform for seismic risk assessment of maritime port systems in Italy ..... <i>Francesca Bozzoni, Carlo G. Lai, Paolo Marsan, Daniele Conca, Antonino Fama</i>	309
Sustainable steel solutions for port infrastructure ..... <i>João Martins</i>	319
Combinación de estudios geofísicos y geotécnicos para la obtención de un modelo del terreno en la zona sur de Isla Verde (Puerto de Algeciras)..... <i>Amadeu Deu, Xavier Martí, Norma Pérez, Marcelo Devincenzi, Andrés Barranco</i>	327
Nueva herramienta para el diseño de puertos: sistema de modelado portuario. Módulo infraestructuras (SMP v0) ..... <i>Antonio Tomás, Gabriel Díaz-Hernández, Javier L. Lara, María F. Álvarez de Eulate, Alejandro González</i>	335
Port of Manzanillo: Climate Risk Management ..... <i>Chris Coleby, Antonio Cerezo</i>	347



# Hacia un modelo portuario sostenible: Plan Estratégico del Puerto de Sevilla 2025

Ángel Pulido Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Director de la Autoridad Portuaria de Sevilla

## PLAN ESTRATÉGICO 2025

### Puerto de Sevilla, el mar en el corazón de Andalucía

Bajo el lema 'Puerto de Sevilla, el mar en el corazón de Andalucía', la Autoridad Portuaria de Sevilla (APS) ha elaborado el Plan Estratégico que marcará el futuro del Puerto en el horizonte 2025. Se trata de un documento maestro en el que la competitividad, la eficiencia operativa y la transformación digital son, junto a la excelencia ambiental en las operaciones, los ejes sobre los que se apoya la mejora del posicionamiento de este enclave.

Este Plan está orientado a:

- facilitar el papel del Puerto de Sevilla como un proveedor de servicios portuarios, espacios e infraestructuras bajo un esquema de funcionamiento como "landlord avanzado",
- promover el desarrollo de un clúster logístico e industrial en el Puerto ofreciendo capacidad logística, espacio y multimodalidad,
- fomentar el desarrollo tecnológico y la innovación como factores clave para garantizar la competitividad del Puerto,
- organizar la Autoridad Portuaria de Sevilla como una estructura empresarial eficaz, orientada a la prestación de servicios, a la comercialización y al desarrollo de negocio desde un punto de vista sostenible,

- y reforzar la integración del Puerto en la sociedad, tanto en su faceta de herramienta para el desarrollo económico, como en la dimensión social y ambiental.

La localización geográfica del Puerto de Sevilla, situado en la principal metrópoli del sur peninsular, y su configuración como puerto marítimo de interior enclavado en el valle del Guadalquivir suponen los elementos más relevantes a la hora de definir la estrategia a seguir, siendo especialmente pertinente el criterio ambiental. Así, su situación permite un transporte más sostenible, al llegar el buque al interior del territorio se reduce el transporte por carretera, minimizando las emisiones y, por tanto, la huella de carbono de las cadenas de transporte. Por otro lado, su ubicación en el corazón de la ciudad y la navegación a través del estuario requieren la implantación de pautas innovadoras que garanticen el desarrollo portuario en un marco de respeto ambiental; en el que el modelo “Working with nature” es de plena aplicación.

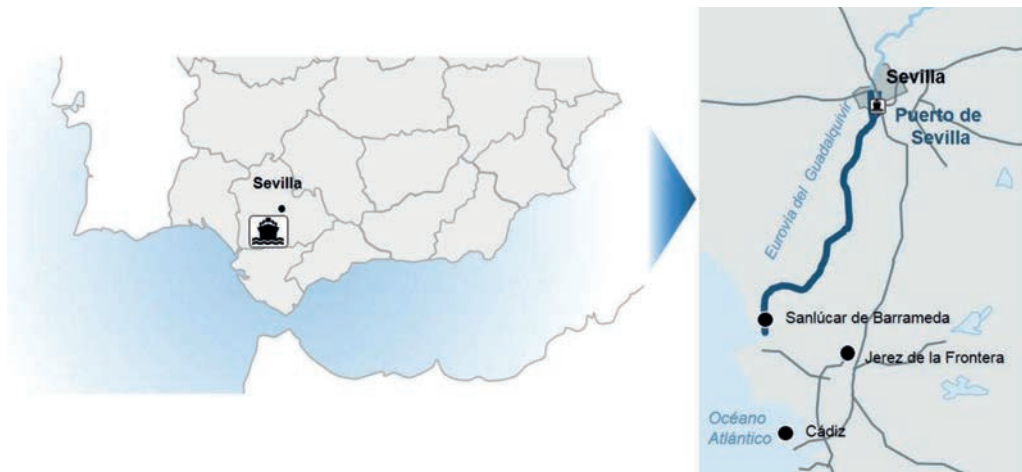
## Análisis y diagnóstico

La primera fase de elaboración del Plan Estratégico consiste en la evaluación del potencial de desarrollo del Puerto de Sevilla en base a sus capacidades, condiciones de competitividad y gestión interna, así como las condiciones del entorno y la competencia. Como conclusión de este diagnóstico interno y externo, se pueden establecer que los principales factores que caracterizan al Puerto son los siguientes:

- se encuentra situado en una de las principales áreas metropolitanas del país, con más de 1,5 millones de habitantes en el entorno, y en el centro generador de carga del sur peninsular;
- su carácter de puerto marítimo de interior implica condicionantes en la tipología de buque y en la navegabilidad
- está ubicado en un entorno altamente competitivo en un radio no superior a los 150 km,
- dispone de una amplia superficie para el desarrollo logístico e industrial
- y es un puerto completamente multimodal con muy buena conectividad terrestre.

Además, el Puerto de Sevilla es una infraestructura estratégica para la Unión Europea. Constituye un nodo principal de la Red Básica (Core Network) y forma parte del corredor Mediterráneo de la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T), así como la vía navegable del Guadalquivir, que ha sido propuesta para el corredor Atlántico dada la gran importancia que suponen para Europa las vías navegables de interior.

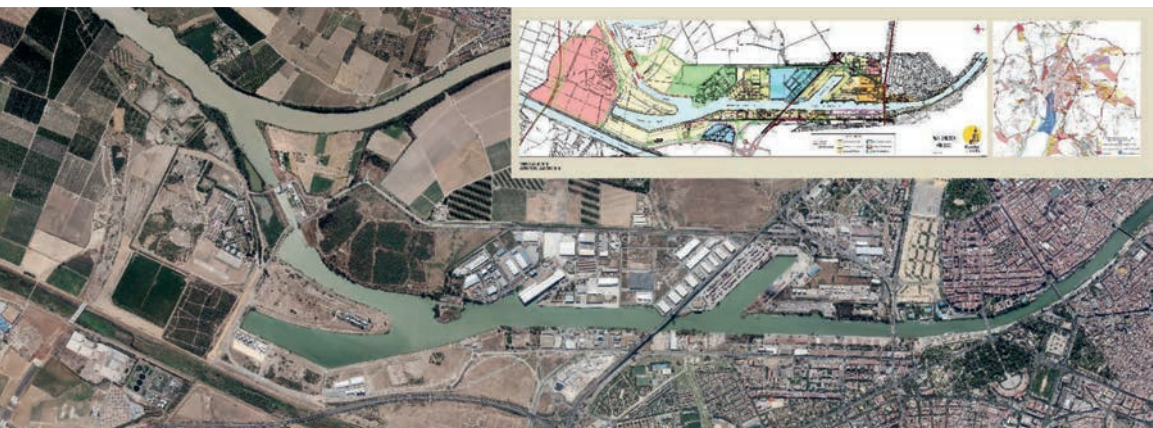
Respecto a los espacios y usos portuarios, el Puerto cuenta con 8 áreas para la gestión comercial de tráficos (5 terminales concesionadas y 3 muelles públicos). También tiene una extensa zona logística e industrial ya desarrollada y dispone de suelo bien conectado para la implantación de nuevas empresas, así como de una terminal de cruceros.



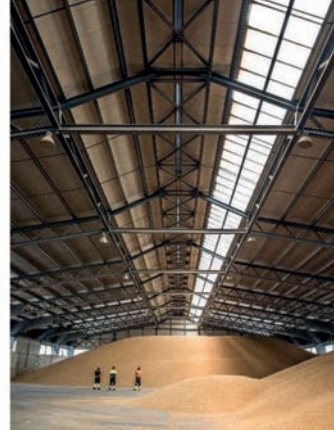
En cuanto a su posicionamiento competitivo actual, a pesar de la fuerte competencia, el Puerto mantiene una posición de fortaleza en los tráficos relacionados con los principales sectores productivos y logísticos de la región, habiendo conservado tráfico y cuota de mercado en los últimos 10 años.

En concreto, es referente en el movimiento de cereales y abonos, es el principal puerto de operación de dos plantas siderúrgicas y uno de los principales nodos logístico de conexión peninsular con las Islas Canarias; tanto para el área de Andalucía como para el centro peninsular a través de los corredores ferroviarios, principalmente con Madrid.

El Puerto de Sevilla es, también, un espacio de oportunidad para el desarrollo económico. A la gran disponibilidad de superficie, se suman las buenas condiciones en cuanto a multimodalidad y microaccesibilidad, contando ya con espacios productivos consolidados tales como la Zona Franca y los terrenos del antiguo Astillero, en el que hay im-



<p>Traficos estratégicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenedor Canarias</li> <li>• Agroalimentario</li> <li>• Siderúrgico</li> </ul>	<p>Oportunidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión hubs</li> <li>• Carga de proyecto</li> <li>• Biomasa</li> </ul>	<p>Otros traficos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquidos</li> <li>• Cemento</li> <li>• Minerales</li> </ul>
------------------------------	---	----------------------	---	-----------------------	--



plantadas numerosas actividades de diversos sectores productivos (agroalimentario, metalmeccánico, químico, industria auxiliar, etc.).

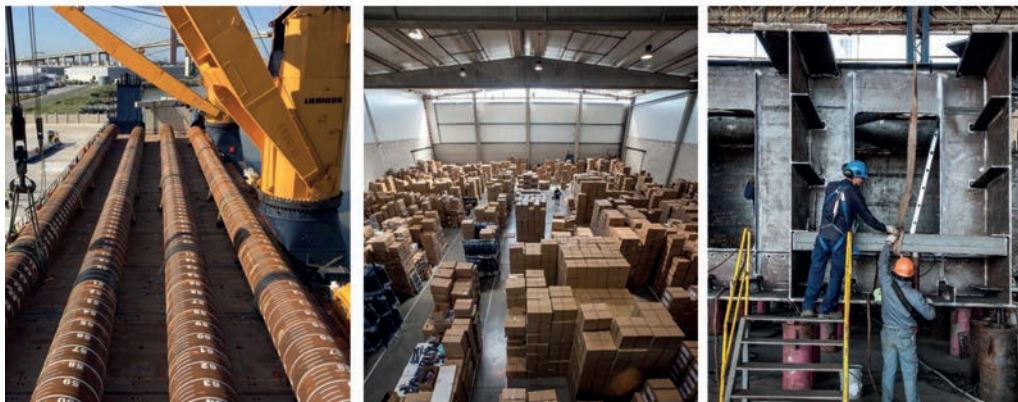
Asimismo, dentro del espacio portuario se encuentra la principal Zona de Actividades Logísticas (ZAL) de Andalucía con más de 135.000 metros cuadrados de naves polivalentes, dedicadas al almacenamiento y distribución a todo Andalucía, Extremadura, Islas Canarias y norte de África, estando adaptadas a los nuevos requerimientos derivados del e-commerce.

En este sentido, el impacto del Puerto de Sevilla en la región se mide con las cerca de 200 empresas que hay en torno a él, tanto portuarias como dependientes; las cuales han generado más de 20.000 puestos de trabajo. El impacto sobre la economía de dicha industria portuaria y de la dependiente del Puerto supera los 1.100 millones de euros. Esto supone el 3% del PIB de la provincia de Sevilla y casi el 1% del de la Comunidad Autónoma andaluza.

Finalmente, el desplazamiento de la actividad portuaria convencional hacia el sur permite liberar el potencial de nuevos espacios para convertirlos en un nuevo distrito urbano-portuario, en el que se integren las actividades ciudadanas con usos portuarios compatibles como cruceros o la náutica deportiva.

En cuanto al análisis del entorno, además de las condiciones de competitividad respecto a otros enclaves portuarios cercanos, es fundamental identificar las tendencias en el sector marítimo – portuario tales como la digitalización y la innovación (smart port), y las tendencias económicas, como la economía circular, la transición hacia energías limpias y la industria 4.0.

- |                                    |   |                            |  |
|------------------------------------|---|----------------------------|--|
| Sectores industriales estratégicos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metalmecánico</li> <li>• Energías renovables</li> <li>• Bio-Industria y reciclaje</li> </ul> | Segmentos logísticos clave | <ul style="list-style-type: none"> <li>• E-commerce (y courier)</li> <li>• Gran distribución a Canarias y regional</li> <li>• Operadores logísticos</li> </ul> |
|------------------------------------|---|----------------------------|--|



Por otro lado, dada la singularidad de Sevilla en el entorno nacional se han estudiado otros modelos portuarios similares en cuanto a su carácter marítimo-interior, como Amberes, Gante o Hamburgo; identificándose una evolución del modelo portuario hacia un espacio productivo, que, sin renunciar a la función como hub de transporte, refuerza su papel como complejo industrial y nodo logístico de servicios añadidos, incrementando las actividades vinculadas al turismo y al ocio. Aplicando este enfoque sectorial integrado al Puerto de Sevilla, se identifican las sinergias entre las actividades productivas y los tráfic​os portuarios actuales y futuros, tal y como queda recogido en el siguiente diagrama:





## Formulación estratégica

Este análisis, compartido con la Comunidad Portuaria, ha servido de base para la definición de la estrategia futura del Puerto de Sevilla, condensada en la visión, líneas estratégicas y objetivos.

**“El Puerto de Sevilla aspira a consolidarse como nodo portuario multimodal de referencia, motor del principal clúster logístico e industrial del sur peninsular, activo de valor para la ciudad e impulsor del estuario”**

Esta visión, se concreta en tres ámbitos:

- I. asegurar la competitividad del Puerto y optimizar sus fortalezas,
- II. posicionarlo como uno de los principales centros de desarrollo económico de Andalucía;
- III. convertirlo en un elemento generador de valor urbano, turístico y ambiental para Sevilla.



El Plan Estratégico del Puerto de Sevilla define una serie de líneas estratégicas. Las tres principales son:

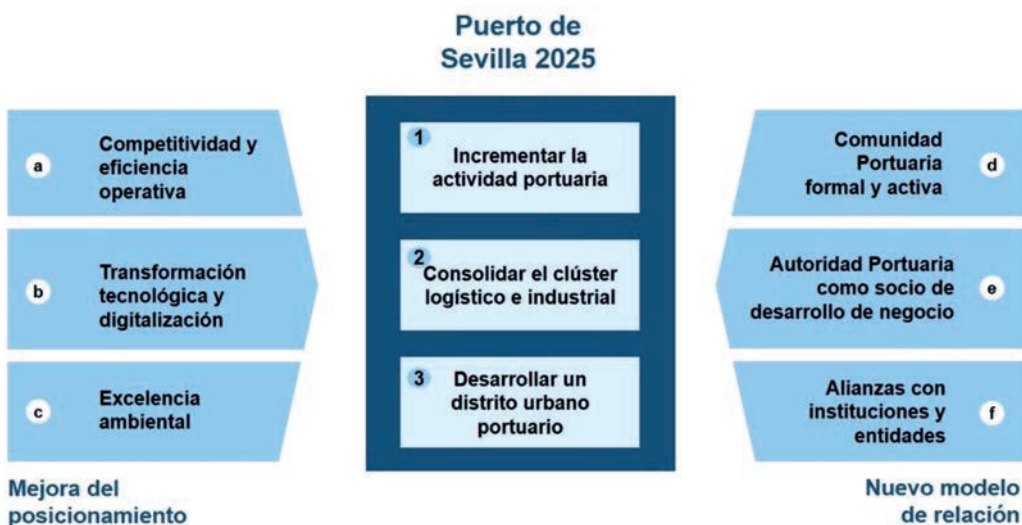
- incrementar la actividad portuaria, tanto en los tráficos más relevantes del puerto (agroalimentario, siderúrgico y contenedores), como en las nuevas oportunidades (biomasa, project cargo, etc.),



- consolidar el clúster logístico e industrial apostando especialmente por aquellas actividades con sinergias con el tráfico portuario,
- y desarrollar un nuevo distrito urbano portuario en el que se integren las actividades ciudadanas con usos portuarios compatibles como cruceros o la náutica deportiva.

Para ello, es necesario incidir en la mejora del posicionamiento del Puerto, incrementando la coordinación entre la gestión de la vía navegable y las operaciones en muelle para optimizar la operativa como “puerto de marea”, incidir en la digitalización y la transformación tecnológica como medio para incrementar la eficiencia del paso de la carga por el puerto y la productividad de los equipos e infraestructuras y la utilización de equipos puerto, especialmente en aquellos aspectos que resultan críticos (vía navegable, terminales o ferrocarril) y apostar por la excelencia ambiental como seña de identidad del puerto, alineando el concepto de “Puerto industrial” con el de “Puerto Verde”.

De forma transversal, el Plan apuesta por establecer un nuevo modelo de relación: formalizando una Comunidad Portuaria activa, transformando la Autoridad Portuaria en un socio de desarrollo de negocio de esta Comunidad y reforzando la integración del puerto en la sociedad a través de instituciones y entidades.



A partir de las 9 líneas estratégicas el Plan establece una serie de objetivos que abarcan todos los aspectos del negocio portuario y que se materializan a través de ejes de actuación. Estos objetivos están recogidos en la siguiente gráfica:



La Autoridad Portuaria de Sevilla aspira a consolidar el Puerto de Sevilla como un nodo portuario multimodal de referencia, promotor del principal clúster logístico e industrial del sur de la península y gran activo de valor para Sevilla y su entorno. Ante este horizonte, la Institución portuaria afrontará los próximos años con el compromiso de desarrollar el gran potencial del Puerto y seguir creciendo en logística, industria, empleo, innovación, tecnología, etc. Todo bajo el marco de la sostenibilidad y trabajando sobre la excelencia ambiental en las operaciones portuarias como medio para ser más competitivos y eficientes.

# Presentation of PIANC WG 176 report: A guide for Applying with Nature to Navigation Infrastructure Projects

Paul Scherrer<sup>1</sup>, Victor S. Magar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Former Deputy General Manager at Port of Le Havre Authority, PIANC First Delegate for France and French representative to ENVICOM, Mentor of WG176 pscherrer76@gmail.com

<sup>2</sup> Ramboll, Chicago IL, USA, Chair of WG 176, vmagar@ramboll.com

## ABSTRACT

PIANC's Work Group (WG) 176 on Guidance on Applying Working with Nature to Navigation Infrastructure Projects, was tasked in 2014 by PIANC to prepare guidance that raises awareness of natural ecosystems, inspires the navigation infrastructure community to embrace natural systems design, and promotes expanded acceptance of the Working with Nature (WwN) approach.

The guidance on how to apply the Working with Nature paradigm provides a basis for maximizing opportunities for working with natural processes, taking full advantage of stakeholders engagement and delivering environmental restoration and enhancement outcomes that go far beyond merely avoiding or just compensating environmental impacts.

The report is giving guidance for the complete process of navigation development and has therefore added two more steps to the WwN position paper issued in 2011, which was more concentrated on design process.

The report is also providing a selection of case studies to illustrate how WwN applies to navigation infrastructure projects, identifying associated tools, steps, and practices.

## INTRODUCTION

WwN is an integrated approach that pursues win-win solutions for navigation infrastructure projects and the environment through careful consideration of natural processes,

ecosystem impacts, stakeholder engagement and strategies to maximize opportunities for navigation and nature. Before being implemented, most maritime infrastructure projects must undergo extensive environmental, socio-economic and cultural impact evaluations demonstrating avoidance, minimization, or mitigation of impacts. WwN goes beyond impact avoidance or mitigation and looks for opportunities to integrate nature into project designs, thus creating added value for the project and the environment. As with most contemporary decision-making processes, the WwN philosophy combines social, environmental, and economic considerations into decision making, providing an integrated approach to project development and management. WwN offers an opportunity to design projects with greater holistic integration within the natural environment to secure timely authorizations from regulators.

There are numerous ways in which WwN can be implemented, from altering the surface or texture of submerged structures and thus creating or expanding aquatic habitats, to using natural systems such as islands, marshlands and mangroves, to protecting nearshore environments from severe storm events. The thoughtful implementation of WwN should be aligned with nature, while helping project proponents and environmental stakeholders achieve long-term infrastructure and environmental goals (PIANC position paper 2008-2011). This Guide for Applying Working with Nature to Navigation Infrastructure Projects discusses WwN in the context of navigation infrastructure, specifically, integrating natural systems and engineering.

For many of those involved with the development and design of waterborne transport infrastructure (e.g., environmental scientists, engineers, project owners and decision makers), WwN is a relatively new paradigm. WwN aims to maximize opportunities to work with natural processes to deliver environmental outcomes that go beyond merely avoiding or compensating for environmental impacts.

While WwN can be contemplated during all phases of a project, it should ideally be considered early in the development of navigation infrastructure projects, when flexibility is maximal. By maintaining a determined and proactive approach from a project's conception through to its completion, opportunities can be maximized and importantly, frustrations, delays, and unnecessary costs can be reduced.

WwN is fundamentally a philosophy determining the way a navigation infrastructure project is developed. It also involves design and project planning, project implementation, ecosystem and performance monitoring, and adaptive management. The adaptive management component recognizes that navigation projects rely upon learning and adaptation to optimize project outcomes, including reducing energy use and protecting the environment.

WwN requires a subtle but important evolution in the project development approach, by moving beyond the conventional approach of minimizing ecological harm to focus

on two new goals; aligning project objectives with existing ecosystem functions and identifying win-win solutions that optimize ecosystem, social, and economic benefits.

As economic growth translates into a global increase in trade and the associated need for new and more efficient waterborne transportation infrastructure persists, the knowledge and experience gained from past successes and failures provide a fresh perspective on infrastructure developments. Adhering to national and international environmental legislation requires an understanding of the impact of infrastructure on ecosystems. Non-governmental organizations (NGOs), stakeholders, financial institutes and local communities also demand such awareness. Despite significant progress made in recent years, current approaches to designing and constructing infrastructure typically result mostly in efforts to mitigate for environmental loss. Such approaches are not sustainable.

The issue of sustainability is even more pertinent when we consider that world population and economic growth requires increased infrastructure expansion and upscaling, which places continuous and rising pressures on the natural environment. Environmental challenges ranging from local habitat loss, to the transformation of regional ecosystems, to global climate change, require creative solutions that develop infrastructure in the context of natural ecosystems, so that both may be managed effectively.

WwN thinking can inform the delivery of better environmental protections and enhancements while promoting economic development, reducing delays, and leveraging opportunities to provide local communities with highly sought amenity areas, recreational resources and improved landscape habitats.

## WORKING WITH NATURE APPROACH

WwN offers a framework to align new construction, or to rehabilitate existing infrastructure, with natural processes. This approach serves to:

- Enhance ecosystem viability and resilience.
- Minimise negative anthropogenic impacts to the environment.
- Maximize chances of acceptability by whole surrounding community.

A holistic understanding of ecosystem structures and processes makes it possible to minimise ecosystem degradation and enhance ecosystem functions on a local, regional or watershed scale. Table 1 identifies the environmental, social, and economic benefits that different interest groups could derive from the WwN approach.

Opportunity	Project Proponent	Environmental Interests (Regulators & NGOs)	Community Interests
Environmental	<p>Better environmental integration by avoiding or reducing environmental impacts during design, and reducing mitigation obligations to residual impacts.</p> <p>Improved environment that provides additional ecological services.</p> <p>Improved economics through better understanding and management of the long term environmental effects.</p>	<p>Environmental improvements and increased services.</p> <p>Better understanding of project impacts on the environment and how to leverage the project to improve the environment.</p>	<p>Improvement of the natural environment.</p> <p>Potential for creation of new recreational features linked to the environment.</p>
Social	<p>Better community acceptance of projects.</p>	<p>Possible identification of Win-Win opportunities for stakeholders.</p> <p>Provide better engagement with regulatory authorities, NGOs, the public, and other stakeholders.</p>	<p>Create and identify win-win opportunities.</p> <p>Greater acceptance of port and navigation projects. Less potential for public obstruction if the community understands the public benefits of the project, and how the project protects and possibly enhances environmental features.</p> <p>Better and more engagement of stakeholders, and, through this, improved social cohesion.</p> <p>Better understanding of community interests, leading to better integration of community goals. More active community engagement.</p>
Economics	<p>Reduced risk of project interruptions to protect the environment.</p> <p>Environmental benefits can support a wide range of funding opportunities.</p> <p>Potentially lowered costs, especially during construction and maintenance.</p> <p>More streamlined permitting/ approval.</p>	<p>Potential cost reductions through accelerated permitting and regulatory approvals, avoidance of unintended environmental impacts, greater public acceptance.</p> <p>Potential for funding.</p>	<p>Streamlined construction through community involvement.</p> <p>Aligned community and port / navigation interest, leading to more efficient design.</p> <p>Long-term economic gains through improved Ecosystem Services and development of new business opportunities.</p>

Table 1: Project, environmental, and community benefits associated with WwN (Extract from WG176 report)

## Relevance to Navigation Infrastructure

For navigation infrastructure projects, WwN addresses concerns such as port developments, river and coastal channelization, dredging and dredged sediment management and management of sedimentary environments, including wetlands, coastal dunes or beaches and barrier islands. WwN can help to limit or offset habitat loss associated with infrastructure development or to design projects to align navigation infrastructure with natural processes in sedimentary environments. In some cases, such alignments can help minimise continuous maintenance requirements especially regarding dredgings, particularly in hydrodynamic environments subject to severe weather events.

Fundamentally, all projects must work with nature to some extent. WwN strategies can reduce energy associated with construction or maintenance (thus providing an opportunity to reduce greenhouse gas emissions), increase habitat functionality and otherwise enhance the short- and long-term delivery of ecosystem services associated with project requirements. Often, there is no single WwN solution for navigation and waterborne infrastructure projects, but rather a range of options with different degrees of environmental enhancement.

WwN objectives are region-specific, site-specific, and project-specific with respect to hydrologic, ecological, economic, and social conditions. Project objectives should be defined in terms of socio-economic benefits and in terms of the ecosystem services that they provide. Those services can be compared to lost services associated with the project work or implementation of the work. Thus, project objectives not only focus on minimising environmental and ecological harm, including environmental impacts associated with construction or with the completed project, but also on preserving or establishing a more natural environment, enhancing habitat functions where possible and improving aesthetics.

## WwN Framework

The basic steps of WwN, which supports the “United Nations Development Program (UNDP) Sustainable Development Goals”, are illustrated in Figure 1, and include mainly six steps:

- **Step 1. Establish Project Needs and Objectives.** Define desired goals and objectives, evaluate alternative actions and select strategies that are aligned with nature.
- **Step 2. Understand the Environment.** Understand natural forces and opportunities to work with nature for the whole area of the studied project.
- **Step 3. Make meaningful use of stakeholder engagement to identify Win-Win opportunities.** This has to be applied early in the project, when flexibility is still possible, to identify and exploit win-win solutions that are acceptable to both project proponents and environmental stakeholders.



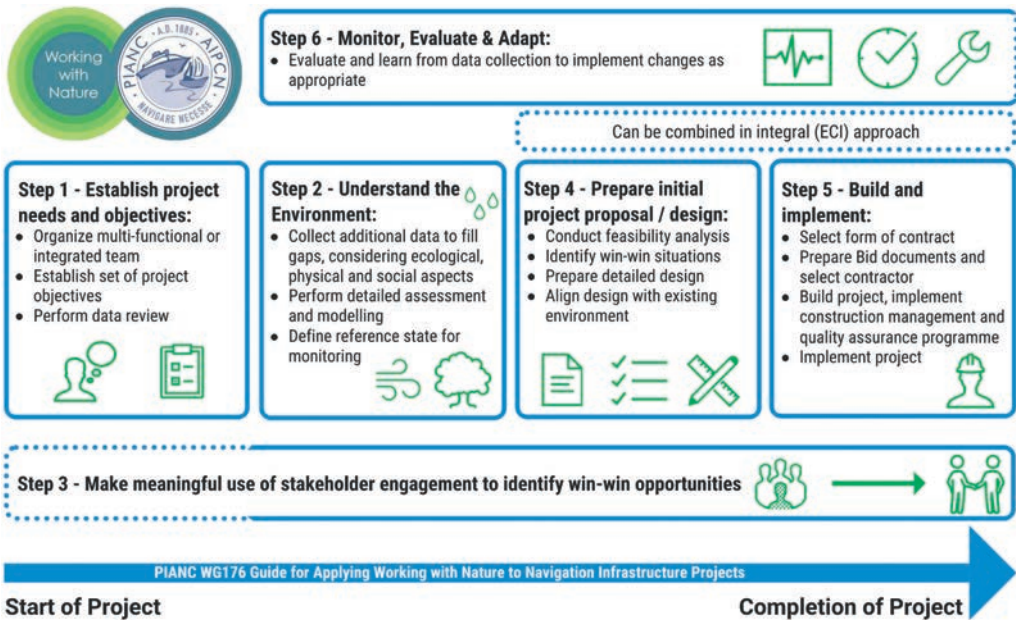


Figure 1: The Working with Nature Framework (As in WG 176 report).

- **Step 4. Project Design. prepare initial project proposals/design to benefit navigation and nature.** Identify design opportunities to work with (and not against) nature and explicitly demonstrate how WwN is incorporated into the project design.
- **Step 5. Build and Implement.** Implement the WwN design. Implementation must also benefit from the WwN philosophy, to minimise unintended consequences to the environment during construction.
- **Step 6. Monitor, Evaluate and Adapt.** Monitoring is a continuous process executed during multiple project phases. Similarly, WwN is a continuous process that requires monitoring and adaptation through corrective actions for continuous improvement.

To allow for future uncertainties, WwN requires flexible decision making that can be refined as outcomes from current and future projects are better understood. WwN involves developing and implementing a management plan that defines the project goals, periodically reviews progress towards those goals and implements corrective actions (and refines the plan) as needed in response to the outcomes of environmental monitoring.

WwN encourages consideration of site specific ecosystem characteristics during the project design phase, to achieve project objectives for the development, expansion or growth of ports and navigable waterways. Ideally, WwN requires development of a fully integrated approach with input in to the development of project objectives, and before design begins.

While it is possible to implement WwN at virtually all phases of a project, incorporating WwN applications during conception, design and early implementation, provides the most promising opportunities to affect positive outcomes for the environment. Greater effort is generally needed to introduce WwN concepts later in the design process, and those efforts may not be as effective as when WwN is introduced during project initiation.

## Content of WG176 Guide on WwN

The Guide for Applying Working with Nature to Navigation Infrastructure Projects is organized as follows:

- **Chapter 1, *Introduction***, introduces the WwN vision, and identifies the intended audience of the report, and provides considerations for economies in transition and developing countries.
- **Chapter 2, *Background***, provides background information on the WwN approach. The overall framework is introduced, along with beneficiaries of the WwN approach and potential challenges that project owners may face when implementing WwN—by recognizing opportunities and challenges, the hope is that project owners can proactively pursue WwN opportunities for their projects.
- **Chapter 3, *Context***, describes the context of when and where WwN may be implemented for port and navigation projects. Ports, waterways, and shoreline developments have traditionally relied on conventional infrastructure methods using dredging, steel, concrete or stone for armouring and shoreline protection. WwN recognizes the opportunity to proactively integrate nature into large infrastructure projects to protect or improve natural habitat.
- **Chapter 4, *WwN Framework***, describes the WwN framework, outlining six steps identified in the WwN process, from understanding the environment to developing WwN approaches, and from public engagement to design, implementation, and monitoring. Each step is explained in the context of WwN, and how WwN can and should influence project visions and project management approaches.
- **Chapter 5, *Working with Nature Case Studies***, provides 12 independent case studies, providing examples of WwN. Each case study is outlined and presented in accordance with the six-step WwN process defined in Section 4. The 12 case studies are an integral component of this Guide. The case studies illustrate the variety of ways that WwN can be integrated into infrastructure projects to protect and enhance nature. Examples include:
  - Creation of wetlands and new habitat as part of large infrastructure projects.
  - Strategic dredged sediment in-water placement to create a variety of new in-water habitats.
  - Stabilization and upland placement as fill to create land for port expansion.

- In-river placement of sediment to promote the formation of islands that promote natural and targeted sediment accumulation, create new island habitats, and reduce sedimentation in the navigation channel by increasing river velocities.
- Leveraging of a new infrastructure development (e.g., tunnel construction across a waterway) to develop new shoreline habitat and recreation areas, including wetlands, beaches, and parks.

Each example reflects the cooperation among project owners (e.g., ports), governmental organizations, nature-based NGOs, and the public to promote sustainable alternatives that restore or create beneficial ecological habitat, improve dredge management alternatives (particularly through beneficial sediment use), reduce energy consumption, and improve stakeholder engagement.

## 2018 WwN Award presented during Panama World Congress

All three award winners for 2018 are included in the case studies. We give hereafter a short presentation of those three projects.

### 1<sup>st</sup> Place Award : Middle Harbour Port of Oakland (United States of America)



In 1998, the Port of Oakland acquired ownership of the US Naval Supply Center, a 200 hectare site adjacent to the Middle Harbour Basin and decided to open this Basin and shoreline space for implementing the Port's community and environmental restoration goals.

A 15 hectare park was created, providing public access to the shoreline and the Bay with benefits for nature education and beach recreation. At the same time 73 hectare of shallow water and eelgrass habitat was created by reuse of 5 million cubic metres of dredged material from the 10.7 million cubic metres Inner Harbour channel-deepening project.

## **2<sup>nd</sup> Place Award : Le Havre Port 2000 and Rehabilitation of Seine Estuary (France)**

The Port 2000 vision was to position Le Havre as a main gateway for the flow of containerised goods into Europe by creating a new port to accommodate the largest containerships with a simultaneous move towards the environmental rehabilitation of the Seine Estuary.

Today, the port has 3500 metres of heavy duty container quays for vessels of 16+ metres of draught, protected by a 5000 metres breakwater built in the estuary

Port 2000 has also included the development of new intertidal wetland (mudflat) which included: a groin, modification of low-crested breakwaters, and the dredging of a purely environmental channel (>1,5 million cubic metres). Two bird resting areas also were constructed, one on land using existing hunting ponds and one in the south of Seine Estuary with the creation of an artificial island made of sand and gravel from the port works.



### **3<sup>rd</sup> Place Award: Kalkense Meersen Cluster from Sigmaplan (Belgium)**

The primary objective of the updated Sigmaplan is to provide more effective flood protection. Consistent with the WwN approach, the updated Sigmaplan also incorporates strategies for restoration of important ecological features along the river. The updated Sigmaplan also focuses on the economic role of the Scheldt as one of Europe's busiest rivers for inland vessels. In the Kalkense Meersen Cluster, flood protection, minimizing of maintenance dredging and nature development were important goals.



## Sustainable management of ports, estuaries and coastal front by applying the PIANC Working-with-Nature WwN Philosophy - Showcases having the WwN Certificate of Recognition

Dr. Elmar Fuchs <sup>1</sup>

<sup>1</sup> German Federal Institute of Hydrology (BfG). fuchs@bafg.de  
German Representative PIANC EnviCom. Chair WwN Jury

### PIANC WORKING-WITH-NATURE

The PIANC Working-with-Nature (WwN) philosophy was introduced in 2008 and revised in 2011. It is adopted as PIANC's main goals and ambition to be advanced within the waterborne transport sector. In short, WwN promotes to plan and realize waterborne transport infrastructure projects (WTI) in a different order compared to the customary way. This means to i) establish projects needs and objectives, ii) understand the environment, iii) identify and involve stakeholders to find meaningful win-wins, and iv) prepare project design to gain benefit for both navigation and nature. Especially for the last step it is vital to make use of natural processes that help to reach the WTI targets. By doing so, project delays within compulsive legal processes (e.g. EIA) can be minimized, potentially required compensation can be reduced, beneficial win-wins can be realized (e.g. WTI, flood control, nature-conservation), at least positive societal recognition can be earned.

By nature, maintaining seaports for optimized operation of waterborne cargo transport facilities calls for more or less regular engineering activities like e.g. training of access channels or ensuring necessary draught of harbor basins. Sediment management and handling of dredged material are the most prominent measures. Both activities directly relate to interference with water bound environs and ecology. Both are made of estuaries and the coastal front where the adjacent most valuable and sensitive ecology (partly pro-

ected by law) is likely to be impacted. As a matter of course port expansion projects affect even more aspects of nature.

This fact calls for solutions which do not hamper or even destroy ecological elements but include them to obtain navigational or port related targets at the same time reducing costs for mandatory ecological mitigation or compensation.

WwN wants to i) reveal that it is possible to do so, ii) demonstrate this by real world showcases and iii) stimulate project proponents to apply this promising approach to generate win-wins for both navigation and nature.

To advance the application of WwN in practice, PIANC in 2011 launched the WwN Award which is granted on a four-yearly basis. The awarding procedure invites project proponents to submit their WwN projects to the PIANC WwN database. The projects are evaluated by an independent WwN Jury. If the jury perceives at minimum one realized element, the project is eligible to be granted the so called "WwN Certificate of Recognition". These projects then are potential candidates for the WwN Award. Pilot- or research-projects not being realized on an operational level but upholding elements of WwN can be honored with the so called "Supporter of WwN" status.

Regarding evaluation criteria some important elements for having successfully applied WwN are, that the projects:

- understand the environment where the project is to be realized,
- make use of natural processes (let nature do the work),
- create a net gain for biodiversity,
- create win-win-situations,
- create sustainability (also meaning reduced maintenance needed), and
- sufficiently involve stakeholders.

At this point is important to mention that projects which only illustrate the mitigation or compensation of environmental impacts will not qualify for WwN recognition or the WwN Award.

Since 2011, 34 projects have been submitted. The first WwN award was granted during the 33rd PIANC World Congress in San Francisco 2014, the 2nd Award has been given during the World Congress in Panama May 2018.

Among these projects a good portion cope with measures being realized along coastal fronts and estuaries often directly related to port operation and dredging activities. In the following a choice of such showcases having got the "WwN Certificate of Recognition" will be presented demonstrating how and which elements of WwN have successfully

been applied in harsh environs undergoing competing interests, rare spatial capacity, claims of urbanity, and valuable nature under tidal dynamics.

## SHOWCASES “WwN CERTIFICATE OF RECOGNITION”

For operating **Biloxi Harbor** (Federal State of Mississippi, USA) at the North-American Gulf Coast the 12-ft deep navigation channel needs ongoing maintenance dredging to support barge and vessel traffic into and out of the harbor. In the mouth of the Biloxi Bay the navigational access to harbor facilities, the inner lakes and backwaters is “protected” by a near offshore island, the 3.5 mile-long Deer Island. Storm events in the most recent past like Hurricane Katrina destroyed the island’s morphology and by that valuable ecological habitat like e.g. forested areas, marshes, or the sandy shoreline. To restore the ecological loss and to sustainably recover the protective function of the island dredged material - amongst others from the Biloxi Harbor Navigation Project - was used for that purpose. A breach was filled, the southern shoreline was restored, and marsh vegetation was planted. Coincidentally a 1 million cubic yard capacity lagoon specifically designed for the beneficial placement of fine-grained dredged material from navigation channels has been created. The benefits for the region were upgrading ecological significance, storm protection for the City of Biloxi, recreation opportunities for people, and economically feasible and environmentally acceptable opportunities for beneficial use of dredged material (see figure 1).

The project complies with some of the WwN criteria. It analyzed the environment before start, it created a net gain for biodiversity, it built win-win situations like e.g. storm protection, it created sustainability in terms of Deer Island’s eco-morphology as well as options for beneficially re-use of dredged material, and it extensively involved stakeholders by introducing collaborative partnerships.

This is why the project was granted the PIANC “WwN Certificate of Recognition”. The Project was carried out by the US Army Corps of Engineers, Mobile District.

To guarantee optimal and tide-independent access to the **Port of Antwerp** (Belgium) the navigation channel in the estuary of the River Scheldt opening to the North Sea has to be enlarged and maintained. An amount of nearly 14 Mm<sup>3</sup> is being generated by dredging activities. The estuary of the River Scheldt is a multiple channel system and the customary way of sediment management was to dispose sediment like e.g. dredged material in secondary channels. For the new project, this opportunity was not considered to be sustainable in terms of needed maintenance dredging and ecology. This is why the dynamics of the hydro-morphological dynamics and processes in the Scheldt estuary have extensively been analyzed before starting any work, including in situ disposal tests. The idea was to relocate dredged material near sandbars creating morphological structures



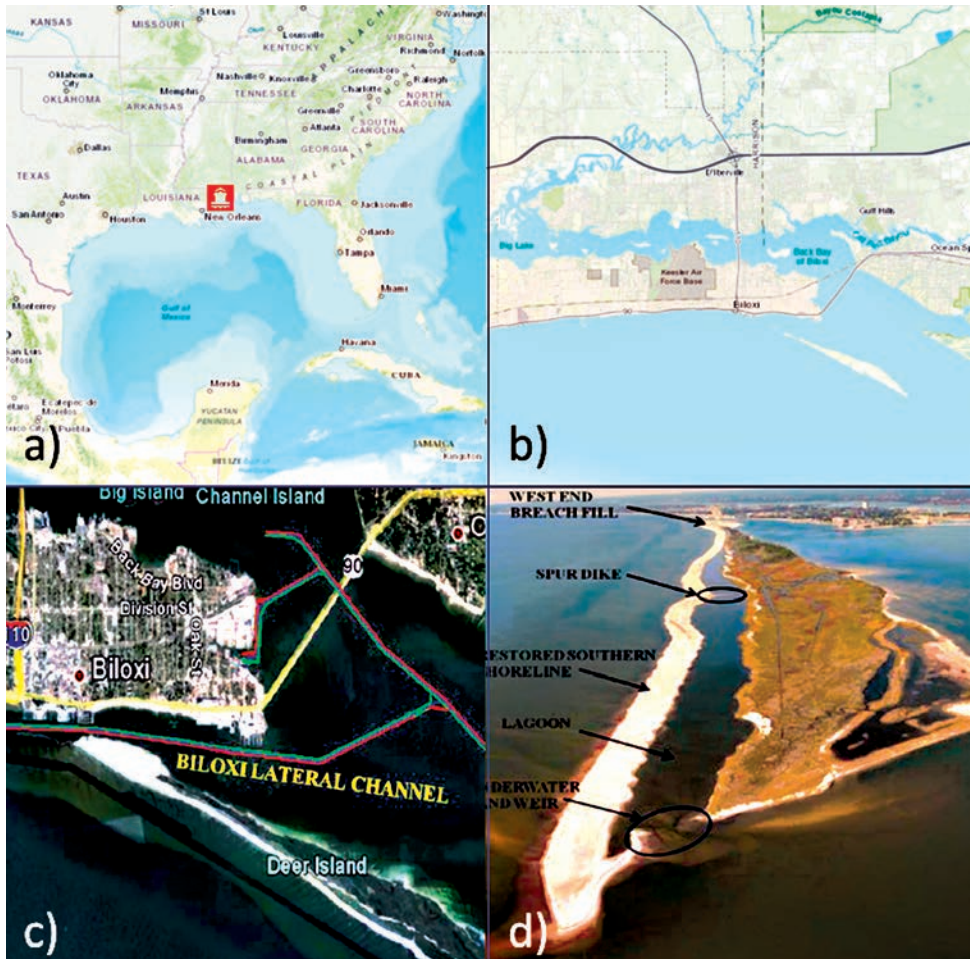


Figure 1: WwN project Biloxi Harbor, North American Gulf coast a) location, b) topographical details of location, c) aerial view of harbor and off shore island, d) ecological rehabilitation of Deer Island (sources: USACE, esri ArcGis World Topographic Map).

that influence the flow patterns and generate low dynamic ecological valuable habitats. In the end a hydro-morphological “self-maintenance” of the navigation channel resulting in less need for maintenance dredging is expected. Having performed model runs relocation strategies for four sites were developed taking into account local flows and sediment properties. Preliminary results of an extensive monitoring program could confirm envisaged positive results with influenced flow patterns that maintain the access channel not jeopardizing the multiple channel system. Likewise, valuable habitats have been evolved at deposition sites (see figure 2).

In this project especially the WwN criterion “make use of natural processes and let nature do the work” has been addressed and realized. This could only be successful as the en-

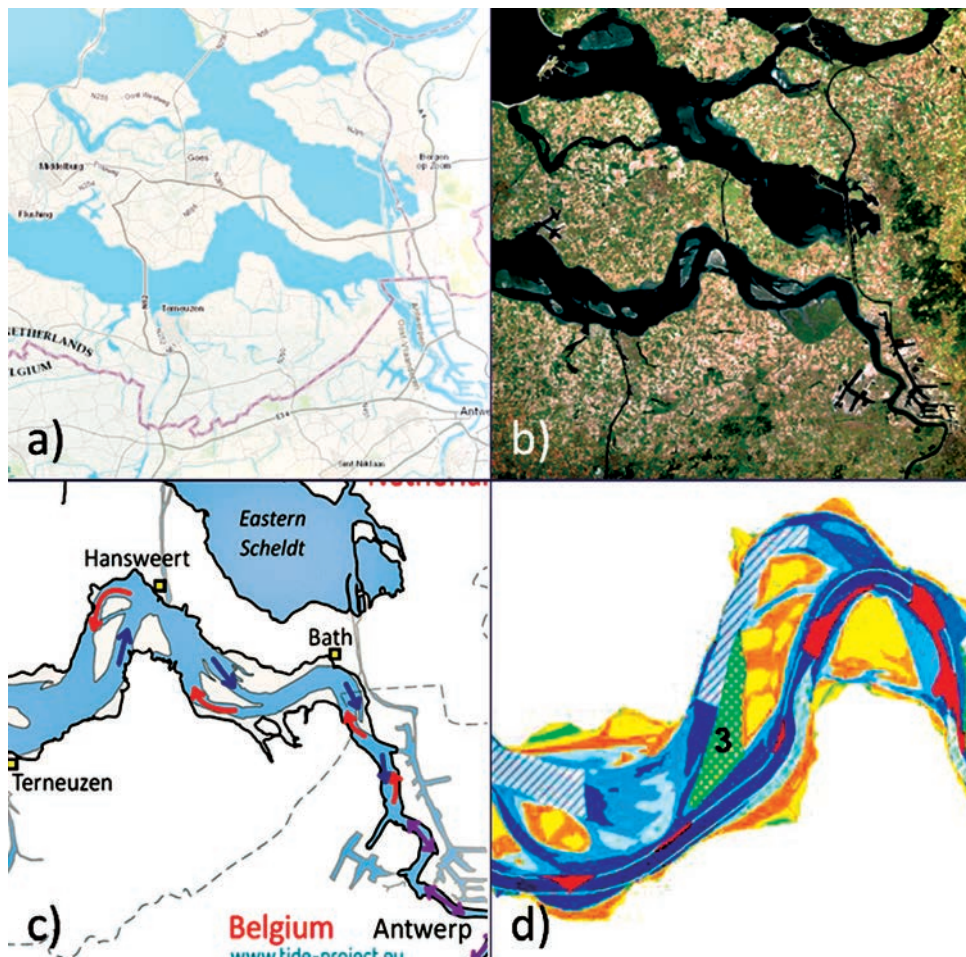


Figure 2: WwN project Port of Antwerp, navigational channel River Scheldt, a) location, b) aerial view of Scheldt estuary, c) tidal multi-channel system in the River Scheldt, d) relocation strategy of dredged material within the multi-channel system of the estuary (sources: Antwerp Port Authority, Flanders Hydraulics Research, esri ArcGis World Topographic Map).

Environment was extensively analyzed before the project started. Sustainability in terms of navigational targets and a gain for biodiversity are logical consequence of having selected this approach.

This project got the PIANC “WwN Certificate of Recognition. It was carried out by the Antwerp Port Authority and Flanders Hydraulics Research.

The **Port of Le Havre** (France) is located in the mouth of the estuary of the River Seine opening to the English Channel. In the port expansion project “Le Have Port 2000” a new port for container ships has been constructed at the same time re-establishing and

enhancing the ecology of the Seine estuary. On the base of environmental studies of the Seine estuary in the early '90ies extensive stakeholder participation resulted in solutions being a common ground for all involved parties before project start. The engineering works included construction of breakwaters, quays having sufficient draught, and re-use of huge quantities of dredged material inside the construction works. Rehabilitation of intertidal wetlands was straight included in the project works. An "intertidal bayou" hydro-morphological supported by a longitudinal groyne fosters the development of intertidal wetland habitats. Additionally, the siting of onshore bird resting areas and an offshore artificial island uphold the positive effect for biodiversity (see figure 3).



Figure 3: WwN project Le Havre Port 2000, estuary of River Seine, a) location, b) aerial view of harbor facilities and intertidal wetlands, c) new container port, d) development of intertidal wetlands within the project (sources: GPMH, esri ArcGis World Imagery, esri ArcGis World Topographic Map).

Explicitly the extensive stakeholder involvement was one important criterion that stands for having applied a WwN Approach. The project fully stands for appreciating the insight that realizing a navigational project can be advantageous for navigation, nature and society. This is why the project got the PIANC “WwN Certificate of Recognition. It was scored the 2nd winner of the WwN Award 2018, which was granted during the PIANC 34th World Congress in Panama May 2018. The project was carried out by “Grand Port Maritime du Havre” (GPMH).

A project which in detail analyzed ecological processes and put them into practice is located at the **Port of Wajima** (Japan). The port is situated in the northern part of the peninsula of Noto and faces the open Sea of Japan. The navigational access to the port must be protected by breakwaters.

The wave-dissipating block at breakwater No.6 in Port of Wajima has been constructed with so-called “Environmentally Active Concrete” (EAC) for the purpose of adding environmental value. The included amino acid Arginine gradually elutes from the concrete surface promoting the growth of microalgae attached. A three-year monitoring program was launched to prove the applied methodology. About half a year after the block installation more growth of microalgae on the surface of the EAC was confirmed compared to ordinary concrete surfaces. This additionally contributed to creating seaweed beds for shellfish habits, e.g. for turban shell. The trend is obvious, that the number of kinds of seaweed and animals on EAC panel is slightly larger than on ordinary concrete. From that a positive effect on biodiversity can be substantiated (see figure 4).

Regarding criteria that confirm WwN activities the project clearly analyses ecological processes to understand the environment. The colonization by biota on the upgraded concrete material is a biological process, where nature does the work itself. Thus a net gain for biodiversity can be established.

The project got the PIANC “WwN Certificate of Recognition”. The business was arranged by Director-General of Kanazawa Port and Airport Office, Hokuriku Regional Development Bureau, and Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism MLIT. The project was realized by Nikken Kogaku Co., Ltd.

## THE WwN AWARD 2018

The 2<sup>nd</sup> WwN-Award has been granted this year on the PIANC World Congress in Panama during the closing ceremony 11 May 2018. It is interesting to see, that the three winner projects are port or estuary related projects (see figure 5). In this context the submitters have been realized that applying WwN principles in their projects is feasible and that it is benefiting for navigational targets, nature, sustainability of the project, and ad-

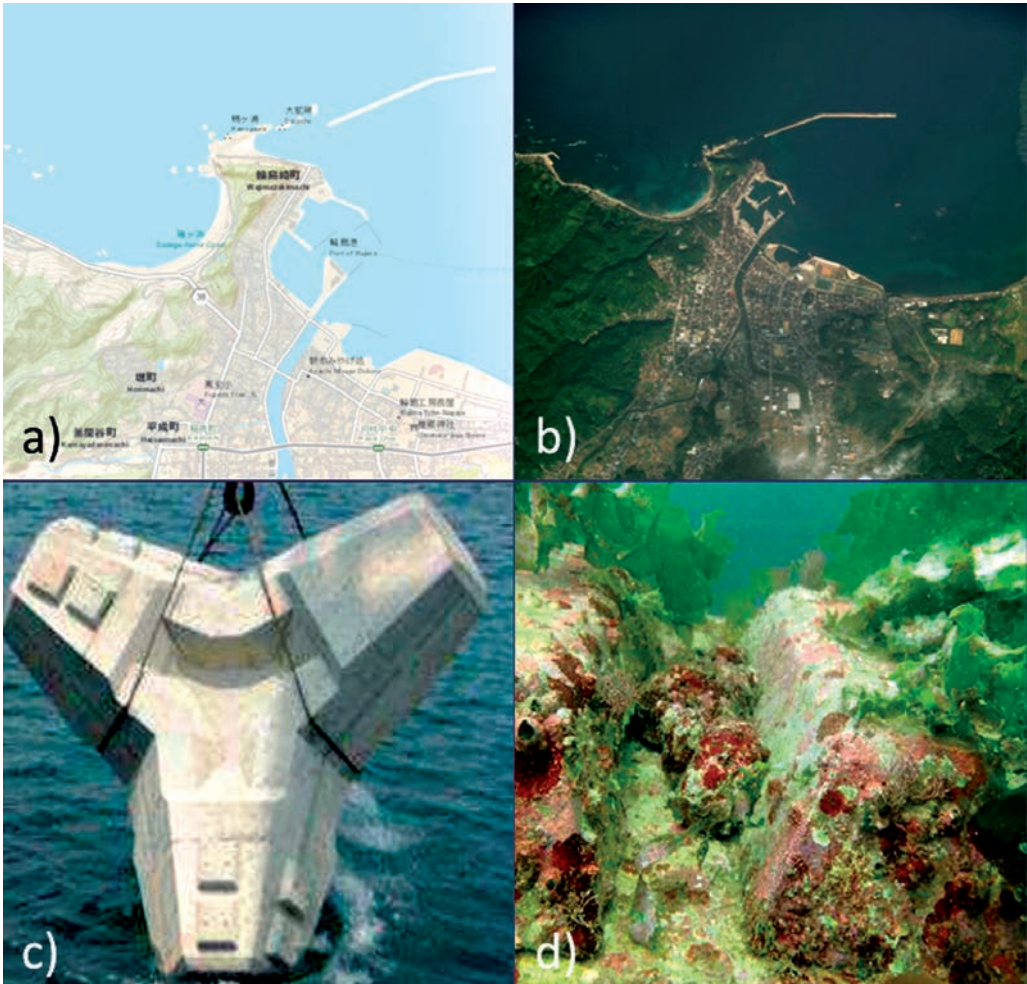


Figure 4: WwN project Port of Wajima, Sea of Japan, a) location, b) aerial view of Port of Wajima, c) construction block for breakwater with “environmental active” and rugged concrete surface, d) colonization of surface by biota (sources: MLIT, Nikken Kogaku, esri ArcGis World Imagery, esri ArcGis World Topographic Map)

ditionally for public project acknowledgement. Of course project owners having got the “WwN Certificate of Recognition” or even the “WwN Award” can effectively publicize their projects and advertise for their own efforts and the WwN approach.

All projects details can be looked up in the public part of the WwN database on the PIANC website. Contact information of the project submitters and managers is available there.

The PIANC EnviCom Working Group 176 “A Guide for Applying Working with Nature to Navigation Infrastructure Projects” in the meanwhile identified two more important



Figure 5: Winners of the WwN Award 2018 (sources: Port of Oakland, Ellen Joslin Johnck RPA, Port of Le Havre GPMH, De Vlaamse Waterweg nv, Agentschap voor Natuur en Bos, IMDC nv).

steps for successfully implementing WwN in WTI-practice a) build and implement the project, and b) monitor, evaluate, and adapt the procedure. The report is going to be published this year 2018 and will give practical guidance on steps and options on how to apply WwN in your navigational or port related project. Benefits for doing so are explicitly highlighted.

## THE NEW WwN PROJECTS SUBMISSION PERIOD 2018-2022

With the Panama World Congress May 2018 the next round for getting a “WwN Certificate of Recognition” or the “Supporter of WwN” status is open now. The next WwN Award will be granted during the PIANC World Congress 2022. So you are kindly invited to submit your project to benefit from having applied the up-to-date, innovative, and promising “Working with Nature” approach in your navigational or port related project.



## De la sostenibilidad a la gestión adaptativa del proyecto de dragados de mantenimiento en la ría de Guadalquivir

Antonio Bejarano Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jefe de Unidad de Medio Ambiente. Autoridad Portuaria de Sevilla. abejarano@apsevilla.com

### HACIA UN PUERTO VERDE

En la última década, uno de los mayores retos afrontado por el transporte marítimo y, por ende, los puertos ha sido incorporar a su actividad logística y operativa el ámbito medioambiental, sumándose a la Estrategia de Desarrollo Sostenible que se viene llevando a cabo en Europa en todos los sectores. De esta manera, el Medio Ambiente ha pasado a ser parte importante de la visión estratégica de los puertos, acompañando a los otros dos pilares sobre los que se cimentaba hasta ahora su actividad, en concreto el ámbito económico y social. Es el equilibrio de estos tres pilares el que puede llegar a generar una iniciativa capaz de responder a las mayores exigencias que demande el sector ligado al transporte marítimo sin llevar al entorno a una situación de deterioro irreversible. De ahí nace el concepto de Puerto Verde, siendo

*“aquel que desempeña su actividad teniendo en cuenta no solo el ámbito económico, sino también el medio ambiental y el social, es decir, de modo sostenible, realizando su actividad causando el mínimo impacto, aportando medidas de mejora y control de calidad de aire, agua, ruidos y residuos”.*

Es en esta noción de Puerto Verde en la que la Autoridad Portuaria de Sevilla pretende encuadrar su progreso en un futuro cercano, habiendo confeccionado en los últimos meses un ambicioso plan de acción que recoge las Líneas Estratégicas de Sostenibilidad Ambiental que se irán incorporando paulatinamente a lo largo de los próximos años.

- Línea 1. Implementación de sistemas de gestión medioambiental.
- Línea 2. Acciones estratégicas de lucha contra el cambio climático.



- Línea 3. Sostenibilidad corporativa.
- Línea 4. Gestión de la calidad del agua.
- Línea 5. Gestión de la calidad del aire y la calidad acústica.
- Línea 6. Gestión de residuos. Economía circular y gestión y valorización del material de dragado.
- Línea 7. Diseño conceptual y ejecución de proyectos de mejora e integración medioambiental.
- Línea 8. Estudios científicos del estuario de la ría del Guadalquivir.
- Línea 9. Política de comunicación y difusión de temas medioambientales.

Particularizando para el tema central de esta comunicación, son las Líneas Estratégicas 6, 7 y 8 las que integran, principalmente, acciones dirigidas a la gestión adaptativa de los dragados de mantenimiento que ejecuta la Autoridad Portuaria de Sevilla en la ría del Guadalquivir de forma periódica. De esta manera, son la valorización del material de dragado, la gestión ambiental en todos los ámbitos, la restauración y uso sostenible de los vaciaderos terrestres, los estudios dirigidos al manejo integral del estuario y la determinación de la incidencia de los dragados de mantenimiento, las principales medidas que se incorporan en la actualidad a las acciones de mantenimiento de calado del canal de navegación.

En este sentido, desde hace casi dos décadas, la Autoridad Portuaria de Sevilla, a la hora de planificar y ejecutar los proyectos de dragado de mantenimiento, ya afrontaba su ejecución bajo un contexto de respeto y consideración al Medio Ambiente, intentando no penalizar los objetivos finales del mismo ni lastrar su desarrollo. En definitiva, se perseguía alcanzar un Desarrollo Sostenible de esta actividad, utilizando para ello complejos mecanismos de vigilancia, seguimiento y control. La recurrencia en el tiempo de esta actividad, periódica e intermitente, la proximidad al Parque Nacional de Doñana y el solapamiento de multitud de usos en un espacio acotado y limitado espacialmente, como es el estuario del Guadalquivir, indujo a llevar a cabo un importante esfuerzo en el planteamiento, desarrollo y ejecución del programa de actuaciones medioambientales encargado de monitorizar todo el proceso. Tomando en consideración lo anterior, se puede decir que estos proyectos fueron objeto de un control integral, diseñando las campañas de seguimiento desde una óptica multicriterio que dispensaba un tratamiento significativo y diferencial a los aspectos propios del proyecto con mayor repercusión sobre el entorno natural. Así, la implementación del plan de actuaciones medioambientales estaba dirigido a monitorizar la calidad hidrológica de las aguas del estuario y del vertido de los recintos, a controlar la naturaleza no contaminante de los sedimentos depositados en los vaciaderos, a plantear su correcta gestión y usos productivos más adecuados y a determinar posibles afecciones sobre la biota, entre otros.

Adicionalmente, se estudiaron y diseñaron una serie de medidas ex profeso que controlaban y minimizaban las afecciones sobre el entorno. Claro ejemplo de ello fue la instalación de cajas de agua encargadas de controlar el caudal del vertido del vaciadero



Figura 1: Caja de agua y vertido del vaciadero Copero II.

hacia el estuario, lo que permitía minimizar la incorporación de sólidos en suspensión a la ría, o la adaptación del diseño de los recintos a fin de favorecer la sedimentación del material fino, construyéndose una serie de fingers interiores que aumentaban el recorrido del agua dentro del recinto. Todas estas medidas, y otras, fueron incorporadas en los proyectos de dragado lo que repercutió positivamente en el entorno, llegando a conseguir que los efluentes de los vaciaderos contaran con una turbidez que, en ocasiones, se encontraba por debajo de los valores que presentaba la ría en esos momentos.

Sin embargo, últimamente se ha dado un paso más en el camino hacia la sostenibilidad que comenzó años atrás, incorporando, al proyecto de dragado, al plan de actuaciones medioambientales y a la ejecución de los mismos, una serie de conceptos adicionales que redundan sobre este particular, focalizándolos, en esta ocasión, desde una óptica algo diferente. Si bien, el anterior concepto de sostenibilidad perseguía, mediante la aplicación de las mejores técnicas y controles medioambientales, desarrollar el dragado de mantenimiento con unos costes ambientales que fueran perfectamente asumibles por el entorno, en la actualidad estas líneas maestras han sido superadas. La visión actual huye del control de los procesos para focalizar el esfuerzo en la planificación previa y la gestión, es decir, se trata de diseñar un proyecto de dragado dentro de un contexto medioambiental y en sintonía con las propiedades de un ecosistema de elevada sensibilidad como es el estuárico. En definitiva, se trata de trabajar en beneficio mutuo, de trabajar con la naturaleza y no contra ella, descartando perseguir exclusivamente su efecto a fin de repararlo.

Esta nueva concepción y desarrollo de los proyectos de restitución del calado de la ría ha supuesto que se ponga de manifiesto la necesidad de conocer exhaustivamente el entorno que lo soporta para así propiciar una serie de oportunidades de gestión que, sin perder de vista los objetivos de las actuaciones proyectadas, permitan compatibilizar estas operaciones con la mejora de la calidad del entorno. A continuación, se destacan aquellas acciones emprendidas y/o planificadas con mayor presencia y recorrido en los próximos años.

## EL PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL DE LAS ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO DE CALADO OPERATIVO EN LA RÍA DEL GUADALQUIVIR

El diseño conceptual de las operaciones de mantenimiento de calados conlleva la consideración y puesta en funcionamiento de una serie de aspectos que deberán ser testados y monitorizados respecto a sus incidencias y grado de eficiencia. Este tipo de planteamientos supone la adaptación de sus acciones principales a las necesidades de operatividad funcional, como es obvio, pero también modifica su naturaleza y alcance según las características naturales del entorno en el que se desarrolla el proyecto.

Todo ello, debería ser práctica habitual a la hora de emprender y/o proyectar cualquier tipo de actuación, debiéndose ser incluido en las primeras fases de la toma de decisiones. En general, es norma habitual, desarrollar conceptualmente un proyecto para, posteriormente, a la hora de ejecutarlo, plantear las modificaciones pertinentes sobre el entorno o adoptar las medidas de corrección necesarias que posibiliten su funcionalidad y los objetivos para los que fue concebido. Sin embargo, la consideración de las características del entorno en paralelo al desarrollo conceptual del proyecto, permite que sea éste último el que, en la medida de lo posible, se adapte al medio, minimizándose de esta manera, la afección sobre las variables naturales sin necesidad de plantear medidas protectoras o correctoras de gran calado y coste.

Es en este sentido en el que la Autoridad Portuaria de Sevilla está dirigiendo el nuevo planteamiento y concepción de las operaciones de mantenimiento de calados en la ría del Guadalquivir, donde la naturaleza del entorno que acoge al proyecto toma especial protagonismo en el global de la actuación. Con base en esto, se están realizando una serie de estudios de carácter científico en el estuario cuyos resultados están desvelando una información relevante y de gran utilidad. Este conocimiento está permitiendo tomar importantes decisiones las cuales están repercutiendo positivamente sobre la sostenibilidad del estuario.

### Modelización hidrodinámica y calados operativos

Entre los estudios elaborados para implementar el conocimiento del estuario pueden destacarse los modelados numéricos dirigidos a conocer su hidrodinámica de forma exhaustiva. Entre los desarrollados, resaltar el de naturaleza barotrópica, modelo tridimensional realizado sobre un estuario de carácter homogéneo (sin diferencias de densidad) y donde se trabaja con velocidades promediadas verticalmente. Con ello, se permite conocer el espesor cambiante de la lámina de agua a lo largo del estuario del Guadalquivir debido, principalmente, a la marea. Lógicamente, conocer con detalle la evolución de estos parámetros incide directamente sobre la navegación en el estuario,

puesto que permite visualizar y anticipar potenciales restricciones de calado a buques que pretendan acceder o abandonar el Puerto de Sevilla. El modelo, una vez calibrado y validado mediante observaciones, pronostica la marea con un error inferior a  $\pm 8$  cm en amplitud y de  $\pm 20$  min en el momento de ocurrencia de la pleamar/bajamar en cualquier punto del estuario.

Este modelo ha permitido establecer una nueva escala de calados en la Eurovía del Guadalquivir E. 60.02., la cual establecía un calado máximo de 7.00 m, según las estimaciones con las que se contaba históricamente. Con estos estudios, el calado máximo se ha visto incrementado 20 cm, fijándose por tanto en los 7,20 m, lo cual supone una mejora sustancial que, como ha podido comprobarse, ha sido obtenida exclusivamente en base a las modelizaciones llevadas a cabo. No obstante, esta medida no debe considerarse de forma individualizada sino más bien formando parte de un programa más ambicioso, como es el “Programa de Optimización de la Navegación” de la vía navegable. Este programa se basa en mejoras operativas, como el empleo de la doble marea y la programación con mayor precisión de las salidas y entradas de los buques, y en desarrollos tecnológicos, como medidas de simulación, instrumentación del estuario e implementación de un sistema de ayuda a la explotación basado en la aplicación de las TIC.

En definitiva, este aumento en la escala de calados se ha logrado sin llevar a cabo actuación alguna sobre el fondo de la ría, sino tan solo con la interpretación de los estudios y modelos que han sido desarrollados en los últimos meses en el estuario. Esto se encuentra muy en línea del planteamiento conceptual referido anteriormente. De hecho, y para que pueda ponerse en valor la importancia de la medida, esta mejora de calado equivale a incrementar el transporte por buque en 300 Tm, lo que supone una reducción de los costes logísticos para los operadores que mueven mercancía en el Puerto, lográndose, todo ello, dentro de un marco de sostenibilidad ambiental.

## **Estudio de soluciones relativo a los medios operativos de los equipos de dragado**

Otro de los aspectos actualmente en estudio es la viabilidad técnica y ambiental de medios operativos alternativos a los que habitualmente se utilizan en las operaciones de mantenimiento de calados de la ría. Los dragados de mantenimiento se vienen llevando a cabo, de forma habitual, con dragas hidráulicas de succión en marcha. Este tipo de dragas son autopropulsadas y vienen equipadas con una cantara de capacidad variable (2.500-3.000 m<sup>3</sup>) donde se deposita el material extraído. Cuentan con un brazo de succión articulado equipado con un cabezal en el extremo que será el que entra en contacto con el fondo. Este cabezal posee unos inyectores de agua que, proyectados sobre el fondo, se encargan de crear una mezcla sólida-líquida la cual será succionada mediante

una bomba centrífuga, depositándose, por último, en la cántara del buque. Posteriormente, los sedimentos son depositados mediante impulsión en los vaciaderos terrestres, las playas o, por apertura por fondo, en el vaciadero marino.

Como puede comprobarse, los medios operativos que se vienen utilizando se ajustan perfectamente a las necesidades de nuestra operativa dada la flexibilidad en la colocación del material y la posibilidad de dragar en zonas relativamente alejadas de las zonas de depósito. Sin embargo, el estudio detallado del perfil longitudinal de la ría, la comprobación de la existencia de tramos con dragados recurrentes y la nula presencia de sustancias contaminantes en los sedimentos hacen que la utilización de otros medios operativos pueda suponer una serie de ventajas medioambientales. En la siguiente figura se muestra un perfil longitudinal de la ría, detallado con sondas batimétricas y línea de rasante operativa (-7.00 m) necesaria para garantizar la navegabilidad en el canal de acceso. Las zonas donde las sondas batimétricas sobrepasan la rasante son las que se dragan a fin de devolver a la zona el calado operativo para la navegación. Puede observarse que algunos de estos picos se localizan muy próximo a depresiones naturales, como, por ejemplo, Huertas, la zona central del tramo de Olivillos, Lisa-Horcada, Yeso-Alventus o Puntalete. Esta situación debe ser considerada como una oportunidad inmejorable que debe ser aprovechada o, al menos estudiada, para recolocar el material excedentario en estas fosas naturales.

Es por ello, por lo que se plantea la utilización de dragas de tipo hidrodinámicas, en concreto, dragas de inyección de agua. Estas dragas movilizan el material del fondo mediante presión hidráulica y generan una masa de material licuado muy densa que, ayudado por las corrientes y las pendientes del terreno, quedará depositado en zonas deprimidas del canal de navegación. La viabilidad ambiental de la actuación resulta manifiesta dado que los sedimentos no presentan sustancias contaminantes lo que garantiza la ausencia de efectos ecotoxicológicos sobre el sistema. Adicionalmente, se debe tener presente que la carga de sólidos en suspensión de la ría habitualmente es elevada, constante y mantenida en el tiempo, lo que hace que el arrastre por fondo de estos materiales no genere incidencias ambientales destacables. Por último, los estudios desarrollados hasta la fecha encargados de determinar la composición de las comuni-



Figura 2: Perfil longitudinal de la ría del Guadalquivir. Rasante.

dades biológicas del fondo han puesto de manifiesto una pobreza manifiesta del bentos, con comunidades poco estructuradas y de baja biodiversidad, lo que garantiza que la afección potencial no sea, en ningún caso, de relevancia. Al margen de estos factores, hay que tener en consideración que el mantenimiento de estos materiales dentro del sistema sedimentario de la ría, reduciría sustancialmente la gestión de residuos en vaciaderos y la producción de gases de efecto invernadero (menor Huella de Carbono), al ser éstas operativas y equipos más simples y eficientes. No obstante, todo esto debe ser entendido, en principio, como una operación complementaria a las que habitualmente se realizan, no como una alternativa por sí misma. De hecho, la configuración de los proyectos de dragado va más en la línea de plantear y testar la utilización de medios operativos mixtos, incorporando a los dragados por succión, las dragas de inyección e incluso la utilización de plough o rastrillos de arrastre por fondo.

## **Adaptación y gestión de los vaciaderos para el uso potencial de la avifauna del entorno**

Durante el periodo 2015-2018, en colaboración con el CSIC-Estación Biológica de Doñana, se han venido realizando una serie de experiencias dirigidas a gestionar las áreas de vertido del material de dragado a fin de adaptar su utilización y configuración a la mejora del uso potencial que realiza la fauna local (en concreto la avifauna) de estos espacios. Se utilizaron, para ello, los vaciaderos de Butano, aledaño a la Base Aérea de El Copero (Sevilla), de Horcada, próximo a la desembocadura del Arroyo Salado en Lebrija (Sevilla), y de El Yeso, junto a la ría y el límite provincial entre Sevilla y Cádiz. Todos estos recintos se localizan próximos al borde del cauce de la ría y en la margen izquierda de la misma. Presentan una morfología poligonal, delimitados por una mota perimetral nunca superior a los 3 m, cuya función es la de confinar en su interior el material sedimentario procedente de los dragados. Para facilitar la propulsión de los productos de dragado desde la cántara de draga hasta el vaciadero, los sedimentos se mezclan con una alta proporción de agua para luego, una vez en el interior del recinto, decantar y quedar allí depositados. El agua sobrante es dirigida hacia un desagüe habilitado en el más extremo alejado de la zona de propulsión a través del cual se verterá a la ría. Este vertido queda regulado por “cajas de agua” capaces de controlar el tiempo de residencia de la mezcla en el interior del recinto, lo que asegura la correcta decantación. Adicionalmente, esta decantación también resulta forzada con la construcción de una serie de “fingers” o muros interiores cuya función es aumentar el recorrido del material de dragado desde su zona de propulsión a la zona de vertido, lo que facilita igualmente el depósito del material.

Una vez utilizados, estos vaciaderos evolucionan hasta presentar tres sectores bien diferenciados con características y potencialidades diferentes. Por un lado, se puede distinguir una zona mayoritaria de acopio de sedimentos (arenas y/o arcillas) o playa que



Figura 3: Vaciaderos sectorizados de Butano, Horcada y Los Yesos.

ocupa normalmente el área más próxima a la zona de propulsión, dado que es este tipo de material de granulometría más gruesa el que decanta más fácilmente. Seguidamente, sobre los sedimentos más finos, se localiza una zona de vegetación más o menos densa, cuya composición varía según el vaciadero, encontrándose, de forma general, bosquetes de tarajes (*Tamarix sp.*) y algunos chopos (*Populus alba*) de escaso porte y, en el vaciadero más al sur y próximo a un ambiente marismeno, los géneros *Suaeda*, *Salsola*, *Sarcocornia*, *Salicornia*, *Chenopodium* o *Arthrocnemum*. Por último, junto a las “cajas de agua” la zona suele caracterizarse por permanecer inundada gran parte del año, llegándose a secar completamente a mediados del verano.

Vista la potencialidad que presentan estas zonas como áreas alternativas de alimentación, refugio y reproducción para la avifauna, y en colaboración con el CSIC (Estación Biológica de Doñana), se está desarrollando un estudio dirigido a reestructurar la morfología de los vaciaderos para mejorar el uso que las aves invernantes y reproductoras hacen de estas áreas de vertido. En la actualidad, se han desarrollado y testado, durante los dragados de mantenimiento 2016 y 2017, una serie de medidas dirigidas a cumplir con estos objetivos, destacándose las siguientes:

- *Medidas dirigidas a mejorar los acopios de arenas como áreas de reproducción.* Se ha comprobado que en los frentes verticales del material más arenoso se ha desarrollado, con éxito, la reproducción del abejaruco europeo (*Merops apiaster*). Para minimizar la afeción derivada del uso de maquinaria encargada de gestionar estos áridos durante la época de cría se plantea el establecimiento permanente e inalterado de amon-

tonamientos apropiados en todos los vaciaderos durante la época crítica de nidificación (marzo-julio). Estas zonas podrían permanecer de un año a otro o ser gestionados sus materiales y generar otras similares con los dragados del siguiente ejercicio.

- *Creación de parcelas emergidas y aisladas.* Las zonas emergidas son especialmente propicias para la cría de determinadas especies de aves, como chorlito negro (*Charadrius alexandrinus*), la avoceta común (*Recurvirostra avosetta*), la cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*) u otras aves limícolas o afines. Estas zonas emergidas suelen estar sujetas a la presencia de depredadores (zorros, perros, etc.) y otras molestias humanas, lo que da lugar a fracasos en la cría como los acaecidos en 2016, donde se perdieron 6 nidos de estas especies debido a molestias humanas en la zona. Para evitar esta situación se han construido islas en la zona central de los vaciaderos y se han rehabilitado los "fingers", tras ser desconectados de los muros perimetrales una vez finalizados los dragados. Sin embargo, algunas de estas áreas, aunque cumplieron con las expectativas, pueden ser mejoradas y rediseñadas para futuras campañas de dragado, aumentando, entre otros aspectos morfológicos, la altura y superficie de estas islas. Con ello, se aumentará la eficacia reproductora y de cría de colonias de este tipo de aves, sin alterar la función última del recinto como zona de depósito de material de dragado.
- *Mantenimiento de la lámina de agua.* La disponibilidad de agua ha sido el factor clave que ha determinado la presencia de aves en los vaciaderos. En este caso, la acción se ha centrado en el mantenimiento de la lámina de agua durante un amplio periodo de tiempo, utilizando, para ello, la compuerta de desagüe o "caja de agua". De esta manera, el nivel de agua acumulado ha sido el óptimo de inundación durante el periodo crítico de reproducción, ofreciendo resultados muy positivos. En general, la alta disponibilidad de agua ha motivado la aparición de vegetación acuática (subacuáticas y helófitos), creándose un hábitat lacustre idóneo para multitud de especies acuáticas y afines. En este sentido, esta medida podría tener una trascendencia ambiental mucho más amplia que se extenderá más allá de los límites de los vaciaderos terrestres. Así, en un escenario cada día más recurrente de escasez de lluvias, estas zonas de vertido con alta capacidad de retención de agua podrían suponer un refugio o lugar alternativo de cría para muchas especies que vieran comprometido su éxito reproductor por la escasez de inundación de las áreas de marismas naturales aledañas.

En general, éstas y otras acciones, como el uso rotativo de los vaciaderos, la correcta señalización de los mismos o su uso como áreas recreativas y de educación ambiental podrían ser abordadas en un futuro próximo. Al igual que el estudio de la viabilidad de reintroducción de una especie extinguida en la Península Ibérica, el pelicano crestado, a objeto de aumentar la biodiversidad de estas zonas.

En cualquier caso, todas las testadas y aquellas en estudio serán incluidas en un Manual de Manejo de los Vaciaderos Terrestres, actualmente en redacción, que estará disponible





Figura 4: Detalle de Resultados en el vaciadero Horcada. Construcción y funcionamiento de islas en vaciadero Butano.

en los próximos meses. Con la aplicación del mismo se conciliará, de manera sostenible, las actividades de vertido y la gestión del material allí depositado con la conservación de los valores naturales del entorno.

### Usos productivos de los materiales de dragado. Reutilización, investigación y valorización

La gestión de los materiales de dragado y su posterior uso productivo se ha configurado, adicionalmente, como una de las prioridades a la hora de establecer las pautas de sostenibilidad en las operaciones de dragado.

Actualmente, los materiales de dragado de la zona más exterior del estuario están siendo utilizados para alimentar las costas del litoral de Sanlúcar de Barrameda, tramo costero afectado por continuos episodios de regresión. En concreto, los materiales de la zona más exterior de la ría, tramos de Puntalete, Salinas y Broca, están siendo depositados en las playas de Bajo de Guía, las Piletas y la Calzada. Se ha comprobado que la mayor parte de estos materiales son compatibles para su depósito en las playas del municipio, por lo que los sedimentos que, cuyo destino anterior era su vertido en vaciadero marino, hoy en día estabilizan una zona litoral con evidentes problemas de erosión. Abundando en este tema, los temporales ocasionados por la borrasca Emma en marzo de 2018, que supusieron grandes destrozos en el litoral de diferentes municipios de la provincia gaditana, no generaron incidencias de importancia en el paseo marítimo de las playas donde se depositaron los materiales de la campaña de dragado de mantenimiento de 2017. Estos aportes, ver-



Figura 5: Regeneración en las playas del litoral de Sanlúcar de Barrameda. Efectos de la borrasca Emma.

tidos en el invierno de 2017-2018, funcionaron como defensa del litoral, perdiéndose gran parte de ellos pero garantizando la salvaguarda de los elementos urbanos.

Por otro lado, los materiales de dragado que son depositados en los vaciaderos terrestres son considerados Residuo según la normativa sectorial y de aplicación al respecto, estando incluido dentro del Grupo 17 de la Lista Europea de Residuos. Al no contener sustancias peligrosas se codifica como LER 170506 "Lodos de drenaje distintos de los especificados en el código 17 05 05\*". Debido a ello, y conforme al art. 18 del Decreto 73/2012, de 22 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía, el periodo máximo permitido para el almacenamiento temporal de estos residuos en los vaciaderos será de un año, cuando su destino final sea la eliminación, o dos años cuando sea la valorización, siendo este último el caso que nos aplica. Así, desde hace ya algunos años, estos materiales han sido valorizados, habiéndose planteado una serie de usos productivos compatibles con sus características. De esta manera, aquellos que presentaban propiedades geotécnicas adecuadas han sido, y lo son en la actualidad, utilizados para obra civil (rellenos, firmes, material de construcción, etc.). En cambio, los rechazos, fundamentalmente sedimentos de granulometría fina que, en su momento, fueron utilizados para la industria de la cerámica y el ladrillo hoy en día no presentan utilidad alguna, dado que el declive del sector hace inviable su utilización.

Esta situación ha propiciado que se ponga en marcha el estudio de otro tipo de aprovechamiento como es su utilización para el mejoramiento de terrenos agrícolas. Ello ha dado lugar al "Plan de I+D para la adaptación de suelos agrícolas a cultivos hortícolas a partir de material procedente de los dragados de mantenimiento de la canal de navegación de la Eurovía E.60.02 Guadalquivir". Este estudio, emprendido en colaboración con la empresa gestora de residuos que actualmente ofrece sus servicios, tiene por objeto analizar la posibilidad de mejora y transformación de suelo agrícola para su adaptación a cultivos de alto rendimiento, más modernos y adaptados a las necesidades del mercado. De esta manera se pretende orientar y avanzar en la transformación de la industria agrícola existente fundamentándola hacia cultivos hortícolas de alto valor

añadido. Sin embargo, estos cultivos no se adaptan bien a suelos compactos, poco fértiles o degradados, de ahí que lograr un sustrato adaptado a esas necesidades y conseguir una mejora técnica y estructural del mismo resulte de especial interés. Además, ello supondrá un avance significativo en lo que a la gestión ambiental de los sedimentos se refiere, al no contar éstos con un uso productivo viable en la actualidad que pueda suponer su valorización. De esta manera, los materiales considerados para la adecuación y mejora de los suelos de cultivo serán aquellos sedimentos extraídos en las operaciones de dragado, experimentándose con una mezcla de lodos y, en diferentes proporciones, arenas con alto contenido en sílice, que actuarán como enmiendas inorgánicas para la mejora de la estructura o propiedades físicas del suelo. De igual forma, se tiene previsto ensayar el mejoramiento del suelo de cultivo con materia orgánica procedente del compost o lodos de tratamiento o depuración y estiércol, utilizables, en este caso, como enmienda orgánica.

Con la puesta en producción de estos suelos se pretende sustituir los cultivos tradicionales de bajo rendimiento presentes en la zona, como trigo, algodón o girasol, por cultivos hortícolas de alto valor añadido y rendimientos, como el tomate, la zanahoria, el brócoli, la cebolla, el pimiento, la coliflor o el boniato, entre otros. Este tipo de cultivos suelen estar sujetos a procesos de transformación industrial, lo que supone que el valor añadido repercute directamente en la comarca de producción.

## **Estudios científicos desarrollados en el estuario del Guadalquivir. Incidencia de los dragados de mantenimiento**

Para la Autoridad Portuaria de Sevilla es un objetivo fundamental la puesta en valor del estuario del Guadalquivir y la búsqueda de la excelencia ambiental. En esta línea, en mayo de 2013 firmó un convenio de colaboración y cooperación con la Universidad de Sevilla y el Acuario para ampliar el conocimiento científico del estuario. En dicho convenio se sentaban las bases para la puesta en marcha de actividades científicas y docentes vinculadas al estuario y a las zonas marinas aledañas, con la finalidad de impulsar el conocimiento sobre el entorno natural y promover soluciones innovadoras que permitan la gestión del estuario en un marco de sostenibilidad ambiental.

De entre los estudios que se están realizando, cabe destacarse el que la Universidad de Sevilla está llevando a cabo relativo a la incidencia de los dragados de mantenimiento del canal de navegación sobre las comunidades biológicas del fondo (dragados de 2013 y 2015). En una primera fase el estudio se localizó en los últimos 40 km del estuario y en la segunda se centró en dos tramos representativos de la zona oligohalina (tramo de La Gola) y polihalina (tramo de Salinas), respectivamente. Este último, se ha realizado siguiendo un diseño experimental BACI (Before After Control Impact), método considerado a nivel mundial de los más efectivos para la detección de impactos deriva-

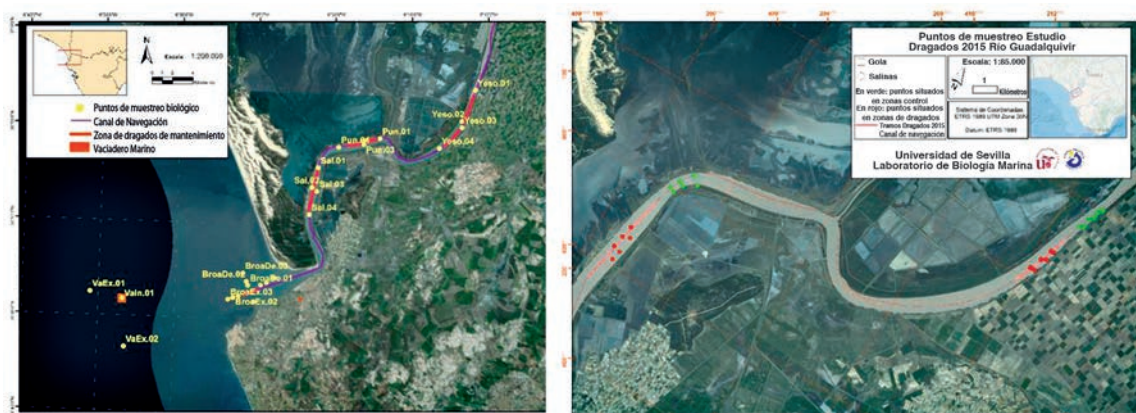


Figura 6: Estaciones de muestreo en ambas fases del estudio.

dos de cambios directos en las comunidades del canal de navegación y de indirectos en las aguas someras de la orilla izquierda (zona de mayor influencia marina en los estuarios del hemisferio norte).

En ambas fases no se han apreciado afecciones significativas. En algunos casos se detectaron cambios justo en el momento del dragado y muy localizados espacialmente, pero con una rápida recuperación de los niveles de base. El efecto del dragado parece muy localizado en la zona del canal y durante un periodo de tiempo corto, si bien es cierto que la alta pobreza del bentos de esta zona puede influir en los resultados finales y encriptar posibles afecciones que serían bien caracterizadas si el ecosistema bentónico fuera más estructurado y biodiverso.

En definitiva, con todo lo visto, cabe concluirse que, desde el punto de vista de la sostenibilidad, resulta muy conveniente comenzar a incluir dentro de la toma inicial de decisiones y diseño conceptual de los proyectos recurrentes de mantenimiento de calados, la consideración del conocimiento del entorno que soporta estas actuaciones así como las oportunidades que éste ofrece. Ello permitirá ajustar los criterios de diseño operativo al medio natural, minimizándose, con ello, gran parte de los costes ambientales, descartándose paulatinamente otras pautas de protección y restauración complejas de dudosa viabilidad ambiental y costes económicos elevados.



# Building with Nature - An alternative engineering approach for sustainable port development

F. van der Goot<sup>1 2</sup>, J. S. M. van Thiel de Vries<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Stichting EcoShape, The Netherlands. Programme Manager. [vanderGoot@ecoshape.nl](mailto:vanderGoot@ecoshape.nl)

<sup>2</sup> Boskalis, The Netherlands. Sr Environmental Engineer. [vd.Goot@boskalis.com](mailto:vd.Goot@boskalis.com).

<sup>3</sup> Boskalis, The Netherlands. General Manager Hydronic. [j.v.thiel.de.vries@boskalis.com](mailto:j.v.thiel.de.vries@boskalis.com)

## INTRODUCTION

Ports are crucial for economic development along coasts and in deltas; they secure jobs, guarantee availability of goods and provide infrastructural links with the hinterland. On the other hand, ports may substantially impact the local environment, especially at the interface of land and water where sensitive habitats can be present. Also, the port and navigation industry is increasingly confronted with challenges related to population growth, climate change, energy transition and raised awareness on the environmental and social footprint of projects. These developments introduce new requirements to port development, which is amongst others reflected in expanding complexity of permitting processes and stakeholder consultation.

To facilitate economic growth in the coming years, port development projects will need to balance economic growth with sustainable functioning of ecosystems and societal needs, which will require an alternative approach to port design. The Building with Nature design and engineering approach takes the site specific context (fundamental understanding of the physical, ecological and societal system as well as the governance setting) as a starting point to provide cost effective and resilient solutions with added value for economy, society and nature.

This paper discusses the design and engineering concept “Building with Nature”, in the context of the challenges the port and navigation sector is facing (section 2). Next, tangible full scale applications for nature based flood defences (section 3.1), beneficial reuse of sediments (section 3.2) and habitat enhancement (Section 3.3) are discussed to provide

inspiration and hands-on tools for policy-makers, planners, engineers and contractors to enable sustainable port development. The paper concludes with the more specific benefits of Building with Nature to the port and navigation sector.

## **BUILDING WITH NATURE: THE CONCEPT**

The Building with Nature concept uses fundamental understanding of the local environment including knowledge of forces of nature as wind and currents, bio-chemical processes, as well as stakeholder collaboration in the design of hydraulic engineering solutions. This aims to achieve a harmonious balance between economic development, environmental care and societal needs. Maritime infrastructure solutions that are established in line with the Building with Nature philosophy are recognized by the following features (De Vriend et al, 2015):

- The design objectives are (partly) achieved by making use of natural processes as much as possible.
- The infrastructure solution integrates multiple functions and is resilient with respect to changing environmental and social conditions.
- The proposed solution meets both economic needs and societal needs and in addition creates beneficial conditions to nature where useful and desirable.
- The proposed design fits the environment and scale of the surrounding landscape.
- The provided solution secures highly valued ecosystems and makes the local environment more attractive.
- The proposed solution is embedded in a broader set of measures, actions and policies, which are based on a clear vision on port development.

In 2007, Boskalis launched the EcoShape Foundation<sup>1</sup> and initiated the innovation program Building with Nature in which the Dutch government, private sector (Engineering Consultancies and Contractors), universities, knowledge institutes and NGO's jointly bring forward the concept by adopting a learning by doing approach and developing tangible projects. The intersectoral and precompetitive collaboration within Ecoshape has resulted in a broad and extensive knowledge base for the design and implementation of Building with Nature solutions. The program has brought forward several creative and effective maritime infrastructure solutions that boost nature, society and economy and which have

---

<sup>1</sup> [www.ecoshape.nl](http://www.ecoshape.nl)

been (and still are) tested in full scale pilot projects. All research findings (fundamental and applied) are made publicly available to facilitate the design and execution of full scale projects and strategic policy and decision-making<sup>2</sup>. To date, developed knowledge and concepts are applied in several full scale commercial projects that use Building with Nature as a leading principle.

## **BUILDING WITH NATURE APPLICATIONS**

The Building with Nature applications presented below are based on lessons learnt from full scale (pilot & commercial) projects and have been selected since they can be considered in a port and or navigation environment.

### **Nature based defences**

Sea ports are typically located in environments dealing with high energy hydrodynamic conditions and the outer contour of a port is usually designed to create shelter in the port basin to guarantee safety of operations. Conventionally the outer port contour is designed as a hard sea defences, which tends to be single purpose (coastal safety) and can to a limited extent, deal with changing boundary conditions caused by i.e climate change (lack of resilience).

Considering a soft outer contour of sand and or gravel, the port layout can be much better aligned with the existing landscape (with smooth interfaces to adjacent shores) and the land-water gradients can be softened resulting in typically better opportunities for flora and fauna. Also the dynamic properties of soft water defences makes that they reprofile to optimally absorb specific Hydronamic loads (resilience). Reinforcement of the outer contour for sea level rise can easily be accomplished by adding sediment to the system depending on the scenario that develops (adaptive management). Soft solutions incorporated in projects such as the Sand Motor Delfland (Stive et al, 2013), the soft Sea defence along the outer contour of Maasvlakte II, the Netherlands and the sand-bar breakwater in Dangote, Nigeria illustrate state of the art full scale applications of this approach and provided a cost effective alternative solution with added value for the project.

---

<sup>2</sup> References is made to the Building with Nature Guideline:  
<https://publicwiki.deltares.nl/display/BTG/Guideline>



## Example application: Dangote, Nigeria

About 90 km east of Lagos, Nigeria, the development of a green field refinery, polypropylene plant and fertilizer plant is planned. To provide navigational access to a new RoRo jetty for the delivery of materials, an access channel, turning circle and basin have to be protected by water defense that guarantees shelter and that prevents inflow of the littoral drift into the port basin area. As an alternative to a conventional breakwater consisting of rock and or concrete elements, the selected design for this port is unique in the world and consists of a sand body. Only the tip of this sandy breakwater consists of rock. The sandbar breakwater design (see Figure 1 and 2) has an orientation almost equal to equilibrium coastline and smartly utilizes the features of the sandy environment in a way that it becomes more robust in time by (partly) trapping the longshore sediment transport of around 900.000 m<sup>3</sup> per year, which is caused by the prevailing wave condition from the South West. It is expected that after approximately 3 to 4 years the wave driven longshore sediment transport has supplied sufficient sediment to reach a state of equilibrium. The sandbar breakwater contains sufficient buffer material to withstand (local) erosion when adapting to a new equilibrium coastal shape. Downstream of the port a concentrated mega nourishment (~900.000 m<sup>3</sup>) has been constructed to prevent substantial erosion here. In the coming years this sediment buffer needs to be replenished<sup>3</sup>.

This alternative solution, which is partly inspired by other sandy (Building with Nature) applications like the Sand Motor and the outer soft sea defence of the Maasvlakte II, provided multiple benefits to the project. First, as sand is abundantly available in the vicinity of the jetty while rock needs to be transported over large distances by trucks from the quarry, the construction of the sandbar Breakwater is cheaper and faster than the construction of a conventional breakwater. The substantial reduction in rock volume reduces the number of trucks needed to complete the project, which means less traffic and thus smaller environmental and societal impacts.

Additionally, instead of removing a stretch of beach area, the present coastline is extended and the port outer contour has a smooth transition towards the existing coastline. The Sandbar Breakwater approach respects the original sandy habitat environment and thus allows lost sandy habitats to restore or to add specific biodiversity to the area.

Finally, the Sandbar Breakwater has been designed with sufficient sand buffer to breath with the prevailing hydrodynamic conditions by changing its alongshore orientation and or re-profiling in cross-shore direction (resilience). By removing the small breakwater, that serves as a suspension point for the sandbar, the remaining sandy outer contour will be reworked by waves and currents and the sand will be adopted by the nearby sandy shores (CDR, 2018; Spek, van der, et al 2018).

---

<sup>3</sup> CDR: <http://cdr-international.nl/portfolio/nigeria-dangote-supervision-sandbar-breakwater/>



Figure 1: Aerial view of the Dangote Project. The Sandbar Breakwater is under construction. Only the outer tip is protected by armour rock (Source: Boskalis).



Figure 2: Trailer Suction Hopper Dredger rainbowing sand to create the Sandbar Breakwater (Source: Boskalis).

## Beneficial reuse of fine sediment

Deepening and/or maintenance of ports typically results in the release of large quantities of sediment (mud, silt and sand), where fine sediments are usually considered as “unsuitable” and therefore are disposed offshore at designated disposal areas. However for several reasons offshore disposal of dredged material is becoming less common. Firstly, offshore disposal causes (local) turbidity stresses and sedimentation which may cause substantial environmental impacts. As a result several ports around the world (i.e East Coast Australia) cannot longer dispose dredged material offshore. Secondly, sediment as a resource is becoming increasingly scarce, which makes the reuse of “unsuitables” become more beneficial (i.e Singapore, where sand has to be imported from large distances). Over the past year several reuse projects like *The Marker Wadden*, the *Mud motor* in the Port of Harlingen (J. Vroom et al 2018), the *Clay Ripening Project* in Delfzijl<sup>4</sup> (all in the Netherlands) show that fine sediment can be used as a valuable resource with added value for both project and its surrounding nature.

### Example application: Marker Wadden

The Markermeer lake is one of the largest freshwater lakes in Western Europe and was created by the construction of two major dams (Afsluitdijk and Houtribdijk) that created a waterbody without tidal influences and any substantial river inflow. The resulting lack of water refreshment caused that the ecological conditions have deteriorated severely over the past decennia. Liquification of the clay lake bed introduces a fluffy mud layer

<sup>4</sup> EcoShape 2018. Clay Ripening Pilot Project. <https://www.ecoshape.org/en/projects/clay-ripening-pilot-project/>

at the bed that is stirred up into the water column during conditions with waves, causing much higher turbidity levels. To improve ecological conditions and develop a sustainable future for the lake, the nature conservation organisation Natuurmonumenten and the Dutch government joined forces to create a unique archipelago of 5 marsh islands covering over 1000 ha<sup>5</sup> that are built from the silt and clay confined in sand edges. The intention is to confine and store the suspended sediments from the lake sheltered areas in and around the marshes, adding to the water quality and thus improving the ecological conditions of the lake while creating a valuable nature reserve area of marsh islands.

The project has major challenges related to design, engineering and construction. A first challenge is to control the final elevation of the islands constructed. This final elevation should be around lake water level to create the right initial conditions for a marsh system. Good understanding of the spatial heterogenic sediment properties in combination with numerical modelling were applied to obtain insight in local consolidation in order to determine the right initial construction height of the islands. Next the strength of the land created has to be strong enough to carry the weight of a goose. This required good insight in the development of the crest on the filled areas and its thickness. Also, it is explored how this crest development can be accelerated in time by smart dewatering techniques.

The islands were built by creating sandy ring dikes, which were filled with hydraulically dredged clay. To protect the islands from wave attack the archipelago is enclosed by two sandy barriers, which are linked by a rock dam that serves as a suspension point. Within the archipelago gradual soft transitions from land to water are applied, as well varying bed levels below the water surface have been constructed. The sheltered area between the islands provokes fine sediment in the system to settle, introducing a natural water purification mechanism to the archipelago. In front of the archipelago a special siltation trap trench was constructed to trap fine sediment from the Markermeer lake. This trapped sediment may be used to construct more islands in the future.

This project development shows how the creation of a bird paradise with recreational elements can be realized with using relatively 'unsuitable' fine sediments while at the same time upgrading a degraded environmental system. An important contributing factor in the successful realisation of Marker Wadden is the collaboration between NGO (as initiator and joint financier), Government (providing the suitable governance setting for the realisation of this unique project) and private sector (providing the technical expertise and innovative work methods to build with 'unsuitables').

---

<sup>5</sup> <https://www.natuurmonumenten.nl/projecten/markers-wadden/projectbeschrijving>.



Figure 3: Overview of the Island construction works (Source Boskalis)

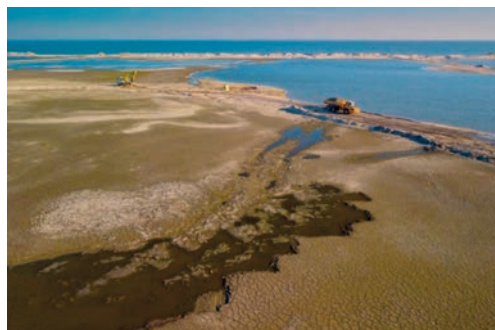


Figure 4: Building with fine sediments – construction on the Marker Wadden (Source: Boskalis)

## Habitat enhancement

Construction of ports and navigation channels typically impacts the surrounding environment. However, by smart use of (alternative) materials and alternative construction work methods, negative impacts can be largely reduced and positive impacts can be maximized. Habitat enhancement and smart use of site specific materials can be realized a.o. with seabed landscaping in offshore borrow areas to enhance quantity and diversity of benthos (De Jong *et al*, 2015) or by applying 3D printing technology to create hard substrate with added value to rocky ecosystems.

### Example application: 3D Printed Reefs

A damaged reef may take years up to decades to recover but human support in this recovery process can substantially reduce this. One of the possibilities is to provide hard substrate in areas where the reef structure has disappeared. This to stimulate natural recruitment through settlement of coral larvae. However, to do so rightly is difficult since reefs are complex 3-Dimensional systems in which chemical, ecological and physical parameters are delicately balanced. Attempts up to now with prefab artificial reefs are often (ecologically) unsatisfying, labour intensive, expensive and unavailable in remote areas (Kramer *et al*, 2016)

The 3D printing technology enables the reproduction of the outer and inner shape of natural reefs. Not only copying their shape but also their structure and chemical composition, in this way an extensive habitat can be created for a broad range of (marine) species. 3D printed reefs offer a broad range of possibilities. Depending on the project objective, ecosystem, material, budget and schedule, the reefs can create a multitude of functions such as:



Figure 5: 3D Printing process (Source: Boskalis).

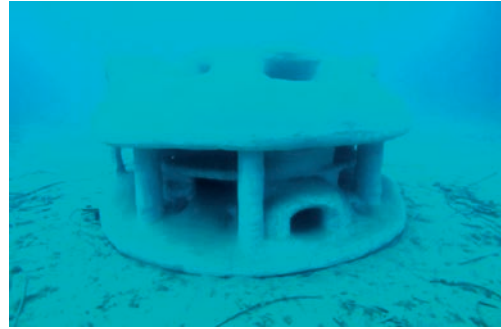


Figure 6: 3D Printing reef installed on the seabed (Source: Boskalis)

- Nature (creation of habitat).
- Recreation / Social functions (diving, surf reefs, fishing, art).
- Economics (re-use of dredged material, fisheries, aquaculture).
- Navigation and port infrastructure (wave attenuation, shelter, current deflection).

These functions can be correlated to Eco-System Services in order to quantify their added value.

This innovative 3D printing technology has been developed in, amongst others, a full-scale pilot project in Monaco. In close collaboration with the Prince of Monaco Foundation, six (6) large (~ 2 m diameter) 3D printed units were developed and placed in the Larvotto Reserve in Monaco. The key objective of this project was to create rocky reef habitat as a restoration technique due to the loss of natural habitat.. Additionally, within this project, detailed material and structural tests were performed to develop a new artificial reef material which is tailored to work with the wide-range of sediments available in the marine environment and to retain sufficient strength when placed in a marine or fresh-water environment.

3D printed reefs may be considered a distinctive habitat enrichment solution that can be shaped to meet the site specific physical and ecological conditions to create added value for nature, recreation, economy, navigation and or port infrastructure.

## OPPORTUNITIES FOR PORTS AND NAVIGATION SECTOR

Building with Nature applications may offer major opportunities to the ports and navigation sector when the knowledge and experience gained from concepts tested in pilot projects can be upgraded towards project scale. Benefits will be a reduction of business risks and operational costs, while offering substantial opportunities for operating respon-

sibly in sensitive environments. Furthermore, inclusive approaches that sustain ecosystems and their values help create *shared value*, enabling multiple land uses to co-exist.

## **Reducing business risks and operational costs**

Research has shown that the combination of grey and green engineering solutions can offer substantial cost reduction. Establishing a salt-marsh right next to a container terminal, for example, may bring down the costs of seawalls, quays or other hard structures. Restoring a flood-retaining wetland upstream, may be cheaper than constructing expensive flood defences on-site. As such measures are less static compared to infrastructure-based approaches, they allow a phased approach that creates flexibility in mitigating emerging impacts due to i.e. climate change.

Building with Nature can also reduce operational costs. By planning harbour and navigation infrastructure based on a full understanding of hydraulic and morphological processes, costs for maintenance dredging can be optimised.

## **Operating responsibly in sensitive environments**

Requirements by the International Finance Corporation (IFC), the Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) and local regulators to avoid, minimize and mitigate the impacts of infrastructure development become increasingly strict and influence the feasibility of infrastructure projects. Consequently, costs and duration of permitting procedures for conventional infrastructure solutions increase rapidly. Meanwhile residual social and environmental impacts remain substantial, particularly in vulnerable coastal environments with critical habitats such as mudflats, coral reefs or mangroves.

A core aspect of Building with Nature is that it embeds hydraulic infrastructure in the landscape in a way that it results in minimal disturbance of the natural environment. Additionally, the integration of ecosystem-based measures in infrastructural designs does not only enhance the resilience of engineering works, but also increases their sustainability. In some cases a net-positive impact can be created: the net social and environmental benefits of a development are higher with respect to the status quo situation.

## **Creating shared value**

Coasts, deltas and rivers are intensively used by a highly diverse group of stakeholders with different and often opposing needs and interests. By implementing major infrastructural developments in line with Building with Nature it can be ensured that these diverse demands are accommodated and respected. As example, a protective mangrove patch

in a harbour development makes that important values for the fisheries and tourism sector can be sustained.

Creating such *shared value* offers a 'license to operate', while enabling the ports and navigation sector to work with others in solving key societal challenges such as climate change, biodiversity loss and poverty. This contributes to achieving corporate commitments in relation to the Sustainable Development Goals and the Paris agreement.

## REFERENCES

- CDR, 2018 <http://cdr-international.nl/portfolio/nigeria-dangote-supervision-sandbar-breakwater/>
- De Jong, Maarten F., Bas W. Borsje, Martin J. Baptist, Jan Tjalling van der Wal, Han J. Lindeboom, Piet Hoekstra (submitted), Ecosystem-based design rules for marine sand extraction sites.
- De Vriend, H. J.; Van Koningsveld, M.; Aarninkhof, S. G. J.; De Vries, M. B. & Baptist, M. J., 2015. "Sustainable hydraulic engineering through Building with Nature" *Journal of Hydro-environment Research*, 9(2015), pp.159-171.
- Kramer, A., Francour, P., Lescinski, J. M, Gautier - Debernardi, J. 3D printed reefs as an enrichment for natural habitats. June 2016. Conference: Proceedings of the 13th International Coral Reef Symposium At: Honolulu, Hawai'i, 19-24 June 2016.
- Spek, B.J. van der et al 2018. The successful realization of a Sandbar breakwater in Nigeria. Building with Nature Conference 2018, Utrecht, The Netherlands. Presentation.
- Stive, Marcel J.F., Matthieu A. de Schipper, Arjen P. Luijendijk, Stefan G.J. Aarninkhof, Carola van Gelder-Maas, Jaap S.M. van Thiel de Vries, Sierd de Vries, Martijn Henriquez, Sarah Marx, and Roshanka Ranasinghe. 2013. A New Alternative to Saving Our Beaches from Sea-Level Rise: The Sand Engine. *Journal of Coastal Research: Volume 29, Issue 5: pp. 1001 – 1008. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00070.1>*.
- Vroom, J., et al 2017. Effectiveness of the mud motor near Koehool: Results and interpretation of a tracer study. *Deltares*. <https://www.ecoshape.org/uploads/sites/2/2016/07/Rapport-Effectiveness-of-the-mud-motor-near-Koehool.pdf>.

# Trabajando con la Naturaleza- Desarrollo Sostenible de Infraestructura Náutica para Recreación y Turismo

Esteban L. Biondi

<sup>1</sup> Associate Principal. Applied Technology & Management, Inc. ebiondi@appliedtm.com

## RESUMEN

“Trabajando con la Naturaleza” (*Working with Nature*) es una filosofía de planificación y diseño propuesta por PIANC para mejorar la calidad y viabilidad de los proyectos de infraestructura de navegación y facilitar su implementación. Este trabajo se refiere a la aplicación de esta filosofía a proyectos de infraestructura náutica para recreación y turismo. Se resume la filosofía de Trabajo con la Naturaleza (WwN) y se proponen guías para cumplir con los objetivos de la misma en proyectos de recreación y turismo, tales como marinas, puertos deportivos o destinos de yates.

Se analizan las características intrínsecas de los proyectos de infraestructura de recreación y se expone cómo la metodología propuesta permite encontrar elementos que agregan valor al proyecto, no sólo disminuyen sus impactos negativos en su entorno ambiental y social. La identificación de oportunidades de valor agregado es una de las características más importantes de esta filosofía, que especialmente fructífera al aplicarse a los proyectos de recreación y turismo.

Se discuten características fundamentales y propiedades emergentes del proceso de diseño de marinas basado en esta filosofía. Para la metodología propuesta por PIANC se dan ejemplos breves de cómo aplicarla a proyectos de marinas.

Siguiendo los pasos de WwN, por ejemplo, se destaca la importancia de la correcta definición de los objetivos de diseño. Si bien este paso parece obvio, la experiencia indica que en muchos proyectos de marinas no se alcanzan los objetivos deseados por no estar adecuadamente planteados.



El proceso de planificación y diseño debe ser integrado; no se puede avanzar demasiado en un aspecto de diseño (por ejemplo la ingeniería) sin haber evaluado en forma integral y con suficiente detalle otros aspectos (como el ambiental, social o de mercado). Se ilustra cómo el diseño de marinas puede realizarse siguiendo un proceso estructurado pero flexible.

La filosofía de WwN no tiene como objetivo directo el cumplimiento de una norma o guía de diseño, ni reemplaza al proceso regulatorio de estudio de impacto ambiental. Es *“una nueva forma de pensar”* que resulta espontáneamente compatible con los proyectos de marinas. Se propone el ejercicio de *“liberarse”* de las reglamentaciones y del marco regulatorio en la etapa creativa del diseño, para enfocar el proceso primero en la búsqueda de soluciones integradas que maximicen los atributos positivos del proyecto en función de múltiples objetivos de diseño.

En lo referente al marco regulatorio ambiental, se propone que este enfoque dará mejores resultados, al someter un proyecto de mejor calidad al proceso de estudio de impacto ambiental, requerido por el marco regulatorio. Se propone que poniendo énfasis en optimizar la calidad del diseño en forma proactiva, el resto se logra por añadidura.

En los proyectos de infraestructura náutica para recreación y turismo, la consideración de los atributos naturales y los procesos necesarios para la sostenibilidad ecológica son especialmente compatibles con otros objetivos económicos de diseño, por ejemplo en las marinas turísticas y renovación de frentes portuarios o urbanos. En forma similar a los aspectos ambientales, se propone que la consideración temprana y adecuada de aspectos sociales pueden aumentar el valor del proyecto como producto turístico. Este enfoque permite optimizar el proceso de diseño para lograr impactos positivos netos de proyectos tales como marinas o puertos deportivos.

## INTRODUCCIÓN A “TRABAJANDO CON LA NATURALEZA”

### Una filosofía de diseño

Trabajando con la Naturaleza (WwN) es una filosofía de diseño que se basa en identificar oportunidades para optimizar el diseño de infraestructura de navegación, a partir de la consideración temprana de los aspectos ambientales relevantes para el planeamiento y diseño. WwN es una filosofía que pretende cambiar la actitud del diseño: *“una nueva forma de pensar”* (PIANC, 2011). Se llama la atención sobre los impactos ambientales insatisfactorios de muchos proyectos construidos y la incapacidad de obtener permisos en otros casos. Como solución, propone una nueva actitud para enfocar el proceso de diseño y ofrece una variación al proceso para mejorar sus resultados. Utilizando las mismas herramientas técnicas, se logran mejores resultados utilizando un proceso de diseño más integrado.

En su documento inicial de posición, PIANC (2011) decía “WwN requiere tomar un enfoque plenamente integrado tan pronto como se definan los objetivos del proyecto, es decir, antes de que se avance en la planificación inicial”. El enfoque plenamente integrado –que incluye los aspectos económicos, ambientales y sociales– es parte integral de la planificación, y debe nutrir todas las etapas de conceptualización, planificación, pre-factibilidad, factibilidad y anteproyecto.

Esta filosofía identifica explícitamente buenas prácticas de planeamiento y diseño. Por ejemplo, WwN puede verse como un marco de referencia, que incluye el “diseño ambiental” (Biondi 2015, 2017, 2018) o buenas prácticas recomendadas para alcanzar sustentabilidad social en proyectos de marinas (Biondi, 2013, 2014; Biondi y Lara, 2015).

Si bien alcanzar este cambio de actitud puede enfrentar obstáculos para su implementación, creemos que el verdadero desafío es mantener la nueva forma de actuar. Las presiones cotidianas a las que se enfrentan los profesionales de diseño, derivadas de restricciones de tiempo y presupuesto, entre otras, presentan el riesgo de degradar nuevamente los procesos y distorsionar el cambio de actitud propuesto.

En síntesis, WwN requiere que se identifiquen los objetivos fundamentales del proyecto y que se consideren las condiciones del sitio desde el punto de vista ambiental y social desde la concepción inicial del proyecto, de la misma forma que los aspectos técnicos. En un proceso integrado de diseño, no pueden desarrollarse soluciones de infraestructura que no tienen suficiente sustento ambiental o social, y están sólo basadas en ingeniería.

## El proceso básico

WwN (PIANC, 2011) propone un proceso de diseño con los siguientes pasos:

1. Establecer las necesidades del proyecto y los objetivos,
2. comprender el medio ambiente,
3. hacer un uso significativo de la participación de los grupos interesados y comprometidos para identificar conjuntamente posibles oportunidades beneficiosas para todos,
4. preparar el diseño o las propuestas iniciales del proyecto en beneficio de la navegación y la naturaleza.

La nueva guía propuesta por el Grupo de Trabajo No. 176 (PIANC, 2018), además agrega pasos posteriores al diseño, que cubren todo el ciclo de vida del proyecto,

para implementar un proceso de gestión con adaptación continua (“adaptive management”):

5. construir el proyecto implementando los objetivos de diseño y maximizando las oportunidades de sinergias,
6. monitorear la operación del proyecto, evaluar sus resultados e identificar adaptaciones de diseño u operación que puedan beneficiar al proyecto.

A primera vista, algunos de estos pasos parecen simplistas. Sería fácil descartarlos como obviedades o “verdades de perogrullo”, de no ser porque la experiencia ha demostrado que en demasiados casos estos pasos no se cumplen.

Es importante interpretar el significado profundo de cada uno de estos pasos, para que su implementación sea efectiva. El cumplimiento de estos pasos es necesario pero no suficiente para alcanzar los objetivos deseados. Por la misma razón por la cual el proceso de EIA en muchos casos se degrada al punto de convertirse en una mera formalidad, WwN puede también convertirse en un formalismo si no se adopta como una filosofía de diseño.

Además de recomendar un cambio de actitud, WwN ofrece un procedimiento. Como en tantos otros casos de metodologías sólidas, creemos se puede decir que “el proceso es siempre el mismo –el resultado es siempre distinto”.

WwN también reitera lo que ya sabemos de las mejores prácticas de diseño de marinas –que se requiere un proceso de planeamiento integrado. Es decir, los aspectos ambientales deben estar integrados al proceso de diseño desde su concepción, y no pueden considerarse recién como parte de los estudios de impacto ambiental (EIA). El proceso debe estructurarse pero flexible, para responder en forma eficaz a medida que se cuenta con información adicional.

## **La filosofía en el contexto de los estudios de impacto ambiental**

La filosofía de WwN no reemplaza al proceso formal de EIA, sino que lo complementa; y refuerza el mismo objetivo de alcanzar un desarrollo sustentable. Se puede decir que WwN presenta una modificación al proceso de diseño para robustecer las debilidades que en la práctica ha demostrado el proceso de EIA cuando se lo implementa sólo como una necesidad reglamentaria. “Trabajando con la Naturaleza” como enfoque de diseño integrado, resulta en la definición de un proyecto de mejor calidad, de modo que el proceso de EIA es más efectivo en alcanzar su objetivo profundo de sostenibilidad económica, ambiental y social.

Este procedimiento se propone como una mejora al enfoque tradicional, secuencial y rígido, por el cual primero se conceptualiza y desarrolla la factibilidad técnico-económica y luego se somete el proyecto al proceso formal de estudio de impacto ambiental. Si bien el proceso de EIA tiene previsto que el diseño se modifique para reducir su impacto ambiental y agregar medidas compensatorias, en la práctica existe mucha presión –explicada por cronogramas y presupuestos– para que los cambios al diseño sean menores y no respondan en profundidad a las condiciones ambientales y sociales que el EIA identifica. En muchos casos, los contratos de consultoría de diseño e EIA son independientes y secuenciales, por lo que el flujo de información e integración del proceso no se da en la práctica.

En su documento inicial de posición, PIANC (2011) decía “WwN es algo más que evitar o mitigar los impactos ambientales de un diseño predefinido” (énfasis agregado). En realidad, WwN **es mucho más que mitigar los impactos** ambientales de un diseño predefinido; WwN es cambiar el proceso de diseño para que el proyecto que se somete al proceso de EIA no sólo tenga mucho menos impacto ambiental, sino que haya mejorado la solución técnica y económica mediante la identificación de oportunidades y sinergias “trabajando con la naturaleza”.

## Los proyectos de infraestructura náutica para recreación y turismo

Los proyectos de infraestructura náutica para recreación y turismo ofrecen oportunidades únicas para implementar WwN, ya que una parte esencial del valor de estos proyectos está ligada al ambiente natural, paisaje y cultura. La razón de ser de una marina, y su valor económico, es el apoyo a actividades de ocio donde la “experiencia del huésped” tiene un rol preponderante.

La calidad de la experiencia del usuario de una marina es un requisito del negocio. Crear “escenarios para experiencias auténticas y memorables” de los visitantes y usuarios (Pine y Gilmore, 1999) es necesario y un objetivo de diseño de los proyectos de marinas (Biondi, 2014; Biondi, 2010). Por esta causa, la sinergia entre el valor del proyecto y sus atributos ambientales y culturales es muy fuerte. Para el diseñador de marinas experimentado, esta relación es obvia, natural y espontánea.

Por ejemplo, la creación de hábitat como parte de un proyecto portuario no beneficia directamente a la gestión portuaria de la misma forma que un elemento de diseño similar puede aumentar el valor de una marina. En general, los usuarios y visitantes de una marina reconocen explícitamente el valor estético y ecológico de la inclusión de vegetación de humedales (por ejemplo, mangle) en una obra de margen de una marina. Este valor estético y ambiental es reconocido directamente por el usuario final, lo cual aumenta el valor comercial del proyecto en el corto plazo y a lo largo de toda su vida útil.

Sin perjuicio de este aumento en el valor intrínseco del proyecto que puede lograrse con la implementación de WwN en proyectores de marinas, también pueden alcanzarse reducciones de costo de construcción y operación, así como evitar inconvenientes serios para la aprobación de los proyectos – los cuales son beneficios típicos también en otro tipo de proyectos de infraestructura de navegación por agua.

## APLICACIÓN DE “TRABAJANDO CON LA NATURALEZA”

### Establecer las necesidades y objetivos del proyecto

Como primer paso, WwN pide identificar los objetivos fundamentales del proyecto. Tradicionalmente, sólo los objetivos básicos funcionales o económicos se identifican (PIANC, 2018). WwN propone una visión más amplia e integrada, en la que otros objetivos –que agregan valor en forma directa e indirecta, reducen costos o minimizan riesgos– son identificados explícitamente.

Este primer paso pone énfasis en la importancia de la correcta definición de los objetivos de diseño. Si bien este paso parece obvio, la experiencia indica que en muchos proyectos de marinas no se alcanzan los objetivos deseados por no estar adecuadamente planteados. Como en tantos otros casos, “en el planeamiento de una marina la definición de los problemas de diseño es usualmente más importante que la solución” (Biondi, 2010).

En cuanto a los objetivos de diseño de marinas, tradicionalmente sólo los objetivos técnicos y funcionales se identifican y estudian en detalle, mientras que los económicos muchas veces no se estudian adecuadamente y muchas veces no se alcanzan; más aún, los objetivos profundos orientados a ofrecer una experiencia integral raramente se plantean (Biondi, 2010).

En las marinas, los objetivos prioritarios pueden ser distintos en proyectos públicos y privados (Biondi, 2017). En los primeros, por ejemplo, el acceso público u otros beneficios a la comunidad pueden tener una prioridad alta; mientras que en los proyectos privados el retorno económico de la inversión tiende a ser la principal prioridad. Sin embargo, en todos los casos se deben alcanzar objetivos básicos de factibilidad. También en todos los casos, una visión amplia permite identificar oportunidades de sinergias y valor agregado, especialmente por la integración de objetivos ambientales y sociales. En los proyectos de infraestructura de navegación para recreación y turismo, la identificación adecuada de objetivos ambientales, sociales y culturales, contribuye a aumentar el valor económico del proyecto.

El análisis y documentación de los objetivos y necesidades del proyecto debe ser realizado por el diseñador de la marina para el dueño del proyecto. Es responsabilidad del

diseñador convertir los requerimientos básicos del dueño en un conjunto homogéneo y estructurado de objetivos, donde se valoran adecuadamente los factores ambientales y sociales y su posible contribución al éxito del proyecto.

La identificación de objetos es un proceso dinámico (PIANC 2018), y no se termina al “pasar al siguiente paso”. El proceso de diseño puede identificar oportunidades durante las investigaciones de terreno, comprensión del medio ambiente o en el desarrollo de propuestas de diseño, que pueden documentarse *a posteriori* como objetivos modificados o enteramente nuevos (Biondi 2017b).

Por ejemplo, durante una investigación preliminar del sitio de proyecto en las Islas Cayman, se identificó que un humedal adyacente al sitio de la marina estaba deteriorado. Como parte de la conceptualización del proyecto, se incorporó la restauración ambiental de la franja de manglar, la construcción de pasarelas y canales para kajaks, y el uso de estas obras para incluir obras de protección costera (ULI, 2015; Biondi, 2017a). Esta oportunidad no estaba prevista por el dueño ni por el equipo de diseño como un objetivo inicialmente, pero fue agregado y resultó en un planteo conceptual sólido, que fue aprobado por el dueño y presentado con gran éxito a las autoridades ambientales locales.

## Comprender el Medio Ambiente

Las mejores prácticas de diseño de marinas ya establecen que el proceso de diseño y desarrollo de marinas debe ser integrado e incluir la reducción de impactos ambientales como objetivo intrínseco del proceso. En la práctica, esto sólo se logra cuando el proceso de diseño y los estudios ambientales son partes de un proceso integrado.

PIANC (2018) enumera los elementos necesarios para la comprensión del medio ambiente, que son los mismos que en general deben considerarse para los estudios de impacto ambiental. Sin embargo, en la práctica se presentan problemas cuando se pretenden hacer estudios ambientales detallados en una etapa inicial del proyecto. Creemos que la forma más eficiente de aplicar WwN a proyectos de marinas no se basa en realizar todos los estudios necesarios para el diseño al comienzo del proceso, sino en identificar cuáles son los estudios detallados imprescindibles en cada etapa, dependiendo del proyecto.

Especialmente en los proyectos privados, es muy difícil conseguir el presupuesto necesario para estudios detallados durante las etapas iniciales de desarrollo del concepto y evaluación de factibilidad. Esta realidad sugiere que la experiencia del equipo de diseño es sumamente importante para adelantar cualitativamente la evaluación del sitio y tomar las precauciones ambientales necesarias. En forma similar, la experiencia permite identificar tempranamente oportunidades para incorporar elementos de valor ecológico y

beneficios comunitarios al proyecto. Por ejemplo, los ingenieros costeros y portuarios identifican cualitativamente las variables físicas de diseño y definen los estudios específicos a medida que resultan necesarios. La recomendación es que se ponga el mismo cuidado y dedicación en obtener y generar la información de base en los aspectos ambientales, sociales y económicos.

Si bien es conocido que el mercado puede ser tan determinante para el diseño de una marina como el oleaje, también es necesario resaltar que entender las bases del ecosistema y la situación social local puede ser tan importante como la comprensión de los procesos físicos. En apoyo a esta comprensión inicial, fuertemente cualitativa, resulta imprescindible una adecuada evaluación del sitio, tanto mediante análisis de gabinete como inspecciones del terreno.

Una vez que el concepto inicial está identificado y validado económicamente a cierto nivel, el proceso privado de desarrollo y financiación usualmente permite la realización de estudios específicos como parte de los estudios de factibilidad detallada. Éstos culminan en un anteproyecto, que luego es sometido al proceso de EIA. En estos casos, resulta importante que el diseñador pueda recomendar estos estudios según una escala de prioridades. Los estudios que se sabe serán requeridos por las autoridades como parte del estudio de impacto ambiental, deben adelantarse en la medida de lo posible. Esto incluye algunos estudios en modelos (PIANC 2018), aunque no todos puedan justificarse ante un inversor privado. En nuestra experiencia, la principal justificación para realizar estudios antes ser demandados por proceso legal de EIA, es demostrar que la información de estos estudios será útil para desarrollar soluciones integrales con menores costos de construcción y operación.

## **Identificar beneficios para todos, incluyendo a la comunidad**

PIANC (2011) pide considerar en forma relevante a la participación de los interesados en el proyecto, para identificar oportunidades de beneficios múltiples (“win-win”). ¿De qué forma los interesados pueden participar en forma relevante? La interpretación inmediata de esta recomendación se refiere a mecanismos de participación ciudadana (PIANC 2018), que son obligatorios según el marco regulatorio de muchos países y tienen amplios antecedentes en proyectos públicos. Sin embargo, en los proyectos de marinas de propiedad privada (Biondi, 2010) se dan habitualmente circunstancias un poco más complejas.

Podemos distinguir 3 niveles de vinculación del proyecto con los interesados: diseño participativo, consulta pública, o diseño orientado a la comunidad. El diseño participativo crea mecanismos para que los interesados puedan participar en la defini-

ción del proyecto. Por ejemplo, el sistema de “charrettes de planeamiento” (EPA, 2018; NCI, 2018) facilita la inclusión de los interesados en el proceso de diseño desde su concepción, para lo cual se requieren una preparación detallada y múltiples actividades abiertas al público. Esta técnica formal, desarrollada y optimizada durante décadas, es común en proyectos municipales en los Estados Unidos, y resulta un ejemplo valioso para considerar, especialmente en proyectos públicos. Los mecanismos de consulta, incluidos en muchos marcos regulatorios, sólo requieren informar a los interesados sobre el proyecto y recabar sus opiniones, por lo que implican una participación de menor intensidad. El diseño orientado a la inclusión no tiene un proceso formal de comunicación temprana con los interesados, sino que requiere que los diseñadores consideren los intereses y potenciales beneficios de la comunidad local.

Si bien un proceso de diseño participativo es el ideal (Biondi y Lara 2015), no siempre es posible. En los proyectos privados, especialmente en mercados fuertemente competitivos, la publicidad amplia y temprana del proyecto puede ser negativa para los desarrolladores. En esos casos, creemos que se puede cumplir con la filosofía de WwN si se adopta un criterio de diseño orientado a la inclusión. El diseñador debe realizar investigaciones y consultas privadas para identificar oportunidades de beneficio comunitario. Como resultado, pueden incluirse espacios dedicados a operadores turísticos de la comunidad local. Este enfoque está desarrollado en otras publicaciones (Biondi 2013; Biondi y Lara 2015; Biondi 2014).

## Preparar propuestas/diseños en beneficio de la navegación y la naturaleza

Este paso representa la culminación lógica del proceso en el que se definen objetivos fundamentales, se considera apropiadamente el medio ambiente, y se considera en forma relevante a los interesados. Los documentos de diseño deben plasmar los resultados del proceso, especialmente por la inclusión de valor agregado por la incorporación de consideraciones ambientales y sociales.

Un aspecto fundamental del proceso es que los estudios ambientales deben usarse como una herramienta de diseño. Las restricciones ambientales pueden convertirse en oportunidades de diseño, por ejemplo con el uso de elementos de proyecto basados en sistemas naturales (Bridges *et al*, 2015).

La propuesta de diseño que surge de este paso es el punto de partida para el proceso formal de EIA. Sin embargo, no puede considerarse como un diseño final hasta que no haya sido validada o –mejor dicho– mejorada como resultado del proceso de EIA.



## CONCLUSIONES

El proceso de planificación y diseño de marinas debe ser integrado; no se puede avanzar demasiado en un aspecto de diseño (por ejemplo la ingeniería) sin haber evaluado en forma integral y con suficiente detalle otros aspectos (como el ambiental, social o de mercado).

La filosofía de WwN es “una nueva forma de pensar” que resulta espontáneamente compatible con los proyectos de marinas. Si bien no tiene como fin el cumplimiento de una reglamentación, su implementación refuerza los objetivos de sostenibilidad del proceso de EIA.

En los proyectos de infraestructura náutica para recreación y turismo, la consideración de los atributos naturales y los procesos necesarios para la sostenibilidad ecológica son especialmente compatibles con otros objetivos económicos de diseño. En forma similar, la consideración de aspectos sociales pueden aumentar el valor del proyecto como producto turístico. Este enfoque permite optimizar el proceso de diseño para lograr impactos positivos netos de proyectos tales como marinas o puertos deportivos.

## REFERENCIAS

- Biondi, Esteban L. (2010). “Planeamiento de Marinas - Experiencia Internacional para América Latina”. VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria y Seminario Latinoamericano PIANC “Desarrollo Sustentable de Infraestructura Portuaria en América Latina”.
- Biondi, Esteban L. (2013). “Sustainable Marinas: Social Responsibility and Guest Experience”, in *Marina World*, May-June 2013.
- Biondi, Esteban L. (2014). “Planning Sustainable Marinas - The Social Dimension of Sustainability”. PIANC World Congress 2014, San Francisco, June 3, 2014.
- Biondi, E. L. and A. L. Lara (2015). “Sustainable Marinas – Institutional Framework of Sustainability”. PIANC SMART Rivers 2015, Buenos Aires, September 7-11, 2015.
- Biondi, Esteban L. (2015). “Design for the Environment”, in *Marina World*, May/June 2015.
- Biondi, Esteban L. (2017a) “Ritz Carlton Grand Cayman and Scientifically Based Environmental Restoration” in: Honey M, Hogenson S (ed) *Coastal Tourism, Sustainability, and Climate Change in the Caribbean, Vol I*, Business Expert Press, New York, pp 67-73.
- Biondi, Esteban L. (2017b). “Working with Nature - Planning Sustainable Marinas”. PIANC SMART Rivers 2017, Pittsburgh, Pennsylvania, 18-21 September 2017.
- Biondi, Esteban L. (2018). “Planning Marinas for Uncertain Futures: Environmental Design and Social Sustainability” in: Honey M, Hogenson S (ed) *Marine Tourism, Climate Change and Resilience in the Caribbean, Vol II*, Business Expert Press, New York, pp 75-86.

- Bridges, TS, PW Wagner, KA Burks-Copes, ME Bates, ZA Collier, CJ Fischenich, JZ Gailani, LD Leuck, CD Piercy, JD Rosati, EJ Russo, DJ Shafer, BC Suedel, EA Vuxton, and TV Wamsley. (2015) "Use of Natural and Nature-Based Features (NNBF) for Coastal Resilience". Engineer Research and Development Center (ERDC). Vicksburg, MS. ERDC SR-15-1.
- EPA (2018). "Public Participation Guide: Charrettes" [www.epa.gov/international-cooperation/public-participation-guide-charrettes](http://www.epa.gov/international-cooperation/public-participation-guide-charrettes).
- NCI (2018). Charrette System Process, National Charrette Institute. [www.canr.msu.edu/nic/nci-charrette-system/process](http://www.canr.msu.edu/nic/nci-charrette-system/process).
- PIANC (2011). Documento de Posición 'Working with Nature' Octubre 2008; revisado Enero 2011 <http://www.pianc.org/wwnpositionpaper.php>.
- PIANC (2018). "Guide for Applying Working with Nature to Navigation Infrastructure Projects". Working Group Report No. 176-2018 (en edición final).
- Pine J. and J. Gilmore (1999). "The Experience Economy". HBS Press, Boston, MA, USA.
- Urban Land Institute (2015). "Returns on Resilience: The Business Case". ULI Center for Sustainability. Washington, D.C.: Urban Land Institute. pp. 27-29.



## Proyecto LIFE REMoPaF. Recuperación del molusco *Patella ferruginea* en peligro de extinción

Natalia García Estévez <sup>1</sup>; Carmen Pitarch Moreno <sup>2</sup>; Manuel Maestre Delgado <sup>3</sup>;  
Patricia Fort Santa-María <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Gestor de proyectos de la Gerencia de Desarrollo Sostenible y Consultoría.  
natalia.garcia.estevez@acciona.com

<sup>2</sup> Jefe de la División de Calidad, Medio Ambiente y PRL. cpitarch@puertodemelilla.es

<sup>3</sup> Dr. en Biología. Máster Universitario en Gestión Sostenible de Sistemas Costeros y Marinos.  
manumaestre@us.es

<sup>4</sup> Técnico de Medio Ambiente de la Gerencia de Desarrollo Sostenible y Consultoría.  
patricia.fort.santamaria@acciona.com.

### RESUMEN

El proyecto *LIFE REMoPaF* (código LIFE15 NAT/ES/000987) “*Recovery of Endangered Mollusc Patella Ferruginea Population by Artificial Inert Mobile Substrates in Mediterranean Sea*” fue adjudicado por la Comisión Europea en julio de 2016, con una duración de 5 años (hasta junio 2021), al Consorcio formado por Acciona Ingeniería, Universidad de Sevilla y Autoridad Portuaria de Melilla. El presupuesto del proyecto asciende a 1.810.566 € con una subvención de la Unión europea del 60% de los costes elegibles del mismo.

El proyecto tiene como principal objetivo el desarrollo de nuevas técnicas innovadoras que contribuyan a reforzar las poblaciones de la lapa *Patella ferruginea*, gravemente amenazada y en fase de regresión fundamentalmente debido a la contaminación del medio marino y a la actuación del hombre. Las técnicas aplicadas se basan en el conocimiento de la especie y experiencias científicas anteriores, en línea siempre con la *Estrategia para la conservación de la lapa ferruginea (Patella ferruginea) en España* (MAGRAMA, 2008).

Asimismo, el proyecto incluye dentro de sus objetivos principales la concienciación de la población en materia de sostenibilidad y biodiversidad como principal motor de la gestión sostenible de la costa e infraestructuras portuarias.

## PONENCIA

La lapa ferruginosa es un gasterópodo endémico del mar Mediterráneo Occidental que está catalogada como “En peligro de Extinción” en el Catalogo Español de Especies Amenazadas, y se encuentra recogida en el Anexo IV de la Directiva Hábitats, lo que obliga a los Estados a su protección estricta, incluso fuera de la Red Natura 2000.

La especie está considerada en la actualidad como el invertebrado marino más amenazado de las costas rocosas del Mediterráneo Occidental. Se considera prácticamente extinguida en las costas francesas e italianas y, dentro del continente europeo, únicamente existen pequeñas poblaciones en el litoral andaluz y en enclaves muy concretos de las costas de Córcega y Cerdeña, las islas Egadi y la Toscana.

Las únicas poblaciones actuales con un contingente elevado, y por tanto con un importante potencial reproductor, se localizan todas ellas en el litoral norteafricano, destacando Ceuta, Melilla, islas Chafarinas, isla de Zembra (Túnez) y las islas de Rachgoun y Habibas (Argelia).

Las principales causas de la regresión se asocian tanto a la acción directa del hombre principalmente por recolección y captura, así como a la destrucción de hábitat por ocupación física del litoral y contaminación, ya que la especie presenta condicionantes biológicos y ecológicos particulares que le inducen una baja capacidad de dispersión y de adaptación a nuevos entornos.



Figura 1: Ejemplares de *Patella ferruginea* en el Puerto de Melilla. A) ejemplar adulto con foresia de un juvenil. B y C) Concha muy característica de color “ferruginoso” con unas costillas radiales que permiten diferenciarla de otras especies de patélicos.

## Etapas y actividades del proyecto

Los principales objetivos que persigue el proyecto son *diseñar, ensayar y aplicar nuevas técnicas y métodos de manejo de la especie *Patella ferruginea** basadas en los conocimientos sobre su biología y ecología así como en experiencias científicas anteriores, que puedan contribuir significativamente a la recuperación de la especie a partir de la repoblación o su introducción en nuevos ámbitos, en línea con la *Estrategia para la conservación de la lapa ferrugínea (*Patella ferruginea*) en España* (MAGRAMA, 2008), así como la concienciación de la población en materia de sostenibilidad y biodiversidad.

Para la consecución de estos objetivos, las principales actividades del proyecto LIFE REMoPaF son las siguientes:

- *Diseño y desarrollo de sustratos artificiales móviles (AIMS- Artificial Inert Mobile Substrates)* realizados combinando tecnologías convencionales e innovadoras (3D printing) dotados de la rugosidad adecuada para el reclutamiento de ejemplares mediante la simulación 3D del hábitat de la especie, con una durabilidad de 25 años y que permitan un fácil manejo a la vez que una gran resistencia estructural a los fuertes eventos climatológicos que acontecen en la zona donante, Puerto de Melilla (ver figura 2). Para ello se realizó una primera prueba piloto que permitió mejorar y modificar las características del diseño de los AIMS.
- *Colocación y fijación de los AIMS en la zona Donante* (Puerto de Melilla) con el fin de que se asienten sobre ellos reclutas de la especie. Para ello, en primer lugar, se

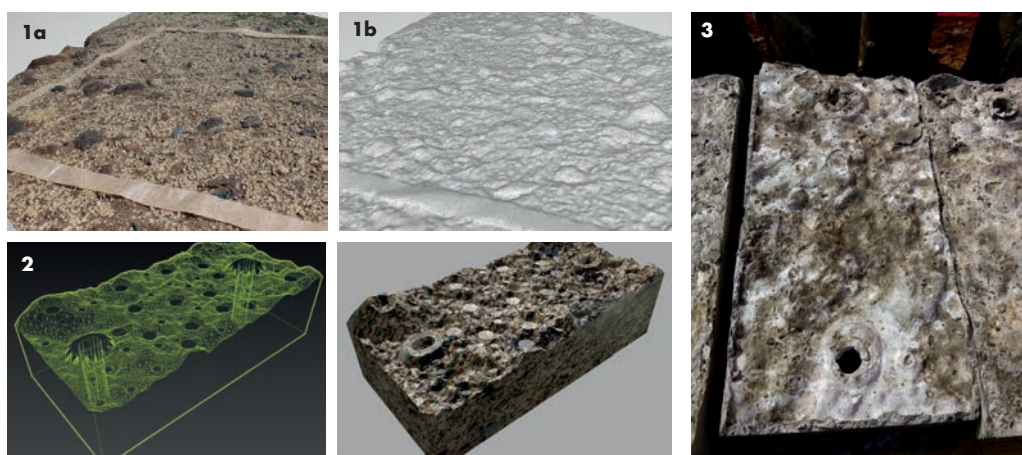


Figura 2: Proceso de escaneo (1a), digitalización del terreno (1b), conversión en 3D (2) e impresión sobre hormigón convencional en los AIMS (3) para recreación del hábitat de *Patella ferruginea*.

elaboró un “Protocolo de Actuación de *Patella ferruginea*”, en el que se incluyen los principales aspectos a tener en cuenta para la protección de la especie, y del que es conocedor cualquier persona que trabaje en el proyecto. El Protocolo se actualiza continuamente según se adquieren nuevos conocimientos.

Para esta fase de colocación de AIMS es preciso contar con los permisos, tanto para la instalación de los AIMS (concedido por la Autoridad Portuaria correspondiente) como para el manejo de la especie (Organismo Ambiental Autónomo correspondiente).

Posteriormente, se procede a la colocación y fijación in situ de los AIMS con el sistema de anclaje diseñado. Está prevista la colocación de AIMS en la zona donante en dos fases o periodos, fijando cada AIMS con dos pernos y tuercas de anclaje de acero inoxidable (ver figura 3) siguiendo los criterios fijados por el Socio científico (Universidad de Sevilla) para el control de la población (establecimiento de transectos de control, con y sin AIMS instalados y transectos para el reclutamiento). La fijación de AIMS se realiza en tres disposiciones diferentes en referencia al sustrato de anclaje: Sobre sustrato (SS), En Voladizo (V), e Inclinado (I) para analizar cuál de ellas revela mejores resultados de reclutamiento y menor impacto sobre el hábitat de la especie (ver figura 3).

- Traslado de los AIMS que presenten reclutamiento de la especie a la zona Receptora seleccionada (Puerto deportivo de La Línea de la Concepción, Cádiz). Todos los ensayos anteriores de traslados realizadas con un número representativo de ejemplares, en el que diferentes protocolos han sido probados, no sobrepasaron el 50% de su-



Figura 3: Disposición de AIMS ensayada: Sobre sustrato (SS), en Voladizo (V) e Inclinado (I).

pervivencia. Por tanto, esta etapa, el traslado de reclutas, constituye la etapa de mayor riesgo del proyecto, por lo que se ha decidido ejecutar en dos fases: una primera fase con menor cantidad de AIMS y una segunda con el resto de AIMS en la que se puedan mejorar y minimizar la problemática surgida en el primer traslado.

- Seguimiento durante las distintas fases del proyecto. Evaluación de resultados. Para ello se realiza una revisión cuatrimestral tanto a nivel estructural como de seguimiento poblacional de la especie y comunidades asociadas. Para poder conocer la evolución en el tiempo y el estado de conservación de la población asentada sobre el dique nordeste del puerto de Melilla, resulta fundamental conocer la densidad, talla y la tasa de mortalidad que presenta la especie en la zona de estudio.

El seguimiento de la densidad y talla de los individuos localizados en las parcelas seleccionadas como control (zonas C, ver figura 4) permite conocer el número de ejemplares

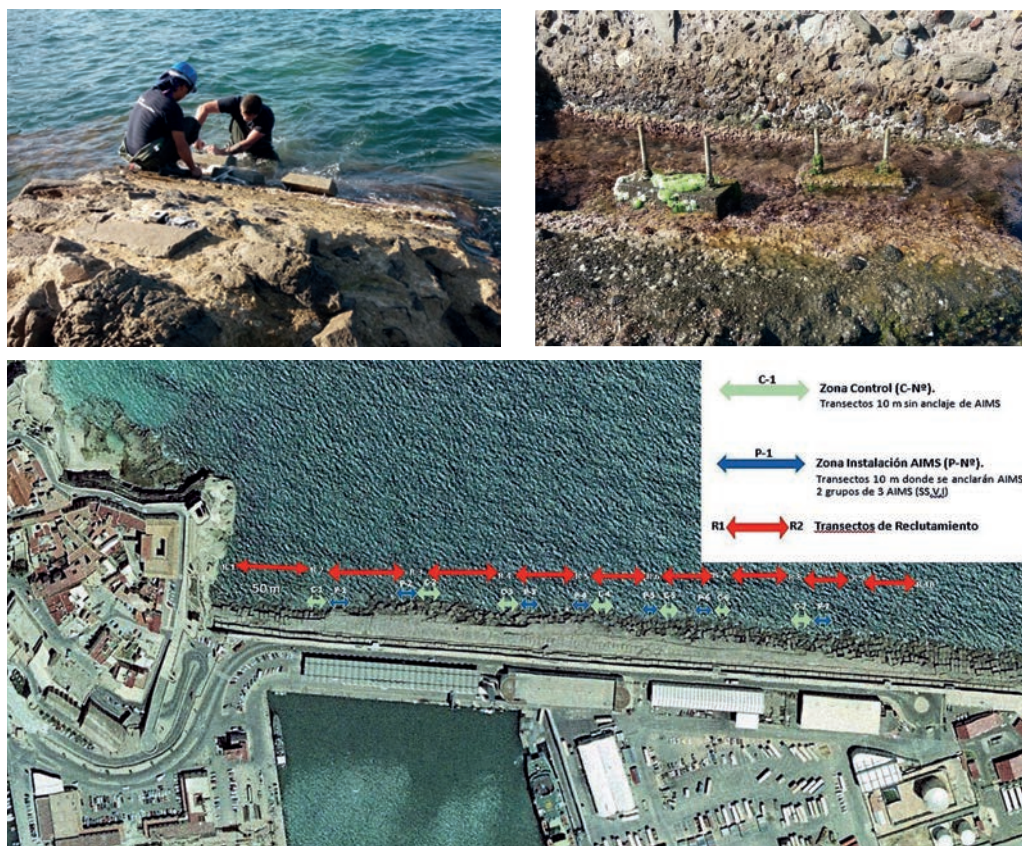


Figura 4: Instalación de AIMS en Zona Donante. Izda arriba: Instalación. Izda Abajo: AIMS instalados y colonizados. Drcha: Selección de transectos control sin AIMS (C-verde), control con AIMS (P-azul) y zonas de anclaje para reclutamiento (R-rojo).



mueritos a lo largo de la duración del proyecto y sí esta pérdida incide en mayor medida sobre un rango de talla de la población. Conocer la tasa de mortalidad natural de la especie a lo largo del periodo de estudio es necesario para poder discriminar las fluctuaciones naturales de densidad de la población de los potenciales efectos derivados de la instalación de los AIMS en la franja mesolitoral. Además, se realiza un control y seguimiento de otros indicadores ambientales, sociales y económicos que permiten establecer la influencia del proyecto en las zonas donante y receptora, la influencia de la población en el proyecto, eventos climatológicos y su interacción con el proyecto, etc.

- Elaboración de protocolos de manejo de la especie y de su hábitat, y su distribución a los organismos responsables de su gestión y a la comunidad científica. Una vez obtenidos los resultados al finalizar el proyecto, se establecerán los protocolos necesarios para el manejo de la especie, pudiendo éstos ser extrapolados y replicables en otras poblaciones y zonas similares (costas española, francesa, italiana y marroquí).
- Diseño e implementación de programas de difusión, y actividades de educación ambiental y formación, con el fin de favorecer un cambio en la actitud en la población y obtener el apoyo y la participación social necesarios para alcanzar los objetivos de sostenibilidad. Como se ha comentado uno de los factores principales que ha llevado al estatus tan crítico de esta especie es la intervención del hombre sobre su hábitat y sobre la propia especie. En muchas ocasiones el desconocimiento de su estado ecológico y nivel de protección conlleva que la población se vea mermada ampliamente por marisqueo, coleccionismo, etc.

Por ello, el proyecto desarrolla una campaña activa de difusión, educación ambiental en colegios, concursos, página web, redes sociales, congresos, etc.

## Principales avances y casuística surgida

El proyecto se inició en julio de 2016, y finalizará en junio de 2021. Hasta la fecha se ha realizado el diseño y construcción de AIMS, la instalación de una primera fase de AIMS (un total de 150) y recientemente la instalación de la segunda fase (500 AIMS) en la Zona Donante (Melilla). A finales de este año se realizará una primera fase de traslado de los AIMS que tengan reclutamiento hasta la zona Receptora, y a final del verano y otoño del año 2019 la segunda fase de traslado.

Durante todo este tiempo, el proyecto se ha ido encontrando con diversas situaciones e imprevistos que se han solventado en consenso tanto con la Unión Europea como dentro del propio Consorcio.

Así, por ejemplo, y en resumen, durante el diseño y realización de la prueba piloto inicial, diversas situaciones que condicionaban el desarrollo del proyecto fueron sucediendo. Para el diseño de los AIMS se tuvieron en cuenta aspectos tales como:

- Alta densidad de población de *Patella ferruginea* en la zona de anclaje, lo que dificultaba los trabajos de selección de puntos de instalación de AIMS.
- Aspectos climatológicos: Hidrodinamismo superior al esperado en la zona Donante y temporal acontecido durante el mes de marzo de 2017, con periodo de retorno de 500 años, a los pocos días de instalar los AIMS para la prueba piloto.
- La resistencia de los AIMS fabricados con la impresora 3D inicialmente prevista (impresión 3D de hormigón) no dieron los resultados esperados, permaneciendo íntegros exclusivamente un 11% de los instalados. Por lo que se descartó el uso de la Impresión 3D, y se decidió el uso de tecnología mixta: construcción con material convencional y recreación de la superficie hábitat de la especie mediante el uso de sellos impresos en 3D.
- Necesidad de añadir un refuerzo interno con armadura de acero en los AIMS.
- Mejora de la manejabilidad por peso (inicialmente el peso diseñado era en torno a los 30 kg por AIMS, posteriormente se pasó a pesos de 25 kg y finalmente con la última versión diseñada y testada, el peso ronda los 20 kg).

Todos estos aspectos llevaron a la toma de las siguientes decisiones:

- Estudio en detalle de la tasa actual de reclutamiento en la zona. Basándose en estudios recientes y la caracterización de la zona Donante se ha constatado que las tasas de reclutamiento en los últimos años son superiores, llegando incluso a tasas de 17 indiv./m. Esta nueva tasa de reclutamiento estimado ha permitido disminuir el número de AIMS a instalar, considerando tasas de reclutamiento conservadoras.
- Se analizaron distintas zonas del litoral melillense para determinar cuál presentaba la mayor tasa de reclutamiento, seleccionándose como más adecuada para la instalación el dique nordeste del Puerto de Melilla.
- Se propuso la realización del ensayo de reclutamiento en dos fases, para de ese modo minimizar los riesgos para la especie especialmente la operación de traslado, cuando podría ocurrir la mayor tasa de mortalidad para la especie.
- Ensayo de diferentes disposiciones sobre la escollera para minimizar el impacto de los AIMS sobre el hábitat de la especie: Sobre sustrato (SS), Inclinado (I) y En voladizo (V).

En la zona de instalación de los AIMS se establecieron unas zonas de control para realizar un seguimiento de la población. Conocer la abundancia de ejemplares es un dato importante para determinar el grado de conservación. Debido a la estrategia reproductora de la especie, también es necesario analizar la distribución de tallas que presenta. Los seguimientos realizados se han comparado mediante análisis estadístico (ANOVA-ANalysis Of VAriance) que permiten comparar los datos de densidad y talla respecto a los dos factores que interesa estudiar: el tiempo y el tratamiento (parcelas con/sin AIMS).

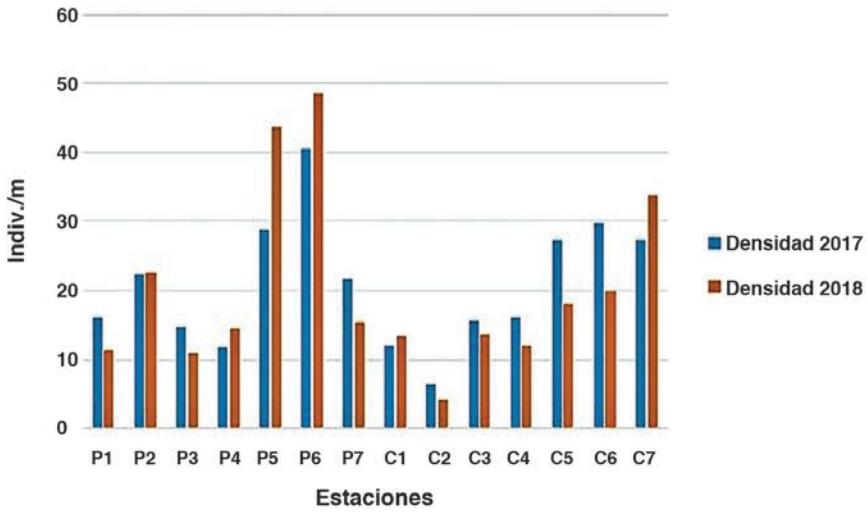


Figura 5: Comparativa entre los muestreos realizados (densidad).

Los principales resultados que hasta la fecha se han obtenido son los siguientes:

- En la zona de control seleccionada se concentra una alta densidad de individuos, conformando una de las zonas con mayor abundancia para la especie en el litoral melillense. Las densidades medias fueron de 20 indiv/m, aunque en algunos puntos incluso se alcanzan los 40 indiv/m.
- La talla media de los ejemplares en la Zona Donante supera los 5cm en todas las parcelas, con un rango entre 3 y 7cm, incluso alcanzándose los 9 cm. Por tanto, además de presentar una elevada densidad, la población muestra una amplia distribución de tallas.

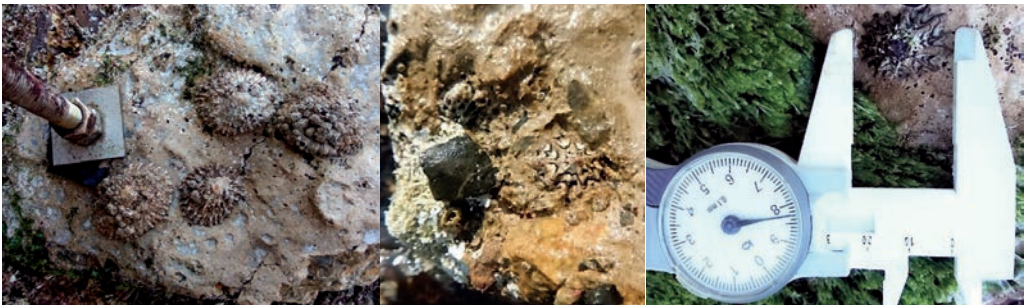


Figura 6: Ejemplares de *Patella ferruginea* (adultos, reclutas y juveniles) sobre AIMS instalados en primera fase de proyecto.

- Los resultados comparativos entre seguimientos en zonas de control con y sin AIMS muestran que no existen diferencias significativas para ninguno de los dos factores estudiados (talla y densidad), aunque sí se observó un ligero aumento de la densidad en el tiempo y una mayor densidad dentro de las parcelas con AIMS respecto a las parcelas sin AIMS.
- Respecto al análisis de comunidades, el taxón más abundante es el cirrípedo *Chthamalus stellatus*. También se observó presencia del alga *Ellisolandia elongata*, la cual marca el comienzo del nivel mesolitoral inferior y *Lithophyllum byssoides*, alga calcárea que se distribuye sobre sustratos con elevada pendiente y alto hidrodinamismo. Se detectó también la presencia de *Patella rustica*, *Patella ferruginea*, *Siphonaria pectinata*, *Patella caerulea*, *Ulva sp.* y *Ralfsia verrucosa* (este último alga forma parte de la dieta de *P. ferruginea*).
- Los últimos datos recogidos y su comparación con los anteriores muestran un total de 51 individuos (adultos y reclutas pertenecientes a este año) sobre un total de 37 AIMS. La comparativa entre seguimientos poblacionales muestra que, aunque no resultan diferencias significativas si pueden marcar una tendencia de preferencia de los AIMS sobre sustrato (SS) frente a las otras disposiciones
- La rugosidad conseguida en los AIMS diseñados se considera adecuada para los ejemplares de *Patella ferruginea* ya que éstos han colonizado los AIMS, validándose inicialmente el método constructivo.

## Compromiso entre Administraciones Públicas, Universidades y Empresa privada

Dentro del proyecto LIFE REMoPaF, inmerso en un contexto muy específico por la singularidad de la especie y de los objetivos pretendidos, y ante el reto de lograr la recuperación de una especie en peligro de extinción, destaca la gran colaboración entre los tres miembros del consorcio del proyecto: ACCIONA Ingeniería S.A., la Autoridad Portuaria de Melilla y la Universidad de Sevilla. Asimismo, es reseñable el gran apoyo y colaboración de las Administraciones Públicas y otras entidades portuarias, en especial del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente de la Ciudad Autónoma de Melilla y, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (Zona Receptora), Por ello, es necesario indicar que la implicación entre Administraciones Públicas, Universidades y Empresas privadas permite la realización de esta tipología de proyectos innovadores y lograr un gran avance en gestión ambiental sostenible.



## CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto LIFE REMOPAF presenta como objetivos básicos la creación de nuevas metodologías que permitan la SOSTENIBILIDAD de las infraestructuras portuarias con el Medio Ambiente, la REPLICABILIDAD de la metodología de recuperación a desarrollar para esta y otras especies, el REFUERZO de poblaciones en situación de vulnerabilidad por su baja densidad y la CONCIENCIACION de la población sobre la importancia de la biodiversidad.

## Offshore Urban Extension in Monaco: The “Anse du Portier Project”

Pierre Aristaghes <sup>1</sup>, Valérie Blanchet <sup>2</sup>, David Compte <sup>1</sup>, Antoine Weulersse <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bouygues TP. p.aristaghes@bouygues-construction.com

<sup>2</sup> Egis Ports. valerie.blanchet@egis.fr

### ABSTRACT

The Monaco new offshore extension will offer 6 ha for residential and public areas, among which a small craft harbor and close to sea pedestrian walkways.

Although attached to the existing shore line, it will reach water depths up to 40 m. Its design has required a multidisciplinary approach (urbanists, landscapers, architects, marine infrastructure engineering, biologists), with unconventional infrastructure solutions due to the very specific context (direct exposure to offshore swells, proximity of sensitive port and natural areas, seismic hazard associated with buildings very close to more than 20 m high concrete caissons...).

The paper will focus on some of the main problems which had to be solved, among which:

- The optimization of promenade level, searching for:
  - A compromise between architectural point of view and safety related to storm wave overtopping, taking into account sea level rise.
  - Minimal reflection coefficient for vertical concrete caissons, in order to minimize impact on existing Port Hercules wave disturbance, and also to reduce wave overtopping.
- Caissons and rubble mound foundation stability related to waves and seism, including extra seismic forces due to buildings considering the high reclamation height (up to 40 m) and the proximity of building foundations.

- The presence of a small craft harbour whose location was fixed for urbanistic reasons, which requested optimizations in detail of anti-overtopping devices as much as possible integrated in the urban context, including original drainage concepts and a “swimming pool breakwater”

## GENERAL CONTEXT

The “Anse du Portier” project in Monaco consists in a 6 ha offshore urban extension located between Port Hercules and Larvotto artificial beaches (figure 1). The layout includes residential and public areas, and an “animation port” for small craft boats.

Present paper concerns the marine infrastructure design, carried out by a joint venture between Bouygues Public Works and Egis Ports, under the technical control of Socotec and Cowi, for the company “Anse du Portier” and the Monaco state, who appointed



Figure 1: Project location

Setec as Technical Assistant. This design has been developed in close cooperation with the project’s architects (Valode & Pistre Architectes and Renzo-Piano Building Workshop) and Michel Desvigne Paysagiste for landscaping.

## SITE CONDITIONS

### Waves

A complete hindcasting study (carried out by Globocéan) has led to time series of sea states at different points close to the site (figure 2).

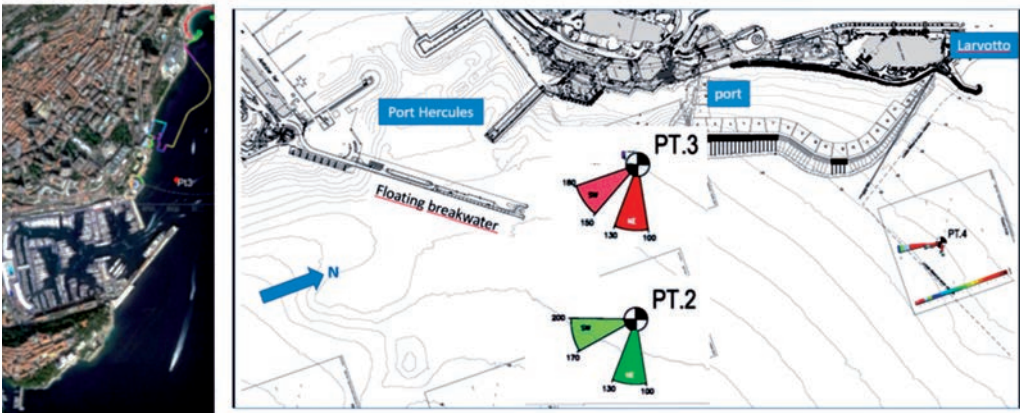


Figure 2: Extraction points and waves roses

Different from what is frequently done, the meteocean numerical model has been propagated up to the site, at sufficient water depths to eliminate all breaking effects, rather than limiting the hindcasting to a far offshore point, and to propagate the so obtained sea states with software like Swan for instance.

This allows to keep the whole spectral information up to the site, avoiding to reduce a complex offshore directional spectrum to a virtual sea state characterized by a limited number of parameters ( $H_{m0}$ ,  $T_p$ ,  $\theta$ ), which inevitably induces a loss of information, especially in the frequent case of complex offshore spectra with superposition of one swell and one wind wave of different peak directions and directional spreadings. Moreover, proceeding this way allows to account for local winds effect on wave propagation up to the site.

To these general reasons one must add the need to get a realistic wave climate at an animation port entrance, which is influenced, for the offshore south wave components,



by the diffraction around Port Hercules floating breakwater, but also by wave transmission through this non-conventional breakwater. Conservative values of transmission coefficient  $C_t$  (based on wave flume tests carried out some years ago for Port Hercule's design) have been injected into the hindcasting model so as to get realistic sea states at point P3.

From these time series, extreme values have been extracted, leading to following results at point P2 (at -60 m water depth):

<b>R (years)</b>	<b>Secteur SW</b>				<b>Secteur NE</b>			
	<b><math>H_{m0}</math> (m)</b>	<b><math>T_p</math> (s)</b>	<b>Direction (°/N)</b>	<b>90% conf. on <math>H_{m0}</math></b>	<b><math>H_{m0}</math> (m)</b>	<b><math>T_p</math> (s)</b>	<b>Direction (°/N)</b>	<b>90% conf. on <math>H_{m0}</math></b>
1	2.3	7-11	170-200	2.2-2.4	2.0	6-9	100-130	1.9-2.0
5	2.8	8-11	170-200	2.7-3.0	2.4	7-10	100-130	2.2-2.6
10	3.0	9-11	170-200	2.8-3.2	2.7	7-10	100-130	2.4-2.9
50	3.5	9-11	170-200	3.2-3.8	3.3	8-10	100-120	2.9-3.7
100	3.7	9-11	180-200	3.4-4.0	3.5	8-10	100-120	3.1-4.0

## Water levels

Maximal water levels are summarized on next table:

<b>R (years)</b>	<b>Astronomic Tide [m NGF]</b>	<b>Storm surge [m]</b>	<b>Sea level rise in 2100 [m]</b>	<b>Water level [m NGF]</b>
1 an	+0.37	+0.30	+0.75	+1.42
10 ans	+0.37	+0.49	+0.75	+1.61
100 ans	+0.37	+0.68	+0.75	+1.80

For anti-overtopping and drainage systems design, essentially in the animation port area, it would have been overconservative to consider combination of extreme water levels and waves, and it would have led to parapets levels which were judged too high for architectural reasons. This led us to analyse in detail the concomitance between extreme values of wave heights  $H_{m0}$  and water levels  $Z_w$ .

For this purpose, the DEFRA method was applied (ref Hawkes 2005), which quantifies the degree of correlation between maximum values of  $H_s$  and  $Z_w$  over a 12 h cycle by a coefficient  $C$  defined by:

$$C = \frac{p(H_s > h \text{ and } Z_w > z)}{p(H_s > h) \cdot p(Z_w > z)}$$

Probabilistic independence corresponds to  $C = 1$ , while dependence increases with  $C$ .

The analysis of time series of  $H_{mo}$  at point P2 and  $Z_w$  measured by a tidal gauge located close to the site at Fontvieille over the period 2000-2013 has led to a value for  $C$  of about 20 for samples of return period close to 1 year, as can be seen from red dots in next figure, where return period  $R$  is defined by  $R = 1 / (730 p(H_s > h \text{ and } Z_w > z))$ .

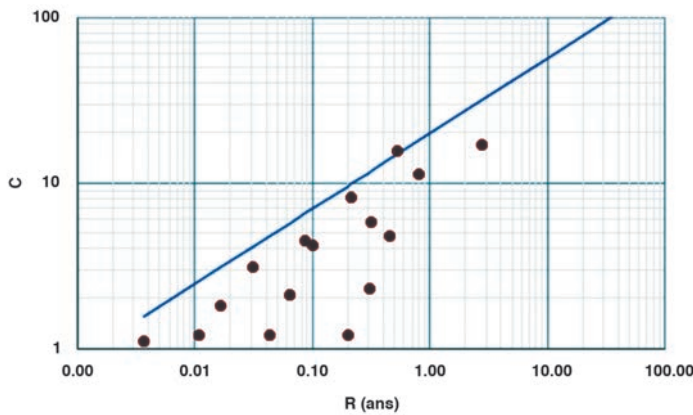


Figure 3

Based on this analysis, and on the assumption of a variation  $C(R) = (NR)^\delta$  (where  $N$  is the number of samples per year, that is 706), the blue line  $C(R)$  has been obtained, leading to a correlation coefficient  $C_{100}$  of about 160 for 100 years return period events. This leads to next diagram, which gives concomitant return periods  $R_{H_s}$  and  $R_{Z_w}$  associated with a given global return period:

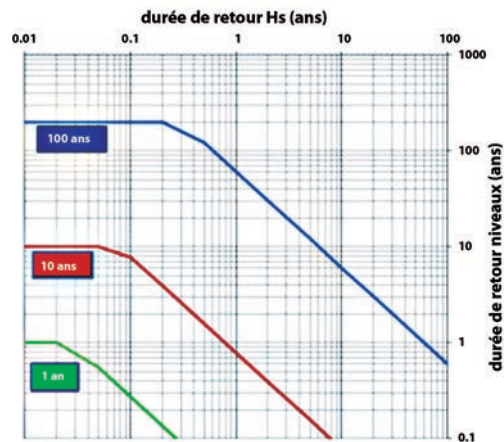


Figure 4

## Environment

The project area is sensible due to immediate proximity of:

- two marine reserves (westside, the Spélugues reserve with a coral underwater slope; eastside, the Larvotto reserve with its seagrass), and presence of protected species (sea grass, pinna nobilis, grouper), leading to stringent turbidity acceptable levels,
- high standing hotels and dwellings, with a congress palace (Grimaldi Forum),
- Port Hercules, which wave disturbance must not be increased by the project, which requests low reflection infrastructures, and which induces a risk of accidental collision between cruise ships and infrastructures,
- Larvotto artificial beaches, principal beach of the Principality.

These aspects have been accounted for from the very beginning in project design and definition of works methods.

## INFRASTRUCTURE CONCEPT

### Caissons principles

From a screening of technical solutions, the concept finally retained consists in:

- a peripheric confinement by concrete caissons founded on rubble mound,
- protecting a backfill, with buildings founded on piles through the backfill

A high friction 20-180 mm material is provided for:

- the rubble mound below the caissons,
- the active pressure wedge along the caissons

The typical cross section is shown below, where a typical building on piles is schematically represented (in fact, piles are founded down to the substratum).

Three areas may be distinguished:

- the animation port and the Fairmont Promenade,

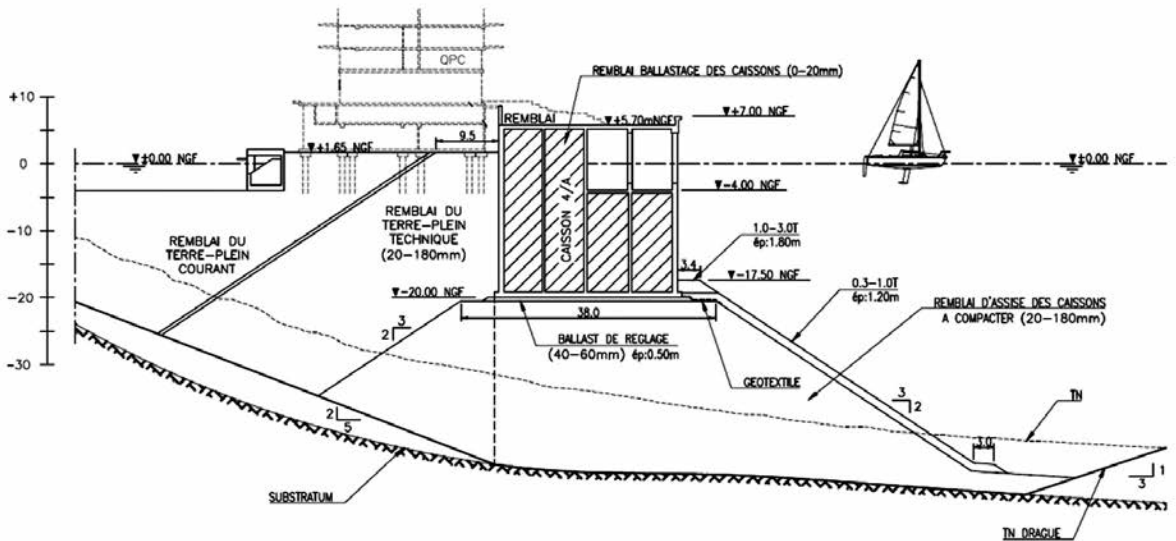


Figure 5

- the main caissons belt which confines the backfill (caissons C0 to C17),
- the Larvotto area, where water depths are slightly smaller.

In order to fit to the layout geometry, trapezoidal caissons have been designed, constituting the elementary bricks of the belt:

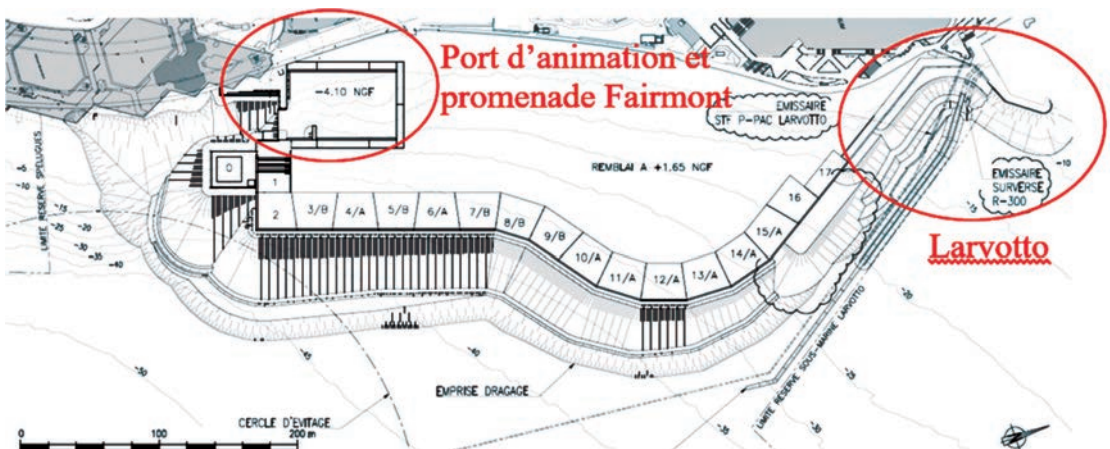


Figure 6

## Caissons hydraulic design

As can be seen from previous cross section, dissipation chambers (double perforated wall separating two chambers) have been designed, which both reduce wave reflection and overtoppings.

Wave flume tests (scale 1/40) have been carried out in Océanide Laboratory, in order to optimize their efficiency in terms of overtopping and reflection, and also to measure wave forces and local efforts:

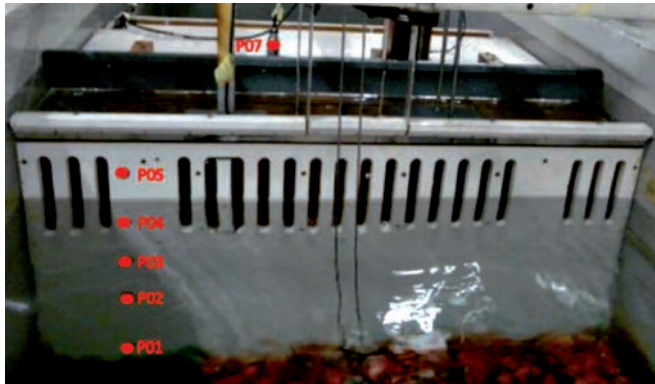


Figure 7

Overtopping rates were supposed to be limited to 0.1 l/m/s under 10 years return period wave on the offshore promenade, located at level + 5.7 m NGF. For higher waves, the access to this promenade would be closed, the only concern being the structural strength of buildings located behind the caissons.

Measured reflection coefficients were about 0.35, which is very low for such a high vertical structure.

Considering the importance of 3D effects (south waves are very oblique, bathymetry is locally complex at each extremity of the project), wave tank tests (scale 1/60) have been done in HR Wallingford laboratory, in order to validate the overall overtopping performance, and to design the rock armor at the toe of caissons.

## Stability and structural aspects

Considering the caissons are against a high quality backfill, the only destabilizing effect of waves is the wave trough, which combines its effect with the soil active pressure.

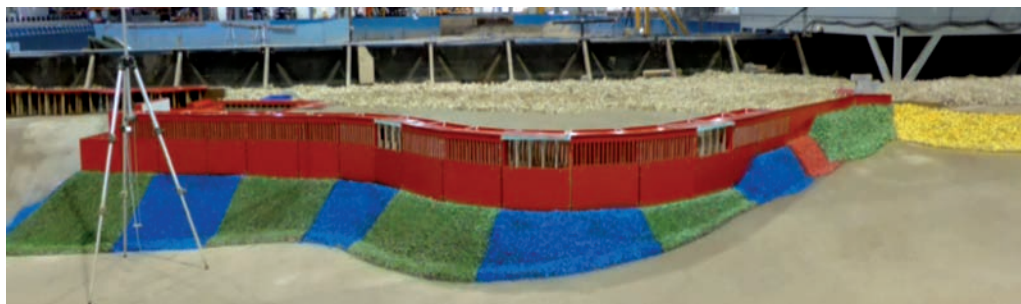


Figure 8

In fact, seismic appeared to be the governing situation: non-collapse seismic is  $0.16\text{ g}$  at sub-stratum level, with a 1.2 importance factor considering the buildings above, and an amplification factor of 1.5 due to soft soil thickness, finally leading to an effective horizontal acceleration of  $0.28\text{ g}$  on a retaining wall of more than 20 m height.

Seismic active pressure has been evaluated by Mononobe-Okabe formula, including Westergaard dynamic pressures each side of the caisson (considering the high permeability of the 20-180 mm backfill). The resulting horizontal force has been combined quadratically with seismic efforts on buildings transmitted by the piles, which were calculated separately by Tractebel, via a 2D dynamic model of the whole cross section (soils, caissons, piles and buildings), after having checked that vibration frequencies of buildings were sufficiently far from the caissons' natural frequency.

Seismic situation has been the governing factor for both local stability (sliding and bearing capacity) and overall stability, which led to a precise definition of minimal backfill characteristics, soil treatment and/or substitution, and minimum ballast weight inside the caissons.

For structural design, wave forces have been extrapolated from 2D wave flume tests.

## ANIMATION PORT AREA

### Wave disturbance

For urbanistic considerations, quay level must be limited to the relatively low level of + 2.15 m NGF, with a fixed pontoon at + 0.80 m NGF (raised at + 1.20 m NGF to cope with sea level rise in 2100).

The cross section finally adopted is shown on next figure, with the objective of obtaining a reflection coefficient as low as possible.

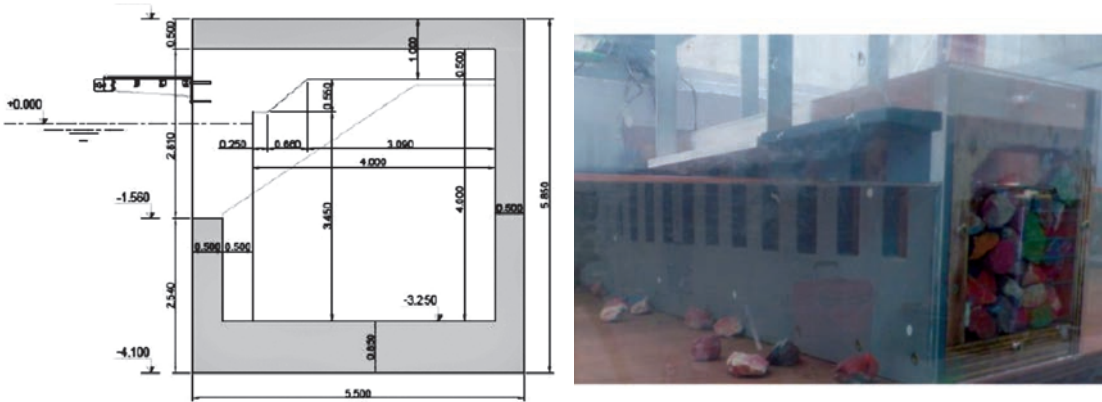


Figure 9

Wave flume tests (Océanide, scale 1/30) have been used first to optimize the concept in terms of reflection, and second to measure the wave forces on concrete structure and rock stability.

The following reflection coefficients  $C_r$  have been obtained for incident wave heights  $H_{m0}$  close to 0.3 m ( $C_r$  decreasing a little when  $H_{m0}$  passed from 0.3 to 0.5 m). One notes that  $C_r$  increases when water level  $Z_w$  increases from + 0.8 m NGF (blue dots) to + 1.2 m NGF (red dots).

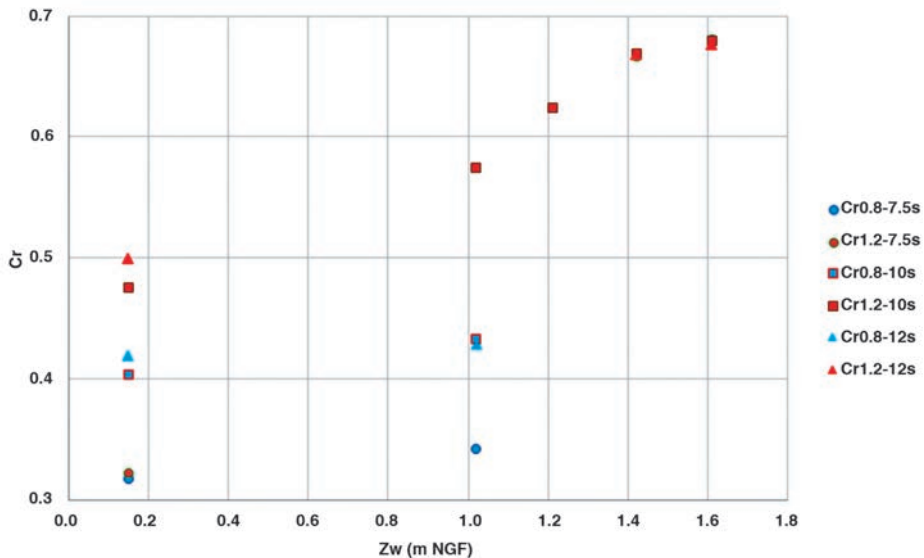


Figure 10

Wave disturbance has been quantified with a 2D numerical model (Refonde software developed by Cerema), based on conservative  $C_r$  values of 0.6 (up to 2060) and 0.8 (in 2100). For each port area, a screening of directions and periods has led to transfer matrices  $K_d(\theta, T_p)$ , from which time series of  $H_{mo}$  have been reconstituted based on above mentioned hindcasting at points P2 and P3.

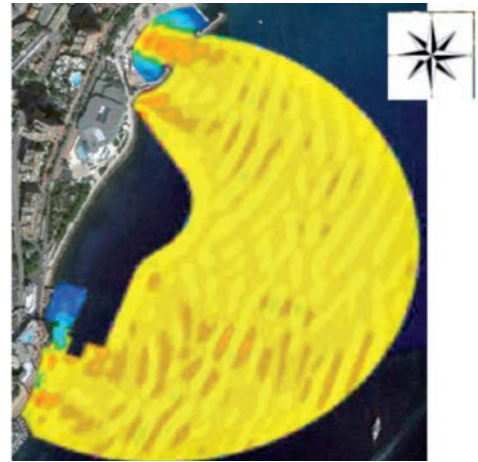


Figure 11

Although the 3D physical model was not done for that purpose, the numerical model has been compared to wave tank measurements for extreme storm conditions. A comparison is shown on next figure for North East 100 year waves, which shows the consistency between iso-heights from numerical model and measured values (figures in red):

Hauts mesurés en essais 3D

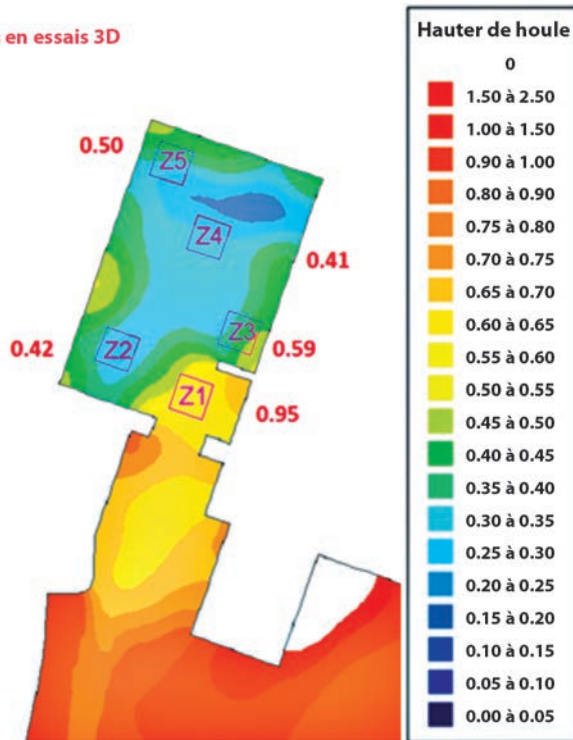


Figure 12:



## Overtoppings in the port and Fairmont promenade areas

An important optimization process has been done, in close cooperation with architects, in order to manage the overtoppings in this area, while keeping all parapets as low as possible and to avoid to create barriers to pedestrians fluxes.

Numerous configurations of groynes, parapets, drainage systems, ... have been modeled in HRW's physical wave tank, as illustrated below:

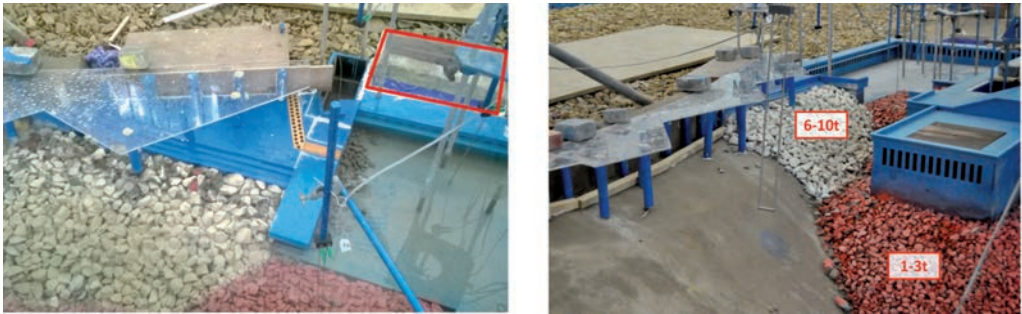


Figure 13

Phenomena were impossible to estimate by state of the art formulas, due to their highly tridimensional characteristics, and the specificity of crown wall shapes (for instance stairs between water level and crest level, as can be seen on the left of left picture), which were difficult to assimilate to any typical crest walls.

## Swimming-pool caisson

Protection of the Fairmont and port area could not be managed by parapets only (due to limitation of levels). A breakwater was therefore needed to protect this area from direct offshore waves. For urbanistic reasons, this breakwater was converted into a swimming-pool located on a specific caisson CO (on the right side of right previous picture).

From a structural point, the caisson is as shown on next figure, with a crest wall at only +3.05 m NGF. The slots are not perforations but transparent windows between the swimming pool and the sea, directly exposed to 100-120°N offshore waves.

A detailed instrumentation has been requested to quantify in a wave flume the impact pressures on the external face of the structure, on the horizontal slabs, but also, which is

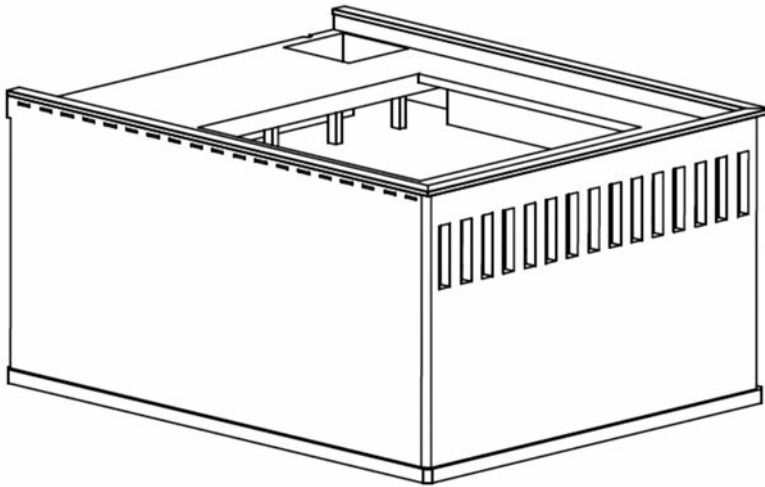


Figure 14

far more original, on the internal vertical face of the windows wall. The sensors are represented below, including pressure cells measuring impact pressures at 2000 Hz on each side of the wall:

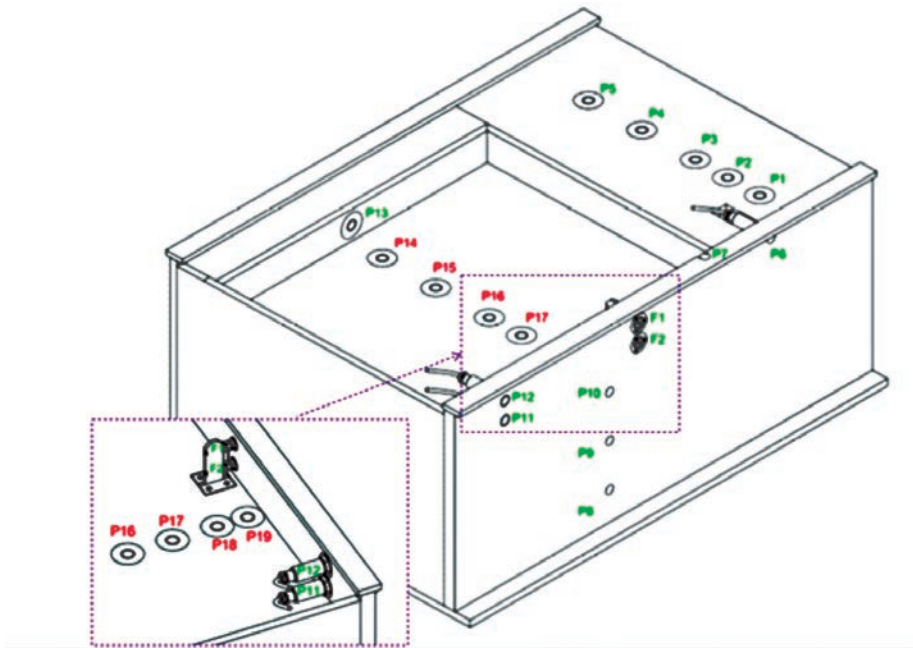


Figure 15

For incident wave heights  $H_{mo}$  between 3.5 m and 4.4 m, short pressure peaks due to violent overtoppings were measured:

- on horizontal slabs (sensors P1 and P2 on above sketch),
- on the horizontal swimming-pool floor (P19 and P18),
- on the inner face of vertical wall (at location of P11 and P12 but oriented towards the swimming-pool).

All these sensors measured peaks between 200 and 400 kPa, with short durations of about 0.02 to 0.04 s. However, especially for sensors immersed in the swimming-pool, it appeared that the major impacts were compression shocks, so that Froude scaling was no longer valid and led to overconservative values. After correction for this effect (ref Lundgren 1969), the inner impact pressures dropped back to 150 kPa as a maximum, which is not far smaller than the more classical crest wave pressures on the external face of the wall (close to 200 kPa).

## CONCLUSION

The «Anse du Portier» project is exceptional by its dimensions (water depths up to 40 m) and its context (severe waves and seismic conditions, high environmental standard, antagonist constraints between architecture and protection from waves, port structures with urban function ...). Marine infrastructure design has requested a very close collaboration between all parties, not only for global concept but also for every «detail» which appeared to be non-conventional structures.

## REFERENCES

- ADELIN R. (2018): *The Portier Cove extension project in Monaco (IABSE Nantes)*.
- ARISTAGHES P. (2018): *Conception des extensions urbaines en mer: spécificités et défis (Journées Nationales du Génie Côtier, La Rochelle)*.
- HAWKES P.J. (2005): *Use of Joint Probability Methods in Flood Management*. UK Defra / Environment Agency.
- LUNDGREN H. (1969): *Wave shock forces*. Techn University of Denmark.

## La transformación del entorno puerto-ciudad en el Puerto de Eivissa

Plaza Plaza, J. C. <sup>1</sup>; Ginard López, A. <sup>2</sup>; Jiménez Buedo, J. <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Autoridad Portuaria de Baleares. Director. [jplaza@portsdebalears.com](mailto:jplaza@portsdebalears.com)

<sup>2</sup> Autoridad Portuaria de Baleares. Jefe del Departamento de Infraestructuras. [aginard@portsdebalears.com](mailto:aginard@portsdebalears.com)

<sup>3</sup> Autoridad Portuaria de Baleares. Jefe de División de Proyectos y Obras. [jjimenez@portsdebalears.com](mailto:jjimenez@portsdebalears.com)

Como ocurre en toda ciudad costera, resulta imposible hablar de la ciudad sin referirse simultáneamente a su puerto. Esta circunstancia, que es común a este tipo de ciudades, adquiere mayor relieve si la ciudad se ubica en una isla, como es el caso de Eivissa, lo que confiere a su puerto una singularidad aún más relevante al carecer de cualquier otro nexo de unión con el mundo exterior por vía terrestre, a diferencia de lo que sucede en una ciudad emplazada en una costa continental.

El conjunto puerto-ciudad, testigo de numerosos avatares a lo largo de la historia, es sentido con fuerza por la ciudadanía que, tradicionalmente ha considerado el puerto de Eivissa como una extensión natural de la ciudad formando parte inseparable de ella. Sin duda, el carácter urbano del puerto de Eivissa ha estado presente a lo largo de toda su historia, porque siempre ha estado integrado en la estructura de la ciudad, y porque además ha representado para la ciudad un recurso de importancia capital desde el punto de vista económico y logístico.

Hasta el año 2013 la mayor parte de las actividades comerciales de intercambio de mercancías y pasajeros del puerto de Eivissa se llevaban a cabo en la zona denominada comúnmente como “La Marina”, que está situada al sur del puerto, junto a “Dalt Vila”, que es la zona más antigua de la ciudad de Eivissa.

La percepción de la unión entre el puerto y la ciudad empezó a frustrarse a partir de la segunda mitad de los años 70 del siglo XX, creando un profundo malestar social, cuando los importantes cambios en las características del tráfico marítimo, efectuado con la llegada de los primeros buques de tipo “canguro” que recalaron en el puerto, obligaron

a la Autoridad Portuaria a implementar medidas de seguridad que tuvieron como consecuencia la cada vez mayor segregación entre el puerto y la ciudad, desapareciendo paulatinamente el uso del puerto como paseo y como “ágora”, en el sentido más estricto del término, y profundizándose cada vez más el cisma puerto-ciudad.

Este proceso llegó a su cota más elevada en los últimos años del siglo XX, donde se encontraban buques de elevada eslora y de alta capacidad de carga rodada operando simultáneamente, y con frecuencias de atraque cada vez mayores, como consecuencia de la entrada de los buques de alta velocidad.

De este modo, el puerto se fue convirtiendo en un coto cerrado, poco accesible y peligroso para el ciudadano sin que, por otra parte, en ningún momento haya dejado de estar presente la reivindicación colectiva de su recuperación como espacio propio de la ciudad.

Simultáneamente, la actividad propia del puerto se veía negativamente afectada a lo largo de los últimos años, por la cada vez más acusada presión que su entorno urbano ejercía sobre ella, dificultando las operaciones de los buques que transportaban carga rodada, y creando una progresiva situación de inseguridad que conllevaba un riesgo permanente de accidentes.



Figura 1: Imágenes de las operaciones portuarias en la zona de “La Marina” del puerto de Eivissa en el año 2009.

Las infraestructuras construidas en los últimos 20 años en el puerto de Eivissa, han logrado generar nuevos espacios portuarios que han permitido realizar la transformación de los espacios de confluencia entre el puerto y la ciudad. En concreto, la construcción del dique y de los muelles y explanadas en la zona portuaria del Botafoc, han propiciado la operación de intercambio de usos entre el puerto y la ciudad, y le ha permitido al puerto ganar espacio fuera de los límites de la antigua zona portuaria de “La Marina”, mejorando las condiciones de accesibilidad a los muelles, y resolviendo los problemas de seguridad en las operaciones portuarias. Mientras tanto, la zona de “La Marina” ha podido recuperar un uso más amable para el ciudadano, en donde conviven perfectamente las actividades de la náutica-recreativa con actividades de carácter eminentemente urbano, como son las zonas destinadas a paseos, plazas públicas, zonas comerciales y de restauración (esta transformación se puede ver ilustrada en el siguiente video <https://www.youtube.com/watch?v=8OfmTU867SM>).

El primer paso de la transformación del puerto fue la construcción del dique del Botafoc en el año 2003. A partir de este momento se construyeron la nueva explanada y los nuevos muelles del Botafoc, destinados a asumir las operaciones de mercancías y de pasajeros, tanto de línea regular como de cruceros turísticos (esta primera transformación se corresponde a la Fase 0 grafada en la Figura 2).

Tras el traslado de la operativa de tráfico portuario desde la zona antigua de “La Marina” hacia los nuevos muelles comerciales del Botafoc, materializada el 1 de julio de 2013, la Autoridad Portuaria de Baleares puso en marcha la reordenación la fachada marítima del puerto de Eivissa, que comprende la zona de Dominio Público Portuario que va desde el Muelle Pesquero hasta el Contradique del puerto.



Figura 2: Fases utilizadas en la transformación del entorno puerto-ciudad del puerto de Eivissa.

En la primera fase de la remodelación de la fachada marítima se abordó precisamente la zona de “La Marina”, es decir el tramo comprendido entre el Contradique y el inicio del Muelle de Ribera (que se corresponde con la Fase 1 indicada en la Figura 2). Esta actuación finalizó en mayo de 2017, y significó transformar los muelles de Levante y de Poniente del puerto en una zona peatonal, ofreciendo respuesta a una demanda social histórica de los usuarios de la zona. También se llevó a cabo el acondicionamiento del Contramuelle, que es el espigón situado entre los muelles de Levante y de Poniente, el cual se ha convertido en un gran espacio público que sirve de nodo vertebrador de toda la ordenación. El Contramuelle cuenta con una plaza pública y un edificio que da servicio a las instalaciones portuarias, y además hace las funciones de mirador público y de graderío para la celebración de eventos.

La intervención puerto-ciudad realizada en la zona de “La Marina” ha permitido el desarrollo de unas nuevas actividades portuarias consistentes en dos instalaciones náutico-deportivas. Estas instalaciones náutico-deportivas están situadas, una a poniente y la otra a levante del Contramuelle, y están destinadas para embarcaciones de grandes y medianas esloras respectivamente.

En el nuevo paseo portuario creado en los muelles de Levante y de Poniente se ha renovado totalmente el mobiliario urbano, se ha producido un aumento considerable de la superficie destinada al uso peatonal en la zona, y se ha embellecido el espacio disponible para las terrazas y los locales comerciales situados en la invisible frontera entre la zona urbana y la zona portuaria.



*Figura 3: Imagen del nuevo paseo portuario en los muelles de Levante y de Poniente en la parte antigua puerto (“La Marina”).*



Figura 4: Vista del nuevo paseo portuario y la nueva dársena de Poniente para embarcaciones náutico-deportivas de gran eslora.

Como complemento del nuevo paseo portuario, el edificio construido en el Contramuelle ha conseguido satisfacer una doble función: por un lado da servicio a las nuevas instalaciones náutico-deportivas de las dársenas de Poniente y de Levante, y por otro lado es el polo de atracción de las personas que transitan por el nuevo paseo de “La Marina”. El edificio es sencillo en su morfología y austero en su materialización, y condicionado por su importante presencia y relevancia urbana en la plaza del Contramuelle y por su repercusión visual tanto desde el punto de vista del peatón, como desde el que accede al puerto por el mar, resuelve las necesidades de la Autoridad Portuaria, a la vez que dota a la ciudad de Eivissa de un lugar privilegiado para el disfrute público del mismo.

Este edificio se sitúa al final de la plaza arbolada del Contramuelle, y su elemento principal es la grada-escalinata de acceso a la cubierta del edificio. Dicha cubierta se convierte en un mirador sobre el cual se puede disfrutar de la visión del Bien de Interés Cultural de “Dalt Vila”. Es por ello por lo que el plano de cubierta se entiende como otro estrato más del espacio público del contramuelle. Dicho estrato va cogiendo escala a través del graderío-escalinata que permite la conexión hacia la cubierta del edificio, incorporándola al itinerario natural del paseo.





Figura 5: Imagen del Contramuelle donde se observa la plaza pública y el edificio-mirador con su escalinata-graderío.

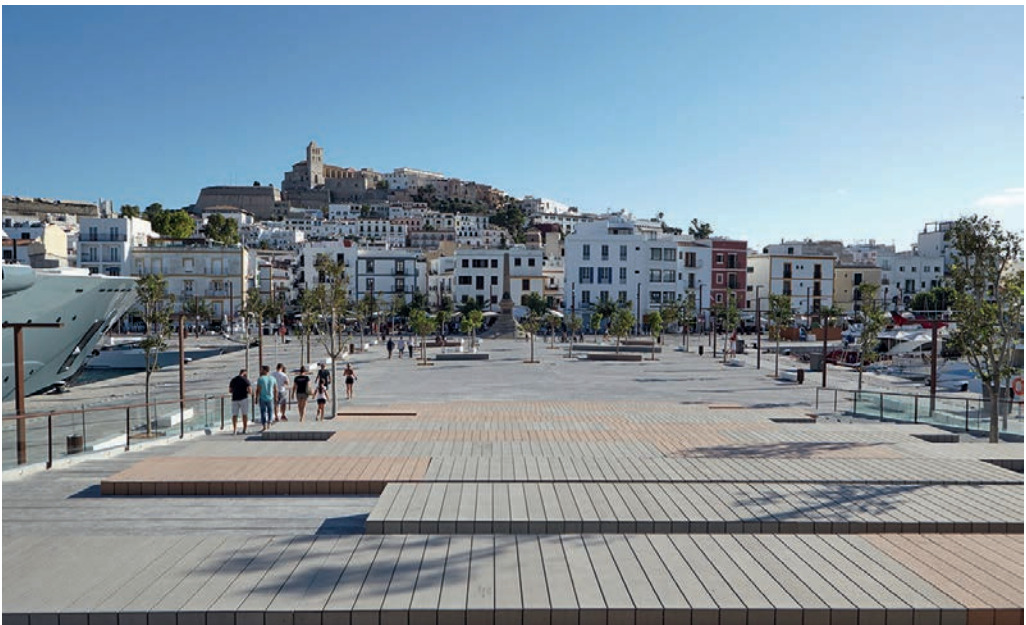


Figura 6: Imagen del BIC de "Dalt Vila" desde la cubierta-mirador del edificio del Contramuelle

En definitiva, se puede concluir que la intervención puerto-ciudad llevada a cabo por la Autoridad Portuaria de Baleares en esta primera fase, entre 2014 y 2017, en la zona más antigua del puerto de Eivissa, ha resultado muy exitosa, no tanto por el buen diseño de los nuevos espacios generados (paseos, plazas, edificio-mirador, etc.) y por la buena calidad de los materiales utilizados –que también–, sino por la espectacular acogida que han tenido estos espacios por los residentes y visitantes de Eivissa, que acuden en gran número y de manera muy frecuente a este renovado espacio. La experiencia de pasear hoy por “La Marina” de Eivissa poco tiene que ver con la que vivían hace apenas dos décadas los habitantes de esta bonita ciudad del Mediterráneo, declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

No obstante, la redacción y licitación de los proyectos y la ejecución de las correspondientes obras para la remodelación de la zona de “La Marina” no han estado exentos de dificultades. Es necesario remarcar que en el puerto de Eivissa no se cuenta con la aprobación del Plan Especial de Ordenación del Puerto, ni de la Delimitación de Espacios y Usos Portuario, por lo que no se dispone de las herramientas de ordenación que permiten proyectar y ejecutar nuevas infraestructuras de manera ortodoxa. Estas circunstancias, unidas a que la zona donde se ha intervenido es adyacente al Bien de Interés Cultural de “Dalt Vila” y forma parte de la zona declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, han llevado a que la coordinación con el Ayuntamiento de Eivissa y el Consell Insular de Eivissa haya sido total, tanto en la redacción del proyecto, como durante la construcción de las obras. En concreto, la Autoridad Portuaria de Baleares ha trabajado coordinadamente con la Comisión Insular de Ordenación del Territorio y Patrimonio Históricoartístico (CIOTUPHA) del Consell Insular de Eivissa, y con la Comisión de seguimiento del Plan Especial de Protección y Reforma Interior de Dalt Vila (PEPRI) el Ayuntamiento de Eivissa.

Si bien es cierto que el grueso de la metamorfosis del puerto de Eivissa ya ha visto la luz, todavía quedan algunas fases para darlo por finalizado. Entre los años 2018 y 2022 se van a llevar a cabo las actuaciones que concluirán la transformación del entorno puerto-ciudad del puerto, y que son las siguientes:

- Nueva Estación Marítima en el Botafoc:  
Constituye la pieza final de toda la infraestructura portuaria construida en la zona del Botafoc. En las explanadas y muelles del Botafoc ya se llevan a cabo todas las operaciones de mercancías y de pasajeros de línea regular (entre Ibiza y la península principalmente) del puerto, pero la canalización de las operaciones se realiza a través de una Estación Marítima provisional. Sin duda, con la construcción de la nueva Estación Marítima se conseguirá mejorar notablemente la calidad de los servicios prestados a los pasajeros.

- **Transformación del Muelle de Ribera y de los Muelles Comerciales:**  
Este ambicioso proyecto (grafiado en la Figura 2 como Fase 2 de la transformación del puerto) contempla el traslado de la industria pesquera y de la industria de reparación de embarcaciones, actualmente situadas en primera línea de mar, hasta la zona de los Muelles Comerciales, así como la reubicación de la Estación Marítima para el tráfico entre las islas de Ibiza y Formentera, por la que pasan cada año dos millones de personas. Una vez realizadas estas actuaciones se podrá dar continuidad al paseo portuario que ya se ha ejecutado en la zona de sur del puerto, y que tan buen resultado está dando para la integración puerto-ciudad.
- **Mejoras en la integración puerto-ciudad de las instalaciones náutico-deportivas de Marina Botafoch, Marina Ibiza y el Club Náutico de Ibiza:**  
*Estas 3 instalaciones (grafiadadas en la Figura 2 como Fase 3 de la transformación del puerto) están inmersas en procesos de renovación de sus instalaciones, unas por motivos de ampliación o prórroga de su concesión, y otras por motivos de otorgamiento de una nueva concesión. La renovación de estas tres instalaciones, que se va a llevar a cabo en los próximos años, contempla una notable mejora en la integración puerto-ciudad, de manera que se van a eliminar las barreras físicas de separación que existen actualmente, haciendo que todos sus muelles y edificaciones sean totalmente permeables al paso de las personas que quieran visitarlas.*

## Construcción de marinas en zonas de alta sensibilidad ambiental, casos de estudio

Manuel González Moles <sup>1</sup>, Ozgur Unay Unay <sup>2</sup>, Víctor Jiménez García <sup>3</sup>

<sup>1</sup> CEO, UG21 Consultores de Ingeniería S.L., mgonzalez@ug21.com

<sup>2</sup> Presidente, UG21 Consultores de Ingeniería S.L., ozgurunay@ug21.com

<sup>3</sup> Responsable de proyectos, UG21 Consultores de Ingeniería S.L., vjimenez@ug21.com

### RESUMEN

Después de la tormenta siempre llega la calma, y en nuestro caso, tras un periodo cuya coyuntura económica nos era desfavorable, la notoria mejora en el sector náutico deportivo ha generado la necesidad de nuevos puntos de amarre, ya sea mediante ampliaciones o nuevas ubicaciones. Estas últimas, debido al grado de ocupación de la costa, así como a las correctas medidas de protección ambiental a aplicar, resultan muy complejas de ubicar.

Para ello se ha de conjugar innovación, medioambiente, desarrollo, territorio y sostenibilidad para buscar productos y soluciones cuyo efecto en la sociedad sea similar, disminuyendo significativamente el impacto medioambiental generado, trabajando con los procesos naturales para proteger, restaurar o incluso mejorar el medio ambiente.

### DESCRIPCIÓN GLOBAL DE LA OFERTA NÁUTICA GLOBAL

La industria náutica deportiva y de recreo, es una actividad económica históricamente muy vinculada tanto al turismo, como a las infraestructuras y al sector inmobiliario.

Si atendemos a valores macro que dicha industria genera en el impacto global, podemos destacar, según datos de la *National Marine Manufacturers Association* (en adelante NMMA):

- Existen más de 25 millones de botes recreacionales matriculados y en servicio en el mundo.
- Éstos, impactan en el sector terciario de tal forma que han favorecido la generación y existencia de más de 100.000 pequeños y medianos negocios.
- Hay catalogadas en el mundo más de 25.000 marinas, de diferentes tipologías y tamaños, que generan 1 millón de empleos directos.

Por este motivo, es un sector que cuidar, dado su impacto relevante, pero a la vez, es necesario vigilar y condicionar su permanencia y crecimiento a un respeto exhaustivo de los principios ambientales básicos, asegurando una sostenibilidad a futuro del entorno donde se encuadran, tanto las marinas, como aquellos negocios vinculados a su entorno de relación económica.

Hoy en día alrededor del sector náutico se ha generado un verdadero Ecosistema (así lo ha denominado igualmente la NMMA) que engloba numerosos sectores y actividades. Este ecosistema es el verdadero motor económico de generación de valor, que no se puede poner en riesgo, y que hay que potenciar con un uso sensato de los recursos naturales tanto a la hora de diseñar como a la hora de explotar las instalaciones.

Este importante ecosistema está formado entre otros por locales de venta menor (retail), restauración, infraestructura de marinas, embarcaciones, navegantes, fábricas y distribución de accesorios, escuelas de vela, distribuidores, proveedores de servicios, "brokers", y un largo etc.

A nuestro entender, muchas veces se han vinculado las infraestructuras náutico-deportivas a un "pay-back" derivado de una inversión inmobiliaria, olvidando que, en este sector, cohabitan una madeja muy importante de actividades que además de generar mucho valor, apoyan a amortizar las inversiones necesarias para la creación de la infraestructura propiamente dicha.

Adicional, los no iniciados (y algunos "conocedores"), asocian la industria náutica a los mega yates, coches de lujo y productos del todo inaccesibles a la clase media, cuando ésta última es la que debe de ser la verdadera población objetivo para la que trabajar.

Todos los datos apuntan a que los usuarios de la náutica de recreo pertenecen a la clase media, con ingresos moderados, que toman esta afición como una meta más dentro de la cotidiana escala de valores de los tiempos que vivimos.

Según datos tomados de la NMMA, el 95% de los botes matriculados en Estados Unidos tienen esloras iguales o menores a 8 metros (24 pies). A este dato hay que sumarle que sólo el 1% de los botes matriculados tienen esloras superiores a 12 metros (37 pies). Este dato, se corrobora en otros países, como adjuntamos a continuación:

- Francia: el 91% de sus embarcaciones tienen eslora igual o menor a 8 metros.
- Queensland y Nueva Gales del Sur: el 94% de sus embarcaciones tienen eslora igual o menor a 8 metros.

Los modelos económicos, además, apuntan a esto.

En una reciente conferencia en Amsterdam de *The International Council of Marine Industry Associations –ICOMIA–*, Adjiedj Bakas, apuntó que también el sector de la Náutica de recreo caminaba hacia la economía colaborativa, lo cual, presume un boom y una revolución para la que debemos estar preparados. Citando textualmente su intervención, Bakas aportó:

*...“la clase media tendrá menos dinero pero más tiempo gracias a la robotización. En las tendencias del mercado de Marinas y Turismo Náutico la gente buscará barcos asequibles con bajos costos de mantenimiento, a menudo compartiéndolos a través de la economía colaborativa. Las marinas pasarán de ser estacionamientos para barcos a lugares donde las personas comparten un estilo de vida comunitario”.*

*...“Tenemos que cambiar el garaje en un destino de ocio”...*

En resumen, el sector de la Industria Náutico deportiva se encuentra en auge, y todo apunta a que su crecimiento a futuro sea importante para lo cual, hemos de estar preparados, para que, con el mínimo impacto posible, generemos nuevas infraestructuras capaces de albergar la nueva demanda generada.

Nuestra aportación a este prestigioso Congreso versa sobre eso. La posibilidad de compaginar zonas con alta sensibilidad ambiental, con la ubicación de instalaciones náutico-deportivas de bajo impacto, inversión controlada y efectos sobre la economía local muy beneficiosos.

Hablaremos de tres casos prácticos, algunos ya en carga, que demostrarán que no son necesarias grandes inversiones, y que el retorno de éstas está garantizado sin necesidad de disponer de grandes promociones inmobiliarias, o generaciones de suelo incompatibles con la sostenibilidad litoral.

## **NUEVAS INSTALACIONES: CONDICIONADOS AMBIENTALES Y RIESGOS**

En países desarrollados nos encontramos un mercado maduro, donde la mayoría concesiones se encuentran avanzadas. La oferta de amarres se fue adaptando a la demanda existente hasta 2007, pero desde entonces la evolución ha sido prácticamente nula.

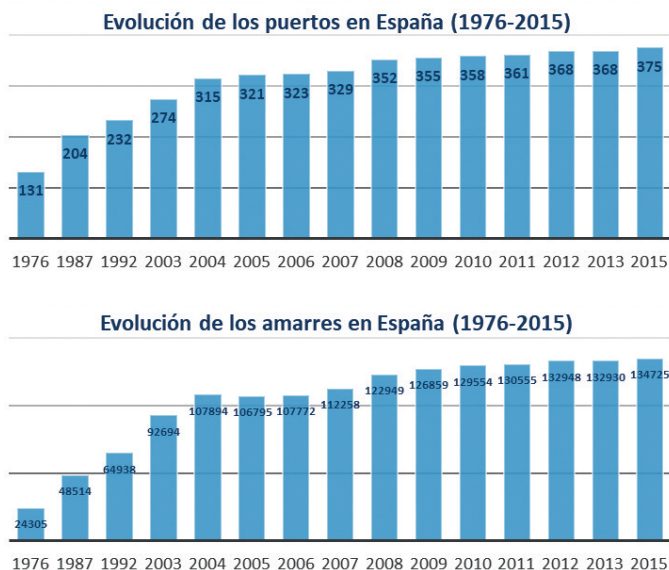


Figura 1: Evolución de los puertos (izquierda) y amarres (derecha) en España, (FEAPDT, 2016).

El número de embarcaciones ha continuado creciendo, sin hacerlo la oferta de amarres, encontrándonos con un panorama actual muy saturado. Esto es reflejo de las dificultades que conlleva la ampliación o ejecución de nuevas infraestructuras portuarias deportivas. Un puerto deportivo no es sólo un lugar para atracar barcos.

Las marinas son instalaciones proyectadas por ingenieros especializados, capaces de resistir agentes externos extremos de oleaje, corrientes y vientos, junto con las acciones provocadas por embarcaciones o humanos. Ello requiere el diseño significantes obras de protección si no se encuentra en aguas naturalmente abrigadas. Teniendo en cuenta el impacto en la hidrodinámica local, dinámica litoral y entorno marino que conlleva.

Por otra parte, es necesario integrar asuntos económicos, de mercado y medioambientales, calcular si valdrá la pena la inversión, cuáles son las tendencias náuticas actuales y futuras, y si el mercado se sostendrá a lo largo del tiempo. Los altos costes de amortización de las estructuras de abrigo no son compatibles con los periodos concesionales (máximos 30 años en España), haciendo que el pay back de la inversión no esté asegurado. Este aspecto se multiplica con las correctas y necesarias restricciones ambientales de la Ley de Suelo, que impide la asociación de un desarrollo inmobiliario a la marina, tal y como se hacía hasta entonces. Cabe mencionar Puerto Sotogrande, Puerto Banús, Marina del Este, etc., elevadas inversiones que sin tener en cuenta este desarrollo inmobiliario, hubiese sido prácticamente imposible que fuesen compensadas.



Figura 2: Puertos deportivos de Puerto Banús, Marbella (Málaga) izquierda; Marina del Este, Almuñécar (Granada) centro, y Sotogrande, San Roque (Cádiz) derecha.

Por todo ello, la *ejecución de nuevas instalaciones* en los países maduros es muy compleja. En Andalucía, por ejemplo, siendo su máximo potencial la costa, no se ha ejecutado en los últimos 20 años un solo atraque deportivo en agua no abrigada.

Otra alternativa sería la *ampliación de puertos existentes*, que, no obstante, igualmente tienen unas trabas amplias para su éxito. Los periodos concesionales mencionados con anterioridad restringen las altas inversiones necesarias para su ampliación en caso de no encontrarse en aguas abrigadas. Es el caso del Puerto Deportivo de Benalmádena y Puerto José Banús o la reciente fallida concesión de la Marina la Bajadilla.

Como alternativa o solución se debe analizar la línea de costa, a fin de determinar aquellas zonas que disponen de condiciones de abrigo natural propicias, en las que no es necesario la ejecución de obras rígidas de protección que puedan afectar a la dinámica litoral de la costa, siendo susceptibles por tanto de convertirse en áreas de oportunidad para la ubicación de nuevas instalaciones marítimas. *Trabajar con, y no contra, los procesos naturales pueden dar lugar a soluciones menos costosas y más sostenibles.*

En estos lugares, inicialmente descartados por alta sensibilidad ambiental, si se toman las medidas oportunas podrían albergar un puerto deportivo sin afección alguna al medio. Estas áreas sensibles requieren medidas que permitan reducir el nivel de afectación de los ecosistemas marinos.

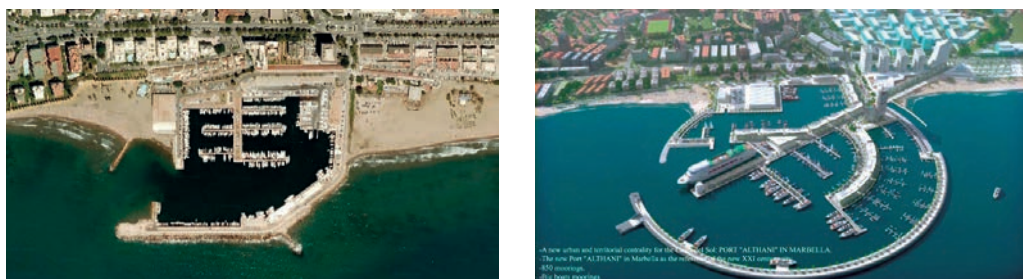


Figura 3: Marina la Bajadilla actual y futura (Berenguer Ingenieros, 2012).



Se han de considerar los componentes ambientales bióticos, abióticos y socioeconómicos en la valoración de los impactos ambientales en cada fase de diseño y construcción de las marinas. Se deben planificar las medidas encaminadas al control de las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas que pudiesen alterar el entorno.

Además del diseño de una estructura compatible con la naturaleza, es primordial que éstos estén dotados del equipamiento e instalaciones necesarias para reducir las posibles afecciones al medio.

Al mismo tiempo, actualmente no existe normativa europea en materia de requisitos ecológicos para las embarcaciones, pero está en proceso de desarrollo, por lo que el empleo de embarcaciones híbridas y ecológicas sería otro aspecto a tener en cuenta.

Teniendo en cuenta las prácticas anteriormente citadas nos aseguramos de poder contar con unas instalaciones modernas y completas para el disfrute de la náutica de recreo y sus actividades complementarias, sin poner en riesgo el valor incalculable que desde el punto de vista medioambiental posee el lugar de ubicación.

## CONDICIONES DE ABRIGO Y OLEAJE ÓPTIMAS

En los últimos años hemos tenido la oportunidad de diseñar varias marinas en zonas especialmente protegidas. Cabe destacar los proyectos de instalaciones náutico deportivas en el Paraje Natural Marismas del Río Piedras y Flecha del Rompido, en Huelva, en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en el Caribe Colombiano, y en el embalse de Topocoro, en Santander, Colombia.

*A veces la naturaleza nos hace un guiño al ofrecernos zonas naturalmente abrigadas, en las que no se requieren obras rígidas para la protección de las embarcaciones, que puedan afectar a la dinámica litoral de la costa, provocando efectos negativos colaterales. Se trata de la circunstancia de los lugares anteriormente citados. En el primer caso, disponemos la flecha de El Rompido para el refugio de las embarcaciones, de un arrecife litoral, en el segundo caso, estando la marina de Topocoro ubicada en un embalse.*

Dicha protección propia de la zona permite que con estructuras “permeables”, como un dique rompeolas flotante, se asegure la operatividad de la marina. El esfuerzo disipador de la energía se les cede a las estructuras naturales, dejando a las barreras flotantes los oleajes residuales de bajo periodo.

Las condiciones de oleaje requeridas en las marinas se describen en la figura 4.

Mediante los citados pantalanés o rompeolas flotantes de hormigón, se consiguen extraordinarios efectos atenuadores ante oleajes de bajo periodo, característicos de zonas semiabrigadas.



Figura 4: Vista efecto atenuador barrera antioleaje flotante.

Tradicionalmente las barreras antioleaje flotantes han sido asociadas a estructuras inestables y para embarcaciones de recreo de poco porte. Ello es debido a que hasta hace poco el material preferencial para construirlos eran los perfiles metálicos (aluminio o acero galvanizado en caliente).

La irrupción del hormigón como elemento constructivo de cajones aligerados con poliestireno cambia el panorama por completo y por primera vez se pueden implantar barreras flotantes con una estabilidad y resistencia similares a la de los pantalanes fijos construidos con placas del mismo material. Por otro lado, su mantenimiento es casi nulo, al igual que su impacto en el medio natural.

Su fondeo se realiza a través de cadenas y muertos o mediante pilotes. Si bien, sobre este último caso cabe indicar que faltan estudios. Mediante las barreras antioleaje pilotadas se eliminan los movimientos inducidos, liberando únicamente el grado de libertad  $z$  en sus movimientos. Este tipo de instalaciones presentan dos ventajas:

- No plantean efecto serpiente en planta (algunas casas fabricantes también lo eliminan con la instalación de un cable de postesado).
- Permiten el atraque de embarcaciones de mayor envergadura en su costado abrigado (yates y megayates).

Las barreras antioleaje flotantes pueden utilizarse tanto en zonas protegidas como semi-protegidas, donde se requiere una alta calidad y estabilidad.



Figura 5: Vista Ensayos INHA.

Su efecto disipador queda avalado por el modelo reducido realizado por el Instituto de Hidrodinámica Aplicada (INHA) en su estudio “Ensayos tridimensionales de pantalanés flotantes para analizar su comportamiento hidrodinámico frente a la transmisión de oleaje”, a petición de MSI, al que nuestra firma ha tenido acceso.

No existe ningún rompeolas flotante que sea un sistema totalmente reflejante debido a que intervienen un gran número de fenómenos en la interacción entre oleaje y estructura. Para la estimación del coeficiente de transmisión  $k_T$  de la estructura es necesario el estudio de las variables que influyen en el mismo. Es necesario tener en cuenta el oleaje incidente, la geometría de la barrera antioleaje, sus propiedades mecánicas, los amarres dispuestos y la viscosidad del medio. Considerando todos estos parámetros básicos el análisis dimensional proporciona expresiones como:

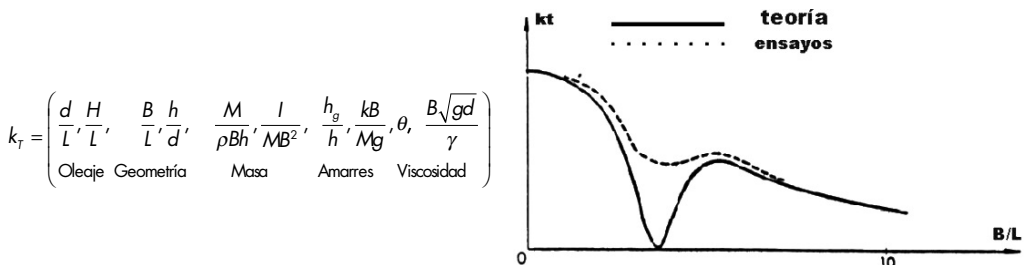


Figura 6: Curvas típicas de atenuación.

Se considera que los parámetros más importantes son el relativo a la profundidad,  $(d/L)$ , el cual controla la distribución vertical del flujo de energía, y el relativo a la anchura,  $(B/L)$ . Existen diversos estudios en los cuales se han obtenido curvas de  $k_T$  en función de dichos parámetros únicamente.

Los rompeolas flotantes son estructuras cuyos movimientos son inducidos por el oleaje incidente. Estos movimientos, análogos a la de un sistema mecánico sometido a una fuerza sinusoidal, juegan un papel integral en la determinación de las fuerzas sobre los amarres y la atenuación del oleaje.

Ante oleajes regulares el acuerdo entre resultados experimentales y la teoría es relativamente bueno, excepto cerca de resonancia, donde las olas radiadas y difractadas tienen en principio fases opuestas, y el  $k_T$  por lo tanto debería ser igual a cero. Esto se debe a que tan pronto los movimientos del pantalán se hacen predominantes, el modelo lineal ya no es válido, y debido también a que el oleaje puramente regular y los amarres perfectamente elásticos, no existen.

En resumen, las barreras antioleaje de hormigón ofrecen sus mejores prestaciones cuando la relación entre  $\omega/\rho$  (frecuencia angular del oleaje/frecuencia angular del sistema) supera la unidad. El factor de amplificación del movimiento disminuye y la fase tiende a  $180^\circ$ . Esto ocurre ante oleajes de corto periodo, donde los movimientos de la estructura y el oleaje incidente están significativamente desfasados.

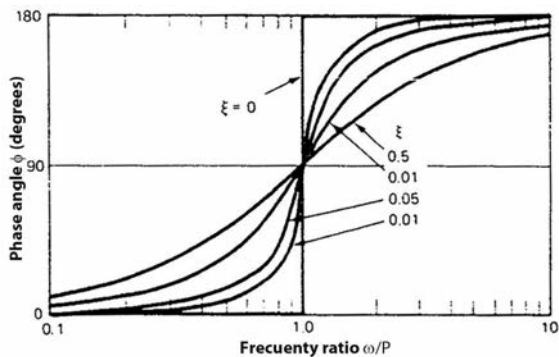


Figura 7: Relación de fase.

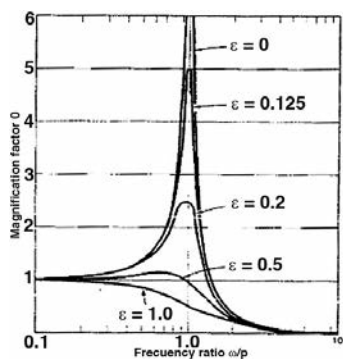


Figura 8: Factor de Magnificación.

Se tiene por tanto que para una longitud de onda específica el coeficiente de transmisión  $k_T$  es prácticamente independiente respecto de la altura de ola incidente. Excepto para  $T$  próximos a los periodos naturales de oscilación del pantalán, ('roll' y 'heave'), donde se producen fenómenos de resonancia del oleaje con el sistema que resultan en incrementos (cuando están en fase) o decrementos (ante desfases) del coeficiente de transmisión en función de la altura de ola.

Entre los resultados del modelo reducido realizado por el INHA cabe destacar:

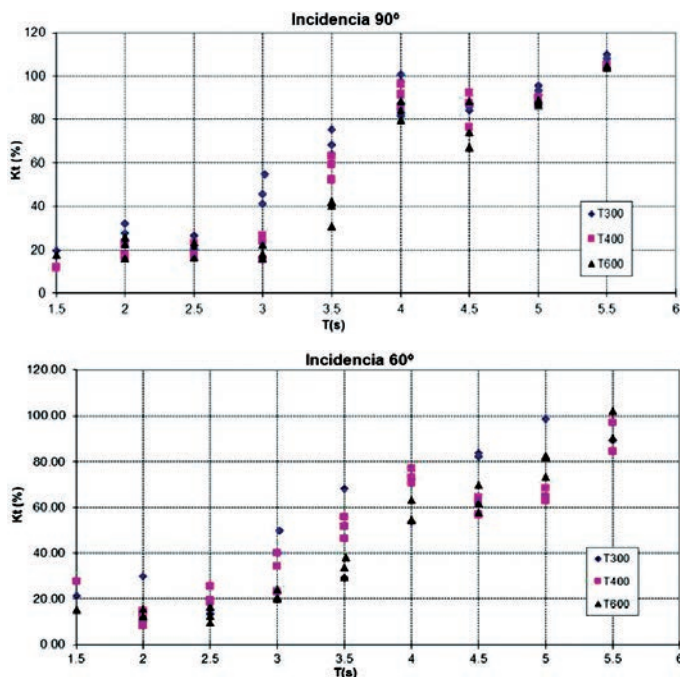


Figura 9: Coeficientes de transmisión para periodos entre 1,5 y 5,5s. (MSI e INHA).

En la figura anterior se aprecia que los pantalanés flotantes son capaces de proporcionar una atenuación significativa de oleajes de hasta 4 segundos de periodo. Para periodos que exceden los 5 segundos se requieren estructuras excesivamente anchas o diseños muy innovadores.

## ALGUNOS CASOS PRÁCTICOS

Las marinas antes citadas están constituidas por módulos de pantalanés flotantes, abrigados por una barrera antioleaje flotante de hormigón anclada al lecho marino.

Son puertos deportivos de gran envergadura, concebidos para el uso y disfrute de sus usuarios, respetando a su vez el medioambiente. Se consigue con ello que la afección al fondo marino sea mínima, de manera que el ecosistema no se vea alterado, y que la dinámica litoral de la zona no varíe.

A su vez, proporcionan a la comunidad local espacios abiertos, recursos para el ocio y paisajes mejorados.



Figura 10: Ría del Piedras, año 2011 y año 2016.

## Puertos deportivos en la desembocadura del Río Piedras, Huelva (España)

Se emplazan en una zona dentro del Estuario del Río Piedras catalogado como L.I.C. (Lugar de Interés Comunitario) y cercana al Paraje Natural Marismas del Río Piedras y Flecha de El Rompido, por lo que para evitar la aparición de efectos negativos sobre la zona, se establecieron importantes medidas ambientales y se mejora la navegación y maniobra en la ría al eliminar, o cuando menos minimizar, el fondeo indiscriminado.

### Condicionantes de la ría del Piedras

La Flecha de El Rompido, que forma parte del Paraje Natural Marismas del Río Piedras y Flecha del Rompido, protege la zona destinada para albergar los puertos deportivos construidos en la ría del Piedras.

Los oleajes que nos encontramos en los mismos son oleajes locales producidos por la acción del viento o por el paso de embarcaciones. Con una regulación adecuada de la velocidad máxima a través del canal, se consigue que los oleajes generados sean fácilmente atenuados por las barreras flotantes de hormigón propuestas para el abrigo de las mismas.

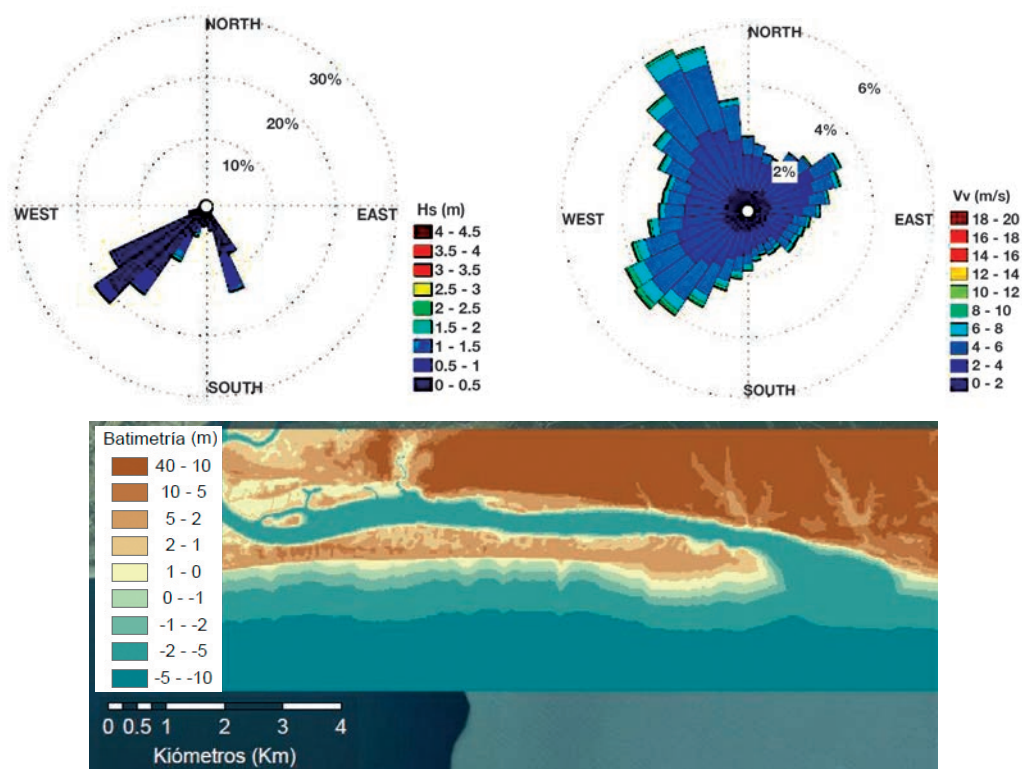


Figura 11: Condicionantes de la ría del Piedras.

### Instalaciones Náutico-Deportivas de la A.D.N. Nuevo Portil, T.M. Cartaya (Huelva, España)

- Número de amarres: 387 uds.

#### *Obras de abrigo*

- Pantalán de hormigón antiolaje: 304,25 m + 97,24 m + 145,95 m.

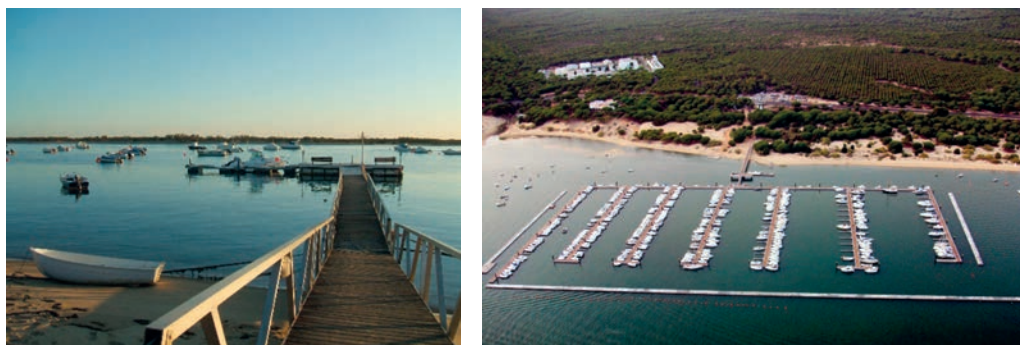


Figura 12: Instalaciones náutico-deportivas de la A.D.N. Nuevo Portil (antes y ahora).

### Instalaciones Náutico-Deportivas de la A.D.N. San Miguel, T.M. Cartaya (Huelva, España)

- Número de amarres: 379 uds.

#### *Obras de abrigo*

- Pantalán de hormigón antiolaje: 255,00 m + 133,50 m + 145,65 m.

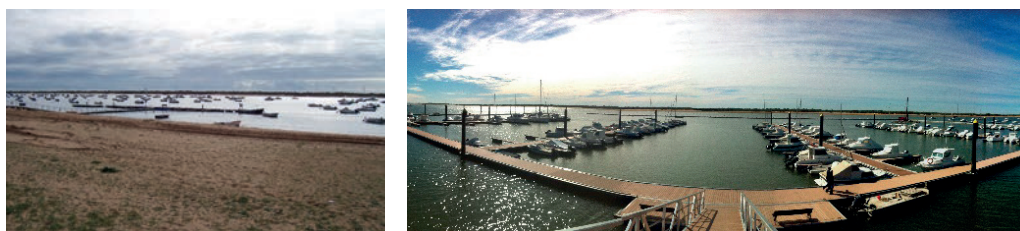


Figura 13: Instalaciones náutico-deportivas de la A.D.N. San Miguel (antes y ahora).

### Instalaciones Náutico-Deportivas de la A.D.N. Rio Piedras, T.M. Cartaya (Huelva, España)

- Número de amarres: 411 uds.

### Obras de abrigo

- Pantalán de hormigón antioleaje: 257,00 m + 133,00 m + 157,29 m.

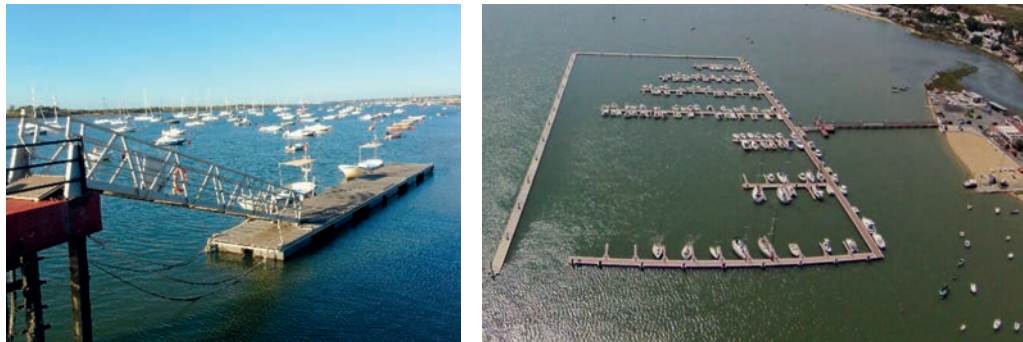


Figura 14: Instalaciones náutico-deportivas de la A.D.N. Rio Piedras (antes y ahora).

## Marina para yates y veleros en la isla de San Andrés, Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia)

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia) forma parte de la Red Mundial de Reservas de Biosfera con el nombre de SEAFLOWER. Se llevaron a cabo todas las medidas necesarias para la tramitación de la licencia ambiental según los requerimientos de las autoridades ambientales a nivel nacional y nivel regional tales como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina – Coralina.



Figura 15: Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Colombia), SEAFLOWER.

### Condicionantes de la Isla de San Andrés

El área se encuentra naturalmente semi-protegida de las condiciones oceanográficas externas, gracias a sus características topográficas favorables existentes, entre las que cabe



destacar el efecto atenuador de barrera de coral que se encuentra en las proximidades de la isla en su costado Este, que amortigua el oleaje que llega a la línea de costa al reflejar las olas con amplia longitud de onda, y permitiendo la propagación de las menores.

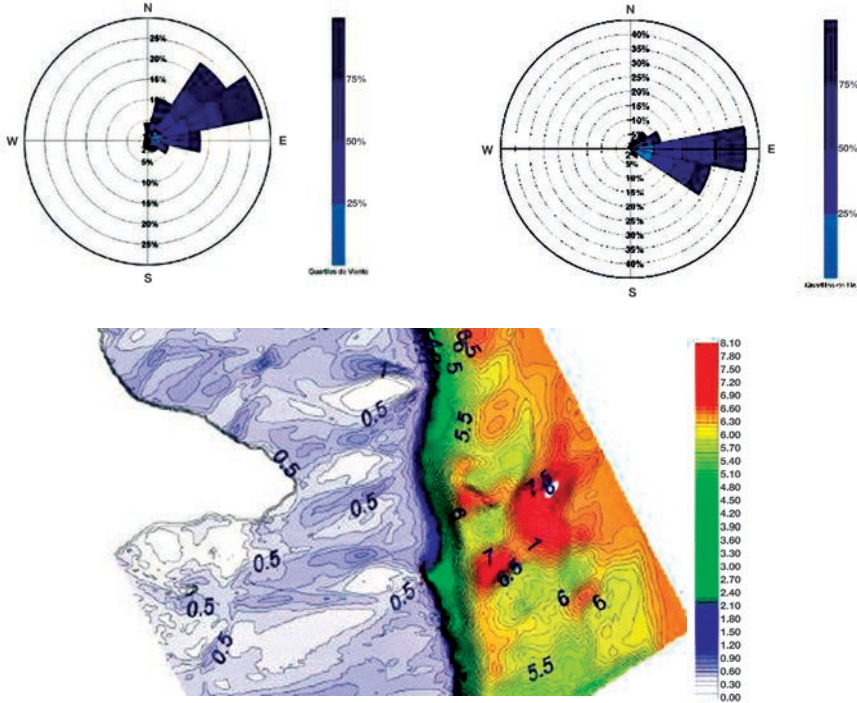


Figura 16: Condicionantes Isla de San Andrés.

- Número de amarres: 155 uds.

Obras de abrigo

- Pantalán de hormigón anti-oleaje: 104,29 m + 96,29 m + 109,27 m.

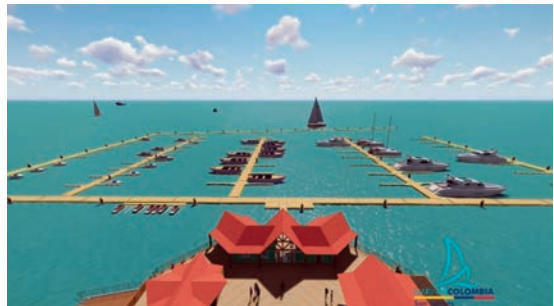


Figura 17: Marina para yates y veleros en la isla de San Andrés (antes y ahora).

*Otras dificultades:* dado el grado de ocupación de la zona de tierra fue necesario diseñar una plataforma polivalente con forma octogonal con 1090 m<sup>2</sup> de superficie.

Atendiendo a las necesidades fundamentales del usuario en la zona de plataforma, se desarrolla un programa que comprende todos los usos propios del puerto (control, administración, batería sanitaria, etc.), se dota de una serie de usos comerciales como mini-mercado, cafetería y zonas de bajo comercio, y finalmente; acorde a la vocación ecológica y de preservación de la biodiversidad de la zona, se proponen un aula polivalente para capacitación, un jardín con coralina natural con tecnología Biorock, y un hangar para almacenamiento y mantenimiento de embarcaciones no motorizadas.

### Centro Náutico Deportivo en el embalse de Topocoro, Departamento de Santander (Colombia)

El embalse de Topocoro, generado tras la construcción de la Central Hidroeléctrica de Sogamoso en 2014, se convirtió en el más grande del país con una capacidad de 4.800 millones de metros cúbicos.

La ubicación seleccionada para emplazar la marina se encuentra dentro del Distrito de Manejo Integrado Serranía de los Yariguies, dentro de la franja de protección de 100 metros del parque. Por ello, lleva a cabo los contactos oportunos la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA y la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) para tener en cuenta sus requerimientos a lo largo de la vida del proyecto.

### Condicionantes de Embalse Topocoro

El mayor condicionante tenido en cuenta en el diseño es la variación de nivel de agua en el embalse. Se tienen variaciones anuales de 40 metros, siendo necesario considerar para el diseño la variación máxima de avenidas, 60 metros. El agente externo principal a considerar es el viento, y el oleaje inducido por la acción del mismo.

### Solución proyectada

Para salvar la gran variación de nivel a tener en cuenta en el diseño, se proyecta la ejecución de una pasarela anfibia formada por módulos de aluminio que contará con flotadores de poliestireno. Ésta se apoya sobre unos pórticos de acero pilotados a lo largo de la ladera existente, de manera que la pendiente máxima de la misma sea del 20%, precisando que la longitud de la pasarela sea superior a 300 metros.

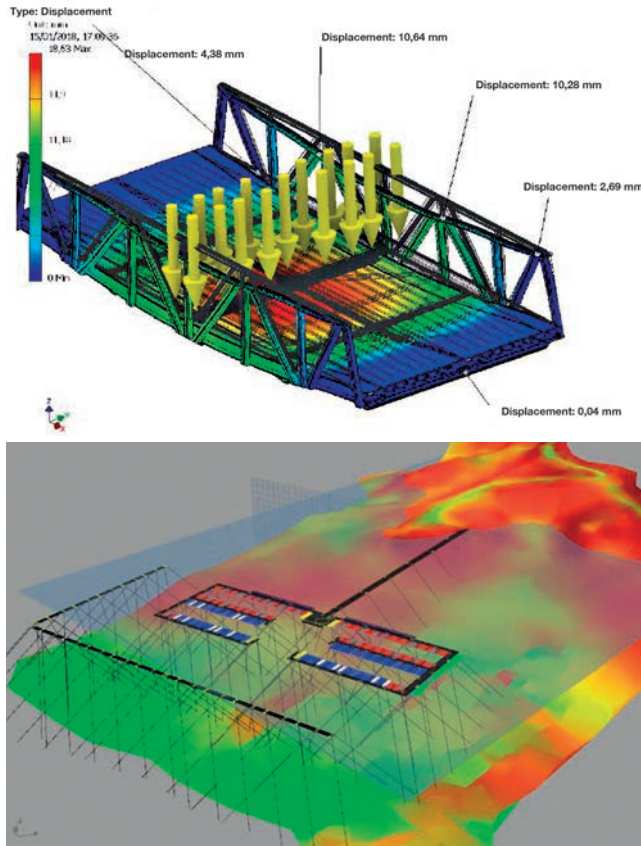


Figura 18: Vista Diseños.

La zona de pantalanes se protege de oleajes locales mediante una barrera antioleaje compuesta de pantalanes flotantes de hormigón anclado al fondo mediante cables accionados mediante cabrestantes híbridos.

Estos cabrestantes aseguran que la pasarela asiente a lo largo del eje proyectado, y mantienen fija la posición en planta de la zona de pantalanes.

- Número de amarres: 163 uds.

#### *Obras de abrigo*

- Pantalán de hormigón antioleaje: 70 m + 90 m + 90 m.

#### ***Pasarela de conexión a tierra***

- Pasarela anfibia: 320 m.

## CONCLUSIONES

En resumen, la actividad náutica no debe estar enfrentada con la conservación del medioambiente y la sospecha de contaminación de las aguas donde se desarrolla la actividad, pudiendo crearse un ejemplo de actividad sostenible si se regula, diseña y controla convenientemente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Nacional de Empresas Náuticas (A.N.E.N.)

Bakas, A., The International Council of Marine Industry Associations (I.C.O.M.I.A.) - World Marinas Conference, Amsterdam, noviembre de 2016.

Berenguer Ingenieros S.L. imagen proyecto del nuevo Puerto deportivo de Marbella.  
<https://berengueringenieros.com>

Doménech, J.L. y Menéndez R. (2004) "El papel de los puertos marítimos en la conservación de la biodiversidad y en la gestión integrada del litoral", en autoría del congreso VII CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Federación Española de asociaciones de Puertos Deportivos y Turísticos (F.E.A.P.D.T.)

Marina System Ibérica (M.S.I.), Ensayos tridimensionales de Pantalanes flotantes para analizar su comportamiento hidrodinámico frente a la transmisión de oleaje. Instituto de Hidrodinámica Aplicada.

Méndez de la Muela, Gregorio, "La Náutica en Ciudades Turísticas" en autoría del V FORO DE TURISMO NÁUTICO COLOMBIANO, Santa Marta, marzo de 2017.

National Marine Manufacturers Association (N.M.M.A.), "The global Boating Market", 2016.



## Importancia de los aspectos ambientales en las obras del acceso ferroviario a la Dársena de Escombreras

Rol Rol, Fermín <sup>1</sup>; Gómez Fuster, José María <sup>2</sup>; Barahona Moreno, María José <sup>3</sup>; Arenas Jiménez, Pedro <sup>4</sup>; Gómez Gómez, Antonio <sup>5</sup>; Sánchez Méndez, Jonás <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Director de la A.P. de Cartagena. ferminrol@apc.es

<sup>2</sup> Jefe del Área de Explotación de la A.P. de Cartagena. jmgomez@apc.es

<sup>3</sup> Jefa del Área Planificación y Gestión de la A.P. de Cartagena. mjbarahona@apc.es

<sup>4</sup> Jefe del Área de Infraestructuras de la A.P. de Cartagena. parenas@apc.es

<sup>5</sup> MCVALNERA. agg@mcvalnera.com

<sup>6</sup> MCVALNERA. jsm@mcvalnera.com

### INTRODUCCIÓN

El acceso ferroviario a la Dársena de Escombreras del Puerto de Cartagena se trata de un proyecto de gran importancia socioeconómica para el sector portuario y el entorno industrial de Cartagena, cuyo objeto es conectar la dársena de Escombreras con la Red Ferroviaria de Interés General. En términos generales se puede decir que el acceso ferroviario a la Dársena de Escombreras contribuirá a la mejora de la competitividad del Puerto de Cartagena, ampliando su hinterland, mejorando la oferta de servicios de los operadores, facilitando la circulación de los flujos de mercancías, aportando soluciones logísticas a la mercancía y, en última instancia, mejorando el nivel de bienestar de la población y reduciendo el impacto medioambiental.

La Dársena de Escombreras está compuesta por 105 hectáreas de superficie de agua y por 169 hectáreas de superficie terrestre. Por un lado, la superficie de agua está destinada exclusivamente al uso comercial y, por otro lado, en lo que respecta a la superficie terrestre, el 18 % está destinada para el uso de almacenes, el 3 % para viales y el 79 % para otros usos o utilidades. La superficie terrestre se ha incrementado en un 71 % respecto del año 2002, pasando de 984.355 metros cuadrados en 2002 a 1.687.157 metros cuadrados en el año 2017.

La Dársena de Escombreras se divide en dos zonas: zona comercial y zona petrolífera (incluyendo la ampliación). Tiene su propia bocana, con una anchura de 1.100 metros y un calado de 25 metros. La zona de atraque tiene una longitud de 7.146 metros, divididos en:

- 2.428 metros en la zona comercial, con un calado máximo de 13,7 metros.
- 4.718 metros en la zona petrolífera, incluyendo ampliación, con un calado máximo de 26 metros.

La Dársena de Escombreras está conectada por carretera con la Dársena de Cartagena mediante la carretera de servicio de la costa, la cual pertenece a la Autoridad Portuaria, y por la carretera CT-34 de Escombreras Alumbres, que enlaza con las autovías de salida del Puerto y de Cartagena. Los viales interiores parten de la carretera de servicio del Puerto, la cual llega hasta la entrada de la terminal petrolífera. Además, existen accesos a los muelles Felipe e Isaac Peral y a la terminal de ENAGÁS. Por otro lado, únicamente los muelles antiguos de la Dársena de Escombreras disponían de acceso ferroviario, no estando conectados los muelles de la ampliación. Esta conexión ferroviaria se encontraba en un estado inadecuado a las necesidades de los tráficos.

En cuanto a los tráficos, en los últimos años se ha producido un aumento significativo en el volumen de mercancías manipuladas, pasando de los 19 millones de toneladas en el año 2010 a los 35 millones de toneladas del año 2017.

El notable aumento del tráfico de graneles sólidos, principalmente cereales para la industria agroganadera y azufre y coque, con origen en las refinería de Escombreras, ha originado la necesidad de adaptación de los accesos terrestres a estas instalaciones. Los estudios de demanda desarrollados muestran que la mayor parte del tráfico a manipular en la Dársena de Escombreras durante los próximos años serán graneles sólidos, tales como clínker de cemento, carbón, coque de petróleo, escorias, azufre, abonos, piensos y cereales, siendo todas estas mercancías susceptibles de ser transportadas por ferrocarril. Por otro lado, el hecho de que la vía ferroviaria disponible solamente conectase los muelles antiguos de Escombreras, pero no la ampliación, generaba ineficiencia e ineficacia como consecuencia, entre otros factores, de la falta de aprovechamiento para el tráfico intermodal de los muelles de la ampliación de la Dársena de Escombreras. Además, la conexión con la parte antigua de la Dársena se realizaba a través de una vía que es corta en longitud y con trazado en curva, dificultando así la operativa. Por todo ello, el proyecto de mejora de los accesos ferroviarios a la Dársena de Escombreras se trata de una inversión imprescindible para la comunidad portuaria de Cartagena y su hinterland, permitiendo al Puerto de Cartagena mejorar su competitividad y desarrollar un transporte de mercancías más eficiente y sostenible, fomentando la intermodalidad.

## PROYECTO DE MEJORA DE LOS ACCESOS FERROVIARIOS A LA DÁRSENA DE ESCOMBRERAS

El proyecto de mejora de los accesos ferroviarios a la Dársena de Cartagena incluye la conexión de los muelles de dicha Dársena con la red ferroviaria a través de un nuevo acceso ferroviario por medio de una vía única de ancho ibérico (1,668 metros), pero con traviesas mixtas para la incorporación del tercer carril y ancho internacional, para tráfico de mercancías con una velocidad máxima de 40 km/h. La longitud total de este nuevo ramal ferroviario que discurre entre la estación de Escombreras y Dársena de Escombreras es de 4.208 metros. El proyecto incluye la construcción de una plataforma en las zonas que carecen de ella, y de la superestructura de todo el conjunto, incluyendo balasto, carriles, traviesas, señalización y elementos de seguridad. Al mismo tiempo, se incluye la mejora de la terminal ferroviaria existente, aumentando su capacidad y prestaciones.

La inversión para la realización de las obras asciende a 30 millones de euros. La Autoridad Portuaria de Cartagena ha presentado esta actuación para su compensación con cargo al Fondo Financiero de Accesibilidad Terrestre Portuaria. Por ello, ha sido necesario llevar a cabo un análisis de la rentabilidad económico-financiera del proyecto de inversión siguiendo la metodología MEIPOR 2016.

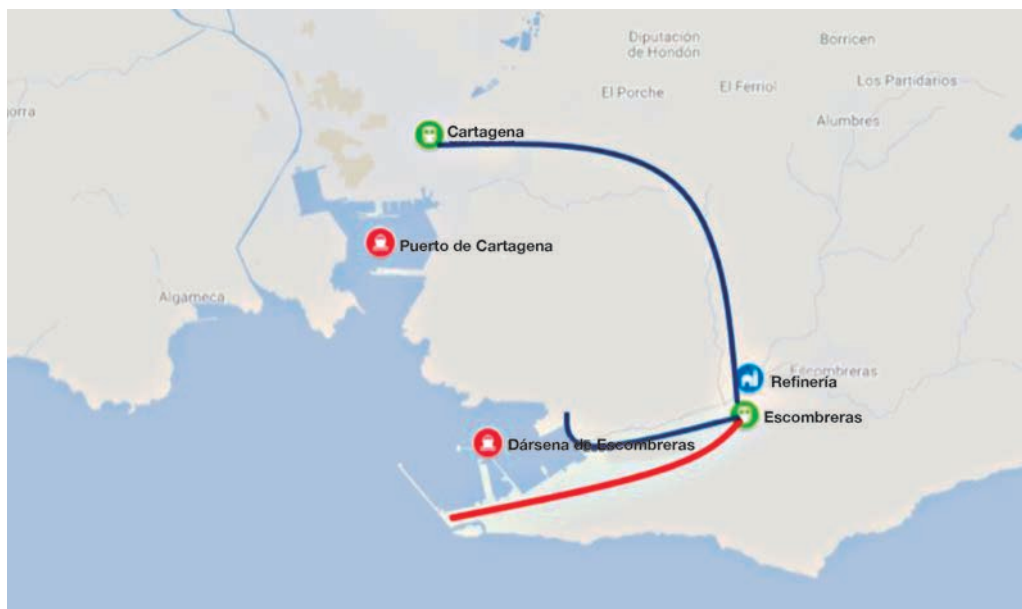


Figura 1: Esquema del nuevo ramal ferroviario.



## MODIFICACIONES EN EL PROYECTO Y MEDIDAS MEDIOAMBIENTALES LLEVADAS A CABO

Una vez iniciadas las obras, diversas causas sobrevenidas obligaron a plantear la redacción de un proyecto modificado. Los principales motivos fueron:

- Aparición de nuevos servicios afectados. Red de drenaje limitada al ámbito de la traza.
- Adaptación del trazado y del proyecto a la nueva legislación ferroviaria.
- Cierre de vertedero autorizado para la gestión de material contaminado peligroso (6 M€ contemplados en proyecto).

La aparición de nuevos servicios afectados y la necesidad de cumplir con la normativa vigente en materia de seguridad para instalaciones petrolíferas obligaron a actualizar y contemplar nuevas medidas de seguridad a adoptar en las instalaciones afectadas por las obras. Por otro lado, si bien se había diseñado un drenaje transversal de las trazas tanto de ferrocarril como de la carretera CT-34, esto no solucionaba la canalización de dicha red, realizándose los vertidos en propiedades privadas. Asimismo, en base a lo determinado por la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, se adaptó el proyecto modificado a la nueva normativa ferroviaria, donde la Autoridad Portuaria de Cartagena es declarada Administrador de Infraestructuras y, por tanto, debe cumplir con la normativa ETI para la aprobación y puesta en servicio de las nuevas instalaciones.

Por otro lado, la ausencia de vertederos autorizados en la región de Murcia ha obligado a explorar nuevas medidas medioambientales que posibiliten la ejecución de las obras, ya que con la solución prevista en el proyecto original, el transporte a vertedero suponía un incremento del presupuesto de más de 5 M €.

La Declaración de Impacto Ambiental del proyecto determinaba que *“...se llevará a cabo un Plan de Gestión de Residuos, dando prioridad a la reducción, reutilización, el reciclado y valorización, quedando el vertido como última opción.”*. Por ello, se redactó un nuevo proyecto de descontaminación para el tratamiento y gestión de las tierras contaminadas. A dicho proyecto de descontaminación le corresponde una tramitación administrativa con un plazo asociado de aproximadamente 12 meses.

Cumpliendo con la normativa vigente, se desarrolló un Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) que permite evaluar las condiciones y niveles de contaminación admisibles para la reutilización de los materiales en obra una vez tratados. De esta forma, se minimiza el transporte a vertedero de material contaminado, favoreciendo su reutilización en obra siempre que las características mecánicas del material así lo permitan. El proyecto de descontaminación consiste en una solución mixta de tres tratamientos, claramente dife-

renciados en función de los niveles de contaminación de entrada del material y el exigido por el ACR para su reutilización. Esto ha conllevado una inversión cercana a los 5 M€ y un retraso en la ejecución de las obras de un año, debido a la tramitación medioambiental que implican dichas medidas.

Las soluciones de descontaminación planteadas han sido las siguientes:

- 1. Tratamiento de los residuos contaminados (peligrosos) mediante su traslado a vertedero.** Los volúmenes de residuos peligrosos y de terreno altamente contaminado, con imposibilidad de recuperación, son trasladados a vertederos especializados en el tratamiento final de este tipo de residuos. En dichos vertederos, estos materiales son neutralizados y aislados de manera adecuada, de forma que se produzca un proceso de destrucción del residuo. Este procedimiento es el indicado en aquellos suelos donde los tratamientos de recuperación existentes no ofrecen garantías suficientes para contener o eliminar la contaminación.
- 2. Reducción de hidrocarburos mediante un tratamiento basado en biopilas y adición de bacterias.** Este tratamiento se ha utilizado especialmente para biodegradar los hidrocarburos y los compuestos derivados del petróleo. De esta forma, los suelos contaminados con dichos hidrocarburos se apilan en pilas o montones dispuestos de manera sucesiva, incitando la actividad microbiana aerobia a través de la adición de nutrientes, bacterias, minerales y agua, y acompañándolo de aireación. De esta forma se logra degradar los compuestos mediante un proceso de respiración microbiana. Las biopilas son métodos similares al landfarming, pero la aireación del material se logra forzando la circulación de aire mediante su inyección o extracción a través de conductos perforados emplazados dentro de la pila de material. Estas pilas se cubren para prevenir la escorrentía, la evaporación y la volatilización y para promover el calentamiento por el sol. Este tratamiento tiene una duración razonable, variando entre varias semanas y unos pocos meses, en función del estado del suelo.

**En los terrenos menos contaminados, reducción de la contaminación por hidrocarburos mediante volteo (aireación, exposición solar).** En el caso de aquellos volúmenes de terreno con un índice de contaminación menor, casi inexistente, la solución adoptada es de carácter mecánico, llevando a cabo un volteo de los materiales, de forma que se produzca su aireación. Asimismo, en este proceso es de especial relevancia la exposición solar. Este procedimiento únicamente pudo ser desarrollado en las partes de terreno menos contaminadas.

Para la autorización de estos tratamientos, la Autoridad Portuaria de Cartagena tuvo que solicitar la descontaminación voluntaria de suelos a la Dirección General de Medio Ambiente, así como una Autorización Ambiental Sectorial (AAS), dado el carácter biológico de uno de estos tratamientos. Esta autorización tuvo un plazo de demora de 9 meses.

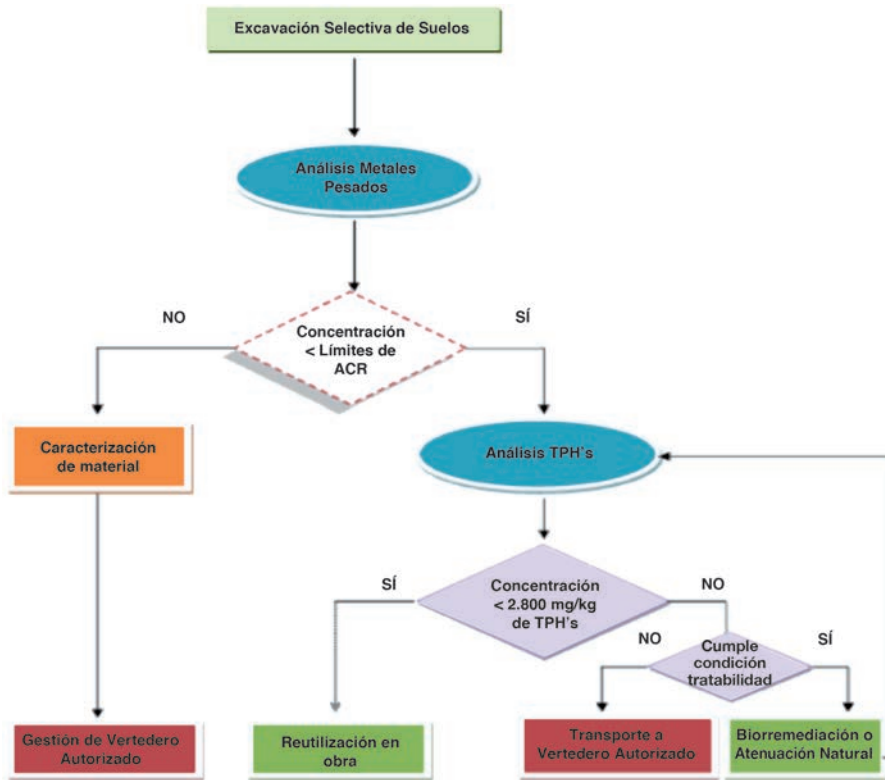


Figura 2: Diagrama del proceso de descontaminación de suelos.

Cabe destacar la reducción significativa de los materiales transportados a vertedero, gracias a los tratamientos llevados a cabo, pasando de una previsión inicial de 43.000 m<sup>3</sup> a 5.000 m<sup>3</sup>. La solución adoptada de tratamiento de materiales contaminados peligrosos procedentes de las excavaciones de la obra ha supuesto un ahorro de casi 1 M€ en esta partida respecto del tratamiento original previsto en el proyecto, y un retraso de unos 17 meses.

## ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ECONÓMICO-FINANCIERA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN

Tal y como se ha visto anteriormente, esta inversión se desarrolla con cargo al Fondo Financiero de Accesibilidad Terrestre Portuaria. Por esta razón, ha sido necesaria la elaboración de un estudio de rentabilidad económico-financiera, basado en la metodología MEIPOR 2016, de Puertos del Estado. La metodología seguida en el análisis incluye los siguientes puntos:

- Descripción y objetivos a satisfacer con el desarrollo del proyecto.
- Demanda de tráfico para ser utilizada en la evaluación económico-financiera.
- Identificación y clasificación de agentes involucrados y descripción de efectos.
- Análisis de rentabilidad financiera.
- Análisis de rentabilidad económica.
- Análisis de sensibilidad y riesgos.

Los principales efectos de la ejecución del nuevo acceso ferroviario a la dársena de Escombreras, sobre los tráficos del puerto, serán el desvío modal (de carretera a ferrocarril) de tráficos de graneles sólidos industriales y agroalimentarios ya existentes en el puerto, así como la generación de nuevos tráficos de graneles sólidos minerales, al hacerse viable una nueva explotación minera en el entorno (reducción de los costes de la cadena de transporte).

Del análisis de mercado desarrollado se obtiene como resultado que el desarrollo del proyecto permitiría desviar al ferrocarril un volumen significativo de los tráficos de la Dársena de Escombreras, que actualmente se transportan por carretera. El ferrocarril es un transporte de gran interés tanto para los operadores portuarios como para los principales cargadores, ya que permitiría optimizar sus operaciones y reducir de manera significativa los costes logísticos. En el siguiente gráfico se resume la información de los diferentes tráficos considerados, que se prevé que se verán afectados por el proyecto, desviándose un porcentaje significativo de estos volúmenes de la carretera al ferrocarril.

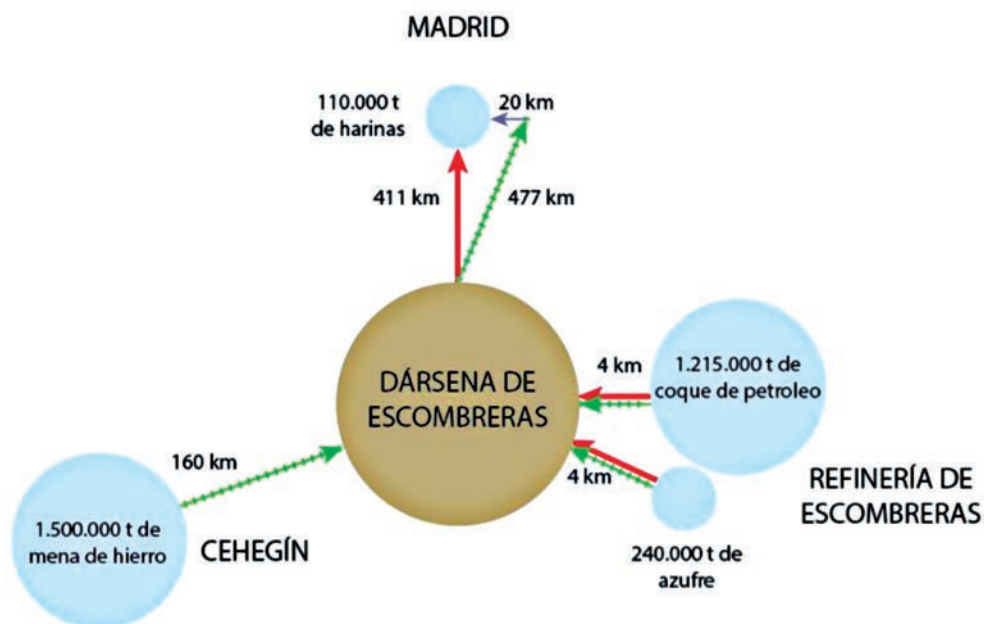


Figura 3: Tráficos afectados por el proyecto de inversión.

Se ha considerado un escenario neutro en los análisis, en cuanto al desvío modal de tráficos (carretera vs ferrocarril) en la situación CON proyecto. De esta forma, a efectos de los cálculos, se ha estimado que de los volúmenes mostrados anteriormente se desviaría al ferrocarril el 50% en el caso de los tráficos de harinas con Madrid y de coque y azufre con la refinería. En el caso de la mena de hierro procedente de las Minas de Cehegín, al tratarse de un tráfico generado por el proyecto, que solamente se podría activar con la ejecución de la inversión, se ha considerado que el 100% de los tráficos se desviaría al ferrocarril. Sin embargo, a efectos de comparar la situación CON y SIN proyecto, dado que en la situación SIN proyecto es un tráfico inexistente (se genera con la ejecución de la obra), para los cálculos se ha tenido en cuenta únicamente la diferencia entre ambas situaciones, en el tramo de acceso ejecutado, en cuanto al transporte terrestre de los tráficos. No se ha tenido en cuenta el trayecto entre la Estación de Escombreras y las Minas, ya que en ambas situaciones, de manera hipotética, podría llevarse a cabo en ferrocarril.

Los agentes afectados y los efectos que experimentan por el desarrollo del proyecto de inversión son:

- La Autoridad Portuaria de Cartagena: asume la inversión e incrementa sus ingresos de tasas portuarias por el crecimiento en los tráficos (T-1 de nuevos buques y T-3 de mercancías).
- La sociedad/colectividad, debido al ahorro que produce en los costes medioambientales el uso del ferrocarril en los tráficos desviados:
  - Reducción de la contaminación atmosférica al utilizar un modo de transporte más sostenible (ferrocarril). Se incluye aquí la cuantificación del impacto que las emisiones al ambiente de partículas contaminantes generan en la salud humana, en el medio ambiente y en la actividad económica.
  - Reducción de los costes por contribución al cambio climático, al utilizar un modo de transporte con menores emisiones (ferrocarril). Estos costes se refieren a las emisiones de gases de efecto invernadero.
  - Menor congestión y menor accidentabilidad en los accesos terrestres, al reducir el tránsito de camiones que conectan al puerto con su hinterland.
- Los operadores portuarios de Escombreras que, debido al aumento de los tráficos, aumentan su actividad/servicios: empresas estibadoras, prestadoras de servicios portuarios técnico-náuticos, etc.
- Los cargadores (consumidores/clientes) que, debido al ahorro en el coste del transporte provocado por el uso del ferrocarril, en lugar del transporte por carretera, reducen sus costes de transporte y logística.

En el esquema Colectividad/Sociedad se resumen los efectos de cada agente, detallados en los varios sub apartados.

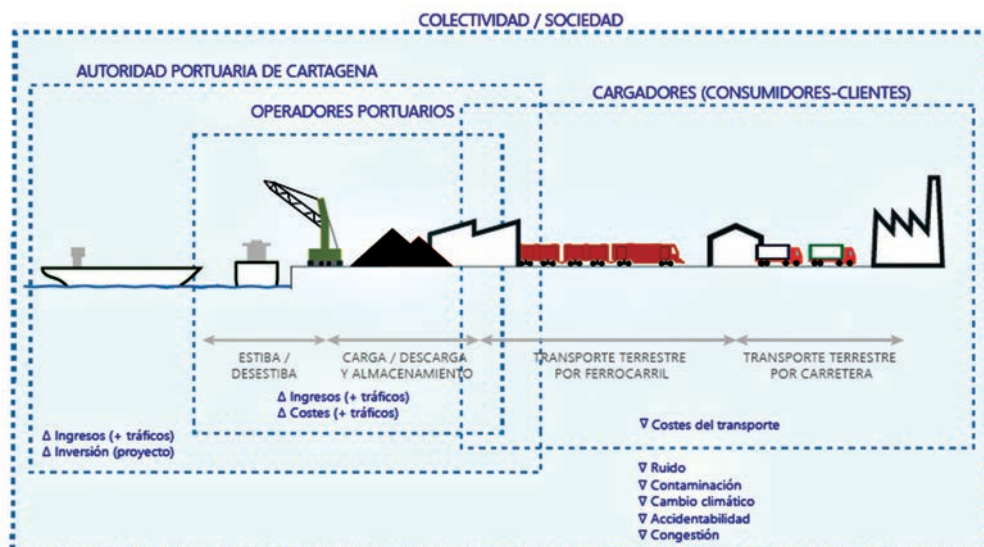


Figura 4: Resumen de los efectos del proyecto de inversión sobre los diferentes agentes afectados.

Los resultados del análisis de la rentabilidad socioeconómica del proyecto (evaluación de VAN y TIR), considerando una tasa de descuento del 3,5%, tal y como indica MEIPOR, reflejan unos resultados positivos.

<b>Rentabilidad Económica</b>	
Tasa de Descuento	3,50%
VANE (I)	51.087.350,98 €
TIRE (I)	13,0 %

Se trataría de una inversión rentable para el conjunto de agentes afectados, considerando todos los efectos medioambientales y socioeconómicos. El VAN resultante en 30 años de inversión es de 51 M€, de los cuales 9,2 M€ son debidos a las mejoras medioambientales que produce el proyecto de manera directa (modo de transporte más eficiente y sostenible) y 6,9 M€ son debidos al ahorro en los costes del transporte, lo que se repercute directamente sobre los consumidores finales.

Esto evidencia que, además de los beneficios directos sobre operadores y administraciones, se genera un beneficio significativo sobre la sociedad y el medioambiente. Dichos beneficios se alinean con los objetivos de la UE (Libro Blanco del Transporte) y del Go-

Variación del excedente	VANE
Autoridad Portuaria de Cartagena	8.218.932,83 €
Empresas del servicio de estiba	19.487.869,79 €
Empresas del servicio de amarre y desamarre	221.075,13 €
Empresas del servicio de practicaaje	42.712,26 €
Empresas del servicio de remolque	6.833.665,43 €
Empresas del servicio de recepción de desechos	132.575,00 €
Otras Autoridades Portuarias	- €
Otros Operadores Portuarios	- €
Cargadores (coste del transporte)	6.950.354,06 €
Externalidades	9.200.166,48 €

bierno de España, al fomentar un transporte competitivo y sostenible, contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de los costes medioambientales.

En vista de los análisis desarrollados y del estudio de la rentabilidad social y medioambiental del proyecto, se puede concluir que este proyecto de inversión se alinea directamente con dos objetivos del “Libro Blanco del Transporte: Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible”, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- “Obj. 3.- Intentar transferir a otros modos, como el ferrocarril o la navegación fluvial, de aquí a 2030, el 30 % del transporte de mercancías por carretera, y para 2050, más del 50 %, apoyándose en corredores eficientes y ecológicos”.
- “Obj. 4.- De aquí a 2050; garantizar que todos los puertos de mar principales estén suficientemente conectados con el sistema ferroviario de transporte de mercancías”.

## Proyecto y ejecución de nuevos pantalanes de atraque en Las Palmas

Noelia González Patiño <sup>1</sup>, Jaime Cabrera del Pino <sup>2</sup>, Daniel Pérez Zúñiga <sup>3</sup>, David Barrio Colongues <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Jefe del Servicio de Obras Marítimas, GGRAVITY. ngonzalezp@ggravityeng.com.

<sup>2</sup> Director Comercial de Carga, NAVIERA ARMAS, S.A. jcabrera@naviera-armas.com.

<sup>3</sup> Director de Obra, HACOBA 6, dperez@hacoba6.es.

<sup>4</sup> Jefe de Grupo de Obras, DRAGADOS, dbarrioc@dragados.com.

### INTRODUCCIÓN

La naviera ARMAS S.A. desarrolla su actividad a través de diversas concesiones portuarias para la prestación de servicios de transporte marítimo.

En el puerto de Las Palmas se le ha adjudicado una zona para el desarrollo de un proyecto que le permitirá unificar los servicios prestados a la isla, al tiempo que podrá gestionar sus tráficos de manera más eficiente.

La nueva terminal comprende la ejecución de dos pantalanes al abrigo del dique Nelson Mandela, pantalán Este y pantalán Oeste, así como cuatro tacones o rampas para embarque y desembarque de vehículos (Ro-Ro). También forma parte de este proyecto la urbanización y puesta en servicio de una parte de la explanada adyacente, para poder acoger la espera y organización de los embarques de vehículos y la carga.

Los elementos principales del proyecto de la terminal son por tanto:

- Pantalán Este: de 165,90 m de longitud con dos frentes de atraque. La estructura principal del atraque está formada por 5 pilas o duques de alba y una superestructura de puentes entre ellos que le dan continuidad.
- Pantalán Oeste: gemelo del anterior, también con longitud de 165,90 m. Se compone de 5 duques de alba, cada uno de ellos formado por un cajón de hormigón armado, que se comunican mediante puentes formados por un tablero de vigas prefabricadas y losa.



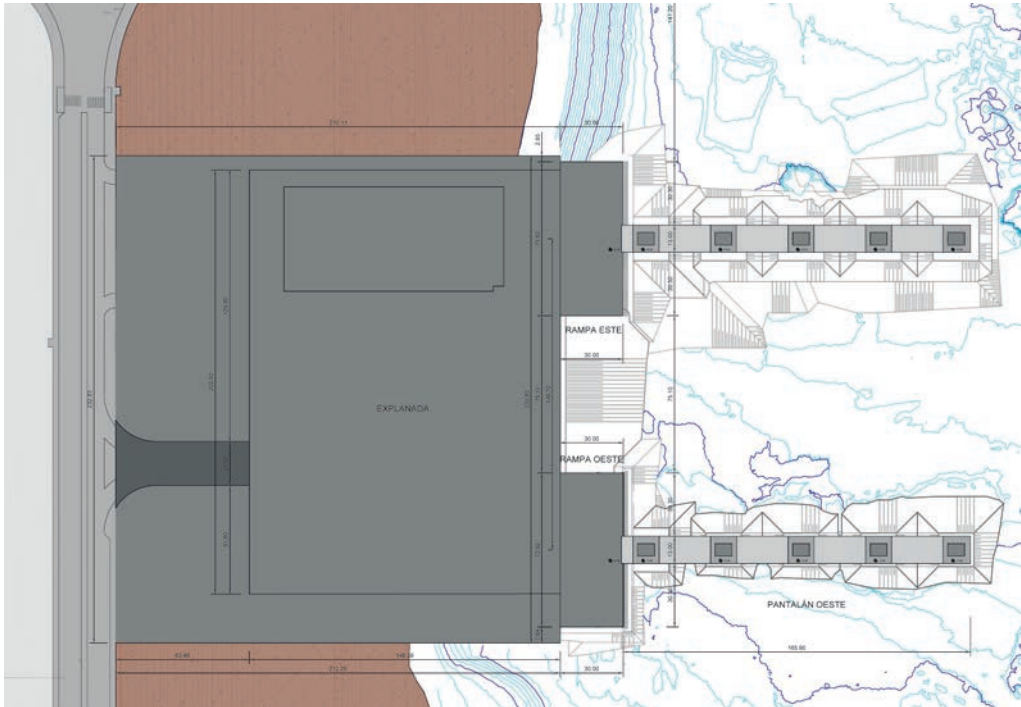


Figura 1: Planta proyectada.

- Explanada: diseño y urbanización de una superficie de 49.408 m<sup>2</sup> a espaldas de las rampas ro-ro, incluyendo a su vez el vial de acceso a la nueva terminal.
- Rampa Este: tación que conecta la explanada con el Pantalán Este para dotar de rampa de apoyo al portón del buque y por tanto la zona de entrada y salida de los vehículos al buque.
- Rampa Oeste: tación que conecta la explanada con denominado Pantalán Oeste.

A continuación se describe en más detalle el proyecto de los elementos principales, los estudios adicionales que se realizaron para verificar los condicionantes de la obra, así como el proceso constructivo llevado a cabo para completar la creación de esta nueva terminal de transporte.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Cada uno de los *duques de alba* está formado por un cajón de hormigón armado y celdas rectangulares de 12 m de manga por 13,8 m de eslora en el sentido longitudinal del atraque.

Teniendo en cuenta que la batimetría de la zona varía entre las cotas -23 y -25, siendo una dársena con mucha profundidad, para el apoyo de los cajones se verterá una banqueta de escollera reforzada en sus taludes exteriores con mayores tamaños (60 a 300 kg) que en algunas zonas llega a alcanzar los 9 m de espesor y puntal máximo de cajones hasta 24 m.

Con el fin de garantizar la estabilidad de los cajones fue necesario además iniciar los trabajos con el dragado del terreno natural en sus estratos sedimentarios poco consistentes en espesores variables, alcanzando en algún caso la batimétrica -29.

La coronación de los cajones se fija en la cota +3, a la que se añaden 2 m de superestructura para dejar el muelle operativo a la cota +5.

En segundo lugar, a la hora de definir el *tablero*, se distinguen dos tipologías principales de puentes: los situados entre las rampas ro-ro y el primer duque de alba, de 5 m de longitud y 13 m de anchura; y por otra parte los elementos de conexión entre el resto de duques de alba, con una luz libre de 23,2 m y manteniendo la anchura en coronación de 13 m.

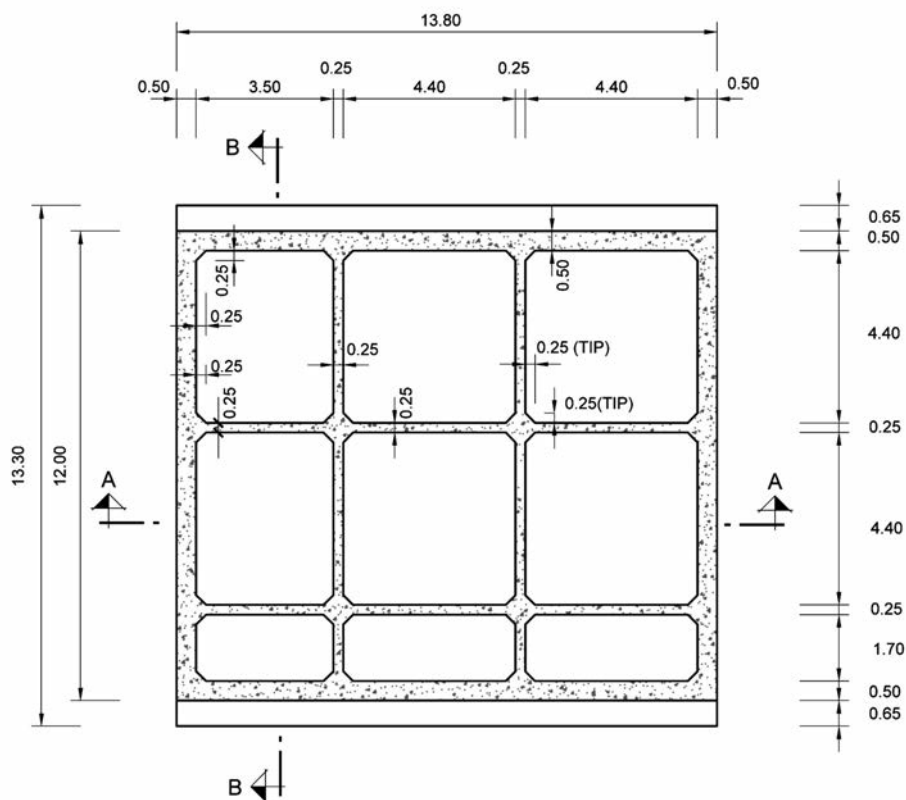


Figura 2: Geometría de los cajones de duques de alba.

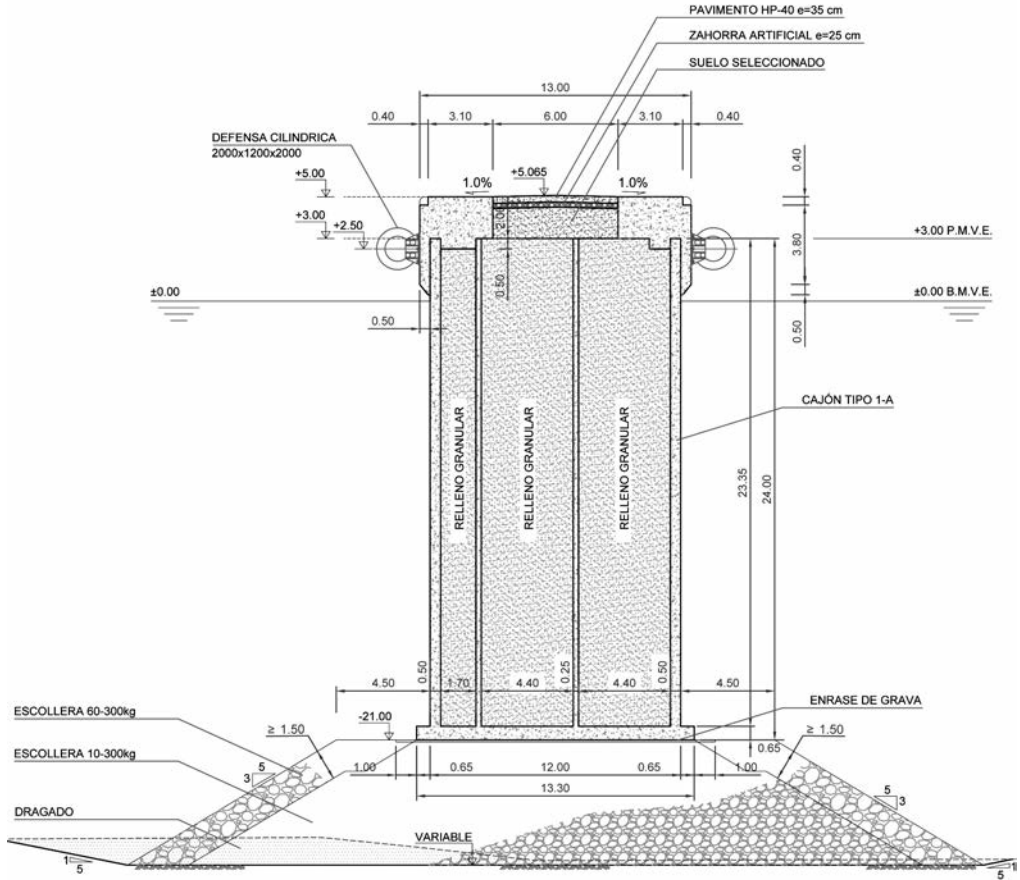


Figura 3: Sección tipo del duque de alba.

Como veremos más adelante, con el fin de acotar los movimientos de los puentes bi-apoyados entre cajones y la necesidad de compatibilizar éstos con los posibles movimientos transversales inducidos por pequeños giros en la cimentación, se realizaron estudios adicionales que culminaron con el diseño de un sistema de vigas riostras para atar las vigas en doble T rigidizando de esta forma el conjunto del tablero.

Las rampas que conectan la explanada con sendos pantalanés se ejecutan a su vez mediante cajones. Se trata de dos rampas de 30 m de anchura por 73,61 m de longitud.

Cada rampa está compuesta por dos cajones de 36,76 m de eslora y 12 m de manga fondeados a la cota -16 sobre una banquetta de escollera de 10 a 300 kg y bloque de guarda de protección.

Con el fin de contener el trasdós y zona de relleno entre la rampa y la explanada se construyen cierres laterales con muro de bloques en sección escalonada.

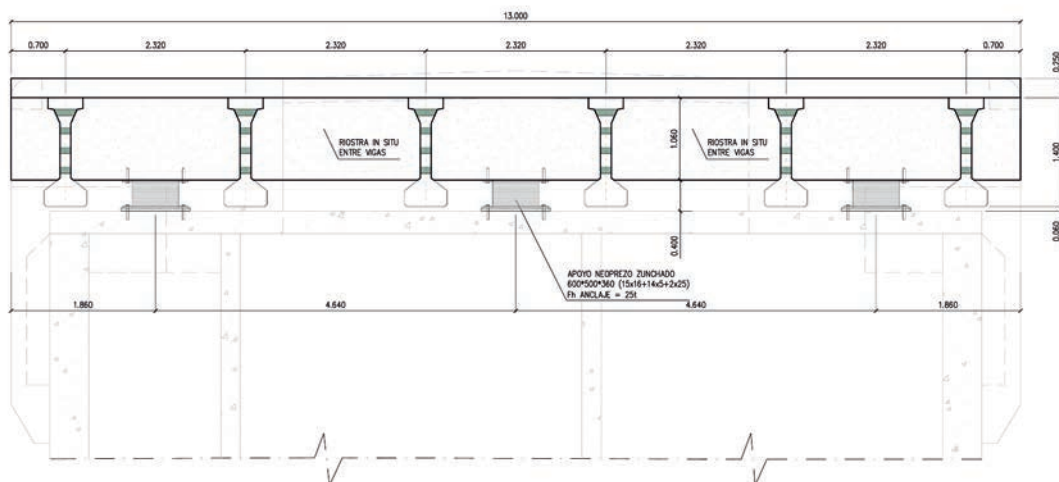


Figura 4: Sección de puente de conexión entre duques de alba.

Dado que toda esta zona es considerada para operaciones se dispone pavimento de hormigón HP-40 sobre el relleno.

Finalmente, la explanada se completa con relleno general, suelo seleccionado, así como dotaciones de redes de drenaje, saneamiento, abastecimiento, servicios e iluminación. El pavimento diseñado es de hormigón y se incluye a su vez la ejecución de los viales de acceso (64 m de vial de 21 m de anchura).

### Reconocimientos y estudios complementarios

Como complemento de los datos geotécnicos así como batimétricos de la zona, y con el fin de identificar tanto los volúmenes de dragado necesarios previa ejecución de la banqueta como la ubicación de los pecios afectados, se realizó un estudio geofísico y morfológico, acompañado de tomas de muestras para caracterización del fondo.

De esta forma se cartografiaron las diferentes reflectividades según los tipos de fondos y se tomaron 5 muestras superficiales con draga además de filmaciones submarinas.

La potencia de materiales sedimentarios oscilaba de 0 a 3 m, observando además afloramientos rocosos y materiales muy compactos con cierto relieve.

En la zona del muelle Oeste se detectó la presencia de 3 pecios en las inmediaciones de la traza, con una longitud media de entre 30 y 38 m de eslora visible.

Uno de estos pecios se encontraba en mitad de la traza del pantalán, por lo que fue necesario cortarlo en trozos de tamaño suficiente como para poder transportarlos con flo-



Figura 5: Boomer AA301 con catamarán y antena de DGPS y Mosaico Sonar.

tadores y remolcar a una zona de muelle donde fueron extraídos a tierra con grúa. Un segundo pecio, cuya proa invadía también zona de banqueta del pantalán, fue cortado con medios marítimos para proceder a extraer dicha proa de la misma forma.

Otros estudios complementarios realizados durante el desarrollo de este proyecto han sido el Estudio de Comportamiento de buque atracado para los buques ro-ro, obteniendo los límites de operatividad y las fuerzas resultantes en bolardos y defensas, y por otra parte un posterior Estudio de Simulación de maniobras para definir la posición del segundo pantalán en la dársena.

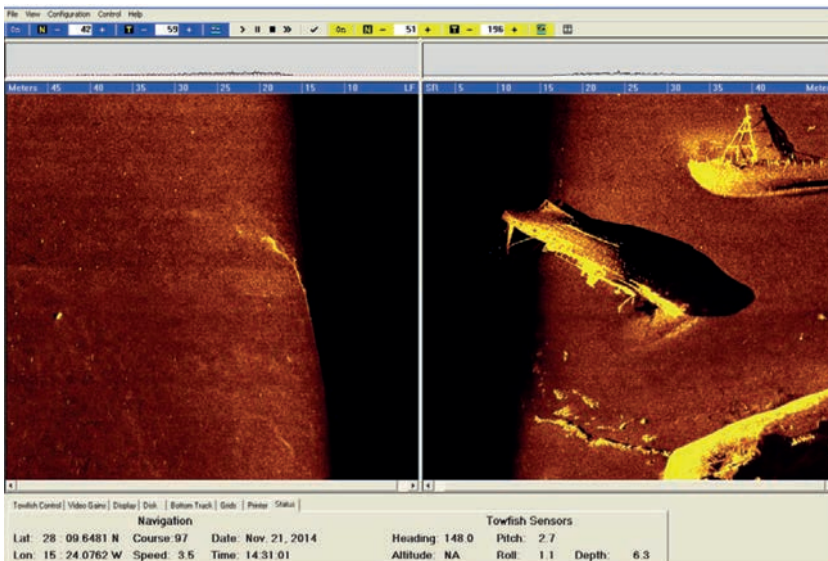


Figura 6: Sonograma con pecios.

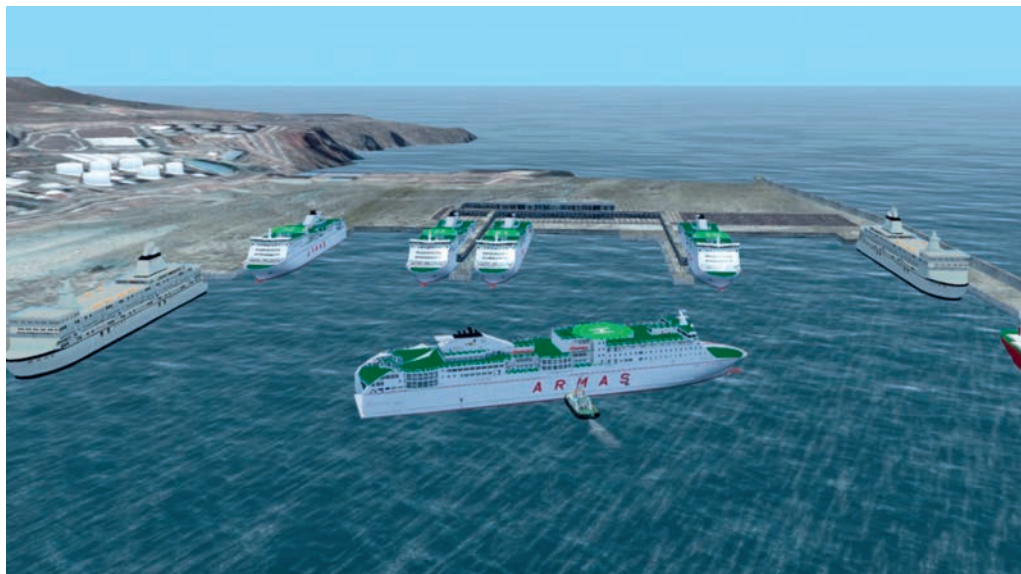


Figura 7: Análisis de reviro de ro-pax de 175,7 m para acceder al puerto.

## ASPECTOS PARTICULARES DEL DISEÑO

Dada la esbeltez de los cajones proyectados para los duques de alba y considerando las magnitudes de las diferentes acciones a las que los mismos se verían sometidos durante la vida en servicio de la infraestructura:

- Peso de las vigas.
- Sobrecargas de uso.
- Fuerza de amarre o tiro de bolardo.
- Empuje de atraque.

Se planificó la realización de una serie de comprobaciones adicionales para identificar los posibles movimientos que podían sufrir los cajones tanto durante el proceso constructivo como en servicio.

En primer lugar se modelizó tanto el terreno natural como la banqueta sobre la que se cimentarían los cajones, seleccionando como más conservador el caso del cajón con mayor espesor de banqueta.

Con el fin de determinar de la forma más fiable posible el módulo de deformación de la escollera de banqueta a considerar en las comprobaciones, se decidió realizar un seguimiento exhaustivo de los asientos en cada uno de los cajones a lo largo de las distintas fases de ejecución a las que se verían sometidos.

Como primera aproximación se realizó un cálculo sencillo en 2 dimensiones con el programa PLAXIS.

A medida que se contaba con mayor información y con el fin de obtener resultados más precisos se pasó a realizar un modelo 3D del todo el proceso constructivo para la determinación de los movimientos horizontales en la parte superior del cajón con el programa FLAC 3D.

De este análisis se concluye que:

- Durante la construcción de la banqueta se producen ciertos asientos constructivos no homogéneos, variables según los espesores de banqueta en cada zona.
- El asiento debido al fondeo del cajón es prácticamente homogéneo, con movimientos horizontales reducidos.
- Una vez se rellenan las celdas aparecen algunos movimientos horizontales en coronación, siendo fundamentalmente verticales en la zona de apoyo del mismo.
- Con la instalación de las vigas aparecen pequeños movimientos que se suman a los anteriores con incremento de tensiones verticales al terreno en los bordes.
- Cuando se introduce la combinación de la carga de atraque y de amarre, se detectan movimientos horizontales importantes en la dirección del empuje por diferencia de asientos en la banqueta (giro del cajón).

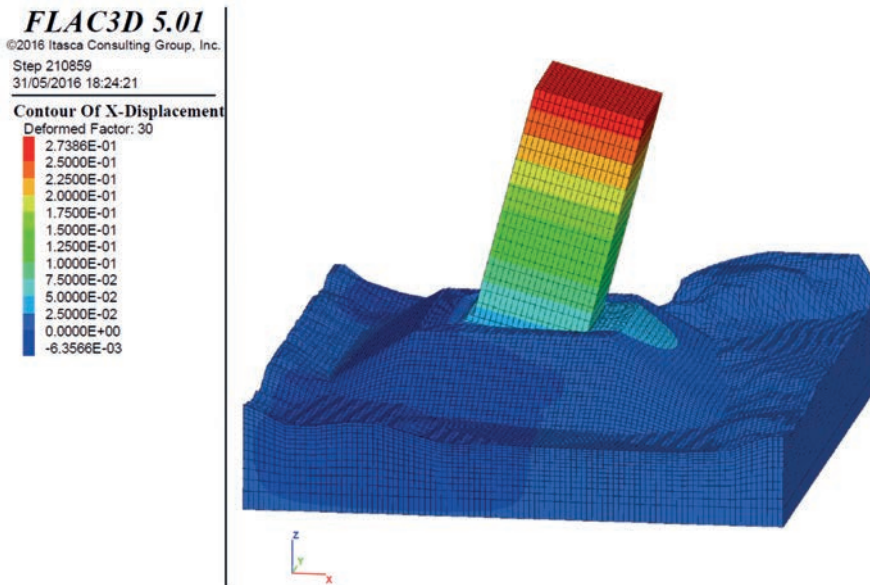


Figura 8: Desplazamientos según el eje x. Hipótesis PT+At+Am.

Una vez que se hubo estimado el máximo movimiento horizontal que puede llegar a ocurrir entre dos cajones consecutivos, se utilizó este dato para rediseñar la disposición de las vigas de apoyo del tablero de forma que se garantizase que pueden asumir dichas variaciones en planta.

Se readaptaron las zonas de entrega en los apoyos para que tuviese espacio suficiente para la nueva definición, realizando modificaciones de diseño en la superestructura de los duques de alba.

A pesar de que los asientos diferenciales esperados no son grandes, dada la esbeltez del cajón, un pequeño asiento que induzca un giro se traduce en coronación en movimientos horizontales de cierta entidad, es por ello que se propuso que dichos movimientos pudieran ser absorbidos por el tablero y la subestructura. Para ello se modificaron los apoyos de neopreno, adoptando unos de mayores dimensiones en planta que los iniciales, y para complementar la escasa capacidad de flexión transversal de las vigas en T, se adopta disponer una viga riostra in situ que una todas las vigas transversalmente en el eje de apoyos, permitiendo de este modo tener capacidad suficiente para llevar la fuerza transversal al tablero, minimizando a su vez el número de apoyos.

## PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación se describe de forma general la secuencia del proceso constructivo y los medios más importantes utilizados durante los trabajos.

### Dragado

La limpieza del fondo de los espesores de materiales sedimentarios se llevó a cabo mediante dragado con un equipo de succión en marcha. Durante la ejecución de los trabajos fue necesario asimismo retirar dos pecios hundidos del fondo marino.

### Vertido de banquetas

Una vez completado el dragado se procedió a realizar el vertido de la escollera correspondiente a las banquetas de las rampas y de los pantalones mediante gánguil de vertido por fondo.

### Fabricación e instalación de cajones

Los cajones se fabricaban en un dique flotante instalado al abrigo del dique Nelson Mandela, muy próximo a la zona de obras. En primer lugar se fabricaron los cajones





*Figura 9: Fabricación de cajones.*

correspondientes a las rampas, de mayor eslora, para a continuación comenzar con la fabricación de los 10 cajones de duques de alba con una disposición en el cajonero que permitía el hormigonado de dos cajones a la vez.



*Figura 10: Remolque y fondeo de cajones en duques de alba.*



Figura 11: Cierres laterales en rampas.



Figura 12: Relleno de celdas.

A medida que se iban completando las banquetas se llevaba a cabo el fondeo de los cajones, comenzando por los dos cajones de cada una de las rampas y siguiendo por los de los duques de alba.

Para poder acceder a los cajones de rampa se cerró la explanada mediante la construcción de sendos muros escalonados en cada rampa. Se dispusieron capa a capa bloques de cola de milano con ayuda de una grúa sobre ruedas desde el relleno y se hormigonaba por tongadas para ir dotando a los recintos de monolitismo suficiente para avanzar en el siguiente escalón.

De esta forma se conseguiría tener acceso terrestre a los cajones de mayor eslora para proceder a su relleno desde camión.

Los cajones correspondientes a los duques de alba, al no contar con acceso terrestre hasta que se ejecutasen los puentes de unión entre ellos, se rellenaban con medios marítimos utilizando un gánguil equipado con una grúa y pulpo.

## Puentes

Cuando todos los cajones estuvieron rellenos se comenzó con la ejecución de los tableros.



Figura 13: Colocación de vigas en puentes.



Figura 14: Ejecución de losas y pavimento.

El avance se haría siempre desde el cajón anterior, comenzando por los de las rampas, de forma que se disponían las vigas en doble T entre ambos apoyos en primer lugar.

Tal y como se ha detallado anteriormente la solución de superestructura requería el hormigonado in situ de una viga riostra que diera rigidez y simulase un cosido de las vigas en T. Una vez completadas las vigas a ambos lados de cada puente, se emplearía una grúa sobre ruedas con alcance suficiente para colocar las prelasas de coronación. Finalmente se procedería a hormigonar la losa superior.

## Superestructura

Una vez construidos los puentes, se realiza la ejecución de la superestructura y se lleva a cabo la instalación de defensas y bolardos tanto en rampas como en los pantalanes.



Figura 15: Estado final de las obras.

# Seismic analysis of anchored sheet piles

B. Even<sup>1</sup>, E. Kapornyai<sup>1</sup>, C. Prum<sup>1</sup>, H. Zillgen<sup>1</sup>, X. Ametller<sup>2</sup>, A. Falqués<sup>2</sup>, H. Pera<sup>2</sup>, A. Sanmartín<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ArcelorMittal, Department. boris.even@arcelormittal.com; eric.kapornyai@arcelormittal.com; cecile.prum@arcelormittal.com; heiko.zillgen@arcelormittal.com.

<sup>2</sup> SENER, Ingeniería y Sistemas, Sección Civil y Arquitectura. xavier.ametller@sener.es; albert.falques@sener.es; helena.pera@sener.es; arcadi.sanmartin@sener.es

## INTRODUCTION

Sheet pile systems are an interesting solution to be implemented in quays and harbors where seismic resistance is required. There is a vast array of studies proposing different procedures for their design. However, the conditions regarding their design are not specifically addressed.

Pseudo-static analysis is the preferred method utilized by engineers as it is simple and a system which is readily-available. It allows assessing the geotechnical stability of the sheet pile system. This requirement has a huge relevance when dealing with retaining structure designs. Nevertheless, pseudo-static analyses need an estimation of the seismic coefficient value. [1] and [2] have highlighted the relevance and the influence of this parameter on the design of sheet piles. Furthermore, the estimation highly depends on the engineer experience and criteria; which may, result in a conservative or non-conservative approach. To overcome this problem, more advanced analyses, such as dynamic methods, are increasingly being used and are available nowadays.

Dynamic analysis can improve how the seismic motion is introduced in the analysis by using acceleration-time histories. Thus, the behaviour of the whole system is better simulated under dynamic methods and the design becomes more precise. Despite this advantage, the geotechnical stability cannot be ensured with the dynamic method. Therefore, a methodology seeking for a complete design of sheet piles has to be proposed.

Hence, the present study aims to outline best practice for performing the seismic design of anchored sheet piles. Integrating the assessment of structural and geotechnical requirements in the same design procedure is the main focus of this study. Overall, this investigation endeavours to provide guidance and make recommendations regarding the improvement of sheet pile design.

## METHODOLOGY

The following study suggests a basic methodology for the seismic design of sheet piles to highlight an efficient design practice for these structures. Therefore, the study is performed under a simple case which aims to focus on the design methodology. It is important to note that Eurocode standards and PIANC recommendations have been adopted throughout the study. Hence, the following assumptions have been made:

- Liquefaction and scouring are neglected.
- The stratigraphy of the soil consists of one cohesionless sand layer ( $\varphi=30^\circ$ ) along the whole soil column. For modelling purposes a rock layer is also considered at the bottom.

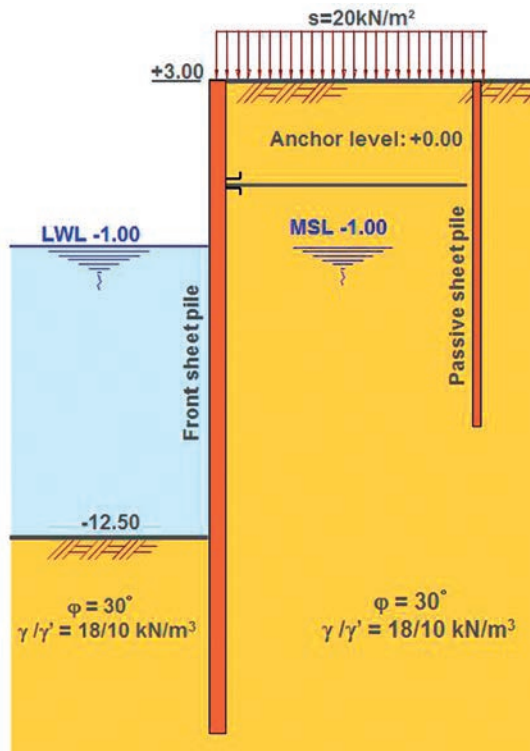


Figure 1: Conditions of the study.

- The Hardening Soil Small Strains is used as the constitutive soil model.
- The water level is considered 4 meters below the surface. Also, the difference between water levels at both sides of the front sheet pile is not considered.
- The sea bed level is situated 15.5 meters from the surface.
- As a simplification, pressure due to movement of water within soil pores is not considered.
- The dynamic pressure of the sea water against the front sheet pile is introduced by means of the Westergaard hydrodynamic pressure.
- The sheet pile system consists in a front sheet pile anchored to a passive sheet pile.
- On top of surface, a distributed load of 20 kN/m<sup>2</sup> is assumed.
- The toe level of sheet piles, sheet piles sections and steel grades are defined as a conclusion of the design.

The sheet pile design needs to involve the assessment of geotechnical and structural requirements. Consequently, two analyses are proposed according to EN 1998-5, pseudo-static and dynamic analyses, in order to fulfill a complete design of a sheet pile system. Both of them are performed using 2D Plaxis software [3]. The way in which the seismic action is considered in the model is the main difference between them. The pseudo-static analysis simulates the earthquake as an additional inertial force by means of the seismic coefficient whereas the dynamic analysis is able to take into account the accelerogram of the seismic action.

On one hand, pseudo-static analysis evaluates the geotechnical stability of the system. For that purpose, the phi/c-reduction method is used for determining the safety factor associated to the overall stability. According to EN 1997-1 [4], using the Design Approach 1 with combination 2 and considering the characteristic properties of the soil, the safety factor has to be 1.25. This calculation cannot be performed under a dynamic analysis and hence, this demonstrates the need for a pseudo-static analysis. On the contrary, the dynamic analysis assesses structural requirements in terms of design forces and displacements that can be verified following EN 1993-5 which is the Eurocode 3 Part 5 dedicated to steel sheet piles. This standard takes into account, through the soil model used, the energy dissipation by means of the soil material damping depending on the soil strains. This calculation cannot be performed under a pseudo-static analysis and hence, it demonstrates the advantage of dynamic analyses.

Looking into the different approach and outcome of each analysis type a proposal can be done. Not only are both analyses conceived independently, but also the proposed methodology relates their results in order to develop a more thorough design approach. Consequently, the sheet pile design becomes an iterative process aiming to converge to

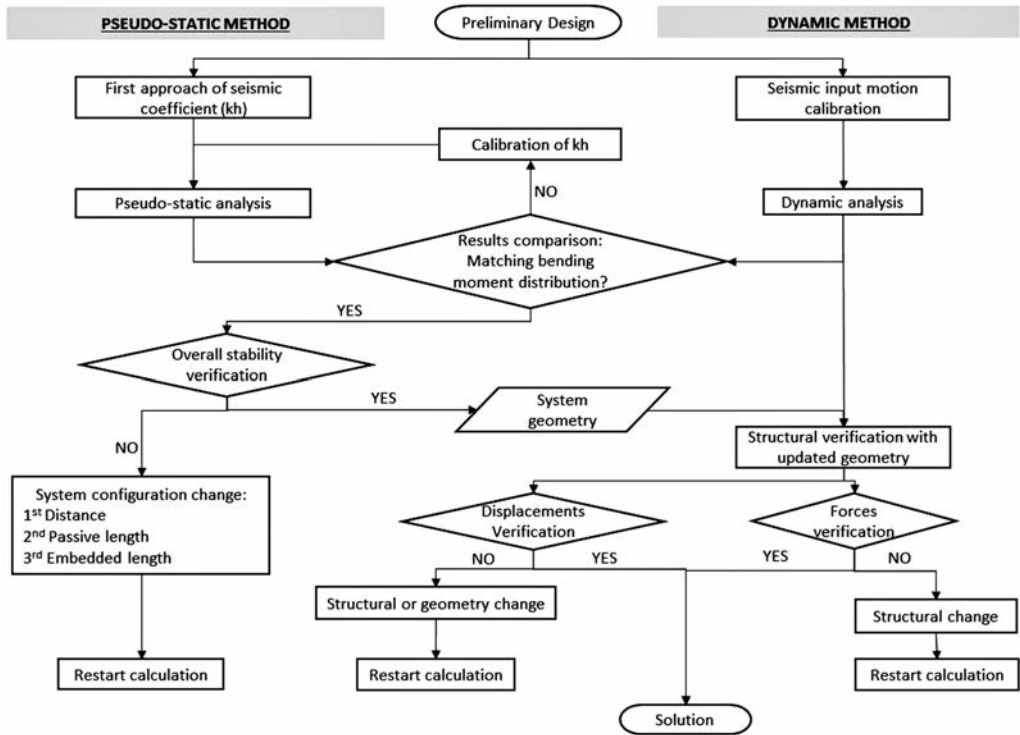


Figure 2: Proposed design methodology for sheet piles under seismic design.

the same result either in pseudo-static or dynamic analyses. The design procedure is schematized in Figure 2. Furthermore, the main steps of the proposed design are detailed below.

### Dynamic analysis: seismic input motion calibration

The dynamic analysis considers the accelerogram of the desired earthquake to be studied. Regarding the general methodology, the study proposes an elastic response spectrum as the parameter defining the earthquake, which is the adopted practice in all the seismic standards. As a common practice, this spectrum is assumed to be obtained at top of the surface. Hence, the input artificial accelerogram to be applied at the base of the model shall simulate the design or target spectrum at the surface of the model. To achieve that matching, the dynamic analysis requires a calibration of the input seismic motion.

Primarily, the target elastic spectrum is defined in terms of Eurocode standard. The study proposes to evaluate a spectrum associated to a soil Type C with a Peak Ground Acceleration (PGA) equal to 0.4g according to EN 1998-1 §3.2.2.2 [5]. Therefore, the basic acceleration,  $a_b$ , is equal to 0.27g.

The seismic calibration is carried out using a 1D model of the soil column in 2D Plaxis software. The input acceleration time-history is obtained for a rock outcrop (Type A in EN 1998) and introduced at the bottom of the model through a prescribed displacement. Afterwards, by means of a dynamic calculation, the seismic motion is propagated along the soil column. At the end of the analysis, an elastic response spectrum is obtained at top of the surface and compared to the target spectrum, Type C in this case. Due to the properties of the soil, damping and its natural vibration periods, the spectrum obtained differs from the target spectrum. Therefore, the input accelerogram needs to be modified such that the simulated spectrum at surface fits the target spectrum at the end of the calibration process.

Commonly, the seismic calibration performed in 2D Plaxis uses the Rayleigh and damping factors. These parameters modify the damping of soil at the frequencies where peaks at the spectrum are found. In spite of this, sometimes it can become difficult to calibrate the seismic motion by means of this parameter. Thus, the present study carries out a modification of the input accelerogram in terms of energy.

The proposed method directly modifies the input accelerogram instead of adjusting the soil constitutive model, normally carried out with the Rayleigh damping. Alternatively, the calibration fine tunes the energy of the frequencies which does not fit the target spectrum. For instance, a great peak of the simulated spectrum above the target spectrum means that the corresponding frequency has a too high energy input which has to be reduced to match the target. Consequently, this method needs to determine the energy for each frequency of the accelerogram. This can be obtained using the Power Spectral Density (PSD) from the Fast Fourier Transformation (FFT) of the signal, which is a mathematical operation that determines the amount, or the energy, of each frequency needed for producing the associated accelerogram.

When the associated PSD spectrum is obtained, the energy of the desired frequencies is adjusted. Afterwards, an inverted FFT is carried out to recover the now modified accelerogram. Finally, it is introduced again on the base of the model to perform a dynamic analysis. This procedure is iteratively carried out until the target spectrum is achieved,

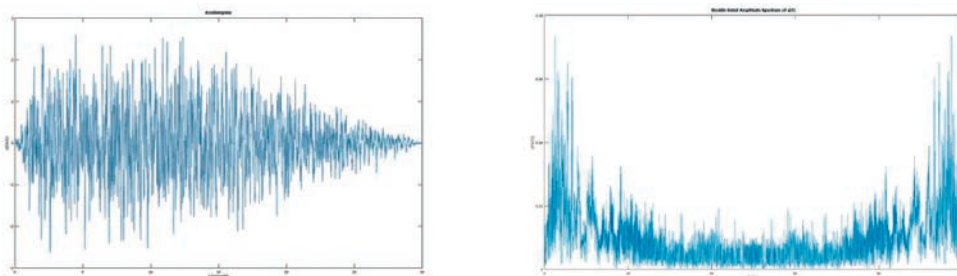


Figure 3: Accelerogram (left) and its associated symmetric PSD spectrum (right).



which typically takes five to ten iterations. Note that the matching with the target spectrum is much better than the common Rayleigh adjustment as it can be seen in the following sections.

## Pseudo-static analysis: Estimation of the seismic coefficient

As previously mentioned, pseudo-static analysis considers the earthquake as an additional inertial force considered by means of the seismic coefficient. According to EN 1998-5 §7.3.2.2 [6], the horizontal seismic coefficient is defined as:

$$k_h = \alpha \frac{S}{r}$$

Where:

- $\alpha$  is the ratio of the design ground acceleration on type A ground,  $\alpha_g$ , to the acceleration of gravity  $g$
- $S$  is the soil factor
- $r$  is a reduction factor depending on the type of the retaining structure

However, the determination of the values for above parameters has some uncertainties, especially for sheet piles. For instance, EN 1998-5 [6] has no clear clause for the value of reduction factor for sheet piles. According to Table 5.1 of EN 1998-5 [6] the value to be used is equal to 1. Nonetheless, PIANC recommendations [7] already propose a reduction factor equal to 1.67 whereas [8] outlines possible reductions between 50%-70% (factors of 2 to 3) when dealing with retaining structures. Given that the estimation of the seismic coefficient is the key factor for assessing the geotechnical requirements, the ambiguity associated with calculating this value has a huge influence on the results. Either an underestimation or an overestimation could occur, leading to unsatisfactory designs.

Under this situation, the study proposes the estimation of the seismic coefficient using the results of a more advanced analysis, in this case, the dynamic analysis. Other studies have used similar procedures in order to estimate the seismic factor. [9] carries out a calibration of the seismic coefficient using the results from an analysis with shaking tables. At this step of the design is where the two analyses become interdependent. The proposed methodology calibrates the seismic coefficient based on the bending moment distribution and values of the front sheet pile. Hence, the calibration is carried out comparing the results from pseudo-static analysis to the results of dynamic analysis. The estimated value for the seismic coefficient is the one with the best associated fitting to the dynamic bending moment distribution. As a result, the design methodology becomes an iterative process as shown in Figure 2.

## DISCUSSION OF RESULTS

### Seismic input motion calibration

The seismic input motion calibration has been carried out in a 1D model of the soil column using 2D Plaxis software. The soil column is 40 m deep where the first 37 meters are a sand soil. At the bottom of the column there is a layer of 3 meters of rock. The calibration is performed under free field conditions.

As a first iteration, the accelerogram associated to the elastic response spectrum at the rock has been used. The accelerogram has been simulated through SIMQKE [10] software. This software is able to transform an elastic response spectrum into a set of artificial accelerograms. For that purpose, the spectrum at rock has been defined according to EN 1998-1 §3.2.2.2 [5] considering a soil Type A with basic acceleration equal to 0.27g.

The elastic response spectrum at surface after performing the first iteration of the process is shown in Figure 4. As shown below, the simulated spectrum has a significant difference with the target spectrum. An outstanding result to also note is that a great peak is generated at a period of around 1 second which is the soil first natural period. Additionally, the spectral acceleration at the plateau is significantly higher than the standardized spectrum. Hence, a calibration is needed.

The modification of the input accelerogram has been made based on the energy modification process. In addition to this, Rayleigh damping has also been used to adjust the spectral acceleration at small periods and on the plateau. Resultantly, a Rayleigh damping of 0.5% is imposed at the lowest frequencies (2.5 Hz and 16 Hz).

Considering the results of the first iteration, the calibration of the accelerogram has been adjusted according to the main peaks of the simulated spectrum. Consequently, the energy of periods around 1 second (alternatively, frequencies around 1 Hz) and the periods of the plateau have been changed.

The modification has been performed iteratively such that a sufficient fit to the standardized spectrum is fulfilled (Figure 4). Note that according to EN 1998-1 §3.2.3.1.2 [5], using artificial accelerograms any point of the simulated spectrum has to be above the 90% of the normative spectrum.

Upon completion of the calibration, the input accelerogram is used to conduct the dynamic analysis of the sheet pile system. According to the proposed methodology, dynamic results are used to evaluate structural requirements according to Eurocode standards and PIANC recommendations. However, the structural verification is not the focus of this study. For this reason, it is left aside as there is a wide range of documentation and standards detailing this verification process. Furthermore, dynamic results are used to estimate the

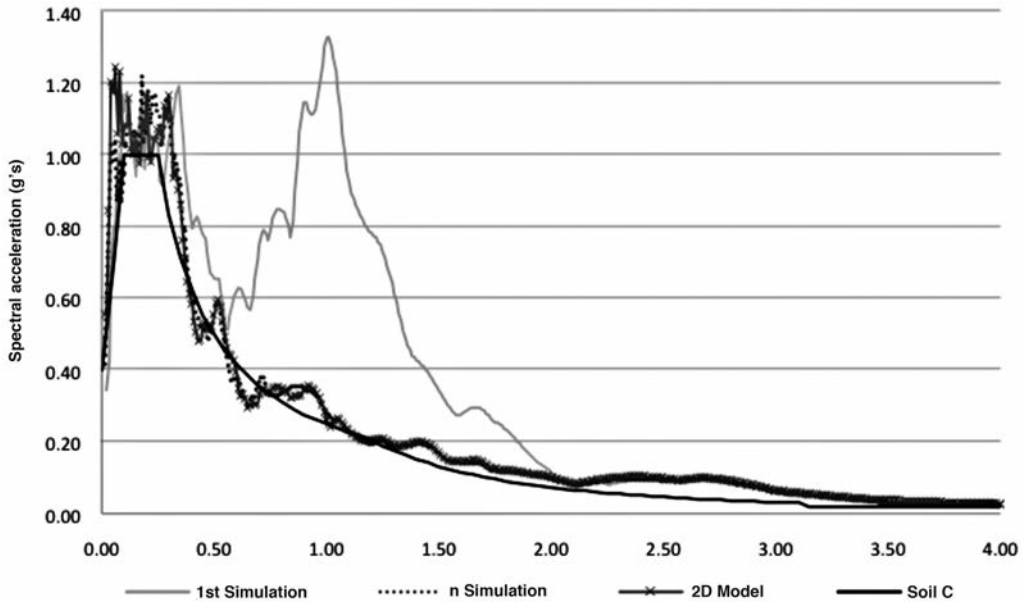


Figure 4: Final simulated response spectrum after seismic input motion calibration.

seismic coefficient for the pseudo-static analysis. The following section discusses how this estimation is achieved.

Finally, as a part of the control of the seismic signal, a verification has to be made in the 2D model. It has to be checked that the elastic response spectrum at surface remains unaltered from the 1D calibration. This verification is performed at the boundaries of model, where the free field conditions, are imposed. Figure 4 also compares the spectrum of 1D and 2D models. It demonstrates that the obtained 2D spectrum complies well with the standard spectrum in Figure 4.

### Estimation of seismic coefficient

The pseudo-static analysis needs to simulate the same conditions of the dynamic analysis for assessing the overall stability of the system. The case conditions of the pseudo-static analysis rely on the value of the seismic coefficient. Henceforth, the estimation of this parameter is of vital importance.

First of all, the study analyzed the convenience of the utilization of the factor already proposed in PIANC recommendation and standards. Therefore, as a first approach, the selected value for the reduction factor is 1.67. It has to be pointed out that along the

whole study the PGA at surface, equal to  $0.4g$ , is used as the design acceleration ( $\alpha S$ ). Under these conditions, a great active wedge is developed which involves a huge soil body mass. The passive wall is required to be situated outside that active wedge in order to develop its anchoring function. Consequently, the overall stability is achieved when the passive wall is located approximately at 130 meters from the front sheet pile. These results may prove the sheet pile system to be unfeasible under seismic conditions. In order to verify this, the pseudo-static results are contrasted with dynamic results to determine the most suitable design approach.

The comparison of the results reveals that the pseudo-static conditions are not in line with dynamic conditions. Specifically, the bending moments of the front sheet pile take on a different distribution in the pseudo-static analysis when contrasted against the dynamic analysis. Under the pseudo-static analysis, it acts as simple supported beam whereas in dynamic analysis it behaves as a continuous beam (Figure 5). Moreover, the maximum bending moment also varies quite largely, as in pseudo-static it takes a values of 6723 kNm compared to 2835 kNm in the dynamic analysis. In light of these results, it can be concluded that the approximation for the seismic coefficient leads to an overestimation of the seismic internal forces in the sheet piles. Consequently, an alternative estimation needs to be proposed.

The present study proposes an estimation of the seismic coefficient using the results of the dynamic analysis. Different values of the mentioned parameter are considered. The estimation is based on fitting the pseudo-static bending moment distribution of the front sheet pile to the dynamic distribution.

Figure 6 shows different proposed values for the seismic coefficient. Also, it illustrates that the best fitting distribution is obtained using a value equal to  $0.14g$ . Considering the above finding, the associated reduction factor is equal to 2.8. Compared to the first approach, it has a significantly greater value. Nonetheless, it is in line with values already

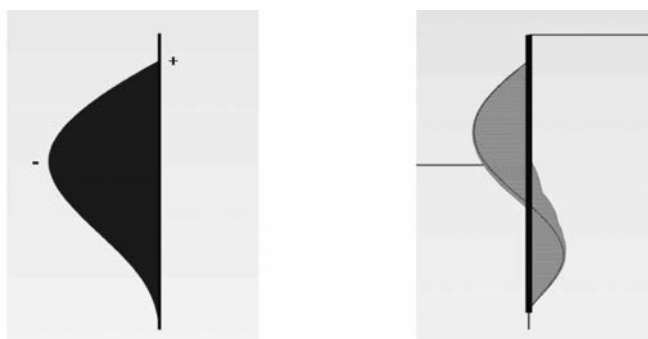


Figure 5: Bending moment distribution of the front sheet pile. Under pseudo-static analysis (left) and under dynamic analysis (right).

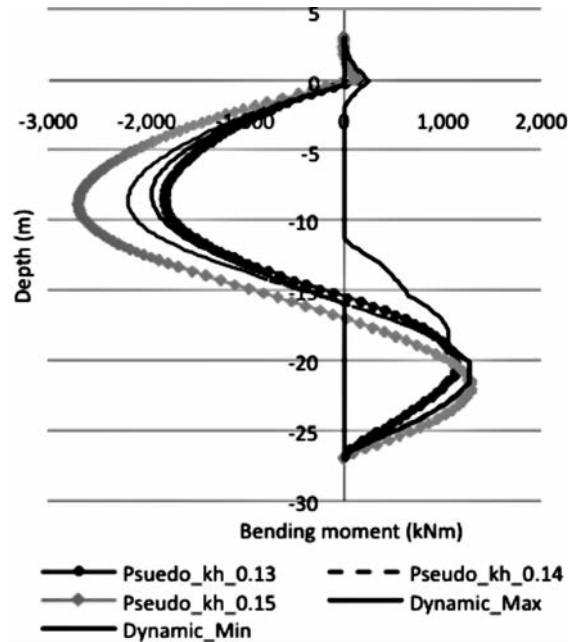


Figure 6: Calibration of the seismic coefficient.

proposed by [8] for retaining structures. In addition, [9] proposes values for the reduction factor until 2 however this particular study analyses a batter pile system, which is a more rigid structure, and as a result the values may become less comparable.

The results conclude that the values proposed in standards might need a revision considering the behavior of sheet piles under seismic conditions. According to the results obtained, an increase of the reduction factor might be based on the dissipation of energy due to the soil-structure system, i.e. the consideration of the soil material damping which depends on the soil strains. Therefore, the reduction factor could depend on soil properties, interaction between soil and structure and the ductility of the system considering the structure and the soil as a whole. Consequently, it opens a line of investigation in order to seek new values for the reduction factor in the case of sheet pile systems.

## CONCLUSIONS AND FURTHER STUDIES

The present study has outlined a design methodology for sheet pile systems under seismic conditions. The first focus of the study is placed on the manner in which the seismic motion is considered under the required analyses. For this reason, the seismic signal treatment for dynamic analysis has centered the first part of the study. It focuses on the calibration

of the seismic input motion. The design methodology proposes a direct modification among the input accelerogram in order to achieve a good simulation of the design elastic response spectrum.

On the other hand, the study has evaluated the estimation of the seismic coefficient factor for pseudo-static analysis. It proposes the utilization of dynamic results in order to establish the value for this parameter. Consequently, the estimation process seeks the seismic factor which better merges the pseudo-static bending moment distribution of the front sheet pile with the dynamic distribution.

In summation, to conclude the study, a reduction factor for anchored sheet piles in cohesionless soils equal to 2.8 is proposed. It has a great difference compared to current values which range from 1 to 1.67 in the in force standards. Nevertheless, it opens the possibility to start counting on the dissipation of seismic energy due to the soil material damping and points towards further investigation on the ductility of the soil-structure system. Further studies might follow this line of investigation to try and find a consensual value in order to simplify the design of sheet piles.

## REFERENCES

- (1) K. Krabbenhoft, «Static and seismic earth pressure coefficients for vertical walls with horizontal backfill,» *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 104, pp. 403-407, 2018.
- (2) F. S. d. M. C. Visone, «A review of design methods for retaining structures under seismic loadings,» Termoli (CB), Italy.
- (3) Plaxis, «2D Plaxis,» Delf.
- (4) Eurocode, «EN 1997-1. Eurocode 7. Geotechnical design. Part 1: General rules».
- (5) Eurocode, «EN 1998-1. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings».
- (6) Eurocode, «EN 1998-5. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects».
- (7) PIANC Working Group 34, «Seismic Design Guidelines for Port Structures».
- (8) The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, «Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan,» OCDI, Tokyo, 2002.
- (9) C. Habets, D. J. Peters, J. G. d. Gijt, A. V. Metrikine y S. N. Jonkman, «Model solutions for Performance-Based seismic analysis of an anchored sheet pile quay wall,» *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol. 10, nº 3, pp. 293-305, 2016.
- (10) P. Gelfi, SIMQKE, University of Brescia, 2009.
- (11) D. C. Syed Mohd Ahmad, «Seismic internal stability analysis of waterfront reinforced-soil wall using pseudo-static approach,» *Ocean Engineering*, vol. 52, pp. 83-90, 2012.



# Sistema Pilote-Lámina

## Una alternativa innovadora y sostenible para la construcción de infraestructuras portuaria

E. F. García García <sup>1</sup>, A. Castro Ponte <sup>2</sup>, C. Núñez Temes <sup>2</sup>, G. Iglesias Rodríguez <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Autoridad Portuaria de A Coruña. emiliof1106@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad de Santiago de Compostela

<sup>3</sup> School of Engineering University of Plymouth



### PILARES EN LOS QUE SE BASA EL SISTEMA PILOTE-LÁMINA (SPL)

<b>1. Disminución del Coste</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nula inversión en maquinaria especializada.</li><li>• Menor consumo de materiales.</li><li>• Mayor trabajo en taller y prefabricación.</li><li>• Poca mano de obra en la propia obra.</li></ul>	<b>2. Disminución del Plazo</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Prefabricación.</li><li>• Mayor control de la mano de obra.</li><li>• Maquinaria sencilla y ligera.</li></ul>
<b>3. Facilidad de implementar</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dada la sencillez de la maquinaria.</li><li>• Poca mano de obra especializada.</li></ul>	<b>4. Menor impacto Medioambiental</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nula necesidad de dragado para el tratamiento del lecho marino.</li><li>• Menor consumo de materiales.</li></ul>



## INTRODUCCIÓN

El Sistema Pilote Lámina (SPL) introduce una alternativa innovadora y sostenible para la contención de materiales en general, aunque es especialmente indicado para la construcción de muelles portuarios, islas artificiales o diques verticales entre otras infraestructuras.

Esta alternativa obedece a una optimización estructural que produce un gran ahorro en el coste económico de la obra, una reducción importante en el plazo de ejecución de la infraestructura, una optimización de la maquinaria empleada (ligera y disponible en el mercado), y una afección mínima al medioambiente; por todo ello la hace más ventajosa para la construcción de muelles portuarios con respecto a las tipologías comúnmente empleadas hasta la fecha en este ámbito de la Ingeniería Civil [1, 2].

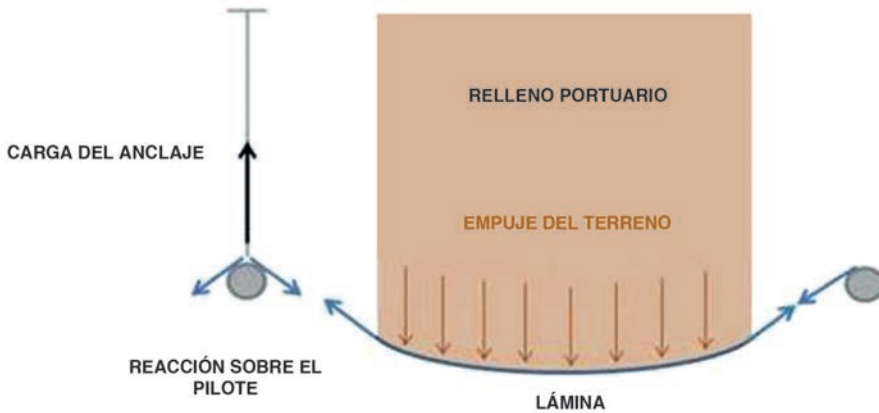


Figura 1: Comportamiento estructural del SPL con láminas a tracción.

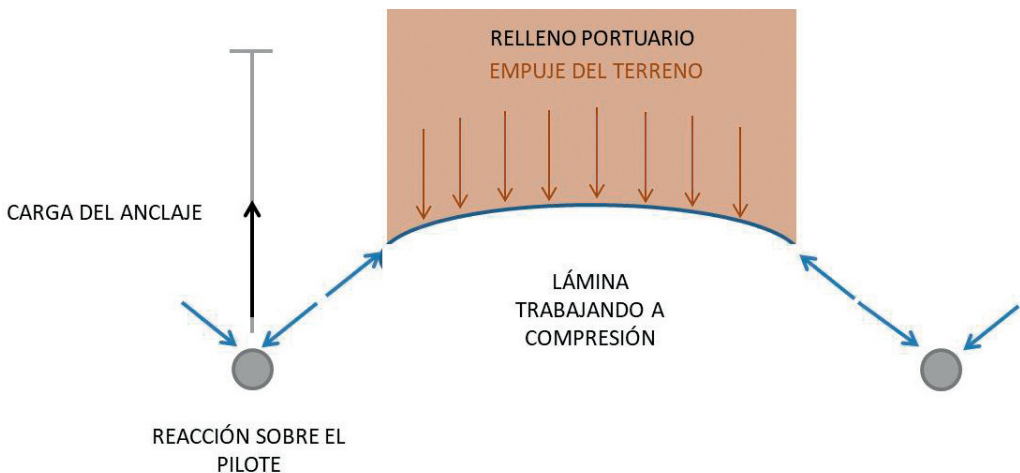


Figura 2: Comportamiento estructural del SPL con láminas a compresión.

La mínima afección al medioambiente obedece principalmente al no tener que dragar o modificar con sustitución o banquetas de asiento las condiciones del lecho marino para la cimentación del SPL, también por el bajo consumo de materiales, especialmente áridos reduciendo considerablemente la huella de carbono.

Los principales elementos que componen el SPL son los pilotes y las láminas, se encargan de forma conjunta de soportar tanto el empuje del terreno como los esfuerzos generados en la explanada. Un primer diseño del SPL era con los pilotes trabajando a flexión y las láminas a tracción; existe la posibilidad de optar con las láminas trabajando a compresión; esto permite la utilización de materiales como el hormigón para la concepción de las láminas y la adopción de un sistema de anclaje entre pilotes y láminas más sencillo.

La concepción del SPL es que cada elemento trabaje de acuerdo a sus propiedades específicas, permitiendo así la reducción de costes porque se aprovechan al máximo las propiedades mecánicas de cada uno, lo que provoca que los espesores de los materiales empleados se vean significativamente reducidos y, por lo tanto, se disminuya sustancialmente el coste económico de la infraestructura.

Los empujes horizontales generados por el terreno y los elementos de la superestructura del muelle actúan principalmente sobre las láminas colocadas entre los pilotes, éstas se deforman hasta alcanzar una geometría de equilibrio. Cada lámina se ancla por sus dos extremos a los pilotes laterales mediante un elemento de conexión transmitiéndoles los esfuerzos. Los pilotes, que se encuentran anclados a un muro de reacción, trabajan a flexión/flexo-compresión. De este modo, cada material trabaja de acuerdo a sus propiedades específicas lo que permite optimizar cada uno de los elementos del sistema.

## ELEMENTOS DEL SPL

Los dos principales elementos del SPL son los pilotes y las láminas. Asimismo el sistema cuenta con los elementos de conexión entre las láminas y los pilotes, los muros de reacción con sus correspondientes tirantes de anclaje y la viga de coronación. A continuación se presentan las características más destacadas de cada uno de los elementos.

### Láminas

Las láminas trabajan por forma en función de los esfuerzos a los que está sometida, con una curvatura diferente en función del diseño a tracción o compresión y del material que se utilice para conformar la lámina. Los valores de los espesores de las lámina son muy reducidos. En la siguiente imagen (Figura 3) puede observarse una sección de lámina unida en un lateral a una sección de pilote.



Figura 3: Lámina con sección de pilote

Las láminas se encargan del trabajo de contención. El espesor de la lámina es mínimo comparado con la longitud y el alto, como puede verse en la siguiente imagen del acopio de láminas durante la ejecución de la obra de Vilanova de Arousa, donde también puede verse la flexibilidad de la misma.



Figura 4: Acopio de láminas en taller

## Pilotes

Trabajando a esfuerzos de flexión o flexo-compresión, llevan incorporado en su camisa el elemento de conexión por donde se deslizará verticalmente la lámina, materializándose de este modo la conexión entre ambos elementos.



Figura 5: Pilotes ejecutados a la espera de deslizar las láminas.

## Elementos de conexión entre pilote y lámina

Es uno de los elementos más sensible del sistema. Deben soportar la tensión transmitida por la lámina y permitir cierto giro de la misma de modo que puedan adoptar la geometría de equilibrio así como permitir que se coloquen de forma sencilla, mediante un deslizamiento vertical a lo largo del pilote. Se colocan longitudinalmente tanto en los pilotes como en los extremos laterales de las láminas. En la Figura 6 se puede observar el deslizamiento vertical de las láminas entre los pilotes.



Figura 6: Deslizado de las láminas entre pilotes.

## Anclaje de los pilotes a los muros de reacción

El sistema estructural de los pilotes termina con un anclaje al terreno, materializado por barras de anclaje y muros de reacción (Figura 7).



Figura 7: Muros de reacción y barras de anclaje.



Figura 8: Barras de anclaje y ejecución del relleno de trasdós del muelle.

En la Figura 8 puede observarse el elemento de anclaje con el pilote, actualmente el mismo ha sido modificado para que pueda aplicársele una tensión previa, de modo que pase a ser un anclaje activo; también puede observarse el geotextil dispuesto y el comienzo del relleno.

### Viga de coronación

Una vez rematada la ejecución de los pilotes, posicionadas las láminas y ejecutado el relleno de la explanada, se procede al remate de la estructura mediante una viga de coronación (Figura 9) de modo que une los pilotes del sistema. En la misma se colocarán las defensas y los sistemas de amarre de los buques.



Figura 9: Detalle de la viga de coronación con elementos de auscultación.



Figura 10: Viga de coronación.

## PRIMERA INFRAESTRUCTURA EJECUTADA CON EL SISTEMA SPL

El primer muelle a escala real ejecutado con el sistema SPL se ha realizado en el puerto de Vilanova de Arousa (Pontevedra), gracias a un proyecto correspondiente a la convocatoria del año 2013 para la Comunidad Autónoma de Galicia, de procedimiento de concesión de subvenciones destinadas a fomentar la cooperación estable público-privada en investigación y desarrollo (I+D), en áreas de importancia estratégica para el desarrollo de la economía española – FEDER INNTERCONECTA, y a las empresas Construcciones López Cao, Temha, ABN Pipe, las Universidades de A Coruña y de Santiago de Compostela, la Consellería do Mar, Portos de Galicia y Enxa Galicia.

La actuación consistió en la ejecución de una línea de muelle para el atraque de buques pesqueros, contaba de 60 metros de longitud con una explanada anexa a esa línea de atraque, con pilotes de 1,15 m de diámetro, con una separación de 6,2 metros y una altura exenta entre 10,65 y 14,60 y 12,5 metros. Toda la actuación es paralela a un dique existente y se aprovechó el mismo para cerrar la explanada. El presupuesto global ascendió a 1,8 millones de euros, de los que 400.000 correspondieron a la ejecución de la obra.

En la fase de colocación de las láminas se emplearon únicamente un camión grúa y un barco de apoyo como puede observarse en la imagen de la Figura 8 y para la ejecución de los pilotes la maquinaria de la Figura 11 (pilotadora y pequeña grúa).

Durante la ejecución de la obra se colocaron sistemas de auscultación para el seguimiento del comportamiento de la estructura. Para ello se dispusieron las correspondientes canalizaciones que permitiesen el paso del cableado que monitorizaba cada uno de los elementos: las láminas, los tensores y los pilotes. El cableado se dirigió a una arqueta para facilitar el acceso a los sistemas de auscultación para la recogida de datos.



Figura 11: Maquinaria empleada para la ejecución de los pilotes.



Figura 12: Muelle finalizado

En la Figura 12 puede observarse el muelle terminado a falta de la colocación de las defensas y sistemas de amarre de barcos.

## VARIANTES DEL SISTEMA

Gracias a la primer experiencia materializada en el puerto de Villanova de Arousa (Galicia) y a los estudios posteriores que se realizaron en colaboración con la USC que permiten adaptar el SPL para su empleo en la ejecución de infraestructuras con mayores calados.

Para ello se ha realizado la modelización numérica (Figura 13) donde se han analizado mediante la simulación del comportamiento en escenarios teóricos que se adoptan aten-

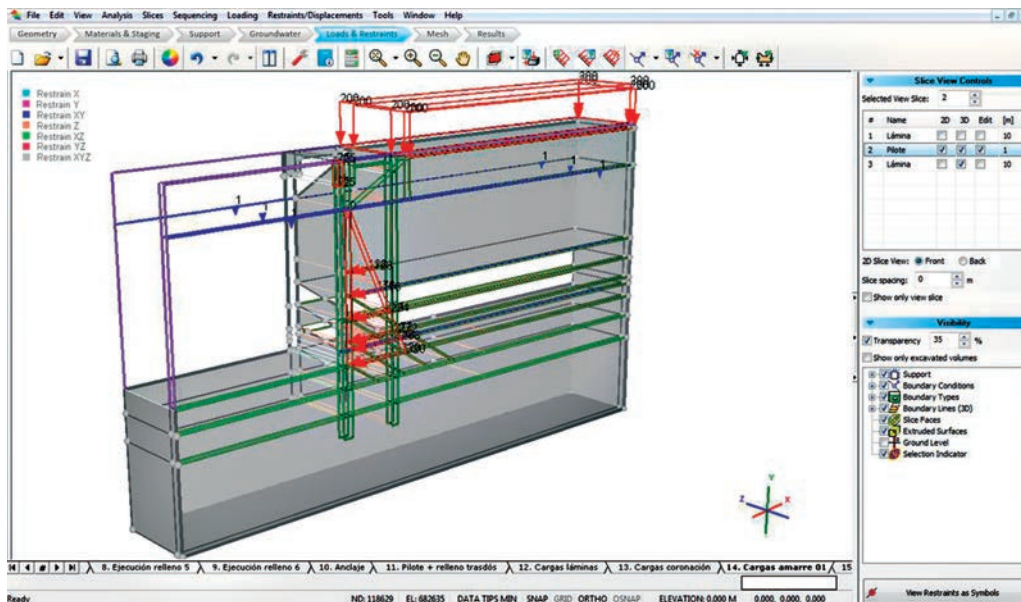


Figura 13: Modelización numérica para mayores calados.

diendo a parámetros geotécnicos y acciones habituales para estas infraestructuras [3, 4]. Se ha empleado el programa de elementos finitos RS3 – Rocscience. Los resultados obtenidos reflejaron que a partir de los 16 metros de altura de pilote es conveniente reforzar el sistema, optándose por una segunda línea de pilotes de modo que formen estructuras pórtico con los pilotes de la primera línea, también se analizó introducir líneas de anclaje adicionales. Esta nueva configuración permitiría alcanzar alturas de hasta 26 metros.

## CONCLUSIONES

El Sistema Pilote Lámina (SPL) es un sistema innovador y sostenible para la contención de todo tipo de materiales. Puede ser empleado para la construcción de muelles portuarios, islas artificiales o diques verticales, entre otras infraestructuras.

Sus elementos estructurales principales, los pilotes y las láminas, se encargan conjuntamente de soportar tanto el empuje del terreno como los esfuerzos generados en la explanada, trabajando los pilotes a flexión y las láminas a tracción o compresión, según se opte en el diseño.

Gracias a la experiencia adquirida con la primera infraestructura ejecutada con el sistema SPL en el puerto de Vilanova de Arousa se ha demostrado que el sistema representa



una alternativa real para la construcción de muelles portuarios frente a las tipologías clásicas. El sistema se caracteriza por ser una solución que permite una disminución del coste económico gracias a la sencillez de la maquinaria que emplea, a que requiere una menor cantidad de materiales, a la escasa mano de obra y a que muchos elementos se preparan en taller. Destaca además por sus reducidos efectos medioambientales al no necesitar de obras de dragado ni sustitución o mejora del lecho para la cimentación y tener un menor consumo de materiales. Por último, también es de resaltar la rapidez de ejecución del procedimiento constructivo.

Es importante indicar que la configuración del sistema SPL puede adaptarse para ser empleado en otros emplazamientos con mayores calados (alturas de 26 metros) mediante la incorporación de una segunda línea de pilotes y el empleo de un número mayor de líneas de anclaje.

## REFERENCIAS

- (1) Ministerio de Fomento. *Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas*. Ed. Ente Público de Puertos del Estado, 2009.
- (2) Ministerio de Fomento. *ROM 2.0-11: Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre*. Recomendaciones para Obras Marítimas. Ed. Ente Público de Puertos del Estado, 2012.
- (3) Martínez Santamaría J. M. Técnicas y metodologías para la evaluación, caracterización y mejora de rellenos portuarios: propuesta de clasificación. IV Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas.
- (4) Ministerio de Fomento. *ROM 0.5-05: Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias*. Recomendaciones para Obras Marítimas. Ed. Ente Público de Puertos del Estado, 2005.

# Application of the IH2VOF numerical model to evaluate forces on (Flood)Walls and buildings by wave overtopping

S. De Finis<sup>1</sup>, A. Romano<sup>2</sup>, G. Bellotti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Engineering, Roma Tre University, Rome, Italy

<sup>2</sup> Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, La Sapienza University, Rome, Italy

## INTRODUCTION

The wave overtopping over coastal structures has been extensively studied in the last 30 years. PROVERBS, OPTICREST and CLASH are just an example of three European funded research projects, which gathered a lot of data and knowledge about overtopping over different geometries. This all and much more has cumulated into the EurOtop Overtopping Manual (EurOtop, 2007). But what is the damage that can occur due to overtopping waves, is still an open question.

Safety assessment studies, carried out also in the light of the increasing water levels due to the climate change, show that in many countries several coastal areas have too low freeboards. Often there is no space for extension of the flood defense, which leads to solutions with storm walls or strengthening the walls of existing buildings (see Figure 1). In these conditions, the waves hit the quay wall or dike slope and then the overtopped wave rushes along the promenade. Finally, it hits a (storm)wall or a building. Theoretical formulae to calculate the impact forces caused by this kind of overtopped waves cover some special cases and are far from being of general validity.

In the last years, several research efforts have been dedicated to investigate this important phenomenon. Large scale tests (see upper panel of Figure 2) have been carried out within the HYDRALAB Project “*Forces on (storm)walls and buildings by wave overtopping*” in 2013 at the CIEM large wave flume, UPC (Barcelona, Spain), with the aim of producing

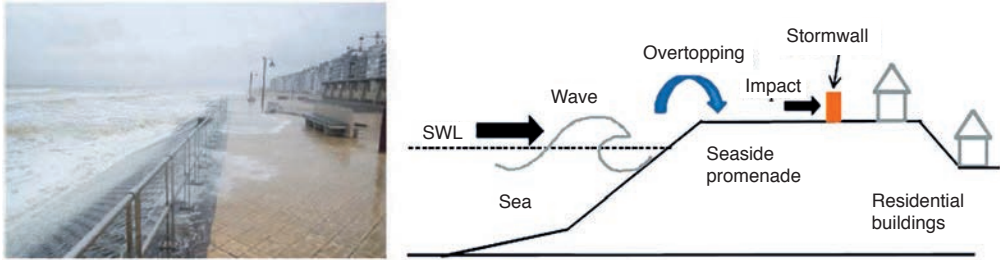


Figura 1: Typical coast (left) protected by sloping coastal defense; sketch of overtopping bore impact (right), from Ramachandran et al (2012)

a database of waves and forces on stormwalls, suitable to derive an engineering prediction method. The experimental campaign has successfully produced data to derive some accurate design method (e.g. Bellotti et al., 2014, Van Doorslaer et al., 2015, Van Doorslaer et al., 2017). However, the proposed design formulae are valid only for the specific structural and hydraulic conditions and application to different cases may require further experimental tests. A modern and attractive alternative is to use numerical models. In this paper the 2D model IH2VOF, developed by IHCantabria, is applied to the same conditions used in the HYDRALAB Project mentioned before (the sketch of the computational domain is reported in lower panel of Figure 2).

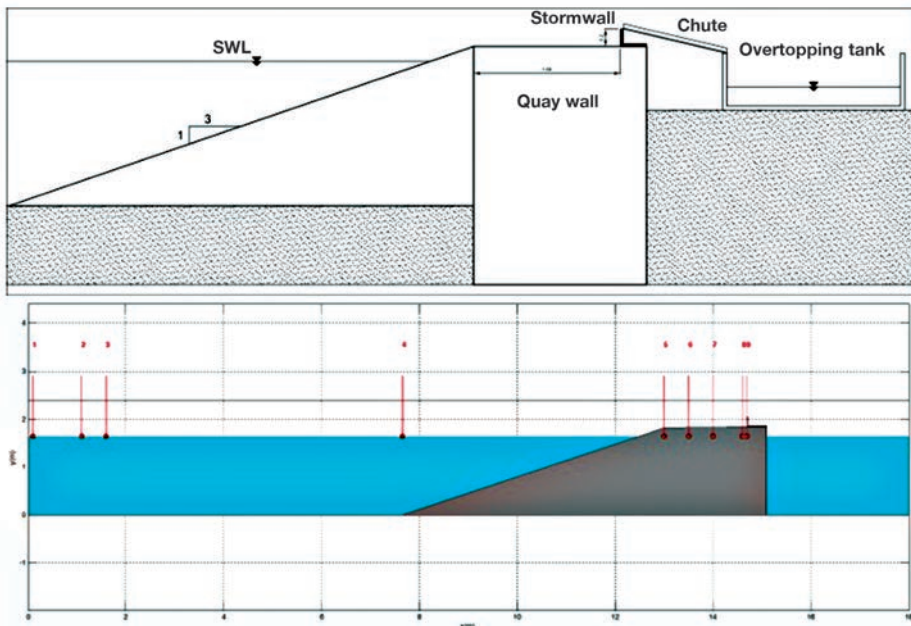


Figura 2: Upper panel: sketch of the structure used in the HYDRALAB Project experiments carried out at the CIEM large wave flume, UPC (Barcelona, Spain). Lower panel: computational domain and position of the wave gauges used in the IH2VOF numerical experiments.

First, the model is validated by comparing the results obtained in the numerical tests against those collected during the experiments. Both wave forces on the wall time series and statistical parameters are used for comparison. Then the numerical model results are used to further extend the field of applicability of the design formulae proposed in Van Doorslaer et al. (2017). It is foreseen that, in view of the climate change induced water level, application of the model IH2VOF can represent in the future a practical but accurate tool to evaluate the effects of the climate change on the safety of the coastal defenses.

From the Figure 3 to the Figure 12 some of the slides used at the Conference for the presentation are reported, showing the most recent results.



Figura 3

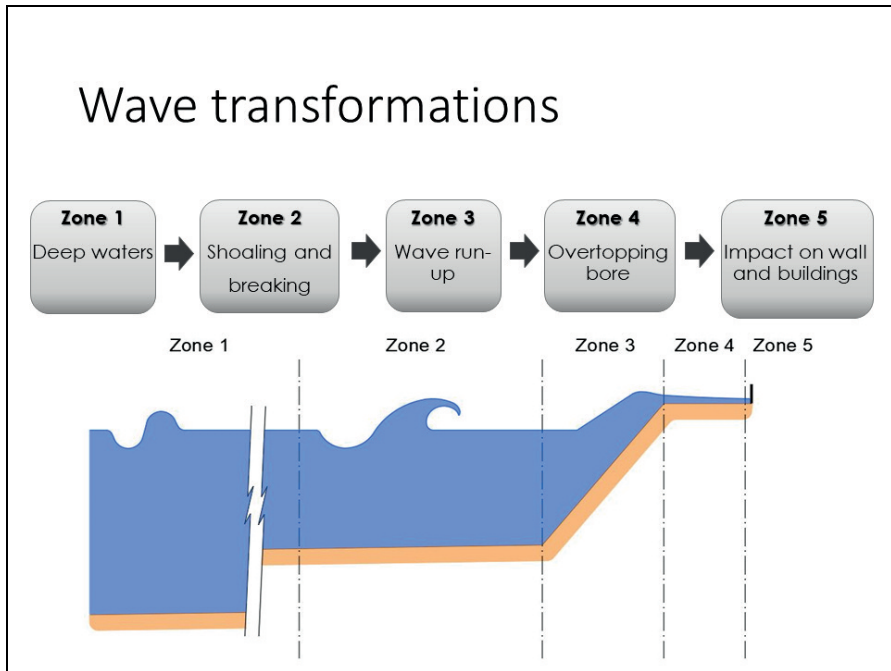


Figura 4

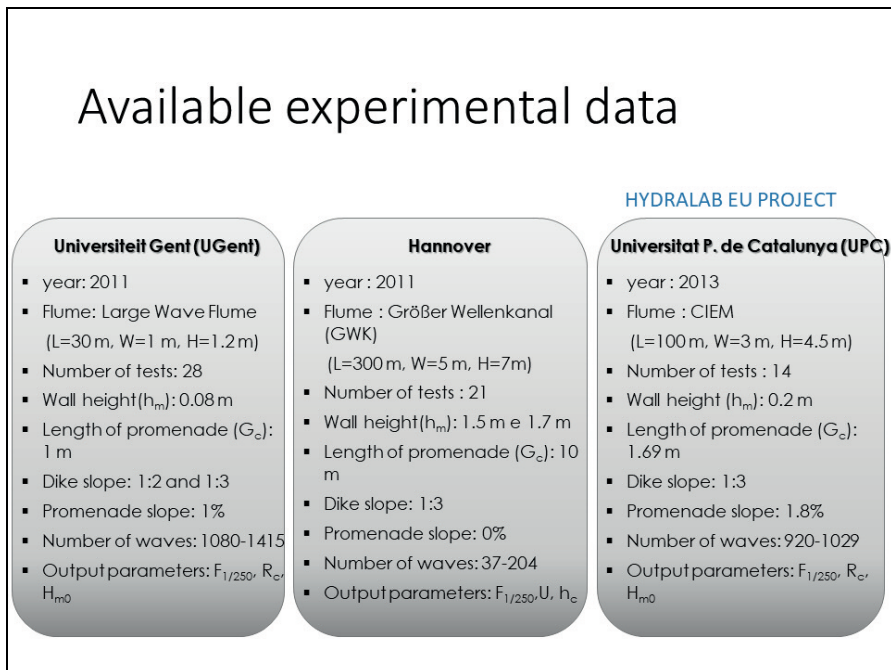


Figura 5

## Available design formulae

- Van Doorslaer, K., Romano, A., De Rouck, J., Kortenhaus, A., 2017. Impacts on a storm wall caused by non-breaking waves overtopping a smooth dike slope. Coastal Engineering 120, 93-111.

$$\frac{F_{mean}}{\rho \cdot g \cdot R_c^2} = 1.80 \cdot \exp\left(-2.66 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

- Important structural and wave parameters are not yet considered
- The database can be expanded using numerical models

Figura 6

## The IH2VOF numerical model

- Developed by IH Cantabria
- IH2VOF solves the RANS equations considering the breakwater as a porous media
- Postprocessor calculates the forces on solid objects by pressure integration
- Laboratory incident wave conditions at the toe used as target waves for IH2VOF: not the same surface elevation time series

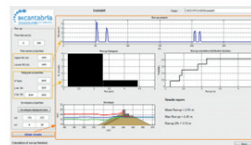
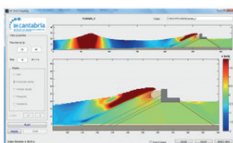


Figura 7

## Model validation

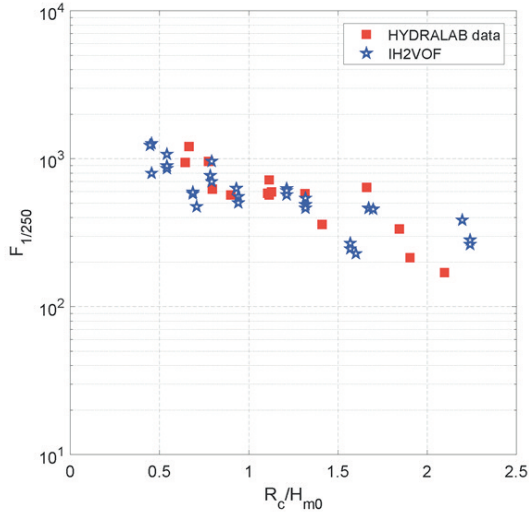


Figura 8

## New parametrical computations

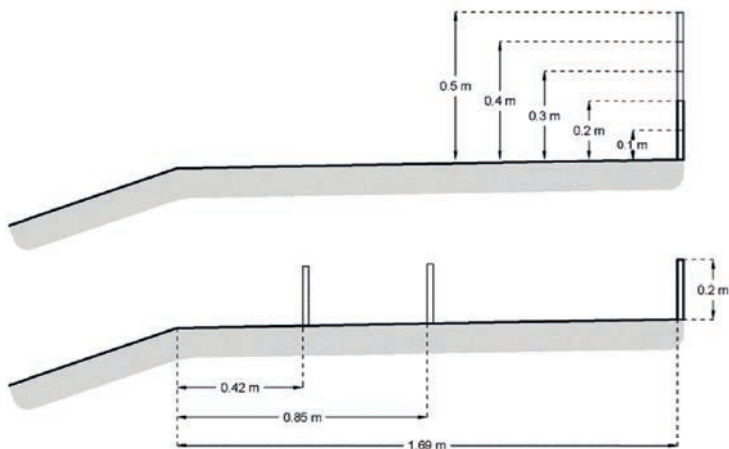


Figura 9

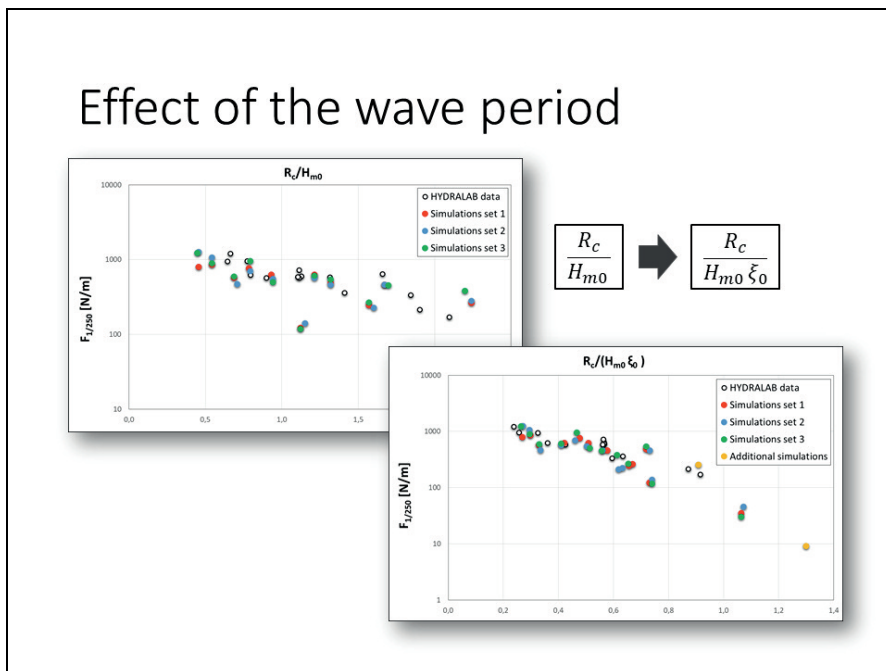


Figura 10

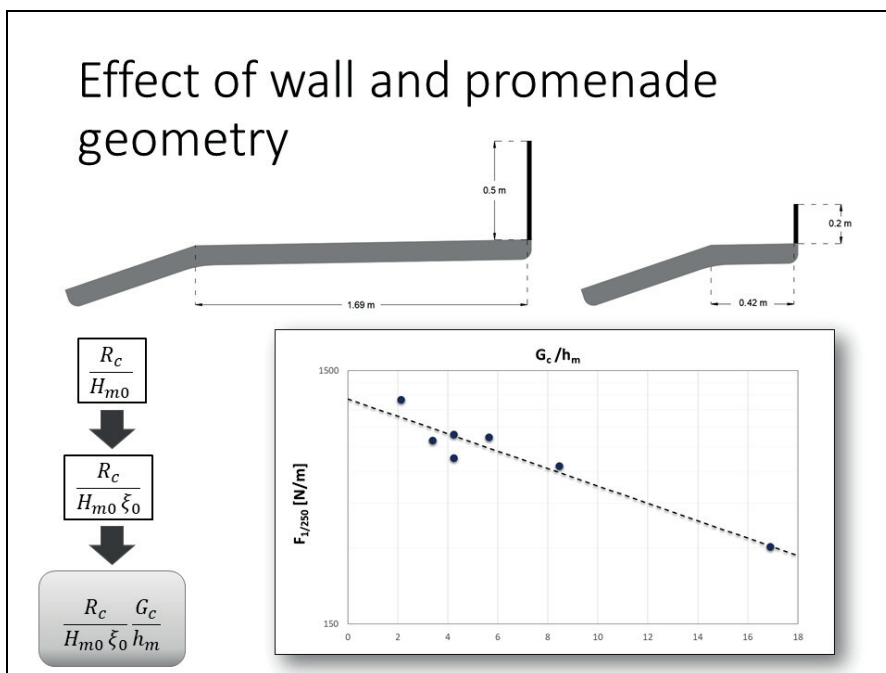


Figura 11



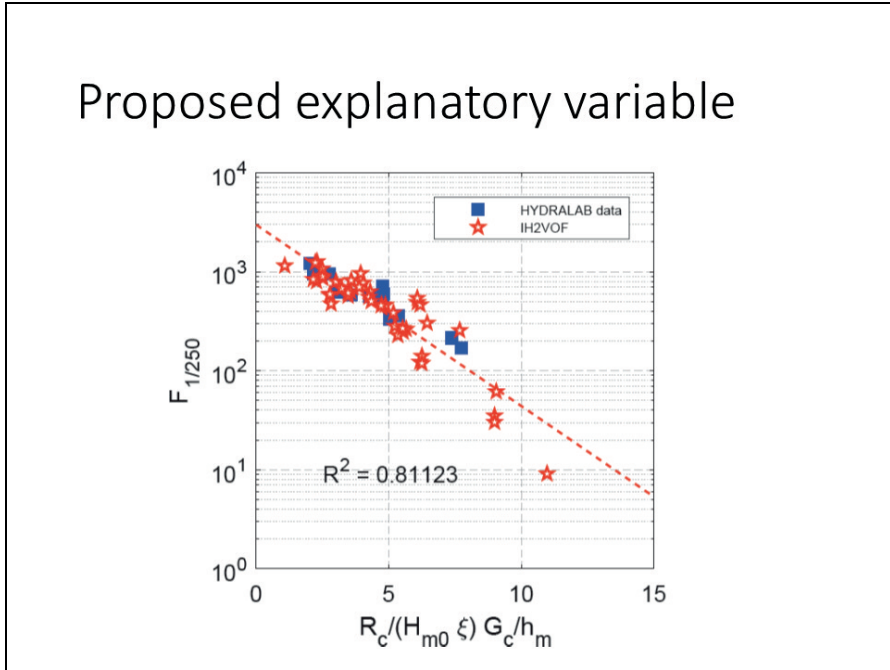


Figura 12

## Conclusions

- Empirical formulae for the prediction of the wave forces on storm walls on dike-promenade layout are valid for limited combinations of wave and structural parameters
- In this research the IH2VOF model has been validated and applied to study the phenomenon for wider ranges of the involved parameters
- On the basis of the new expanded dataset a suitable explanatory variable is proposed, that considers the wave period and the promenade/wall geometry

Figura 13

## ACKNOWLEDGEMENTS

The Authors thank Javier Lopez Lara, Maria Maza and Maria Fuentes Alvarez de Eulate (IH Cantabria) for providing the IH2VOF model and for the continuous support. The European Union is acknowledged for providing fundings and support to the Hydralab project.

## REFERENCES

- Bellotti G., Van Doorslaer K., Romano A., Baelus L., Caceres I., De Rouck J., And Franco L., 2014. Forces on (flood)walls and buildings by wave overtopping. *In Procs. of the HYDRALAB IV Joint User Meeting*, Lisbon.
- EurOtop2007, Pullen T., Allsop N.W.H., Bruce T., Kortenhaus A., Schüttrumpf H. and van der Meer J. 2007. EurOtop, Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures Assessment Manual, *Environmental Agency UK*, 193pp.
- Ramachandran K., Genzalez R.R., Oumeraci H., Schimmels S., Kudella M., Van Doorslaer K., De Rouck J., Versluys T. and Trouw K. 2012. Loading of vertical walls by overtopping bores using pressure and force sensors - a large scale model study, *Procs. of Coast. Eng. Conference, ICCE, Santander*, 15pp.
- Van Doorslaer K., Romano A., Bellotti G., Altomare C., Caceres I., De Rouck J., Franco L., And Van Der Meer J., 2015. Force measurements on storm walls due to overtopping waves: a middle-scale model experiment. *In Procs. of the International Conference Coastal Structures, 2015*, Boston.
- Van Doorslaer K., Romano A., Kortenhaus A., And De Rouck J., 2017. Impacts on a storm wall caused by non-breaking waves overtopping a smooth dike slope. *Coast. Eng.*, 120:93–111.



# Análisis de las Condiciones Límite de Permanencia de Buques Atracados en el Pantalán de CEPSA (Algeciras). Medidas de Campo y Modelo de Predicción

José Ramón Iribarren<sup>1</sup>, Juan Pablo Pérez<sup>2</sup>, Ricardo Pulido<sup>3</sup>, Juan Carlos Carmona<sup>1</sup>, Victoria Martínez<sup>1</sup>, Eva Herradón<sup>1</sup>, Raúl Atienza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siport21, siport21@siport21.com

<sup>2</sup> Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras, apba@apba.es

<sup>3</sup> CEPSA (Terminal de Algeciras), cepsa@cepsa.com

## RESUMEN

Dentro de las diversas actividades de la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) orientadas a dotarse de herramientas de análisis del medio físico SAMPA (Sistema Autónomo de Medición, Predicción y Alerta) y SAFEPORT (Gestión de Riesgos océano-meteorológicos en entornos portuarios) y de un modelo hidrodinámico (corrientes) de alta resolución, se busca un siguiente paso: abordar la interacción medio físico-buque-infraestructura para evaluar la fiabilidad, funcionalidad y operatividad de las diversas áreas operativas. En este sentido, se trabaja en el desarrollo de Sistemas Avanzados de Predicción de Operatividad de Buques.

Se consideró necesario desarrollar una metodología contrastada y validada para determinar las condiciones de permanencia de los buques en los diversos atraques. Uno de los motivos fundamentales es la detección de notables diferencias en los resultados de los diversos estudios de buque atracado realizados tanto en modelo físico como en modelo numérico para el diseño de nuevos muelles.

Así pues, se ha realizado un estudio de las condiciones de permanencia en el pantalán de la refinería de CEPSA (superación de umbrales de movimientos o tensiones en amarrias de buques) como base para extender su aplicación a nuevas terminales. A partir

de las medidas obtenidas, se calibra un modelo numérico dinámico de buque amarrado en el dominio del tiempo (Ship-Moorings) con los datos registrados. Ello permite prever el comportamiento de los buques en un rango más amplio de condiciones meteorológicas, como base para la construcción de un modelo de predicción operativa.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las diversas actividades de la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) orientadas a dotarse de herramientas de análisis del medio físico SAMPA (Sistema Autónomo de Medición, Predicción y Alerta) y SAFEPORT (Gestión de Riesgos océano-meteorológicos en entornos portuarios)) y de un modelo hidrodinámico (corrientes) de alta resolución, se busca un siguiente paso: abordar la interacción medio físico-buque-infraestructura para evaluar la fiabilidad, funcionalidad y operatividad de las diversas áreas operativas. En este sentido, se trabaja en el desarrollo de Sistemas Avanzados de Predicción de Operatividad de Buques.

Se consideró necesario desarrollar una metodología contrastada y validada para determinar las condiciones de permanencia de los buques en los diversos atraques. Uno de los motivos fundamentales es la detección de notables diferencias en los resultados de los diversos estudios de buque atracado realizados tanto en modelo físico como en modelo numérico para el diseño de nuevos muelles. Así pues, se ha realizado un estudio de las condiciones de permanencia en el pantalán de la refinería de CEPSA (superación de umbrales de movimientos o tensiones en amarras de buques) como base para extender su aplicación a nuevas terminales. Se aprovechó la experiencia de Siport21 en la realización de un proyecto similar en el Puerto Exterior de La Coruña (Punta Langosteira), en este caso extendido a un mayor número de puestos de atraque.

## METODOLOGÍA

El trabajo consta de las siguientes etapas:

1. Medidas in situ de movimientos de buques tipo atracados previamente seleccionados, acompañado de mediciones simultáneas de marea, corrientes, oleaje y viento local.
2. Calibración de un modelo numérico que reproduce el comportamiento de un amplio rango de buques en los diversos muelles de interés, apoyado en las medidas realizadas.
3. Determinación de umbrales de permanencia aplicables para los buques tipo y comparación con los valores establecidos en la bibliografía (ROM, PIANC, BS).
4. Desarrollo de un modelo de predicción de movimientos de buques a integrarse en SAMPA para la gestión de los atraques en el pantalán de CEPSA, basado en una amplia matriz de condiciones meteoceánicas y tipología de buques.

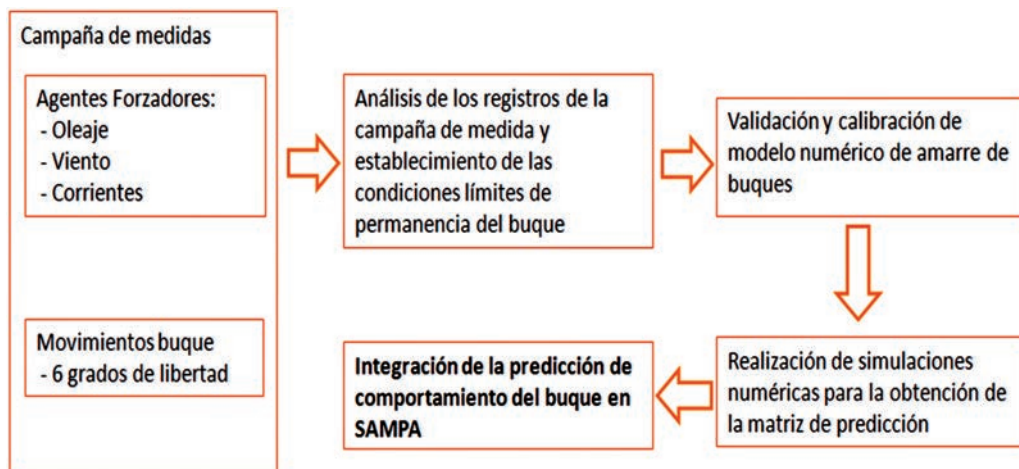


Figura 1: Esquema del proceso de trabajo.

## CAMPAÑA DE MEDIDA

La campaña de medidas se extendió de diciembre-2016 a mayo-2017 (6 meses) y cubrió un total de 135 horas de datos. En total se registraron escalas de 9 barcos (de 7.000 TPM a 50.000 TPM) en 4 atraques diferentes, bajo un amplio rango de condiciones meteorológicas, lo que proporcionó una muestra muy representativa de las condiciones de operación de la terminal.

La campaña se desarrolló en 4 de los 8 atraques de los que dispone la terminal (A-B-C-I), descritos en la figura 2.

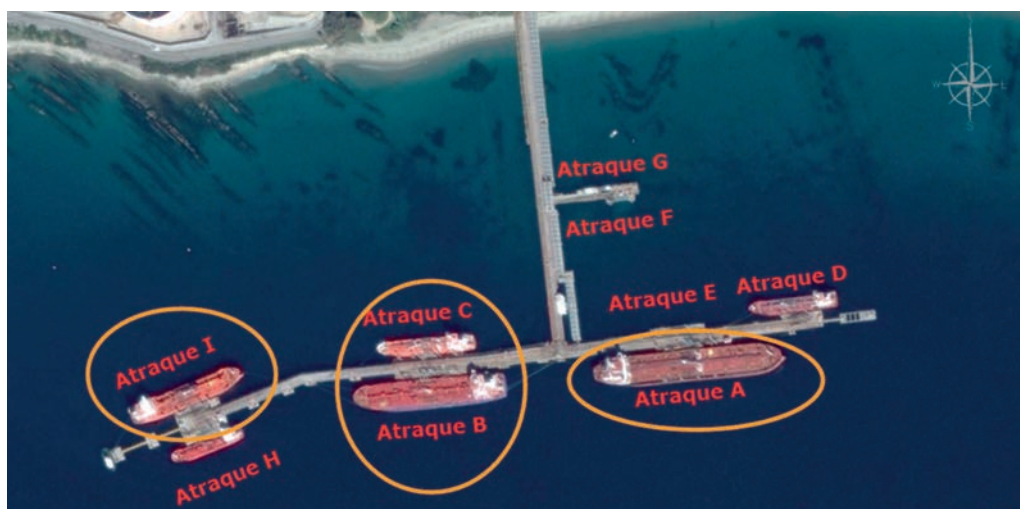


Figura 2: Pantalán de CEPSA y atraques analizados.

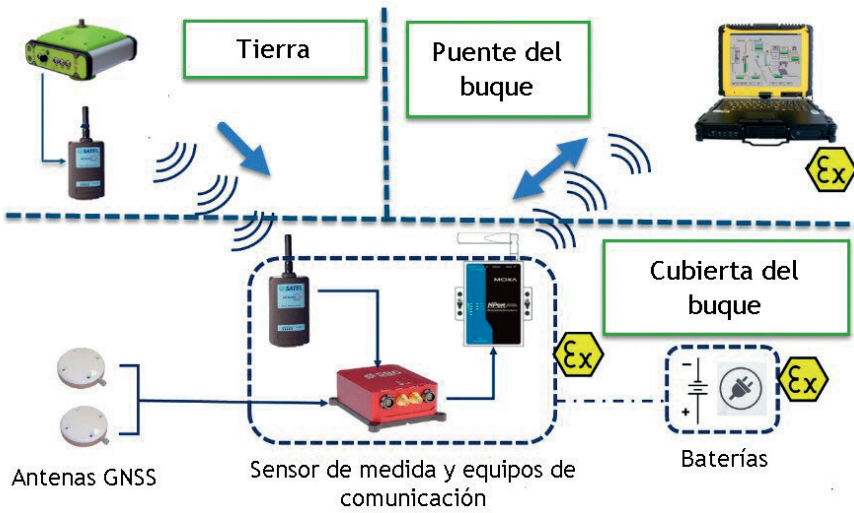


Figura 3: Sistema de medida y distribución de equipos.

Se empleó un sistema basado en GNSS RTK combinado con una unidad IMU para medir los 6 grados de libertad de los barcos en alta precisión. Destaca además el empleo de un sistema certificado ATEX dada la tipología de la terminal. Simultáneamente se registraron datos de oleaje y corrientes (sensor AWAC proporcionado por la UPM), viento (estación meteorológica de la terminal) y marea (radar Miros).



Figura 4: Sistema de control en el puente del buque.

Durante la campaña de medidas se contó con la imprescindible colaboración y apoyo del personal de operaciones de la terminal de CEPSA, así como de los Capitanes y tripulación de los diversos buques.

Se monitorizaron 9 buques petroleros, que pueden clasificarse en 4 rangos: 7000 – 20000 – 35000 – 50000 TPM, con esloras 105-115 m, 145-160 m, 170 m y 182 m. Todos los buques emplearon configuraciones de amarre similares (largos de proa, dos springs de proa, dos springs de popa, largos de popa). El número de líneas empleado varió entre 10 y 13 líneas, dependiendo del buque. En algunos casos se reforzó el esquema de amarre durante la estancia del buque en la terminal, mediante traveses en banda.

## ANÁLISIS DE LA CAMPAÑA DE MEDIDA

Las medidas se concentraron en condiciones meteorológicas exigentes, lo que exigió mantener atención a la predicción para movilizar al equipo de trabajo. Se comprobó que mientras el buque permanecía en la terminal es posible realizar operaciones de carga/descarga. El motivo para interrumpir las operaciones era la necesidad de que el buque abandonara la terminal por los grandes movimientos y el consiguiente riesgo de rotura de amarras. Algunos de los buques tuvieron que reforzar el esquema de amarre (más líneas en banda) e incluso uno de ellos situado en un atraque interior solicitó ser protegido por un barco en el atraque exterior.

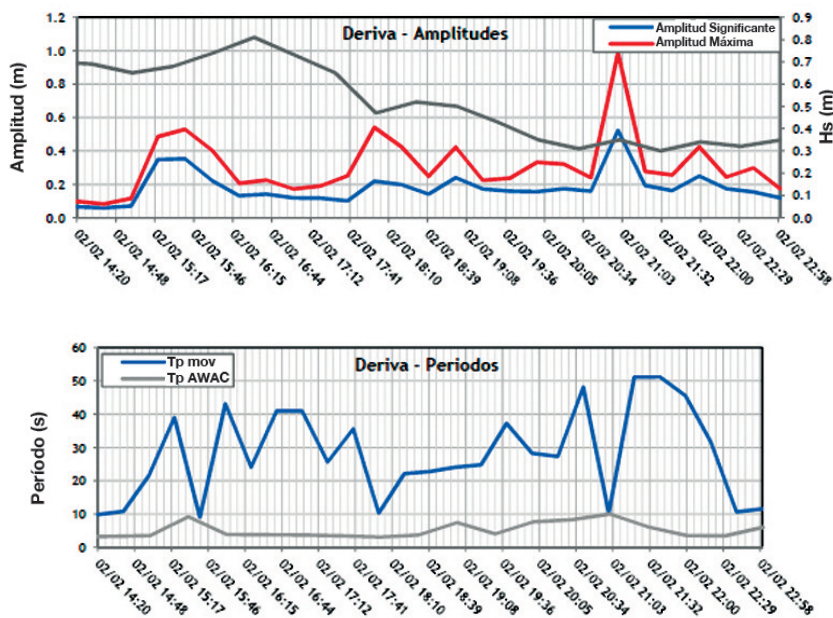


Figura 5: Ejemplo de curva de estado dinámico (deriva – Hs y Tderiva - Tp).



Durante la campaña de medida se produjeron en algunos barcos roturas de amarras debidas a movimientos excesivos, y en un caso hubo que interrumpir la carga y abandonar la terminal. La variación de la superficie libre en los tanques, durante las operaciones de carga/descarga, tiene un gran efecto sobre el comportamiento del buque, especialmente en el movimiento de balance (reducción de estabilidad transversal). Varios Capitanes indicaron que la navegación de ferries en la bahía produce movimientos significativos en los buques atracados.

Para cada buque se elaboraron “curvas de estado dinámico”, equivalentes a las curvas de estados del mar, que relacionaban la evolución de oleaje y viento con movimientos principales (valores significantes, máximos y periodos característicos).

El análisis de las curvas de estados dinámicos muestra que el agente que más influye en el comportamiento del buque amarrado es el oleaje. Pero, en general, los movimientos de los buques no responden a la excitación definida únicamente por medio de los parámetros  $H_s$  y  $T_p$  (mala correlación). Existen espectros con  $H_s$  similar que producen movimientos muy distintos.

Se identificaron diversos factores como posibles causantes de este comportamiento: variación de los esquemas de amarre durante la permanencia del buque, cambios en el estado de carga o variación de la forma espectral del oleaje. Por su importancia, se realizó un análisis específico de la relación entre los espectros de oleaje durante la campaña de medida y la respuesta en balance, movimiento crítico.

## LÍMITES DE OPERACIÓN Y PERMANENCIA

De acuerdo a lo observado, los factores limitantes para la permanencia del buque en el atraque son el balance y la guiñada. Los máximos valores absolutos registrados alcanzaron  $\pm 3.8^\circ$  en balance y  $\pm 0.9^\circ$  en guiñada. Los máximos valores significantes registrados alcanzaron  $\pm 2.7^\circ$  en balance y  $\pm 0.6^\circ$  en guiñada.

Comparando los valores registrados con criterios internacionales (ROM, PIANC y BS) se observa que tan solo la ROM incluye límites relacionados con los movimientos angulares y con la permanencia del buque en el atraque. En el caso de la ROM, los límites de permanencia son superiores a los máximos valores registrados durante la campaña de medida.

A la vista de los registros, se proponen los siguientes límites de permanencia:

- Guiñada:  $\pm 1.0^\circ$  (Criterio ROM  $\pm 2.0^\circ$ )
- Balance:  $\pm 3.5^\circ$  (Criterio ROM  $\pm 4.0^\circ$ )

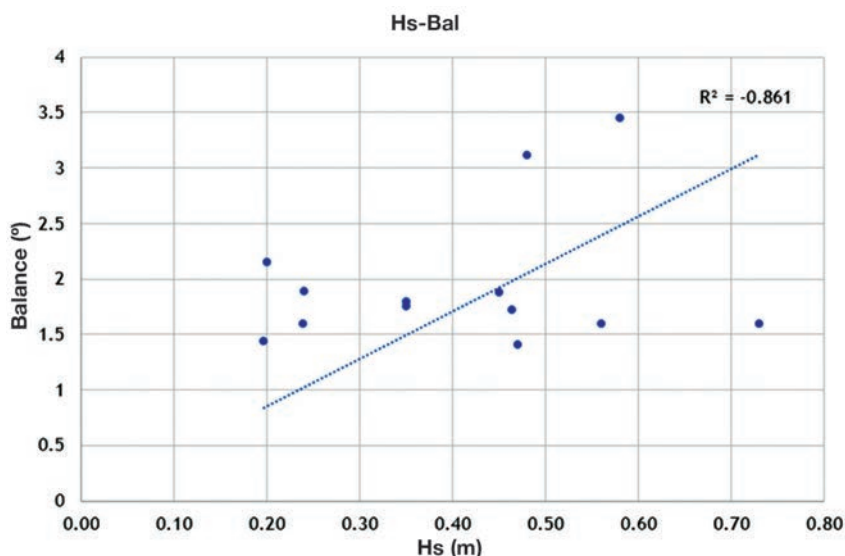


Figura 6: Relación Balance – Hs AWAC.

## ANÁLISIS ESPECTRAL

En primer lugar, destaca el hecho de que la variación de los espectros es notable (dirección y componentes de frecuencia) en periodos muy cortos de tiempo (20-30 minutos). No fue sencillo relacionar la respuesta dinámica de los buques con las condiciones ambientales, y en particular el oleaje, dadas las especiales características de la Bahía de Algeciras. Se superponen diferentes fuentes de oleaje (temporales de Levante o Poniente generados a gran distancia, oleajes de viento de efecto regional, oleajes cortos de viento local o incluso generación de oleaje por parte de buques en tránsito en áreas próximas). Se hace necesario identificar y caracterizar cada una de estas fuentes de excitación, que tienen efectos muy distintos sobre los buques en función de sus dimensiones y puesto de atraque. Al comparar, por ejemplo, el movimiento de balance con la altura significativa y el periodo de pico obtenidos del análisis estándar del sensor AWAC, se obtuvo una gran dispersión que impedía establecer una relación fiable.

Los datos medidos fueron objeto de distintos análisis de detalle para caracterizar el comportamiento de los buques (análisis espectral, análisis de series temporales, análisis estadístico, redes neuronales,...), y poder diseñar herramientas de previsión de movimientos de buques, basadas en los principales parámetros meteorológicos y marítimos (dirección, altura y periodo de ola por componentes, velocidad y dirección del viento, nivel de marea, etc.).

En particular, al evaluar con detalle los espectros de oleaje, se observó que los movimientos del buque responden claramente a las componentes del oleaje entre 9 y 11 s (balance) y, en general a periodos más altos. El problema es que en la bahía de Algeciras gran parte de la energía del oleaje está asociada a periodos cortos, lo que desvirtúa el análisis de condiciones de oleaje que realmente pueden afectar a los buques de cierto porte.

Discriminando el espectro de oleaje al menos en dos rangos de frecuencias (baja frecuencia-alta frecuencia con frontera en 0.2 Hz,  $T_p=5$  s) y segmentando los datos medidos por estado de carga, se obtuvo una correlación mucho mayor. Así pudo construirse un modelo de predicción mucho más fiable y preciso.

## CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

En una siguiente etapa, se calibró un modelo numérico dinámico de buque amarrado en el dominio del tiempo (Ship-Moorings, desarrollado por Alkyon-Arcadis) con los datos registrados, para los distintos rangos de buques. El objetivo de esta fase es doble:

- Disponer de una herramienta numérica que reproduzca el comportamiento real de los buques (9 casos, 135 horas de medida).
- Ampliar la base de datos de medidas a un mayor número y rango de buques sometidos a un panorama más amplio de condiciones ambientales (combinaciones de oleaje, corriente y viento), más allá de los escenarios registrados durante la campaña.

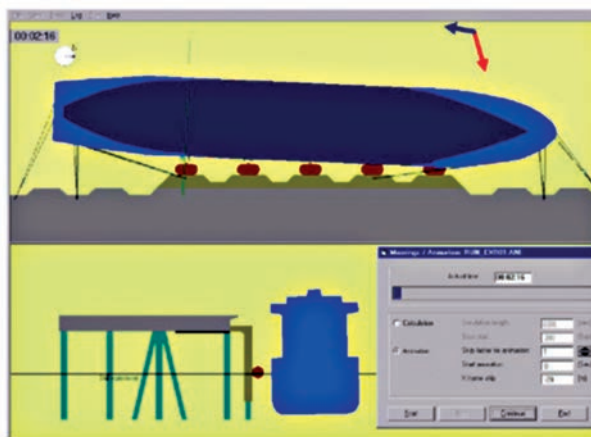


Figura 7: Modelo dinámico de buque amarrado Ship-Moorings.

De este modo se dispuso una herramienta de coste limitado y rápida ejecución, contrastada con los datos reales (fiable y precisa), que permite prever el comportamiento de los buques en las diferentes condiciones meteorológicas, en otros muelles del puerto e incluso en futuras configuraciones del puerto (desarrollo de estructuras de abrigo o amarre adicionales).

Para la calibración, se ajustaron algunos de los parámetros característicos del modelo (parámetros de estabilidad del buque, coeficientes de amortiguación de los diferentes movimientos, rigidez de amarras (nuevas-usadas), histéresis de defensas, ...). De este modo se consiguió una elevada precisión, con error inferior al 10% del límite de permanencia en cada grado de libertad, en todos simultáneamente. En la mayoría de los casos, el error se acotó incluso al 5%.

## OBTENCIÓN DE LA MATRIZ SAMPA DE PREDICCIÓN

Una vez calibrado el modelo numérico se realizó un extensísimo programa de simulaciones numéricas cubriendo una amplia gama de escenarios para definir la matriz de predicción del sistema SAMPA.

Esta se construyó a partir de los resultados de las simulaciones elaborando regresiones multilíneas sobre los parámetros de entrada (oleaje, viento, corriente) y de salida (movimientos del buque en 6 grados de libertad). Dada la alta variabilidad espectral en la

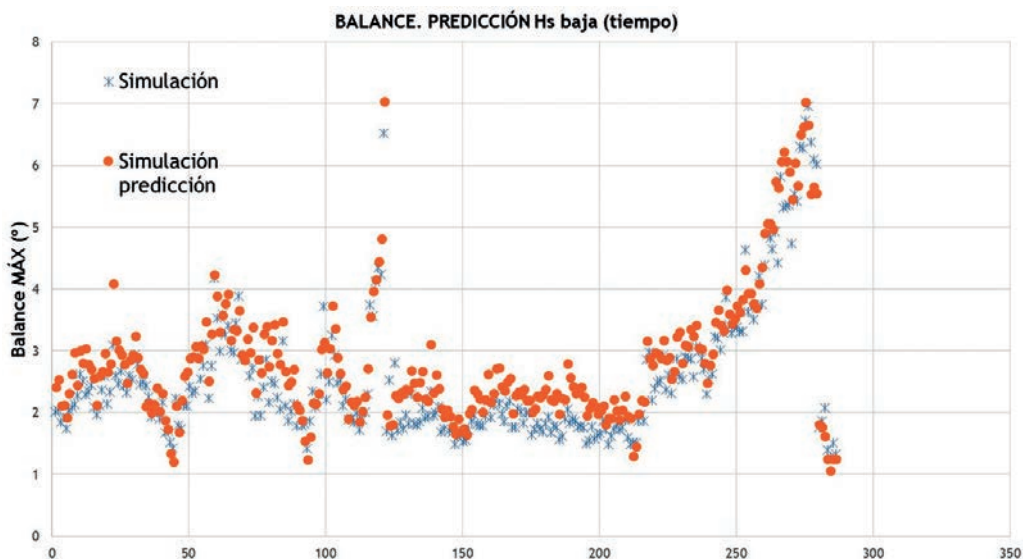


Figura 8: Ejemplo de predicción de balance (modelo multiparamétrico óptimo)

Bahía de Algeciras y la gran influencia de la forma espectral en la respuesta dinámica, se definieron múltiples formas espectrales representativas como parámetro de entrada.

Para definir el modelo de predicción se consideraron 12 combinaciones: ataque - tamaño de buque - estado de carga (3 esloras x plena carga/lastre x 2 tipos de ataque (int/ext)). Así se dispone de un modelo muy específico en cada escenario de operación.

Se propusieron diferentes modelos de predicción:

- Modelo uniparamétrico: altura significativa total  $H_s$
- Modelo uniparamétrico: altura significativa de baja frecuencia  $H_{sb}$
- Modelo multiparamétrico:  $H_s$  y  $T_p$  totales y sus combinaciones
- Modelo multiparamétrico:  $H_s$  y  $T_p$  de baja frecuencia y sus combinaciones
- Modelo multiparamétrico:  $H_s$  y  $T_p$  de baja y alta frecuencia y sus combinaciones

En cada caso, puede seleccionarse el grado de detalle de las variables de entrada (predicción de oleaje) y valorar la calidad de los resultados (rango de error en cada movimiento del buque), escogiendo el tipo de modelo más idóneo. Lógicamente, los modelos que incluyen y/o discriminan el oleaje de baja frecuencia proporciona una precisión más elevada en este caso particular.

Como indicación en uno de los escenarios, el error medio en vaivén está entre 0.18 y 0.10 m. En deriva va de 0.30 m a 0.20 m y en guiñada de 0.20° a 0.12°. La alteada se predice con un error entre 10 cm y 5 cm, el cabeceo entre 0.15° y 0.10° y el balance puede determinarse con error entre 0.6 m y 0.3 m según el modelo aplicado. En todos los casos, se trata de valores muy aceptables para una predicción operativa y toma de decisiones en la terminal.

## CONCLUSIONES

Tras la ejecución de la campaña de medidas (9 barcos en 4 atraques diferentes durante 135 horas) se realizó un detallado análisis de los datos registrados como base para la calibración del modelo numérico Ship-Moorings. Las variables meteorológicas (viento, oleaje, corriente) durante la campaña fueron muy representativas del clima local, incluso con algún valor exigente de muy baja frecuencia de presentación.

La permanencia de los buques en el pantalán de CEPESA queda condicionada por los movimientos de balance y guiñada y el riesgo de rotura de amarras, para los que se han fijado límites admisibles realistas. La variación espectral del oleaje es notable, tanto en forma como en el tiempo. En general, no se observa una clara relación entre las condiciones meteorológicas registradas (explicada por parámetros globales  $Dir-H_s-T_p + Dir-Vvto$ ) y la respuesta de los buques.



Los parámetros que aporta un análisis estándar del AWAC (Dir-Hs-Tp) no son suficientes para explicar con precisión la excitación dinámica del buque. Se requiere un análisis espectral con mayor detalle, discriminando diferentes componentes de alta-media-baja frecuencia, para identificar fuentes de discrepancia y poder establecer una relación causa-efecto adecuada.

Basándose en un extensísimo programa de simulación (modelo numérico validado con medidas reales), se han construido varios modelos de predicción de movimientos mediante regresión multilínea, con diferente grado de error según la información de entrada. Cubren hasta 12 combinaciones: ataque - tamaño de buque - estado de carga, lo supone un modelo muy específico para cada escenario de operación con muy elevada precisión.



# Proyecto AIRIS-PS para la implementación completa del RIS (River Information Services), en el Puerto de Sevilla y en la ría del Guadalquivir

P. S. Vila <sup>1</sup>, A. Pulido <sup>2</sup>, C. Willems <sup>3</sup>, A. Yanes <sup>4</sup>; A. Torralba <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Autor del Proyecto. SENER Ingeniería y sistemas S.A. [pedro.vila@sener.es](mailto:pedro.vila@sener.es)

<sup>2</sup> Director de la Autoridad Portuaria de Sevilla. [apulido@apsevilla.com](mailto:apulido@apsevilla.com)

<sup>3</sup> Gerente SmartAtlantis. [caswillems@me.com](mailto:caswillems@me.com)

<sup>4</sup> Directora de Serviport Andalucía. [ayanes@serviportandalucia.com](mailto:ayanes@serviportandalucia.com)

<sup>5</sup> Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla. [torralba@us.es](mailto:torralba@us.es)

## INTRODUCCIÓN

El proyecto AIRIS-PS es una acción financiada por la Comisión Europea en el marco de la prioridad RIS (River Information Services), cuyo objetivo es ampliar y completar la implementación básica del estándar RIS en el Puerto de Sevilla y en la Eurovía del Guadalquivir realizada en el proyecto previo TECNOPORT2025, y armonizarla con las prácticas aplicadas a nivel europeo.

Los Sistemas de Información Fluvial (RIS) se conciben con el fin de proporcionar apoyo para mejorar los procedimientos operacionales y la competitividad en la cadena de suministro, incluyendo el transporte de pasajeros, de las vías de navegación interior. En este sentido, el proyecto AIRIS-PS se considera un elemento clave para la mejora de la capacidad del acceso fluvial al Puerto de Sevilla el cual permita incrementar no solo el tamaño si no también el número de escalas de buques.

## DIRECTRICES DE RIVER INFORMATION SERVICES

La Comisión Europea publicó en el Reglamento n.º 2007/414 / EC de la Comisión Europea las directrices para la implementación y operación de River Information Services,



las cuales se basan en las Pautas RIS de PIANC y definen los objetivos y las necesidades de información de las partes interesadas.

Las directrices de PIANC respaldan de manera estructurada la planificación, desarrollo e implementación de River Information Services. El enfoque estructurado del plan de implementación AIRIS-PS, basado en la descomposición de los servicios RIS en tecnologías clave, sistemas y servicios RIS de acuerdo a las Directrices RIS, se plantea como se recoge en la figura 1.

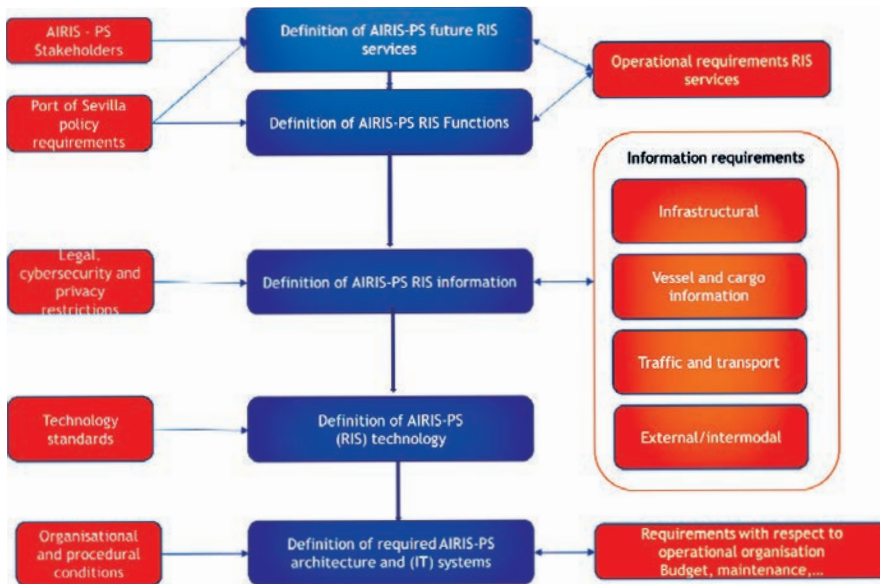


Figura 1: Enfoque inicial para el desarrollo de un plan de implementación estratégico (Fuente elaboración propia a partir de la Guidelines for River Information Services, PIANC WG 125, 2011).

La implementación de RIS de acuerdo a los estándares utilizados en el transporte marítimo contribuye al objetivo estratégico de seguridad y eficiencia en el Guadalquivir y al transporte competitivo a través del Puerto de Sevilla al contribuir a:

- Un mayor conocimiento de la vía fluvial: es decir, batimetría precisa, modelo preciso de marea, medición precisa de la altura de la superficie del agua y las olas, etc.
- Una mayor información del tráfico en la vía navegable y en el puerto: características del buque –tamaño y calado–, características de la carga, etc.
- Una mejor gestión del tráfico en la Eurovía del Guadalquivir: optimización de los recursos humanos (por ejemplo, prácticos de navegación) y materiales, de las áreas de fondeo, optimización de los convoyes que entran y salen de la vía, etc.

- Una mejor gestión de las emergencias.
- Una mejor coordinación de las operaciones portuarias, etc.
- Una mejor información de transporte en un entorno multimodal: transporte marítimo

## CONDICIONES MARÍTIMAS Y DESARROLLOS RELEVANTES PARA EL TRANSPORTE MARÍTIMO DESDE Y HACIA EL PUERTO DE SEVILLA

En estudios recientes sobre el desarrollo del concepto mundial e-Navigation y el enfoque europeo de e-Maritime, se puso de manifiesto que los desarrollos marítimos darán lugar a funcionalidades y en tecnologías especiales que son de valor añadido para las vías navegables interiores. Es evidente que en la próxima década desarrollos como "Maritime cloud", el estándar S100 de IHO, STM (Sea Traffic Management) etc. mejorarán aún más las implementaciones relacionadas con RIS en especial para áreas portuarias como la de Sevilla.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto AIRIS-PS se plantea como una continuación del Proyecto Tecnoport2025, ya terminado, en el cual se realizó el desarrollo e implantación de la Plataforma eRIO a nivel de demostrador, Integrada, entre otras, por las siguientes Aplicaciones:

- PAIS: Plataforma de integración FI-WARE.
- SIGMA: Software de Información / Gestión Portuaria (ERP).
- Port Monitor/VTS: Seguimiento de tráfico en tiempo real (incluyendo identificación automática de naves (AIS) y detección de blancos radar, Calado disponible, Estado del puerto, Condiciones meteorológicas, etc.).
- Dispositivos de Navegación (PPU).

La Plataforma eRIO se tomará como base del proyecto AIRIS-PS para la implementación completa de RIS, incrementando sus capacidades, ampliando su red de sensores, y añadiendo las aplicaciones necesarias (reutilización de parte de los desarrollos existentes). Dicha implementación se realizará mediante el desarrollo de cuatro sub-proyectos, orientados hacia diferentes tipos de servicios:

- FIS – Fairway Information Services (Servicios de Información de la Vía Navegable).
- TIS – Traffic Information System (Sistema de Información de Tráfico).

- TMS – Traffic Management Services (Servicios de Gestión del Tráfico).
- Otros Servicios y Aplicaciones.

El proyecto se estructura en 2 fases:

- AIRIS-PS-Ph1: Estudios de Implementación:
  - Redacción de los estudios de estado del arte, diagnóstico de la situación actual y definición de las bases de diseño y plan de actuación.
  - Definición de la Arquitectura del Sistema.
  - Identificación de los sistemas y servicios a implementar para concretar, junto con la APS, los Alcances del Proyecto.
  - Identificación de Interfaces a gestionar a lo largo del proyecto.
  - Definición de Bases de Diseño de los pilotos.
  - Plan para la Implementación del estándar.
- AIRIS-PS-Ph2: Desarrollo Integración de Pilotos y Estudio para una Implementación a Gran Escala:
  - Implementación de los pilotos, validación y pruebas.
  - Integración de los pilotos con la infraestructura TIC existente en el Puerto de Sevilla.
  - Validación y test de los sistemas una vez integrados.
  - Desarrollo del Plan para la Implementación Completa del estándar RIS adaptado a la Eurovía del Guadalquivir.

## **ARQUITECTURA DEL SISTEMA FUNCIONAL AIRIS-PS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON RIS**

La Arquitectura Técnica del sistema a implantar sobre el que se soportarán los servicios RIS consistirá en las siguientes capas:

- Capa/Plataforma de Dominio Central, permitirá transformar datos en información.
- Capa de Aplicación, desde la cual se proporcionan servicios de conexión externos.
- Capa de Comunicación o de Intercambio de información.
- Capa de Sensores.
- Capa de Gestión del Sistema, incluirá herramientas inteligentes para administrar y operar el dominio complejo y dinámico.

En la figura 2 se representa la arquitectura de sistemas funcionales como base para el plan de implementación y la estrategia de implementación de AIRIS-PS.

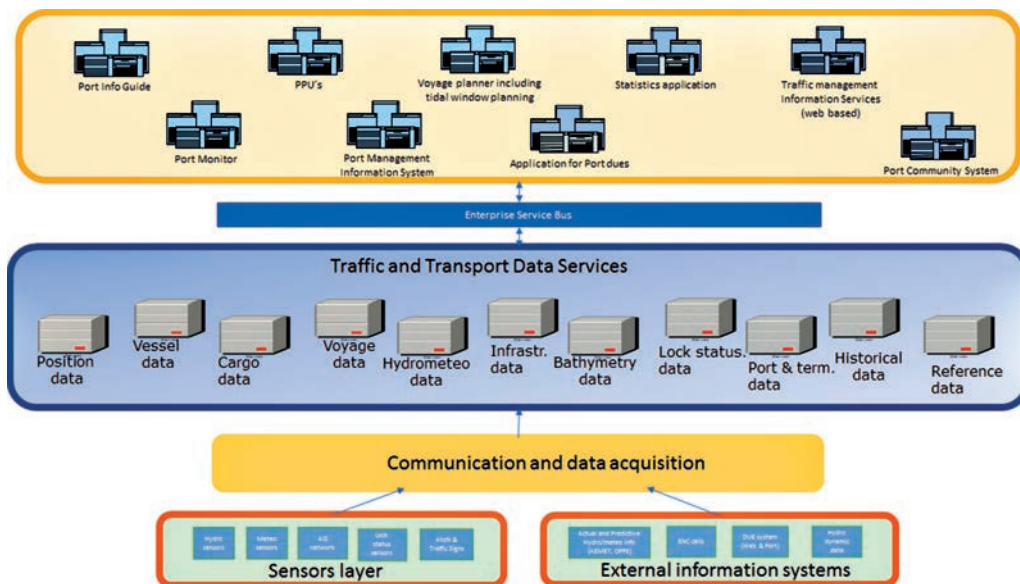


Figura 2: Arquitectura de sistemas funcionales. (PIANC WG 125 2011)

## SISTEMAS Y APLICACIONES AIRIS-PS

### Portal Web FIS

El portal proporcionará de forma integrada los Servicios de Información de la vía navegable del puerto de Sevilla y la Ría del Guadalquivir. El portal estará accesible a los grupos de interés más relevantes para obtener:

1. Información estática del puerto y de la vía navegable
  - a) Ayudas a la navegación y señales de tráfico (función FIS 2)
  - b) Estado de los ríos, canales, esclusas y puentes en la zona SIF (FIS 8)
  - c) Limitaciones físicas de las vías navegables, puentes y esclusas (FIS 14)
  - c) Distancia vertical del puente (FIS 7c)
  - e) Horarios de apertura de esclusas y/o puentes (FIS 13a)
  - f) Horarios de apertura de muelles y/o puertos (FIS 13b)
  - g) Normas y reglamentos de navegación (FIS 15)
  - h) Cuotas de uso de la infraestructura de las vías navegables (FIS 16)
  - i) Normas y recomendaciones para la navegación de recreo (FIS 17)
  
2. Información semi-dinámica del puerto y de la vía navegable:
  - a) Batimetría del canal de navegación, profundidad mínima actual y prevista (FIS 3, 7e y 7f)

- b) Información meteorológica actual y prevista (FIS 5)
  - c) Niveles de agua actuales (FIS 7a)
  - d) Información del nivel de agua en ciertos tramos (FIS 7g)
  - e) Restricciones actuales y previstas por inundaciones (FIS 9a y 9b)
3. Para los Avisos a Navegantes, la siguiente información debería proporcionarse:
- a) Obstrucciones temporales y de larga duración en el canal (FIS 4 and FIS 6)
  - b) Mal funcionamiento de los elementos de ayuda a la navegación (FIS 10)
  - c) Cambios a corto plazo de los horarios de esclusas y puentes (FIS 11)
  - c) Cambios a corto plazo de las ayudas a la navegación (FIS 12)

## Port Information Guide

La Guía de Información Portuaria es un documento en el que se describe detalladamente aspectos clave como las características del puerto y sus infraestructuras, los servicios portuarios, los elementos de señalización marítima de la ría, las prácticas y procedimientos para promover una navegación segura y eficiente dentro de las aguas del puerto, etc.

El objetivo de la Guía de información portuaria es proporcionar al usuario información confiable y precisa sobre el Guadalquivir y el Puerto de Sevilla, asegurando que toda la información relacionada con la navegación, el puerto y la gestión del transporte de mercancías esté concentrada y fuera de línea. Es un documento vivo que se mantendrá actualizado y deberá actualizarse periódicamente por la APS (anualmente).

## Port Monitor

El Port Monitor es un sistema de monitorización de tráfico que debe proporcionar al operador una visión general completa a nivel táctico de la vía y de los buques que navegan en el Guadalquivir y el puerto. La imagen debe basarse en una ENC batimétrica con la posibilidad de cambiar entre esta ENC batimétrica y una ENC nativa.

La información AIS de los buques en el puerto de Sevilla y el Guadalquivir es una fuente de entrada de información para la imagen del tráfico táctico. Los detalles completos de cada buque deben presentarse en una ventana emergente seleccionable, aunque en condiciones normales, al colocar el cursor del ratón sobre el icono del barco, se debe mostrar un "tooltip" con el nombre del barco, la velocidad y el tiempo transcurrido tras la última información AIS recibida.

La imagen de tráfico del Guadalquivir se podrá mostrar en tres posibles formatos alternativos preestablecidos:

1. Imagen de tráfico del Guadalquivir y del Puerto integrada en una imagen (estratégica) en una pantalla.
2. Tráfico del Guadalquivir: La imagen se divide en cuatro imágenes para presentar en una pantalla.
3. Imagen de tráfico de puerto que se mostrará en una pantalla.

El Port Monitor permitirá al operador tener un sistema de avisos según las reglas predefinidas para embarcaciones específicas. Incorporará, asimismo, las siguientes funciones de alerta y señalización:

- Alerta de exceso de velocidad.
- Cruce de áreas/líneas predefinidas por el usuario del sistema.
- Desatraque de un buque del muelle.
- Fondeo ilegal.
- Alerta de colisión.
- Pérdida de la traza AIS de un barco.
- Detección de un nuevo barco.

Finalmente, el sistema proporcionará la siguiente información de cada buque, como mínimo:

- SoG y CoG (velocidad y curso sobre el suelo).

## Portable Pilot Units

Las PPU que se utilizarán en la ría del Guadalquivir y el puerto de Sevilla permitirán:

- Mejorar la seguridad y la eficiencia del tráfico marítimo.
- Optimizar el uso y la accesibilidad de la vía para embarcaciones.
- La integración del intercambio de información relacionada con la seguridad y la eficiencia entre el Port Monitor y los prácticos.
- La preparación y el intercambio del plan de viaje con el capitán del buque y las autoridades portuarias, para alcanzar una visión completa y transparente de todos los factores relacionados con la seguridad y la eficiencia del paso previsto.

La PPU proporcionará información de posición tridimensional del buque y, en base a esta información, se incluirán las aplicaciones pertinentes. El PPU se utilizará junto

con una aplicación de planificación de viaje para que, al utilizarse junto a la aplicación de planificación del viaje puedan optimizarse y/o ampliarse, las ventanas de marea, sin comprometer la seguridad del buque o la seguridad y eficiencia de otro tráfico.

## Planificador de viaje con ventana de marea

En la Eurovía del Guadalquivir, la marea restringe el período de tiempo en el que un buque con un gran calado puede navegar en ambos sentidos. La ventana de marea para un buque depende de la altura de la marea y del calado del barco. Extender la ventana de marea o predecir la altura de una manera más precisa aumenta la seguridad de navegación del Guadalquivir y convierte al Puerto de Sevilla en una escala más atractiva para buques con mayor calado o que transporten más carga.

Además, evitar los cruces de embarcaciones en áreas críticas del río mejorará la seguridad y la eficiencia del tráfico en el Guadalquivir y, por lo tanto, la imagen del puerto de Sevilla.

Solucionar estas dos cuestiones —la predicción precisa de una ventana de marea para embarcaciones que entran y salen del puerto de Sevilla, así como evitar encuentros con embarcaciones en el Guadalquivir— es el objetivo principal para desarrollar, implementar y operar un planificador de travesías incluyendo planificación de ventanas de marea para el desarrollo de planes de navegación para las embarcaciones visitantes desde el mar hasta el puerto y viceversa.

Los principales interesados en este planificador de viaje son, por supuesto, los buques que visitan el puerto de Sevilla, los principales usuarios del planificador de viaje serán los prácticos y APS. APS es la autoridad autorizada para dar permiso a los buques visitantes cuando cumplen con las reglas para entrar o salir del puerto.

El planificador de viajes tendrá en cuenta:

- Características e información del canal como: Velocidad máxima permitida en cada segmento de la vía, Segmentos donde los encuentros de buques no están permitidos o no son aconsejables, Profundidad medida en el canal, Restricciones de fondeo.
- Características estáticas y dinámicas de la esclusa e información como: Tamaño, horarios de apertura, duración de paso por la esclusa; Información de planificación de esclusa dinámica.
- Características e información de muelles y muelles como: Tamaños y restricciones, disponibilidad a corto y largo plazo.



- Condiciones ambientales como: información meteorológica real y pronosticada, Información mareal real y pronosticada.
- Características del barco como: Dimensión del barco: eslora, manga, calado, Lugar de destino / partida, ETA para barcos entrantes. ETD para los buques que salen, Calado real, gálibo.
- Datos históricos de los buques relacionados con visitas anteriores.

## REFERENCIAS

Guidelines and Recommendations for River Information Services. PIANC WG 125, 2011.





## Gestión ambiental de dragados en el Puerto de Huelva

Alfonso Peña López-Pazo <sup>1</sup>, Rocío López Picón <sup>2</sup>

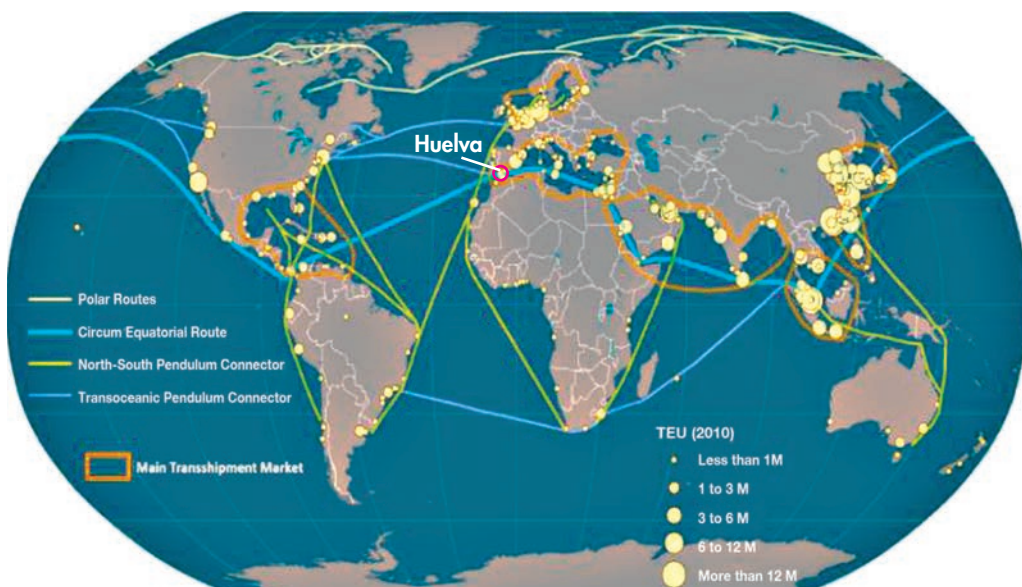
Autoridad Portuaria de Huelva.

<sup>1</sup> Jefe del Área de Infraestructuras de la Autoridad Portuaria de Huelva. [aplopezpazo@puertohuelva.com](mailto:aplopezpazo@puertohuelva.com).

<sup>2</sup> Jefa de la División de Medio Ambiente de la Autoridad Portuaria de Huelva. [rlp@puertohuelva.com](mailto:rlp@puertohuelva.com)

### EL PUERTO DE HUELVA

El Puerto de Huelva se encuentra ubicado geográficamente en el arco Sur-Atlántico Europeo, próximo al Estrecho de Gibraltar y por tanto enclavado estratégicamente en el cruce de las rutas de navegación Norte-Sur y Este-Oeste. Forma parte del Corredor Atlántico de la Red Transeuropea de Transportes, lo que junto a su plataforma intermo-



dal, el potente tejido energético e industrial, y sus infraestructuras, son fortalezas y oportunidades que seguirán impulsando el crecimiento económico y la competitividad del Puerto de Huelva.

Cuenta con una zona de aguas protegidas que llegan a las 2.092 hectáreas, donde se desarrollan las operaciones de dragado, el tráfico marítimo, servicio de señalización, etc., y de aguas exteriores de 7.409 Has. Posee además la mayor superficie terrestre del Sistema Portuario Estatal con algo más de 1.700 Has.

## **CONTEXTO MEDIOAMBIENTAL DEL PUERTO DE HUELVA**

El Puerto de Huelva se ubica en el estuario de los ríos Tinto y Odiel, un espacio caracterizado por los depósitos sedimentarios fluviales y marinos que han conformado la ría de Huelva, grandes extensiones de marismas y caños y sistemas asociados.

La influencia mareal en este sistema le ha transferido una alta productividad biológica y biodiversidad, conformando espacios especialmente atractivos no sólo para la avifauna, sino también para el asentamiento humano y el desarrollo económico.

Todo ello ha creado un entorno de especial singularidad, ya que en él concurren un potente tejido portuario, logístico e industrial energético, petroquímico y minero junto a espacios protegidos de aguas y marismas con categorías de Paraje Natural, Reserva de la Biosfera, Lugares de la Red Natura 2000, Humedales de Importancia Internacional, etc.

El resultado, es una fusión de realidades territoriales que han demostrado saber convivir y coexistir de manera saludable y muy satisfactoria. Prueba de ello es que hoy en día el Puerto de Huelva ha logrado un excelente posicionamiento a nivel estatal y europeo, desarrollándose inmerso en un entorno de más de 12.000 Has de espacios protegidos que albergan una rica y variada avifauna y conservan sus valores ecológicos.

Y es que esta circunstancia, lejos de suponer una amenaza, se ha sabido gestionar de manera beneficiosa para los intereses de todas las partes. En este sentido, la estrategia ambiental del Puerto de Huelva fija como objetivos prioritarios el crecimiento eficiente, sostenible e integrado, el liderazgo en temas ambientales claves, y la mejora de la calidad ambiental y de vida en su entorno y sociedad. Es por ello que la "integración con el medio ambiente", es una de las cuatro líneas estratégicas del Plan Estratégico del Puerto de Huelva 2018-2022.

## **PRESENTE Y FUTURO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DE DRAGADOS**

La gestión ambiental de dragados constituye uno de los ámbitos de mayor relevancia de la estrategia medioambiental del Puerto de Huelva.

El posicionamiento en este ámbito es claro y doble: por un lado, contribuir a la limpieza y regeneración ambiental de los fondos de la ría de Huelva y ría del Odiel, y por el otro, garantizar el uso de las mejores opciones de gestión ambiental de materiales de dragado que, cumpliendo la normativa de aplicación, sean viables y sostenibles técnica, económica, ambiental y socialmente, considerando el contexto portuario, su interrelación con el medio económico, ambiental y social.

El reto procede de casuística propia de los materiales a dragar, tal y como se desarrolla a continuación.

Como se ha indicado, el Puerto de Huelva se ubica en el SurOeste de la Península Ibérica, en el estuario de los ríos Tinto y Odiel cuyas cuencas atraviesan la Faja Pirítica Ibérica, zona de especial riqueza de mineral y de singular relevancia por su actividad minera desde tiempos históricos. Esto ha provocado un drenaje ácido de roca y un drenaje ácido de mina de antiguas explotaciones mineras no restauradas, lo que se traduce en un aporte continuo de metales pesados por parte de los ríos Odiel y Tinto hasta el estuario de Huelva y hasta las aguas portuarias abrigadas por el dique Juan Carlos I.

En concreto, en diferentes estudios e investigaciones se han evaluado las condiciones de ambos ríos como consecuencia de procesos naturales de oxidación, así como desde las primeras actividades mineras en el siglo III a.C.

Esta carga de metales pesados fluye a través de los ríos Tinto y Odiel y a su llegada al estuario de Huelva, la variación de pH debido a la cuña salina provoca una precipitación de los metales, transfiriéndose a la fracción fina de los fondos portuarios, de ahí la necesidad de realizar una correcta gestión medioambiental de los materiales de dragado que poseen estos contaminantes a causa del aporte de los ríos Tinto y Odiel.

De este modo, los dragados en el Puerto de Huelva contribuyen de manera muy notoria a la retirada y limpieza del fondo de la ría del Odiel y ría de Huelva, impidiendo la acumulación de metales pesados en las mismas y el transporte de estos hacia zonas exteriores, y consecuentemente, su regeneración. Actuación fundamental para los objetivos del propio Plan Hidrológico 2015-2021 de la Demarcación Hidrográfica del Tinto-Odiel-Piedras, que indica que el drenaje ácido de mina es considerado en el como uno de los principales focos de contaminación a las aguas en toda la cuenca.

Por otra parte, la posición de liderazgo de la Autoridad Portuaria de Huelva en este ámbito ha quedado patente de forma directa o indirecta, en diferentes líneas de actuación como fueron: los estudios ejecutados en los años 80 en colaboración con el Centro de Estudios y Experimentación (CEDEX) y las administraciones competentes, la elaboración en 1994 de las "Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles" del CEDEX, el ensayo del confinamiento en recintos emergentes como mejor opción técnica para la gestión de los productos de dragado contaminados, y la participación en las actuales "Directrices para la caracterización del material dra-

gado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre” de la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas, entre otros.

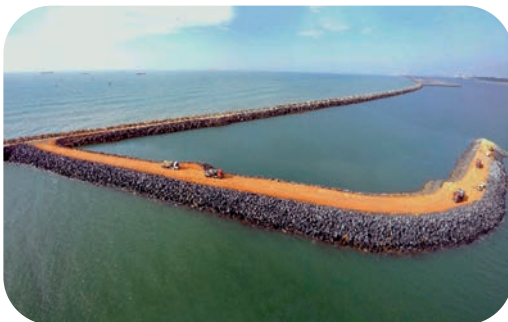
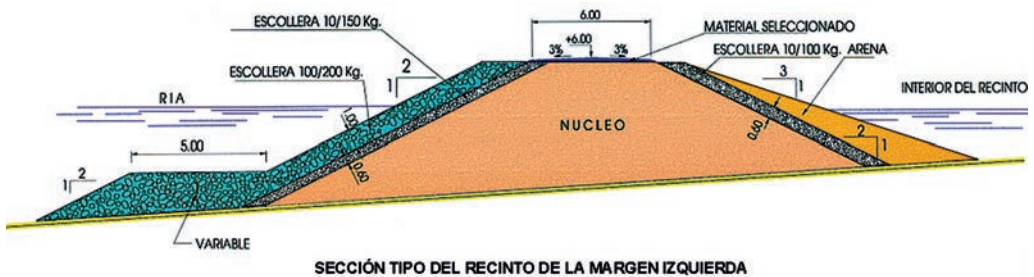
En definitiva, la participación del Puerto de Huelva en el ámbito técnico y normativo de la gestión de dragados en España, ha sido y es, clave para la evolución y desarrollo de unas operaciones intrínsecamente ligadas a los Puertos competitivos en ámbitos caracterizados por el aporte sedimentario.

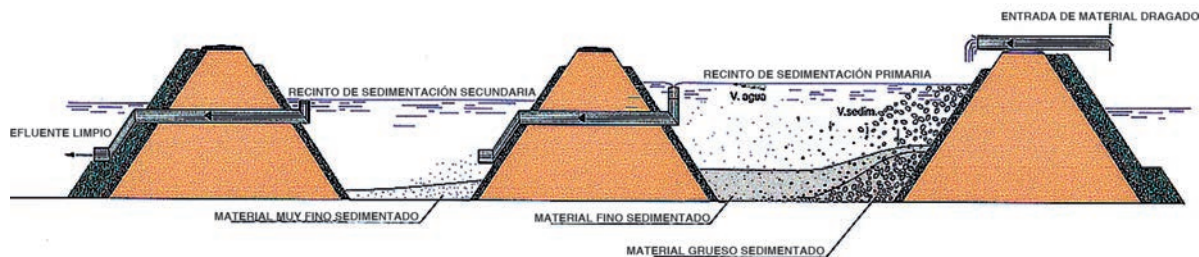
En cuanto a la experiencia acumulada en el Puerto de Huelva hasta el momento en la gestión ambiental de dragados, es necesario definir diferentes ámbitos:

- En primer lugar, el de la ingeniería, donde es preciso comentar que la técnica de gestión actual consiste en el confinamiento de materiales de dragado en recintos emergentes en forma de trapecios adosados a una margen de la ría, con una capacidad media de recinto de 1,5 millones de m<sup>3</sup>. Estos recintos poseen una estructura formada por un núcleo de suelo seleccionado de unas características determinadas, un manto intermedio de todo-uno, y todo ello protegido por una capa de escolleras.

El funcionamiento de este tipo de recintos consiste en verter el contenido de la cantara de la draga mediante tubería flotante en el interior del recinto donde precipita el sedimento por decantación saliendo el efluente limpio.

Esta tipología de recintos es igualmente empleada en diferentes puertos internacionales, adaptándose a necesidades muy superiores como puertos como Hamburgo y Rotterdam con recintos de hasta 50 veces mayores.





ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE RECINTO

- En segundo lugar, el ambiental, ya que una solución técnica necesariamente debe garantizar, desde su concepción, que los factores ambientales son considerados de forma amplia y exhaustiva, durante su ejecución, que no se produzcan alternaciones inicialmente no previstas y que se adoptan medidas rigurosas de seguimiento y control, durante su explotación, que las condiciones del medio son mantenidas sin afecciones a la calidad del mismo, y finalmente en su cese, la estabilidad de la instalación a efectos ambientales.
- Y en tercer lugar, el normativo, que es especialmente extenso e incluso posee cierta complejidad en tanto los dragados se ven afectados por diferentes regulaciones sectoriales ambientales, además de otras administrativas, sin poseer hasta la fecha una específica que aúna las que actualmente aplican a los dragados. Entre los principales ámbitos de regulación normativo de los dragados (de forma integral, es decir, desde la propia operativa, la caracterización y el destino final de los materiales), destacan: Convenios Internacionales sobre la prevención de la contaminación del mar, la evaluación de impacto ambiental, residuos, estrategia marina, y patrimonio natural y biodiversidad, entre otras.

De este modo, desde los años 90 hasta la actualidad, se han construido diferentes recintos emergentes que han demostrado su eficacia técnica y viabilidad ambiental ya que garantizan la sedimentación y eficaz contención de materiales en el interior de los mismos y no han supuesto una merma en la calidad de su entorno, tanto es así, que estos recintos han contribuido notoriamente a mantener valores naturales del entorno, favoreciendo el asentamiento de colonias de aves como el charracinto, la canastera y el chorlitejo patinegro, aspecto objeto de estudio y seguimiento por parte de diferentes organizaciones y gestores de espacios protegidos.

En definitiva, la conjunción de estos tres ámbitos: ingeniería, medio ambiente y cumplimiento normativo, es vital y condición sin la cual no es posible plantear el desarrollo de dragados ni técnica alguna de gestión. Esto ha sido clave para el desarrollo ejecutado hasta la fecha, y lo será para el planteamiento futuro.



En cuanto a las actuaciones futuras a corto y medio plazo, se prevé la ejecución de proyectos que se están desarrollando al amparo del estudio de nuevas alternativas de gestión ambiental de dragados iniciado en el Puerto de Huelva, ya que se entiende que la gestión ambiental de dragados en un Puerto competitivo, debe seguir ofreciendo nuevas líneas de investigación que planteen actuaciones complementarias a las técnicas actuales, en consonancia con los avances tecnológicos y normativos que se prevén a corto y medio plazo.

## Dragado del Puerto de Cariño. Caso de gestión de materiales de categoría C con anomalías geoquímicas

Rodríguez Pardo, Juan Antonio <sup>1</sup>; Bouza Bouza, Guillermo <sup>2</sup>; Taboada de la Calzada, Ágata <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jefe del Área de Infraestructuras, Seguridad y Medio Ambiente. Portos de Galicia. [jarpardo@portosdegalicia.com](mailto:jarpardo@portosdegalicia.com)

<sup>2</sup> Consultor senior – Jefe/a de proyecto. Tecnoambiente. [guillermo.bouza@tecnoambiente.com](mailto:guillermo.bouza@tecnoambiente.com)

<sup>3</sup> Consultor senior – Jefe/a de proyecto. Tecnoambiente. [agata.taboada@tecnoambiente.com](mailto:agata.taboada@tecnoambiente.com)

### RESUMEN

La entidad pública empresarial Portos de Galicia tiene como una de sus obligaciones el mantenimiento de los calados en los puertos de su gestión, que realiza mediante la ejecución de dragados periódicos. El puerto de Cariño presenta sedimentos de categoría C, por lo que inicialmente no era posible su vertido directo al mar. Diversos estudios realizados hasta la fecha han permitido demostrar que se trata de una anomalía geoquímica. Esta situación ha servido de base para que se introduzcan modificaciones en las Directrices para la caracterización del material de dragado y su reubicación en el dominio público marítimo-terrestre en su versión 2017. En aplicación de las Directrices se han llevado a cabo los estudios necesarios, tanto del material a dragar como para la localización de una zona de vertido compatible con el mismo.

### INTRODUCCIÓN

El puerto de Cariño fue en el año 2016 el puerto autonómico con un mayor volumen de movimiento de mercancías, alcanzando las 525.000 Tn., casi en su totalidad por la carga de minerales de hierro provenientes de una explotación próxima que es, a su vez, uno de los principales motores económicos del ayuntamiento y de la comarca. Además, la actividad pesquera también disfruta de cierta importancia, teniendo sus propias necesidades de calado para permitir el desarrollo de las operaciones en condiciones de seguridad.





Figura 1: Puerto de Cariño.

Debido a los procesos sedimentarios naturales asociados a la dinámica litoral de la zona, pero sobre todo a los intensos temporales ocurridos en estos últimos inviernos, el muelle de Cariño sufrió una importante pérdida de calado, desde su último dragado realizado en 1999.

De esta forma la situación actual de calados en dicho muelle comercial obliga a unos importantes condicionantes para la entrada, maniobra y estancia de los buques, cuya eslora está en el entorno los 100 m. Las restricciones afectan al tamaño de los mismos y a las horas para realizar las distintas operaciones en función de la carrera de marea, habiéndose producido en los últimos años varias varadas que, afortunadamente, no han provocado daños materiales ni personales.

Por estos motivos, en el año 2013 se iniciaron los estudios para el dragado general de los muelles del puerto. Tanto para llevar a cabo las operaciones de dragado como para la gestión del subproducto obtenido de esta actividad resulta necesario llevar a cabo distintos estudios de carácter ambiental y una tramitación regulada básicamente en el artículo 64 del Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por lo que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante. En estos momentos la Ley 6/2017, de 12 de diciembre, de Puertos de Galicia recoge los mismos requerimientos.

Además de esta legislación básica, se redactaron y se aprobaron, a través de una comisión interministerial en el año 2014, las *Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre*. Estas directrices, revisadas en el año 2015 y 2017 (en adelante DCMD), establecen los diferentes estudios y documentación que resulta necesario elaborar para la realización de las operaciones de dragado y la gestión del material en el caso de su vertido al mar. Bajo el punto de vista ambiental hay que destacar que desde el año 2014, un pequeño ámbito de la zona de servicio del puerto de Cariño quedó incluida dentro de la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) denominado Espacio marino de Punta de Candelaria-Ría de Ortigueira-Estaca de Bares (Código ES0000495), recogido en la

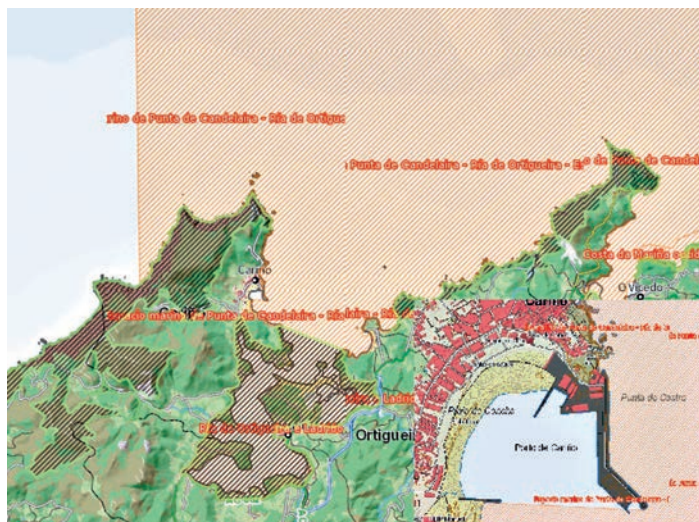


Figura 2: Figuras de protección en el entorno del puerto de Cariño.

Orden AAA/1260/2014, de 9 de julio, por la que se declaran Zonas de Especial Protección para las Aves en aguas marinas españolas, perteneciendo por ello a la Red Natura 2000. Este ámbito protegido se une a otras figuras de protección que en conjunto que afectan a toda la ría y ensenada de Santa Marta de Ortigueira, (ZEC, RAMSAR).

## ANTECEDENTES: ESTUDIOS ENTRE 2013 Y 2016

### Caracterización inicial (2013)

En el año 2013 se llevaron a cabo los muestreos y caracterización del material a dragar sobre la base de una primera previsión de las necesidades, conforme a las Recomendaciones CEDEX vigentes en ese momento. El resultado categorizó como Categoría III.a al material debido a las altas concentraciones de níquel (Ni). Por este motivo tan solo podían usarse técnicas de tratamiento previo o de confinamiento para su vertido al mar.

### Nuevas DCMD y justificación inicial de la anomalía geoquímica

En el año 2014 se aprueba la primera versión de las nuevas DCMD y Portos de Galicia redacta en 2015 el proyecto técnico para realizar un dragado parcial de la zona portuaria con un volumen estimado de 21.000 m<sup>3</sup>, llevándose a continuación a cabo la caracterización de los sedimentos conforme a las nuevas DCMD, por lo que resulta necesario realizar una nueva campaña de muestreos para caracterizar y gestionar dichos sedimentos conforme a la nueva publicación.



Figura 3: Proyecto de dragado del puerto de Cariño.

En estos análisis se puso de manifiesto nuevamente la alta concentración de níquel y, en menor medida, de cromo, que presentan los sedimentos a dragar, lo que los cataloga como sedimentos de categoría C, dificultando su gestión e imposibilitando, según la versión vigente en su momento de las directrices, su reubicación en el medio marino sin confinamiento.

A la vista de esta situación, ante la falta de una fuente de contaminación identificada, y por el conocimiento que se tiene de las particulares características geológicas de esta zona, se redacta un informe para tratar de justificar el origen de las altas concentraciones de Níquel.

El informe recoge que el complejo básico-ultrabásico de Ortegá está considerado como uno de los enclaves de mayor interés geológico de la Península Ibérica y de Europa y ha sido objeto de multitud de trabajos científicos, haciendo referencias a algunos de ellos.

La presencia en el mismo de minerales como la Zaratita, de la clase de los minerales carbonatos y nitratos de níquel ( $\text{Ni}_3\text{CO}_3 \cdot (\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) o la Morenosita, mineral cuya fórmula química es  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , hacen del todo probable que las altas concentraciones de níquel obtenidas en los análisis de los sedimentos sean de origen natural y no de origen antropogénico. Además, en el caso del Níquel, en la litología de suelos de Galicia, en suelos naturales, los valores de concentración extremos se presentan sobre rocas ultrabásicas (1000-4000 mg/kg) siendo mucho más bajos en todos los demás, lo que hace que sea un elemento típico de la corteza oceánica. La solubilidad en agua e inestabilidad química que estos minerales presentan da lugar a meteorización constante.

Esta afirmación es corroborada por los resultados del proyecto de investigación “Influencia del forzamiento meteorológico, geoquímica local y zona estuárica en la hidrodinámica, ciclo biogeoquímico de metales traza y transporte de plancton en las rías gallegas del norte (acrónimo: INTERESANTE) con referencia CICYT CTM2007-62546-C03-01/MAR” coordinado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), a través del investigador Ricardo Prego.

El informe fue remitido a la D.G. de Sostenibilidad de la Costa y el Mar (DGSCM), que remitió a su vez una nota técnica elaborada por el CEDEX en diciembre de 2015, donde entre otras muchas consideraciones, planteaban la necesidad de profundizar en la justificación de la anomalía geoquímica, a través del estudio de la biodisponibilidad de los metales y de muestreos de comparativos en zonas ajenas al dragado.

### Estudio y justificación de las altas concentraciones

Por ello, en 2016, Portos de Galicia llevó a cabo unos nuevos estudios de caracterización de sedimentos en el puerto de Cariño y su entorno, cuyos objetivos eran:

- Caracterización pormenorizada de las características físico-químicas del material a dragar.
- Investigación de las posibles causas de la alta concentración de Ni para confirmar si la presencia de los mismos es de naturaleza geogénica o antropogénica.

### Campaña de muestreo extensiva

Además de los análisis según las DCMD realizados sobre las 10 muestras del material de dragado (DR1-DR10), se llevaron a cabo tomas de muestras y análisis en 24 esta-

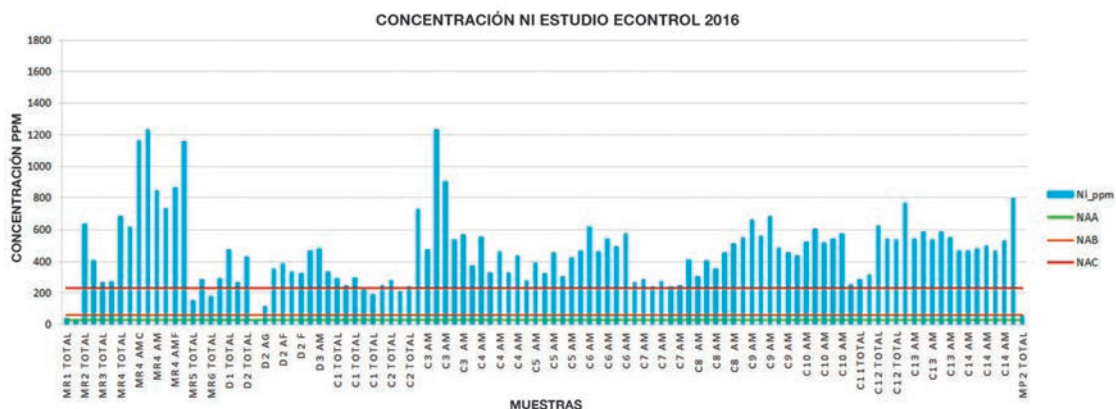


Figura 4: Fuente: Nº Informe: V-0162. Econtrol. Julio 2016. Caracterización de Sedimentos en el Puerto de Cariño y su entorno. Portos de Galicia. O.B.: 16.0045.

ciones repartidas por toda la ensenada, tanto de tipo superficial (D1-D4) como en diferentes niveles de la columna de sedimento mediante mediante tubo corer (C1-C14), además de 6 muestras recogidas en lechos fluviales (MR1-MR6) y 2 muestras del material que se carga en los muelles del Puerto de Cariño y que provienen de la mina de dunita de la empresa PASEK (MP1 y MP2). En estas muestras se analizó el Níquel en el total de la muestra y en la fracción que presentó mayor concentración en la fase preliminar, que fue la de arenas medias.

Más del 85 % de las muestras analizadas supera el nivel de acción C de las DCMD. Los valores de concentración obtenidos en la parte más profunda de la Ría de Ortigueira (influenciada en mayor medida por los cauces de los ríos que vierten a ella), son evidentemente superiores a los que se han obtenido en la parte exterior de la ría.

### **Extracción secuencial**

Sobre las muestras MR4, D2 y D10 se llevaron a cabo para el caso de níquel y de forma complementaria para el cromo, las correspondientes extracciones secuenciales propuestas por la "Community bureau of Reference (BCR)" de la comisión de Comunidades Europeas (1992) en su referido "Especiación de metales pesados en suelos y sedimentos" (Ure et al., 1993). Esta técnica de especiación facilita información sobre el comportamiento de los metales pesados en los sistemas acuáticos, su movilidad y biodisponibilidad de metales en los sedimentos (Förstner, 1993, Prusty et al, 1994; Usero et al., 1997). Se optó por el método BCR de extracción química sucesiva que comprende cuatro fracciones de extracción, que se realizan sobre la fracción inferior a 2 mm:

- Metal en forma de iones intercambiables y carbonatos (f-1)
- Metal asociado a los óxidos de hierro y manganeso (f-2)
- Metal ligado a la materia orgánica (f-3)
- Fase residual o litogénica (f-4)

De acuerdo a dicho análisis, ninguno de los elementos estudiados, Níquel y Cromo, presentan niveles de biodisponibilidad que signifiquen un riesgo para la biota. Los metales estudiados están ligados principalmente a materia orgánica y los minerales, formando parte de su estructura cristalina. Por lo que dichas fracciones no son biodisponibles.

- Para el caso del Níquel, las concentraciones que se presentan en las dos últimas fases de la extracción secuencial oscilan entre el 84 % y el 100 %.
- Para el caso del Cromo, las concentraciones que se presentan en las dos últimas fases de la extracción secuencial oscilan entre el 99 % y el 100 %.

## Otros estudios científicos

En el artículo publicado en la revista Investigación, Cultura, Ciencia y Tecnología “El impacto biogeoquímico de Cabo Ortegal en su entorno costero ¿puede ocurrir una contaminación natural por cromo o níquel? Ricardo Prego (CSIC, Vigo) y Miguel Caetano (IPMA; Lisboa). Investigación, Cultura, Ciencia y Tecnología, se recogen mapas de concentraciones de diversos minerales realizados a partir de muestreos realizados en colaboración con el IEO en el año 2008.

*Según recoge el propio artículo, Los arroyos Lourido y Landoi, así como el río Mera llevan una importantísima carga de estos metales, siendo el efecto final una gran acumulación de Cromo y Níquel en el sedimento marino de entre 760-1670 mg/kg de cromo y 375-1360 mg/kg de níquel...el sedimento de Ortegal se definiría como altamente contaminado por cromo y níquel de origen no antropogénico. Normalmente la contaminación de origen industrial es la causante de estos niveles, pero en el caso particular de Ortegal la presencia de cromo y níquel en el sedimento no se puede clasificar como contaminación.*

El 70 % de las 46 muestras estudiadas supera el Nivel de Acción C de las DCMD (234 mg/kg), las que presentan menor concentración se localizan al NE del Porto de Cariño y alejadas de costa, también las que se sitúan en los cauces de algunos ríos.

## Conclusión

El trabajo elaboró, a partir de los datos del estudio de Prego (46 estaciones) y los muestreos propios (23 estaciones), un mapa de isoconcentraciones de Níquel en el sedimento

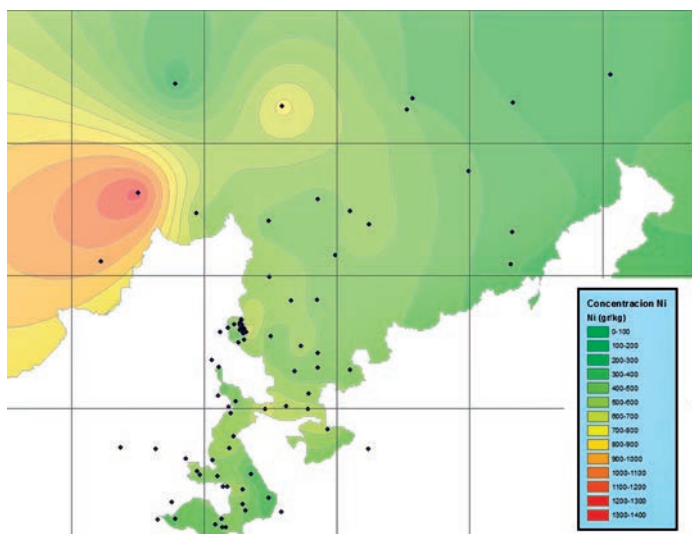


Figura 5. Mapa de concentraciones de Ni.

marino que deberá servir para conocer la compatibilidad de los diferentes puntos de vertido en cuanto a la concentración de este metal. Este estudio contiene, sin embargo, un número muy limitado en muestras en relación con la extensión a evaluar.

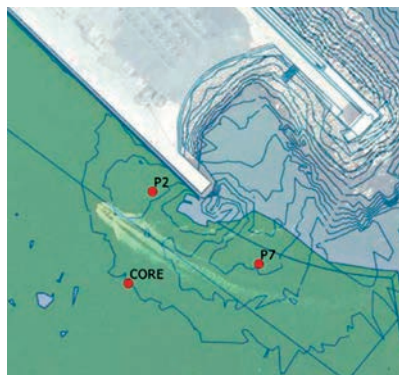
Estos trabajos sirvieron de base para solicitar ante la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas que la nueva redacción de las DCMD tuviese en cuenta estas posibles singularidades, cuestión que ha tenido reflejo en los artículos 19, 24 y 30 de la versión de 2017 de las DCMD, permitiéndose ahora el vertido al mar de estos materiales, si bien bajo unas condiciones determinadas.

## DRAGADO DE LA ZONA EXTERIOR DEL MUELLE

Ante la imposibilidad de llevar a cabo por el momento un dragado con vertido en aguas exteriores, y ante la complicada situación de la zona exterior del muelle comercial, donde los últimos temporales habían reducido aún más el calado disponible hasta alcanzar cotas de -6,00 m. en zonas que deberían tener 9 m. de profundidad, se inicia en 2017 un estudio con los siguientes objetivos:

- Caracterización del material a dragar en la zona exterior del muelle según las DCMD para informe de compatibilidad con las estrategias marinas.
- Evaluación ambiental del dragado, para su tramitación por posible afección a la Red Natura 2000
- Analíticas del material a dragar para su gestión en vertedero en tierra, según el RD 1481/2001 y sus posteriores modificaciones.

Simultáneamente, en previsión del texto de las nuevas DCMD que había adelantado la DGSCM en diferentes presentaciones, se llevan a cabo 11 muestreos con el objetivo de realizar una primera batería de bioensayos, tanto en fase sólida como líquida, al objeto



S/REF. MUESTRA	ANÁLISIS (lixiviado)			INERTES		
	STD mg/Kg	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Cloruros (ppm)	STD mg/Kg	Cloruros mg/Kg
P-2	13.900,0	<0,01	<0,1	6.100,0	4.000,0	800,000
P-7	13.100,0	<0,01	<0,1	5.700,0	4.000,0	800,000

Figura 6. Puntos de muestreo y resultados.

de conocer si el material se adapta a los nuevos condicionantes para su vertido en el mar, siendo el resultado positivo (no ecotoxicidad). En vista de lo cual se limita el dragado puntual con gestión en tierra a la zona imprescindible prevista.

Los resultados de este estudio sirvieron para tramitar los informes necesarios para llevar a cabo el dragado de unos 2.500 m<sup>3</sup>, pero el elevado coste de la extracción del material y su gestión en vertedero obligaron a realizar un estudio de alternativas con nuevos muestreos y analíticas para buscar la solución técnica y económicamente más eficiente. El elevado contenido de cloruros y de sólidos totales disueltos condiciona esta gestión.

## NUEVA CARACTERIZACIÓN Y ZONA DE VERTIDO

Tras la publicación de la última versión de las DCMD, en febrero de 2018 se ponen en marcha los estudios para completar la caracterización del material a dragar y buscar un punto de vertido en el mar que sea compatible, no solo con los criterios que establecen las mismas, si no con todos los condicionantes ambientales y de afecciones a otros recursos existentes en la zona.

### Caracterización del material a dragar

La empresa Tecnoambiente lleva a cabo la realización de 10 muestras en la zona de dragado para completar el número total requerido por las DCMD según la superficie y



Figura 7. Ámbitos de dragado, muestras y polígonos asociados



configuración de la zona, seleccionándose finalmente un número total de 18 muestras superficiales y 3 correspondientes a un muestreo profundo.

Fecha	Concentración Media		NAA (mg/kg)	NAB (mg/kg)	NAC (mg/kg)
	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)			
17/10/2013	466,12	287,3	Ni: 30,0  Cr: 140	Ni: 63,0  Cr: 340	Ni: 234  Cr: 1000
18/02/2015	455,66	133,51			
11/03/2016	455,13	208,33			
12/06/2017	398,53	185,14			
24/04/2018	410,7	198,9			
MÁXIMO	466,12	587,31			
PROMEDIO	437,2	202,6			

Tabla 1. Resumen de los diferentes estudios llevados a cabo entre 2013 y 2018.

El conjunto de las muestras de 2017 y 2018 arrojan los resultados esperados en lo referente a las altas concentraciones de Ni (Máx=600, C\*= 408,73 mg/kg) y Cr (Máx= 280, C\*= 198,37 mg/kg); y confirman la no toxicidad del material a través del doble bioensayo.

El conjunto de muestreos realizado en los diferentes estudios arroja resultados consistentes, que se muestran en la Tabla 1.

El material, sin tener en cuenta las concentraciones de Cr y Ni, se clasificaría como de categoría A.

## Selección de la zona de vertido en alta mar

La selección y caracterización se realiza en 4 fases:

### *Caracterización general del entorno del cabo Ortegal, ensenada de Cariño y ría de Ortigueira*

Se analizan los datos generales disponibles a nivel de gabinete, desde el punto de vista ambiental, recursos pesqueros y marisqueros, batimetría general de la zona (cartas marinas y EMODnet), mapas de sustratos del IEO, datos de concentraciones de estudios anteriores, etc.

Con todos estos datos y el mapa elaborado a partir de los datos del estudio de 2016 para las concentraciones de Ni y Cr, se sitúan las nuevas zonas de prospección teniendo en cuenta los principales condicionantes considerados:

- Fondo sedimentario (según datos de la batimetría de gran escala y mapas del IEO).
- Nula o baja intensidad de actividad de pesca de bajura (según mapa de actividad de las UTPB de la Consellería do Mar).
- Ausencia de estaciones de muestreo para las concentraciones de los metales.

Se fijan así, en función de dichos condicionantes, la posición de 40 nuevos muestreos en alta mar que, conjuntamente con los 46 realizados por el CSIC en 2008 y los 23 del estudio de 2015, permiten completar el mapa de concentraciones de todo el ámbito de estudio para el Cr y Ni.

Sobre este nuevo mapa se seleccionan 3 zonas posibles para su posterior caracterización en detalle. Dada la novedad en la aplicación de la nuevas DCMD en este sentido (“concentraciones anormalmente elevadas”), se realiza una consulta a la DGSCM explicando los resultados obtenidos y solicitando una opinión preliminar sobre la zonas propuestas.

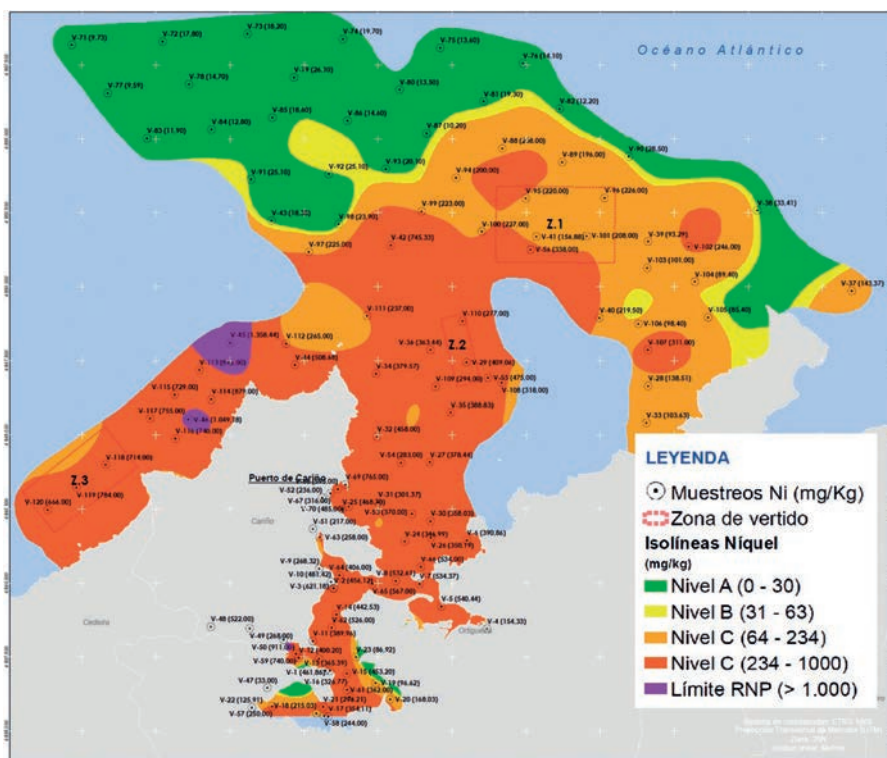


Figura 8. Concentraciones de Ni en el ámbito de estudio.

Se realiza un análisis de las ventajas e inconvenientes de cada uno de los emplazamientos teniendo en cuenta:

- Concentración media y máxima de las muestras.
- Características del sedimento.
- Cercanía a caladeros y zonas de pesca de bajura.
- Distancia al puerto.
- Ubicación dentro de la ZEPA.

En base a esta discusión, y teniendo en cuenta la opinión de la DGSCM se selecciona la zona Z1.

### ***Batimetría y geomorfología de la zona seleccionada***

La zona Z1 se ajusta finalmente a un rectángulo con una superficie de 1000 Ha. sobre la que se realiza una batimetría con sonda multihaz que permite elaborar un mapa geomorfológico de detalle, con el objetivo de seleccionar dentro de esta zona el ámbito para la zona de vertido definitiva.

### ***Estudio de detalle de la zona de vertido***

Sobre la zona definitiva seleccionada se llevan a cabo los estudios recogidos en el artículo 30 de las DCMD, básicamente:

- Característica físico-químicas de la masa de agua.
- Caracterización del sedimento.
- Caracterización bionómica.
- Estudio de dispersión del vertido.

## Gironde XL: an example of how estuarine scientific research can improve dredging and navigation operations in ports

Fabrice Klein<sup>1</sup>, Alain Fort<sup>1</sup>, Aldo Sottolichio<sup>2</sup>, Alexis Beudin<sup>2</sup>, Giovanni Mattarolo<sup>3</sup>, Cedric Goeury<sup>3</sup>, Angélique Ponçot<sup>7</sup>, Jean-Philippe Argaud<sup>7</sup>, Sylvain Orseau<sup>4</sup>, Fatiha Chabi<sup>4</sup>, Pablo Tassi<sup>3&6</sup>, Nicolas Huybrechts<sup>4&5</sup>, Hassan Smaoui<sup>4&5</sup>, Vanessya Laborie<sup>5&6</sup>, Romain Leroux<sup>6</sup>, Sébastien Barthelemy<sup>6</sup>, Mohamed Ali<sup>4</sup>, Sami Kaidi<sup>4&5</sup>, Emmanuel Lefrançois<sup>4</sup>

1 Grand Port Maritime de Bordeaux, France.

2 University of Bordeaux, Laboratoire EPOC.

3 Electricity of France, R&D Department.

4 Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne.

5 Cerema, Direction Technique Eau, Mer et Fleuves.

6 Université Paris-Est, Laboratory for Hydraulics Saint-Venant (ENPC-EDF/R&D-CEREMA).

7 Electricity of France, R&D Department Performance and prediction of industrial risks for park simulation and studies (PERICLES).

### ABSTRACT

The port of Bordeaux, located in the largest estuary in western Europe, is working on hosting larger ships in the next two years to answer the growing international market demand. In the same time, The port of Bordeaux is deeply concerned with the evolution of the Gironde estuary facing growing human activities and climate change influences.

The EU-funded project called Gironde XL, started in 2016, offers the opportunity to gather estuarine scientists, computer scientists and naval engineers to measure and model the physical dynamics of the Gironde estuary and elaborate efficient tools to optimize the navigation of large ships based on meteorological, hydrodynamical and sedimentological forecasts. Thus this tools should contribute to sustainable accommodation of larger vessels.

The presentation will overview the methodology and results of the intensive field campaign and various numerical models developed for the project (e.g., 3D hydro-sedimen-

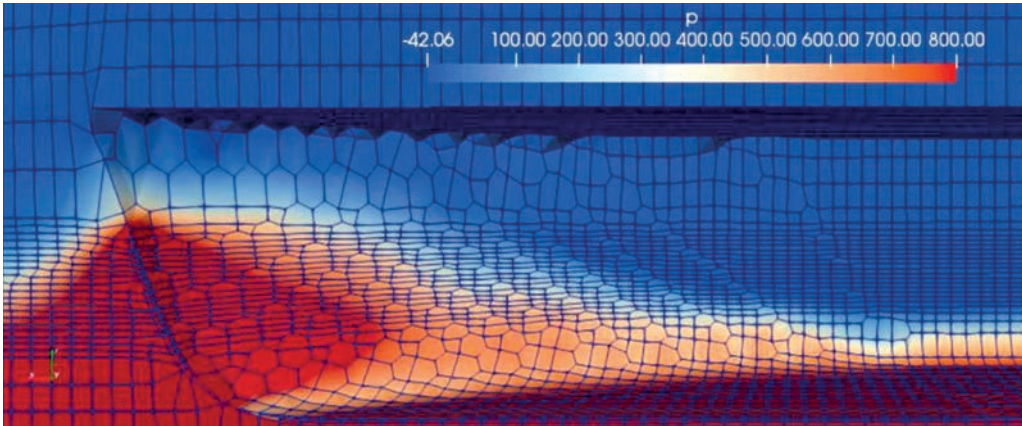


Figure 1: Modelling of the hull of a ship and its squat.

tery model of the Gironde estuary, automatic uncertainties quantification, CFD - computational fluid dynamics - analysis of boat hull), and focus on the operational translation for the need of the harbor activities in terms of dredging and on its uses for the various port activities.

## THE ATLANTIC PORT OF BORDEAUX

At the gateway to the capital of Aquitaine, Bordeaux, a thriving metropolis which will soon be home to a million residents, Atlantic Port of Bordeaux is the focal point of a dense, multimodal transport and communications network, offering rapid connection to the vast European market.

Located on the Gironde estuary, the most well-preserved large river estuary in Europe in terms of its natural landscape and environment, Atlantic Port of Bordeaux naturally adheres to the principles of sustainable development, combining and balancing the requirements of environmental conservation, protection of individuals and economic development.

Generating over 15,000 jobs in the Aquitaine region, the Atlantic Port of Bordeaux works with public and private partners to implement a sustained, long-term development policy: improving navigation conditions, building new logistical and industrial facilities, simplifying access procedures and moving towards a paperless process...

The port and its community as a whole work together to boost overseas trade in the Aquitaine region.

## STAKES IN THE WORLD SEA TRAFFIC AND THE PARTICULAR SITUATION OF THE ATLANTIC PORT OF BORDEAUX

The increasing use of maritime transport leads to an increase in ship size in order to minimize the transport costs in term of budget and time. Nevertheless, the estuary of the Gironde has high levels of sediment and the navigation channel requires to be every day maintained. They are important works and the port has to check maintenance costs.

Furthermore, the deepening is not possible for environmental reasons. And to accommodate news issues and contexts like energy transition, global warming, and societal development, it's necessary to improve knowledge and to adapt practices. Thus, the Atlantic Port of Bordeaux need the expertise of scientists to build new tools to answer to significant questions ; (i) what will the dredging cost in future years to remain competitive with others ports ? (ii) how bigger ships can come to Bordeaux in a safety way and by respecting the environment ?

### A tool to optimize the height of available water in real time

To navigate in the estuary of Gironde a ship needs an experimented pilot on board who check several criteria of the river; (i) the water level (tide and weather), (ii) the seasonal constitution of the river (Quantity of sediment in suspension which influences the speed of a ship and its capacity to navigate as fast as the wave of tide), (iii) the bottom of the river (with bathymetric map which indicates the density of sediment which determines the reasonable threshold of resistance to the progress of a ship) (iv) the dynamic sinking of the ship (squat) in a not homogeneous turbid environment (v) the speed limit in specific sensitive zones of the river.

### A tool to study the evolution of the river in the coming years

We need to determine the impact of the climate change on the environment, the navigation and the dredging. And so to study the impact of the significant reduction expected from the flow of the Gironde.

## THE CURRENT DIGITAL MODELS OF THE GIRONDE

Digital models are nowadays commonly used in fluvial and maritime hydraulics as forecasting and assessment tools. There are several models of the Gironde, Each is more or less adapted to specific activities (scientific research of a specific domain, flash flood alert, ... )

But these models were built with limited meshings (capacity of calculation), do not have enough measures and have no rather fresh measures to model more faithfully the phenomena. The last big campaign of measure dates the 80s. And none was built really to answer to a wide panel of problems, And none is jointly used by several companies.

## CHOICE OF A MODELLING ENGINE AND PLATFORM

We can find several engine of modeling 2D/3D (MARS, TUGO, HYCOM, TELEMAC, ...). TELEMAC 2D/3D presents several advantages; it's open source, very open to other tools and has modules adapted to the maritime domain and dredging. Nevertheless, it's developed by a partner of the project (EDF) who enriches it permanently. e.g. with the platform Salome ; it provides an environment that will cover a complete study, starting from data and geometry definition up to the visualization of the results, coupling different modules through a common data exchange model and a supervision tool.

## CONSTRUCTION AND WEDGING OF THE MODEL

A 2D approach with a fine horizontal mesh (up to 180 000 nodes) is proposed to provide fast prediction of the water level, velocity and density level. The model includes wind and storm surges effect as well as fine sediment transport with consolidation process. This 2D model aims to provide real time prediction of under keel clearance.

A 3D model is also built to provide a more accurate prediction of the stratification and the turbidity maximum. This model is characterized by a coarser horizontal mesh (26 000 nodes) and 8 vertical planes.

## The intensive field campaign in Gironde

The estuary, of a surface of 600 km<sup>2</sup>, requires continuous measures to determine the height of available water. But the monthly updating of the bathymetry is not possible. Then measures are made with a low sampling and with variable frequencies (more frequent in the channel of navigation). But there are still questions concerning the muddy cork and the sedimentation. Then an intensive field campaign began the last year to collect information in view to refresh the old knowledge and complete it. The campaign aims to improve our knowledge about (i) residual sedimentary traffic in the estuary (Fig. 2 – square), (ii) updating of the dynamics of the muddy cork (Fig. 2 – circle). Several kind of sensor (installed at the bottom of the water and on surface) are used to measure turbidity, salinity, temperature, water speed.



Figure 2: Improvement of the knowledge of the estuary in several zones.

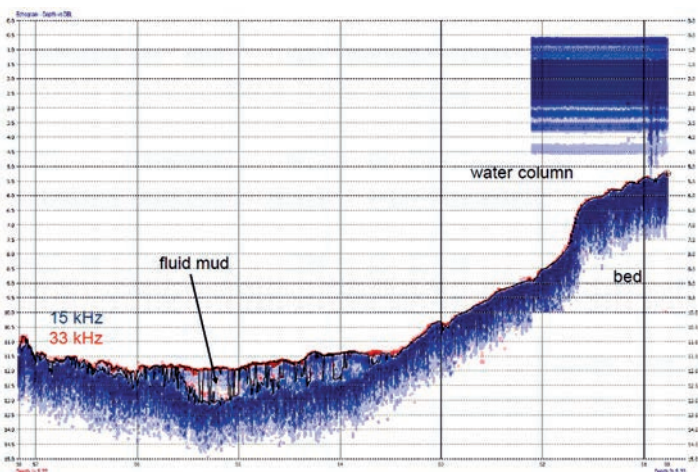


Figure 3: Example of an echogram visualized with hypack 2013 showing differences between the 15 kHz (blue) and 33 kHz (red) backscatter signals indicating the presence of a fluid mud layer in the middle of the channel.

## The first results of the campaign

The port's Echogram, realized in the channel of navigation – operate with the 15 and 33 kHz frequencies as the estuarine water is usually stratified in density and very turbid – are processed to determinate the fluid mud thickness.

The acoustic soundings display a large variability over the 4-year period. The relatively wet year (2014) follows the seasonal patterns observed few decades ago [1]. Fluid mud appears in the upper estuary when the rivers reach their summer time regime, with values lower than  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ; while it forms in the lower estuary for moderate and high river flows. The subsequent years (2015, 2016 and 2017) show lower peak discharge and no clear fluid mud seasonal displacement. In 2017, fluid mud is present constantly and extensively along the channel, presumably because of reduced estuarine flushing. Certain zones seem favorable to fluid mud occurrence (PK 10-30, PK 40-50, and PK 70). This may occur due to convergence of horizontally advected sediment-laden flow and settling from above when the current decelerates in increased channel cross section.

## Uncertainty quantification in 2D morphodynamic model

The objective of this work dedicated «Uncertainty Quantification» topic is twofold: to estimate the uncertainties that pertain the input parameters (e.g. grain size distribution, settling velocity, critical shear stress for incipient motion of sediments) and bathymetry of



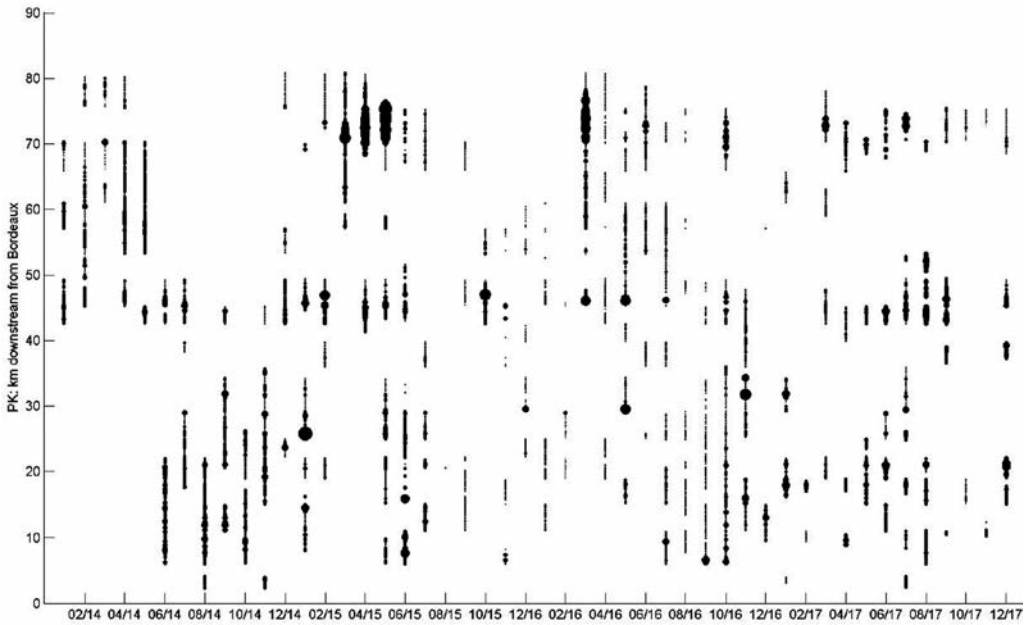


Figure 4: Fluid mud occurrence along the navigation channel during the 2014-2017 period. The size of the dots are proportional to the relative thickness of the fluid mud layer.

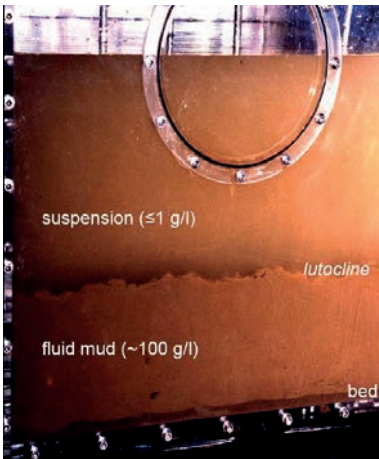


Figure 5: Vertical distribution of mud observed in the laboratory at University of Grenoble (N. Gratiot).

the 2D morphodynamic model of the Gironde estuary, and to characterize the distribution of the water depth  $h(x, y, t)$  over the estuary  $P[h(x, y, t) \leq h_{critical}]$  where  $h_{critical}$  is a critical threshold of the water depth SHAPE that allows navigation. We propose an original approach that relies on probabilistic methods, imprecise probability and non-linear regression, as described in [2].

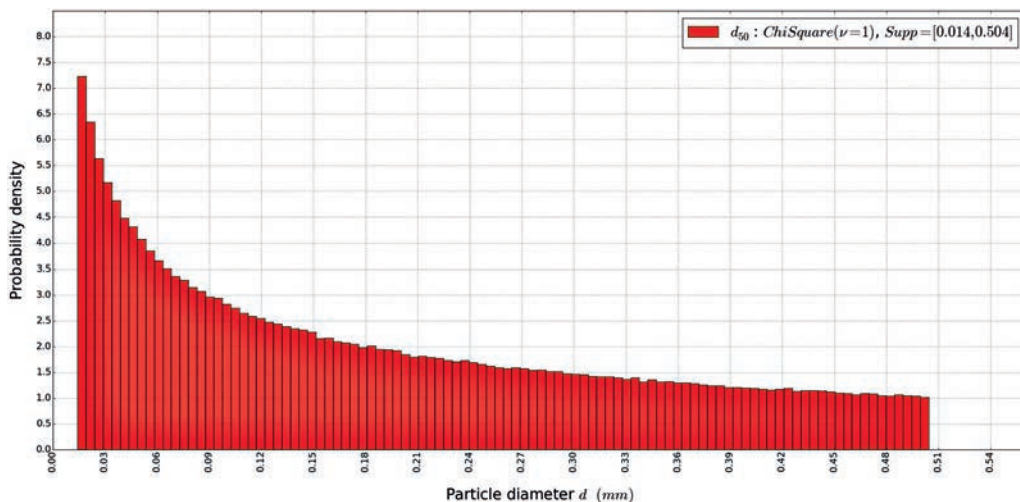


Figure 6: This method allows to find the distribution of the particle D50 (imprecise information of the 50 micrometer particle) and so to estimate the precision of the water level calculated by the model.

These strategies not only offer flexibility for handling the variability of the input parameters and data but are also suitable for data-driven applications since the uncertainty quantification can also be conducted from a small set of the most important parameters of the 2D morphodynamic model. They also allow generating random samples of input and data using estimated probability distribution.

An example of the probability density of the median particle diameter SHAPE, used as input for uncertainty analysis, is shown in Fig. 6. In order to quantify the impact of the input uncertainties on the estimation of the water-depth SHAPE, the Monte Carlo method will be used.

## Optimal calibration of Gironde Estuary model based on a data assimilation algorithm

Model results have to be compared against measured data in order to assess their accuracy in operational conditions. Among others, this process is related to calibration, verification and validation. In particular, calibration aims at simulating a set of reference events by adjusting some uncertain physically based parameters, until the comparison is as accurate as possible. For free surface flow hydraulics, parameters, that are often unknown or difficult to assess, include bed friction, inflow discharge, tidal parameter, initial state etc.

The objective of this work is to demonstrate the efficiency of calibration methodology for the Gironde Estuary model, based on data assimilation coupled with TELEMAC-2D. It

has to be able to process, measurements optimally, to estimate the partially known or missing parameters (for example bed friction). In fact, calibrating Gironde Estuary model is typically an intricate process due to the tidal flow interaction between shoreline, meteorological conditions,... and lacks of reliable observation information. The software implementation of the calibration algorithm has to be based, therefore, on open source and flexible architecture with reusable components. This study was performed by coupling the hydrodynamic solver TELEMAC-2D and the data assimilation library ADAO within the SALOME platform, through the component TelApy of the TELEMAC system.

The model of Gironde Estuary is composed of six friction areas, within which the roughness coefficient is a constant parameter, independent of one another. As mentioned in [2], roughness coefficients often takes into account the friction by the walls on the fluid or other phenomena such as turbulence. Thus they are difficult to define directly from available data and must be adjusted using the measured water surface profiles. Hence, in this work, the friction coefficients are calibrated using tide gauge measurements based on a 3D-VAR data assimilation algorithm as exposed in [2]. The Figure 7-(left) displays the results of the algorithmic calibration over a 36 hours period. As shown in Figure 7-(right), the free surface elevation obtained after calibration process is much closer to the measurements than the initial model calibration. This final results emphasises the efficiency of the automatic calibration tool.

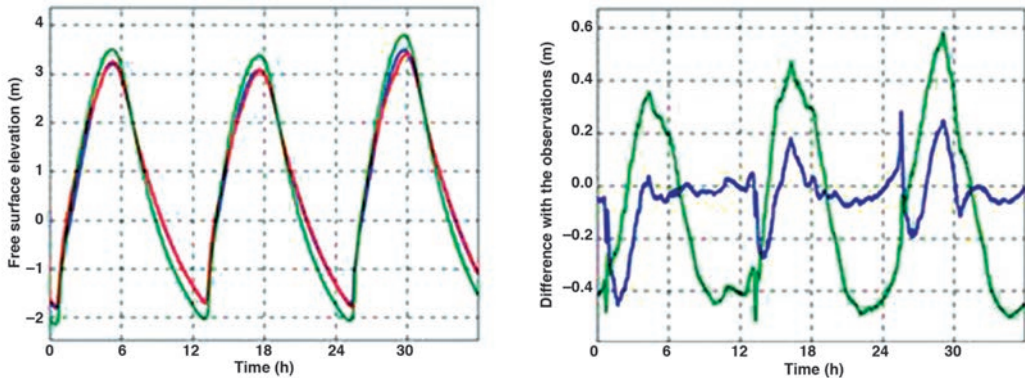


Figure 7: (left) Observations, simulated free surface elevation with the initial calibration without assimilation and with the automatic calibration (respectively red, green and blue lines) and (right) difference between the simulated free surface elevation and the observation for the initial and for the automatic calibrations (green and blue lines respectively).

## THE FIRST RESULTS OF THE DIGITAL MODELING

The most delicate part to created and to wedging is the 3D model. In this paper we present the first results. The 3D model has been compared with the in situ data collected by the port between December 2017 and January 2018.

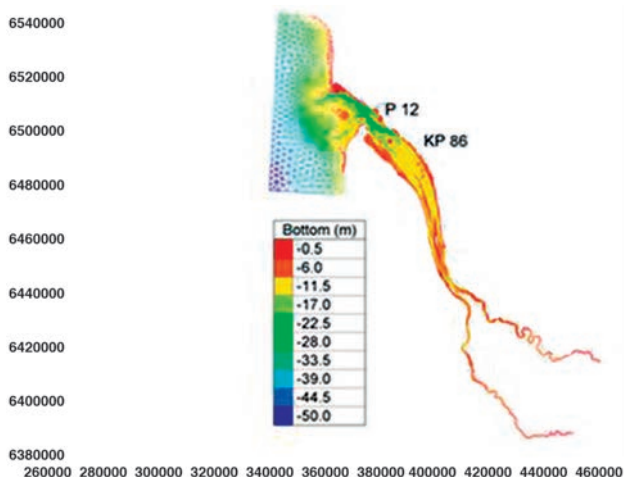


Figure 8: Location of the station and model extension.

Additional salinity data from Somlit network have been used for the model comparison. Salinity and SPM profiles are collected at three stations inside the estuary (KP 30, 52 and 86) during a tidal cycle every two months. The locations P12 and station KP 86 are shown on fig. 8. The hydrodynamic 3D model has been run for 60 days from December 2017. Flowrate is initially low ( $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ), increase up to  $2\,500 \text{ M}^3/\text{s}$  and then decreases down to  $1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mixing length model with damping function has been selected for the turbulence model.

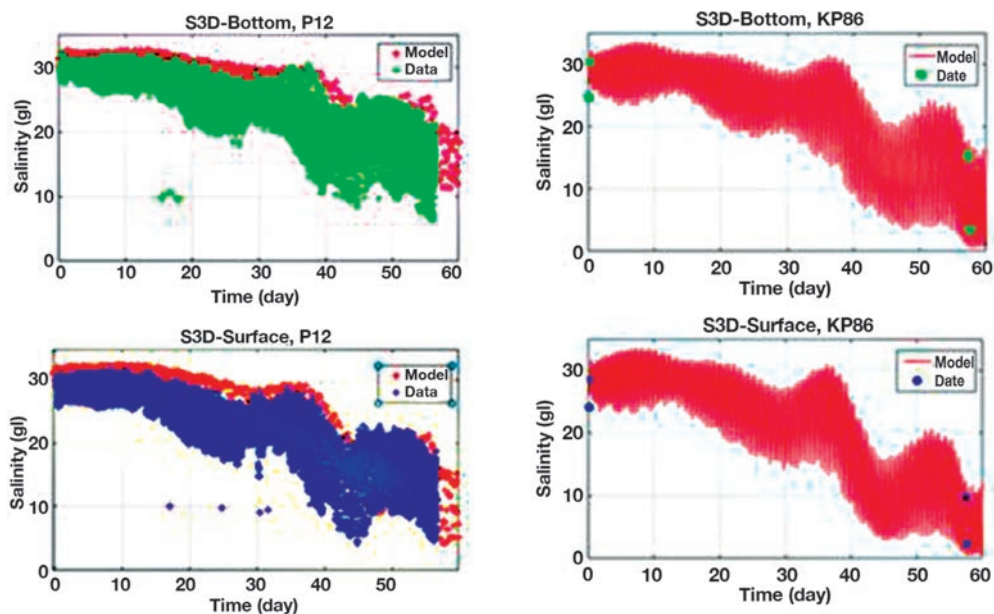


Figure 9: Comparison between the model and the in situ data at the bottom and surface for 60 days.

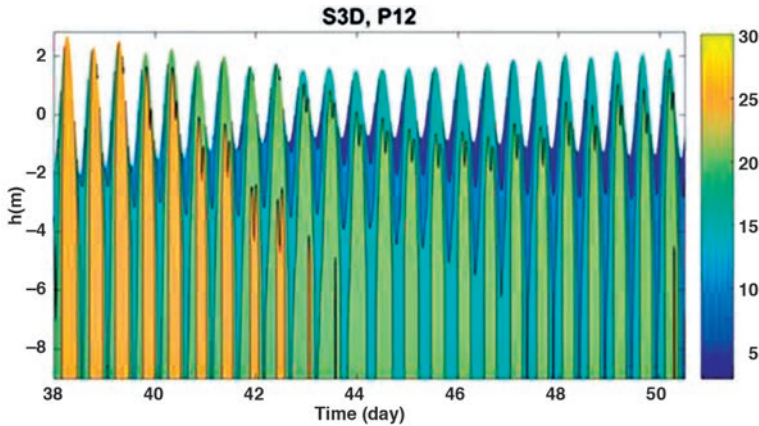


Figure 10: The freshet induces progressive reduction of the salinity level and more vertical variation is observed along the tidal cycles. (Right scale ; salinity g/l).

For the station P 12, the vertical variation of the salinity is plotted between day 38 and 50 which correspond to a flow rate increase from 300 to 2500 m<sup>3</sup>/s. At day 36, the salinity is well mixed during the ebb.

## EFFECT OF THE MUDDY AREA ON THE SURFACE WAVE ATTENUATION AND THE SHIP'S SQUAT

Large ships will experience shallow water effects more severely such that the bank effect, the ship to ship interaction and the squat problem. An important effect that will play an important role on the maneuverability and the stability of vessels in existing channels is the bottom effect, especially when the bottom is mainly formed by a muddy layer. The presence of the mud at the bottom leads to new problems and open questions that should be answered such that: (i) how the vessel will fill the mud layer and (ii) what is the effect of the mud on the forces exerted on the ship and on its stability criteria.

Previously, many research works were done to study the effect of the mud layer on the surface wave behavior (without ship) using different models to describe the mud rheology [3]. Investigations showed that the mud has an important damping effect and surface wave is attenuated above the mud layer. Experimental investigations [4] showed that the mud damps the steady maneuvering and accelerate the dynamic ones. In order to better understand the mud effects on the ship dynamics and its squat, a numerical investigation is undergoing as part of this project.

The main objectives of this work are: (i) studying the effect of the undulation of the mud-water interface on the surface wave propagation around the vessel, (ii) studying the additional forces exerted on the ship due to the confinement effect and the impact of the

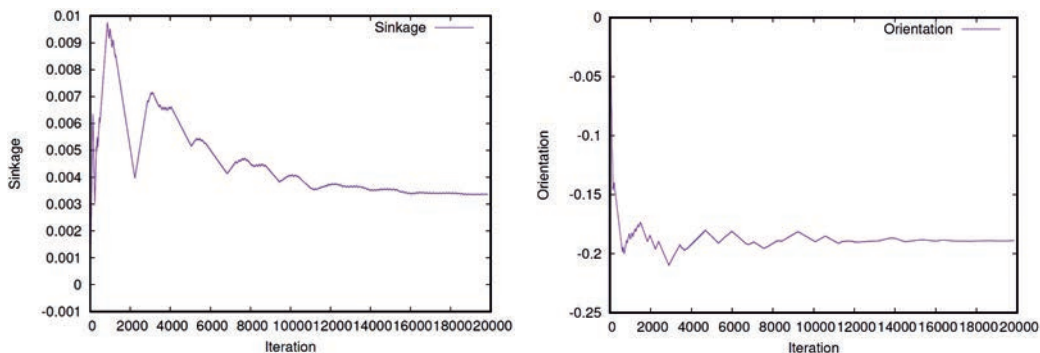


Figure 11: Ship's squat prediction: (left) sinkage and (right) trim of the ship.

existence of the muddy bottom on the ship's squat (sinkage and trim), and (iii) developing a reduced order model (or an analytical model) to describe the navigation in muddy areas. During the study, many parameters are considered such as the geometrical parameters (ship dimension, canal dimension,...) and the operating conditions (ship's speed, UKC, mud/water depth ratio, restricted/ unrestricted canals) [5].

As a first result, the numerical model allows to predict the mud-water interface undulation and the free-surface deformation as shown by Fig. 11 in the case of steady ship motion (only the horizontal displacement is allowed at a first time).

The change of the density profiles is found to be important under and above the ship. An example of the variation of the density profile due to the ship displacement is illustrated by Fig. 12. During its displacement, the ship disturbs the mud-water interface and hence the free-surface around the ship is modified.

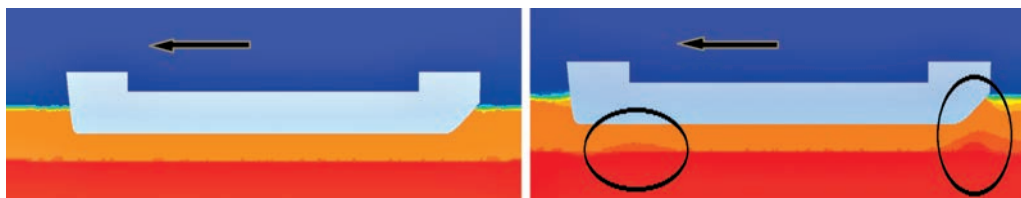


Figure 12: Undulation of the mud-water interface under and behind the ship: (left) initial condition, (right) interface undulation.

## SUMMARY AND PERSPECTIVES

This project presented above show a significant cooperation between scientist and an industrial actor, the Atlantic Port of Bordeaux, in view to develop new technology to improve the accommodation of ships and take into account the environmental stakes of tomorrow.

With support of the EU, all the realized works are free of rights and can be reused by other ports.

Atlantic Port of Bordeaux is searching now for partnerships to use and enrich this public digital model and companies which want to use this work and taking part in public tenders for studies.

Other works are to be planned for the continuation; to obtain more precise real-time information of the shape of hulls of ships, improve still the model (i.g. follow-up of the dissolved oxygen), its precision (to pursue the collection of the measures, densify sensors' network and to measure new parameters - e.g. oxygen-) and to allow other French or foreign ports to benefit from these works.



## REFERENCES

- (1) Allen G. P. (1971). Déplacements saisonniers de la lentille de «crème de vase» dans l'estuaire de la Gironde. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 273: 2429-2431.
- (2) C. Goeury, A. Ponçot, J.-P. Argaud, F. Zaoui, R. Ata, Y. Audouin. "Optimal calibration of TELEMAC-2D models based on a data assimilation algorithm", *Proceedings of the 24th Telemac-Mascaret User Club*, 2017.
- (3) Dalrymple, R.A. and Liu, P. L-F., "Waves over Soft Muds: A Two-Layer Fluid Model", *Journal of Physical Oceanography*, 1978, vol 8, pp. 1121-1131.
- (4) Dalrymple, R.A., "The attenuation of water waves over a non-rigid bed", *Journal of Fluid Mechanics*, 1980, vol 97, pp. 721-742.
- (5) Deng, B.Q., Hu, Y., Guo, X., Dalrymple, R.A., Shen, L., "Numerical study on the dissipation of water waves over a viscous fluid-mud layer", *Computers and Fluids*, 2017, vol 158, pp. 107-119.
- (6) Kaidi, S., Smaoui, H., Sergent, P., "Numerical estimation of bank-propeller-hull interaction effect on ship manoeuvring using CFD method", *Journal of Hydrodynamics*, 2017, vol 29, pp. 154-167.

## Estudio pluridisciplinar del Estuario del Guadalquivir: hacia una gestión integrada con criterios de sostenibilidad ambiental

José Carlos García-Gómez <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Catedrático de Biología Marina de la Universidad de Sevilla (US)/ Director del Departamento de Zoología de la Universidad de Sevilla y del Área de Investigación I+D+i del Acuario de Sevilla/ Presidente de la Junta Rectora del Parque Natural del Estrecho (Reserva de la Biosfera Intercontinental del Mediterráneo Andalucía (España) – Marruecos). jcgarcia@us.es

Las actividades inherentes al proyecto de investigación pluridisciplinar *Desarrollo de actividades científicas y docentes vinculadas al Acuario del Puerto de Sevilla y al Estuario del río Guadalquivir y zonas marinas aledañas en orden a la generación y desarrollo de conocimiento y soluciones innovadoras que potencien el impulso de la gestión relacionada con nuevos proyectos en un marco de sostenibilidad ambiental* fueron convenio de colaboración especificado en la presentación del ponente, suscrito por las entidades consorciadas el 29 de mayo de 2013) y desarrolladas durante el periodo 2013-2017 con el fin de contribuir a generar conocimiento y mejorar la gestión del estuario y zonas marinas aledañas en un marco de sostenibilidad ambiental, teniendo en consideración su explotación por diferentes actores y la posibilidad de mejorar su calidad ambiental, así como la de su biota.

Este planteamiento general sigue la recomendación principal del estudio precedente del CSIC (2010) *“Propuesta metodológica para diagnosticar las consecuencias de las actuaciones humanas en el Estuario del Guadalquivir”* vinculado en parte al posible Dragado de Profundización del Estuario del Guadalquivir (con posterioridad, descartado), que también puso especial énfasis en la recuperación ambiental futura del mencionado estuario.

El equipo pluridisciplinar lo han integrado investigadores de la Universidad de Sevilla (US; Laboratorio de Biología Marina, del Departamento de Zoología de la Facultad de Biología), como institución principal del proyecto y coordinadora, y de las universidades de Huelva (UHU; Geociencias Aplicadas e Ingeniería Ambiental, Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Experimentales), Cádiz (UCA; Facultad de Ciencias





Obtención de muestras del epibentos y del plancton. Izquierda, patín epibentónico, para obtener organismos que viven de la columna de agua, muy próximos al fondo. Mangas de plancton para obtener pequeños animales (especialmente crustáceos) que viven en la columna de agua los cuales constituyen el alimento de larvas y juveniles de peces.

Ambientales y Centro Andaluz de Ciencias y Tecnologías Marinas CACYTMAR), Málaga (UMA; Oceanografía Física GOFIMA. ETSI Telecomunicación) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

En el estuario del Guadalquivir concurren numerosos intereses y usos y, por tanto, sobre él existe una fuerte presión antropogénica. También está consolidada una fuerte vocación social e institucional por preservar su biodiversidad e introducir mejoras medioambientales, así como por sentar las bases de un plan de vigilancia ambiental y recuperación del ecosistema estuarino en aquellos puntos donde éste deviene mermado o disminuido.

Para mejorar su gestión en el futuro debe conocerse previamente su funcionamiento (tanto físico-químico como biológico), identificarse sus principales presiones y diferentes impactos y, finalmente, cuando se disponga de la información suficiente, proponerse medidas de corrección, mitigación y restauración que permitan conciliar, en un marco de sostenibilidad ambiental, la mayor parte de los intereses que confluyen en este complejo escenario. Todo ello sin obviar que, al final del estuario se encuentra una zona de Reserva de Pesca y el Parque Nacional de Doñana, lo que obliga a hilar fino en la programación, diseño y objetivos de las investigaciones que se han desarrollado y las que se pretendan implementar en el futuro.

Dado que el estuario del río Guadalquivir constituye un sistema de transición intrínsecamente fluctuante y complejo en sus interacciones biológicas (Fig. 1), es muy importante generar series largas de datos que coadyuven a predecir su comportamiento ante diferentes situaciones ambientales, por ejemplo, en función de la alternancia de periodos de sequía-lluvia y de la amenaza creciente de la subida del nivel del mar, de un ascenso progresivo de la temperatura del agua o bien de la intrusión de especies exóticas que acaban convirtiéndose en invasoras. De otra manera, resultará siempre difícil tomar decisiones para integrar diferentes actuaciones para la explotación racional de sus recursos y hacer ésta compatible con la gestión, manejo y conservación de su biodiversidad.



Draga Van Veen para la toma de sedimentos (izquierda) y análisis de parámetros físico-químicos en sedimentos (centro) y agua (derecha).



Zona mediolitoral del Estuario del Guadalquivir. De ella, asociada a los fangos que sufren emersión e inmersión periódica con las mareas, así como a sus tasas de sedimentación, se puede obtener importante información científica para monitorizar el estuario en el tiempo y conocer sus fluctuaciones y evolución.

Todo ello, con independencia de efectuar futuras actuaciones de mejora, recuperación y/o restauración ambiental. De ahí que las investigaciones realizadas guarden una cohesión y complementariedad importantes, lo que es preceptivo para intentar conciliar los diferentes intereses que concurren en este enclave geográfico, teniendo como objetivo clave la preservación del medio ambiente y de la biodiversidad arropada por éste, su mejora y la implementación de procesos de restauración cuando ello sea posible.

Durante los últimos cuarenta años Andalucía ha sufrido situaciones de fuerte contraste de períodos de lluvia y sequía alternadas, cada vez más próximos en el tiempo. Basta recordar las sequías de 1992-1995 y de 2004-2010, y compararlas con la posterior de 2015-2017 (en 2014, no obstante, aparecieron síntomas del nuevo periodo por la escasez de lluvias; no consideramos 2018, por estar el año en curso al redactarse este resumen), aparecida tan sólo cinco años después de la de 2004-2010 (esta última, sin embargo, irrumpió nueve años después de la de 1992-1995). Acontecimientos sobre la subida de la salinidad durante los años 2007, 2008 y 2009, con afección directa al sector arrocerero, así como el hundimiento de los caladeros de la chirla del Golfo de Cádiz en 2010 (año en que se produjeron inundaciones importantes, como señal del fin del periodo de sequía 2004-2010), podrían estar relacionados, al menos en parte, con lo recién expuesto.

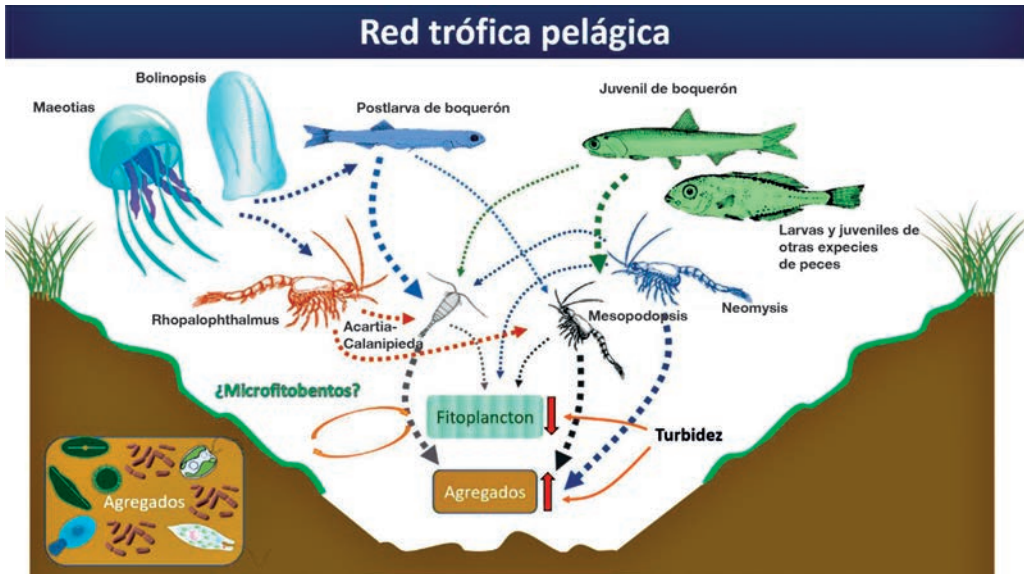


Figura 1: En la zona de cría del estuario del Guadalquivir, debido a la elevada turbidez que limita la penetración de la luz, la materia orgánica en suspensión tiene un papel fundamental en el ingreso de materia y energía en las redes tróficas. El sedimento en suspensión forma agregados con la materia orgánica y con distintos elementos como bacterias, protozoos, fitoplancton, etc. Los dos elementos más relevantes del mesozooplankton, *Acartia tonsa* y *Mesopodopsis slaberi*, juegan un papel esencial en la transferencia de materia y energía desde la materia orgánica en suspensión y el fitoplancton hasta los niveles tróficos superiores.

En este sentido, la fase primera de las investigaciones promovidas por la APS e implementadas por el CSIC fueron desarrolladas dentro del periodo de sequía 2004-2010, pero la segunda fase, la inherente a este informe, se ha desarrollado durante 2013-2017, periodo mitad lluvioso y mitad seco. En los resultados se aprecian discordancias notables que –entre otras posibles razones– podrían ser atribuidas a ello.

Es por tanto, relevante, consolidar un plan de generación de series temporales largas de datos científicos obtenidos periódicamente, también registrados en estaciones fijas de control ambiental y biológico, que permitan identificar diferencias y similitudes entre periodos de sequía y lluvia, así como fluctuaciones temporales dentro de cada uno de ellos, definir valores extremos y, desde luego, identificar tendencias (para lo cual es fundamental obtener series largas de información), lo que tiene especial importancia en el seguimiento de las alteraciones físico-químicas y biológicas derivadas del calentamiento global, entre otros aspectos relevantes de carácter local. Todo ello, en íntima colaboración con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir respecto al control de caudales en el estuario en la presa de Alcalá del Río y de aguas arriba, así como del manejo de la presa (buena parte de la información aparece en la web) y también de la Consejería de Medio Ambiente de la junta de Andalucía, respecto a los controles analíticos físico-químicos y de vigilancia ambiental que tal institución implementa en el estuario.

El proyecto ha requerido del uso continuado de una embarcación adaptada para campañas de dragado, plancton, toma de muestras físico-químicas y de buceo científico, con la infraestructura de aparatos de medición y obtención de muestras adecuada. En ocasiones era auxiliada con una embarcación neumática ligera y también con embarcaciones deportivas del Club de Actividades Náuticas y Deportivas de Chipiona que ha ofrecido un apoyo logístico al proyecto encomiable. Las operaciones de buceo científico, especialmente de observación de fauna asociada a sustrato rocoso en aguas extremadamente turbias requirieron de localizadores submarinos (éstos funcionan con emisores y receptores de ultrasonidos, previa configuración a determinadas frecuencias), preceptivos para poder localizar en inmersión zonas exactas de muestreo elegidas para obtención periódica de datos (Fig. 2).

El proyecto, en su globalidad, ha incluido una fase biológica acuática, con especial énfasis en los compartimentos del plancton (US-UCA) y el bentos (US) -incluyendo experiencias de laboratorio en el Área de Investigación Biológica I+D+i del Acuario de Sevilla (US)- apoyada mediante cobertura analítica de parámetros físico-químicos (US; UHU), otra biológica terrestre (CSIC) y otra física, de sedimentología y sólidos en suspensión (UHU) y modelización hidrodinámica del estuario (UMA). Las instalaciones científicas necesarias para desarrollar la investigación experimental en laboratorio, son complejas, han sido diseñadas *ad hoc* y estrenadas como prototipos, lo que requirió de numerosas pruebas para perfeccionarlas y evaluar resistencias de elementos constituyentes, así como para corregir deficiencias de funcionamiento. Una muestra de imágenes de las

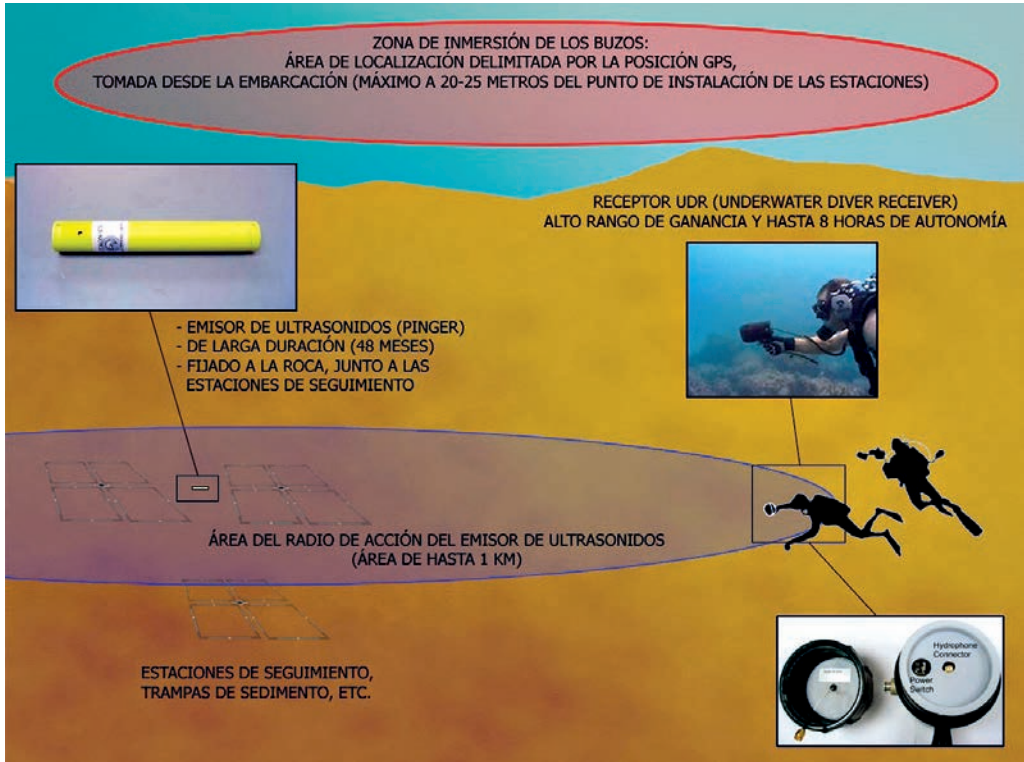


Figura 2: Localizador submarino y emisores de ultrasonidos utilizados en el proyecto para la localización de lugares específicos, en fondos rocosos de aguas extremadamente turbias.

especies identificadas y cuantificadas del bentos estuarino y marino, se expone en la Lámina 1.

Aunque los cinco subproyectos ya referidos tenían sus objetivos específicos, se convino mancomunadamente centrar una parte de las investigaciones en objetivos finalistas para contribuir, por ejemplo, a conocer mejor el complejo problema de la turbidez y su origen así como proponer medidas adecuadas para mitigarla (UHU, US y UCA), el efecto ambiental de los dragados de mantenimiento (US) y la reconsideración de la gestión de los vaciaderos terrestres (centrada en las aves tanto migratorias como residentes que vivieran en los márgenes del río) (CSIC), el alcance del posible impacto del vaciadero marino (US), el estudio ambiental del estuario de cara a satisfacer las necesidades de control y vigilancia ambiental de conformidad con lo preceptuado en el vigente Texto Refundido de la Ley de Aguas, que incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua) (US), y todo ello para contribuir al desarrollo de modelos hidrodinámicos predictivos -tanto barotrópico como baroclino- que están implementando actualmente científicos de la UMA. Estos modelos contribuirán en el futuro a un mejor manejo, uso y gestión del estuario.

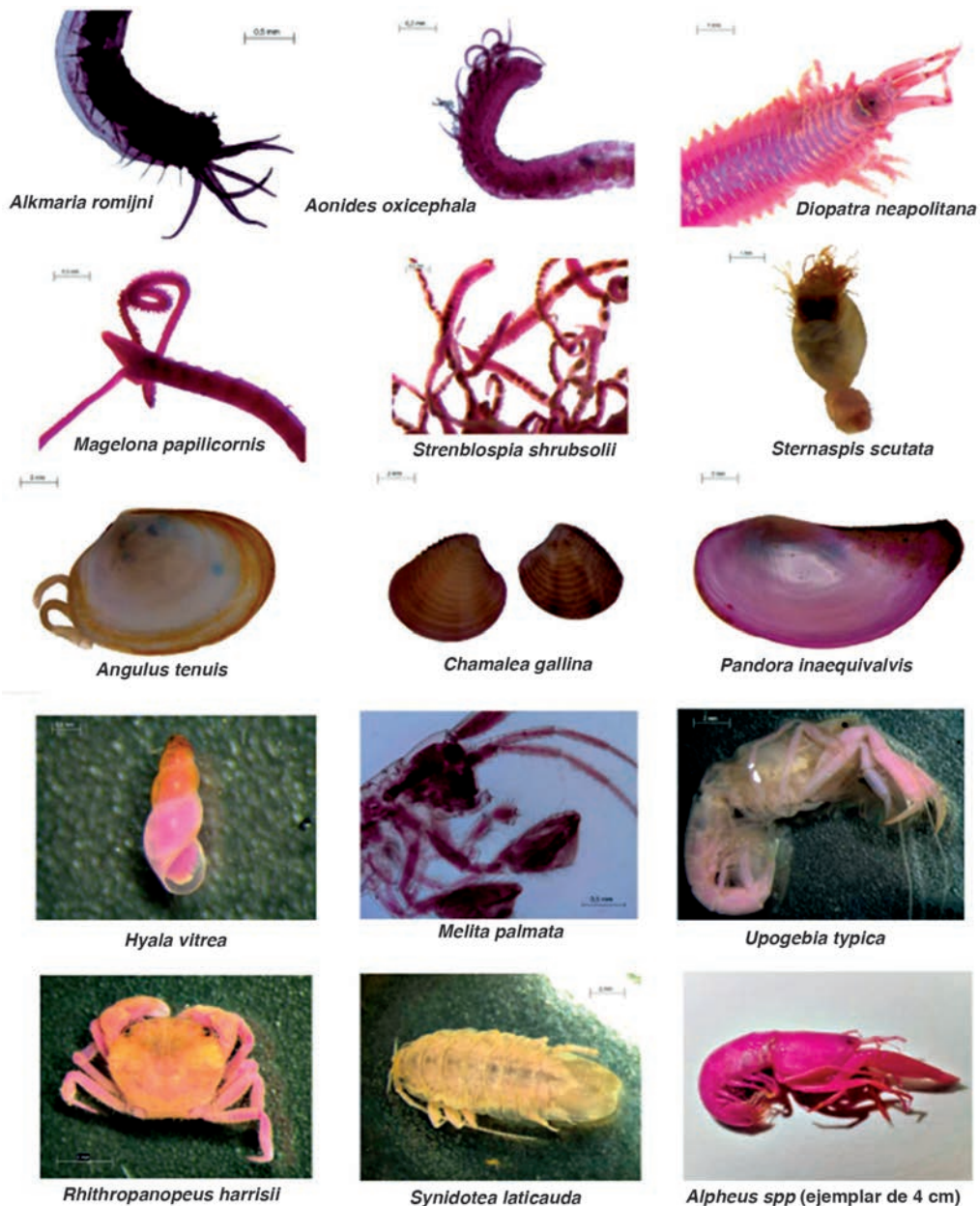


Lámina 1: Algunas especies bentónicas de Anélidos, Crustáceos y Moluscos del Estuario del río Guadalquivir. Las especies *Rhithropanopeus harrisi*, *Synidotea laticauda* y *Alpheus spp* no son nativas.

Entre los objetivos de la US se encontraba también difundir el conocimiento y la divulgación de la labor científica que se estaba desarrollando en el estuario y en el Área de Investigación Biológica I+D+i del Acuario de Sevilla, creada al albur del proyecto finalizado para iniciar una nueva línea de investigación experimental en ambientes controlados, con inclusión de una variante orientada a la biología de la conservación de especies protegidas, en este último caso, centradas en Moluscos Patéllidos no protegidos, preparatorias para aplicarlas en el futuro a la especie *Patella ferruginea*, en peligro crítico de extinción.

Ello ha permitido ejercer una intensa labor de divulgación científica en el Acuario de Sevilla, centrada en numerosos grupos de visitantes a quienes se les ha explicado la labor de investigación desarrollada en el Estuario del Guadalquivir y, además, la inherente a especies protegidas. En este último caso, se ha cubierto una faceta investigadora profesional que todo acuario público o privado debe hoy día mantener, entre otras razones para contribuir a mejorar el conocimiento sobre especies acuáticas amenazadas y también para mejorar las condiciones de vida en ambientes controlados de especies habituales en el sector de la Acuariología.

El proyecto ha requerido de la participación directa de científicos acreditados de las cinco instituciones mencionadas anteriormente y de titulados superiores cualificados



Instalaciones científicas del Área de Investigación Biológica I+D+i del Acuario de Sevilla. En ellas se han realizado labores de triado del material, identificación taxonómica y cuantificación de ejemplares, así como experiencias de tolerancia a la turbidez en ambientes controlados e investigaciones preliminares de biología de la conservación relacionadas con especies protegidas y otras afines, vinculadas al proyecto concernido en esta ponencia.

(incluyendo becarios y contratados), además del preceptivo personal técnico que ha participado en diferentes tipos de análisis físico-químicos. Con independencia de la elaboración de artículos científicos para su publicación en revistas especializadas, actualmente se encuentran en fase avanzada de ejecución varias tesis doctorales. Asimismo, el proyecto ha propiciado la realización de Trabajos de Fin de Grado y de Máster.

Adicionalmente, se han impartido conferencias y ponencias en foros especializados y en jornadas ambientales. Se ha participado en ruedas de prensa, así como concedido entrevistas a diferentes medios de comunicación. El reportaje más extenso ha sido grabado y emitido durante el mes de octubre de 2017, por Canal Sur TV (programa Tierra y Mar) (<https://youtu.be/lyyslBYE1l0>). En paralelo, se encuentra en fase de realización un vídeo detallado de todas las actividades de investigación desarrolladas.

Un resumen de los resultados obtenidos por los cinco equipos de investigación implicados de la US, UCA, UHU, UMA y CSIC, presentados a los medios de comunicación el 13 de junio de 2017, parte de los cuales serán expuestos en esta ponencia, se pueden consultar en la siguiente página web:

[http://portal.apsevilla.com/web\\_2015/documentacion/RESUMEN\\_RESULTADOS\\_ESTUDIOS\\_CIENTIFICOS\\_ESTUARIO\\_GUADALQUIVIR.pdf](http://portal.apsevilla.com/web_2015/documentacion/RESUMEN_RESULTADOS_ESTUDIOS_CIENTIFICOS_ESTUARIO_GUADALQUIVIR.pdf)





# Técnicas medioambientales en áreas marítimo-fluvial: aplicaciones prácticas en el Delta de l'Ebre y Delta del Llobregat

J. Galofré <sup>1</sup>, M. Roset <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Servicio de Costas de Tarragona. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar. MAPAMA, jgalofre@mapama.es.

<sup>2</sup> FCC Construcción, S.A. mrosetr@fcc.es.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En las últimas décadas se han realizado diferentes actuaciones medioambientales en la zona noreste, costera y deltaica del Mar Mediterráneo. Esta ponencia se centrará en los deltas de l'Ebre y del Llobregat, en la cuenca baja del río. Los trabajos afectan a áreas de inter-fase, en las mismas las dinámicas marinas y fluvial se interconectan erosionando las márgenes en la cuenca baja del río. Estas áreas están comprendidas dentro del dominio público marítimo-fluvial y zonas de servidumbre que requieren ser incorporadas como lugares de interés natural.

El objetivo de estas actuaciones incluye aspectos relativos a la protección como consecuencia de los impactos de las corrientes fluviales y la navegación, acceso u uso de las mismas y mejora medioambiental del entorno. Para implantar específicamente estas acciones es necesario tener en cuenta:

- Adaptación de las márgenes para aguantar las acciones físicas, las corrientes del río y el oleaje producido por las embarcaciones a que están sometidas en esta estrecha franja marítimo-fluvial. Diferentes alternativas de protección y defensa se analizarán a fin de garantizar la estabilidad de las márgenes.
- Facilitar el acceso y el uso de esta zona mediante la creación de rutas verdes a lo largo del río.
- Recuperación medioambiental de la zona incorporando las servidumbres legales y áreas contiguas en el paisaje natural que las mismas representan, incluyendo la creación de rutas verdes para recrear la vegetación de marjales incorporando especies

propias de la vegetación fluvial. Para conseguir este objetivo es necesario la creación de un bosque de ribera con anchura suficiente para su desarrollo, de 20 a 30 metros. Su función principal es la de protección de los márgenes, así como la formación y desarrollo de un ecosistema de flora y fauna en el tramo final del río, y garantizar el acceso así como el uso y disfrute de estas zonas en la parte baja de los ríos enclavadas en zonas deltaicas, incluidas en áreas de protección medioambiental.

## DELTA DE L'EBRE Y LLOBREGAT

El Delta del Ebro está localizado en la costa mediterránea española a unos 200 km. al sur de Barcelona. La superficie del delta emergido es de unos 325 km<sup>2</sup> con un 50% de su superficie emergida por debajo de la cota +0.5 sobre el nivel medio del mar. La plana deltaica está protegida por una costa arenosa con una longitud de costa de unos 50 km. (figura 1), la cual actúa a modo de dique dinámico que impide su inundación. La acción antrópica en la cuenca del Ebro, donde aproximadamente el 96% de la cuenca está regulada por embalses, ha provocado la disminución de la descarga sólida del río, especialmente en su fracción más gruesa. Como consecuencia de ello el delta se ha vuelto más vulnerable a la dinámica marina y está sometido a intensos fenómenos de remodelación de la línea costera, especialmente desde los años 60. La combinación de una morfología de playa muy baja con comportamientos erosivos a largo plazo de grandes tramos de costa determina que el delta sea altamente sensible a la inundación de origen marino. Para analizar todos estos fenómenos conjuntamente se realizó el "Estudio

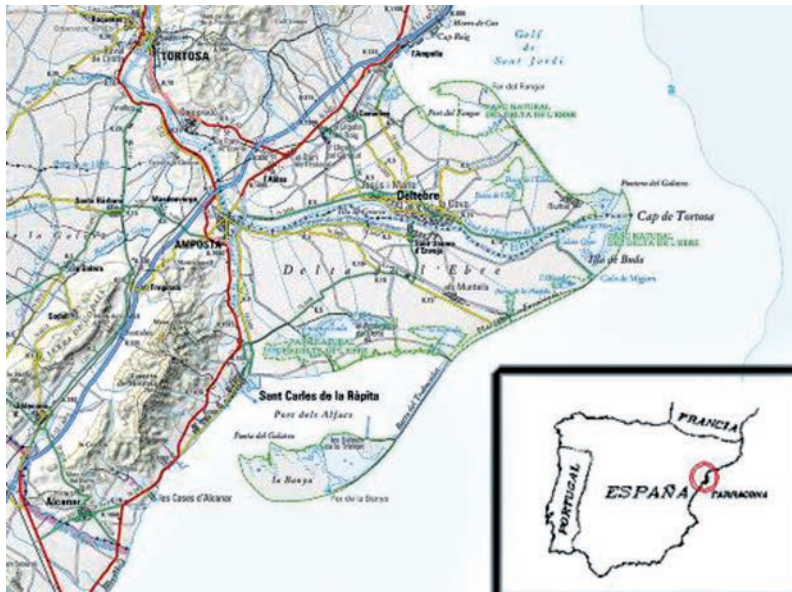


Figura 1: Mapa de la zona.

y análisis de alternativas de actuación y gestión del frente costero, desembocadura y cauce inferior del delta del Ebro" (Instituto de Hidráulica Ambiental, IH Cantabria, UC-Laboratorio de Ingeniería Marítima, UPC).

El delta del Llobregat tiene una superficie aproximada de 95 km<sup>2</sup> con una longitud de costa de 23 km, 18 de los cuales se extienden hacia el Sur de la actual desembocadura. Es sobre este delta donde se plantean las obras de desvío del cauce del Llobregat, afectando sus últimos 3.500 m antes de la desembocadura, figura 2.

El sistema deltaico constituye una unidad estructural donde confluyen las aportaciones del río y los procesos sedimentarios de la cuenca receptora marina. Este sistema genera dos grandes unidades que son el soporte de un importante conjunto de ecosistemas. La riqueza en la disponibilidad de importantes recursos hídricos superficiales y subterráneos y los aportes de tierras fértiles son el origen de una ocupación temprana del delta.

Actualmente, el delta del Llobregat constituye uno de los territorios más densamente poblados en España. Su proximidad a la ciudad de Barcelona y la disponibilidad de terrenos llanos donde urbanizar y asentar grandes infraestructuras han convertido el delta en una zona de relevante actividad económica y, a la vez, han relegado sus valiosos ecosistemas a unas pocas zonas alrededor de la franja litoral y del propio cauce del río. Durante los años 2001-2005 se efectuaron las obras de desvío del río Llobregat que sirvieron además, como medida compensatoria, una restitución medioambiental de la zona.

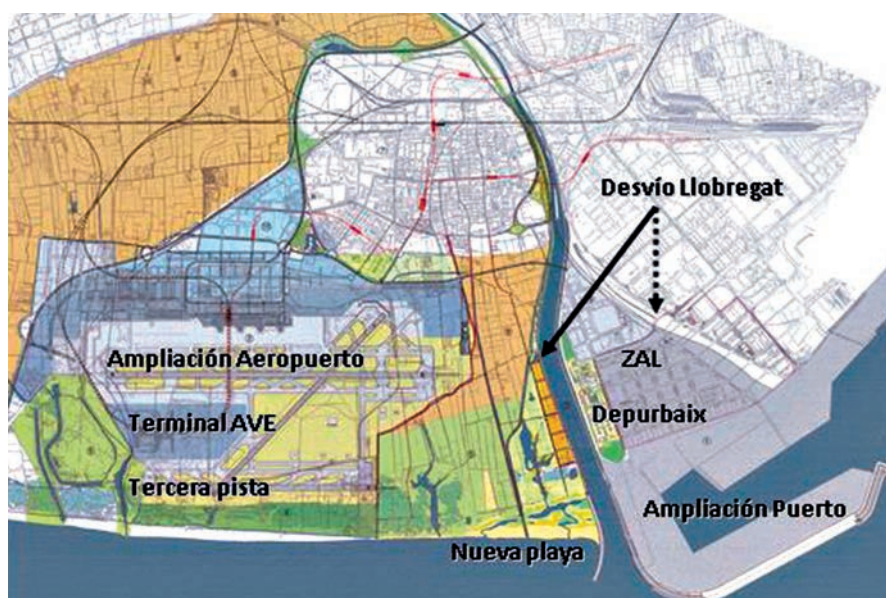


Figura 2: Marco geográfico de la obra del desvío del río Llobregat y su entorno.

## DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Para el análisis de la problemática nos centraremos en los tramos fluviales de esta zona y las actuaciones que en ellas se han ejecutado. Las actuaciones que se analizan son la respuesta a una problemática que debe de considerarse desde su origen, causas, y las estrategias a seguir para su mitigación y elaborar un plan de gestión a fin de poderlas ejecutar y garantizar su funcionalidad. La problemática y sus consecuencias debe abordarse desde un punto de vista racional y medioambiental para dar respuesta a la demanda social y ecológica existente, ver tabla 1.

Problemática	Gestión de la problemática
<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosión de las márgenes debido a las acciones físicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptación, protección, fijación y consolidación de las mismas; así como regulación de la navegación fluvial y avenidas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dificultades para el acceso y el uso de esta zona.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acciones encaminadas a facilitar el uso público de esta zona, incluyendo la incorporación de terrenos al d.p.m.t.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Deterioro medioambiental de la zona.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acciones de protección Medioambiental.</li> </ul>

Tabla 1: Problemática-gestión de la problemática relativa a las márgenes fluviales deltaicas.

De la tabla anterior se desprende que la protección y consolidación de las márgenes fluviales, la regulación de la navegación fluvial (delta del Ebro) y las avenidas, el facilitar el uso público de esta zona incluyendo la incorporación de terrenos al dominio público marítimo-terrestre y las medidas de protección medioambiental, son las técnicas a utilizar para abordar y solventar la problemática descrita.

Los organismos competentes en la navegación fluvial y avenidas deben de tomar las medidas oportunas a fin de que dichas acciones incidan lo menos posible en la estabilidad de las márgenes.

Las actuaciones se realizan en terrenos que están comprendidos en la servidumbre de tránsito, en todo caso, y en algunos en la de protección. Se trata de terrenos de titularidad privada. Deben realizarse las gestiones oportunas a fin de que dichos terrenos se incorporen al dominio público marítimo-terrestre. Esto lleva acarreada la colaboración de los Ayuntamientos a fin de que faciliten los mismos para dicho fin.

Las medidas de protección medioambiental necesitan de técnicas de gestión basadas en figuras de protección del territorio que en el caso que nos ocupa son: Parque Natural,

PEIN, LIC, Red Natura 2000 y zona RASMAR en el delta del Ebro y Reservas Naturales, ZEPA y PEIN, en el delta del Llobregat. Deberán de efectuarse las transformaciones ecológicas necesarias para garantizar el completo desarrollo medioambiental de estas áreas.

En este campo de las obras de defensa, sólo últimamente se han desarrollado métodos alternativos a los tradicionales basados en gaviones, escollera o mantos de rip-rap.

En los años ochenta y sobre todo los noventa del siglo pasado, el avance en el estudio de protección de márgenes con vegetación y en concreto con mantos de pasto ha sido espectacular. Se ha estudiado el comportamiento frente a acciones hidráulicas de especies diferentes de pasto, crecidas en distintas calidades de substrato. Gracias a ello, hoy conocemos razonablemente bien las relaciones existentes entre resistencia, desarrollo y carga hidráulica que pueden soportar distintas especies de plantas.

En concreto, hoy se puede afirmar que para velocidades tangenciales de agua inferiores a 2 m/s no existe erosión en márgenes protegidas por mantos de pasto bien desarrollado.

No obstante, merece la pena extenderse algo más en esto para intentar comprender mejor la tipología de protección: El *turf* y el *sward*. La misma se basa exclusivamente en la resistencia de las plantaciones frente a corrientes y oleajes, que es cómo se comportan las márgenes sin la acción antrópica.

La parte aérea de la planta (*sward*) soporta la corriente durante un tiempo limitado. Es el conjunto suelo más raíces (*turf*) el que aguanta largos periodos. La corriente va erosionando progresiva y uniformemente el *turf* hasta que alcanza el estrato de suelo no trabado por las raíces. Es entonces cuando se producen erosiones concentradas en la margen, que se manifiestan en forma de agujeros erráticos en la superficie, con erosiones locales importantes.

La comprensión de este fenómeno ha sido quizá el avance conceptual más importante en este campo, ya que los primeros modelos atribuían al *sward* la resistencia del manto (resistencia de la planta a ser arrancada). El comportamiento físico del *turf* difiere de aquel del suelo original y su formación se prolonga durante años. Es una estructura de pequeños agregados laminares de arcilla unidos por material viscoso y raíces. El material viscoso es resultado de la acción de gusanos, larvas y fauna microscópica en general y, sobre todo, resultado del proceso nutrición-penetración de humedad de las propias raíces. Estructuralmente, el *turf* no se desmorona con la saturación sino que se vuelve blando, pudiendo ser dañado con facilidad por simples pisadas, por ejemplo. En definitiva puede afirmarse que la capacidad de un manto de pasto para proteger contra la erosión una margen depende del grado de desarrollo y calidad de su *turf*.



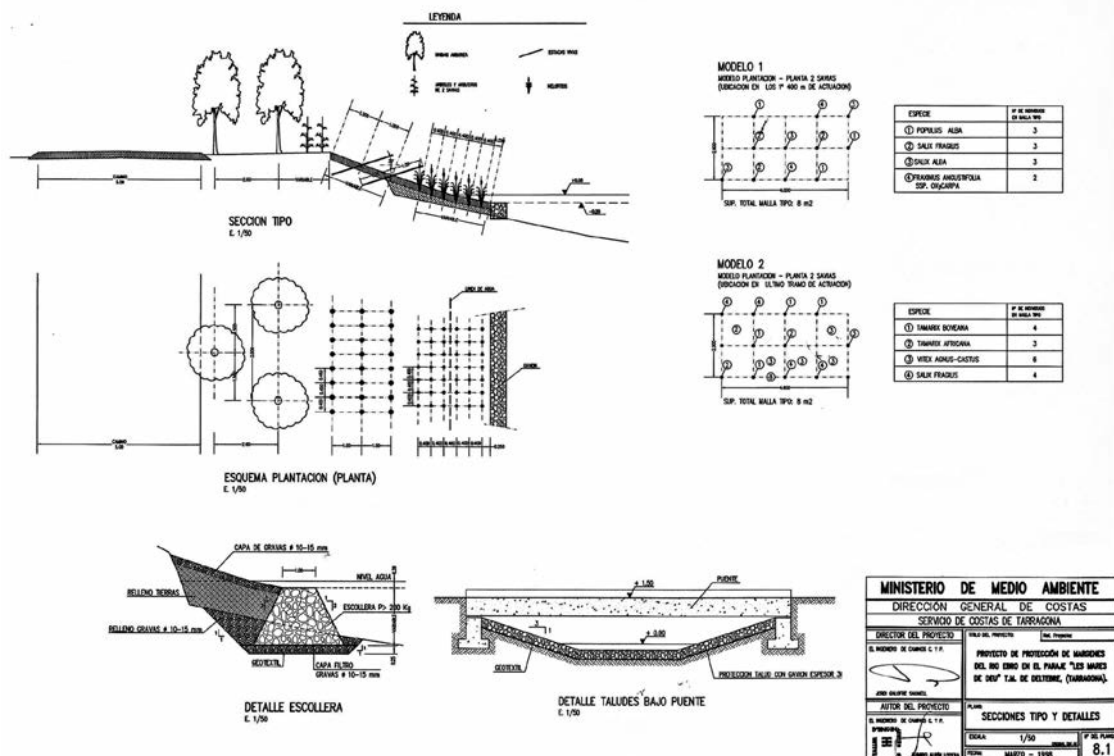


Figura 4: Detalle protección de márgenes mediante talud de gravas y base de apoyo.

Con carácter general la velocidad tangencial es  $< 2$  m/s y el oleaje a que están sometidas las márgenes debido a la navegación fluvial es de baja intensidad la protección de las márgenes mediante vegetación será suficiente. En caso contrario será preciso reforzar las mismas, en el talud o pie de talud, empleando técnicas de protección que eviten la erosión generada por el oleaje de las embarcaciones. En zonas donde la erosión es importante y en zonas urbanas, donde la protección del margen incide gravemente sobre las actividades que se desarrollan, debe estudiarse la protección más detalladamente. En las figuras 3 y 4 se muestran diferentes soluciones para proteger la margen en función de la erosión a que están sometidas. A continuación se expondrán como se ha abordado la problemática y su solución para ambos casos.

En la actuación del Paseo Fluvial de Deltebre, para el análisis de la problemática se analizó mediante métodos geotécnicos. En este tramo el perfil del terreno estaba formado por una zona de relleno entre la Cota 0 y la +2m, a continuación entre la Cota 0 y la -5m eran arcillas blandas y a partir de la -5 hasta la -12 arenas limosas.



**Deltebre, P.K. 1+240 (S.2)**  
**Tablestacado de 8 m a cota -0,5**

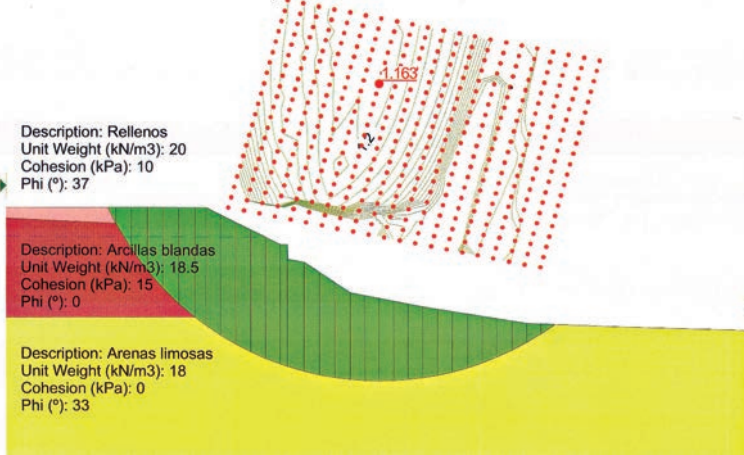


Figura 5: Esquema de funcionamiento del círculo de deslizamiento.

En las zonas cerca de la orilla, pueden estar sometidas a riesgos debido a la aparición de círculos de rotura en el terreno que afectarían gravemente a la funcionalidad de la actuación, ver figura 5.

La solución que se propuso fue estabilizar el círculo de rotura mediante pilotes de madera que lo estabilizaran, ya que lo sobrepasan, y proteger las márgenes con bloques aligerados y huecos de hormigón articulados. En los intersticios se ha revegetado las mismas.

En el caso del delta del Llobregat se ha propuesto proteger las márgenes mediante coberturas de pasto, con un pie de escollera. El manto de pasto, en este caso dado la dinámica actuante, necesita ayuda externa para poder cumplir su misión, al menos durante los dos o tres primeros años, ya que hasta esa edad no se encuentra totalmente desarrollado. Además existen casos en los que –aún con el manto desarrollado completamente– las tensiones de arrastre sean demasiado grandes para confiar sólo en el *turf* natural.

Varias son las posibilidades, todas ellas basadas en un principio: el producto lo que hace es conseguir al final que el *turf* resultante sea más denso, profundo y eficaz una vez desarrollado y que durante el periodo transitorio para su desarrollo (los citados dos o tres años) proporcione cierta resistencia inicial a la erosión.

En primer lugar se trata por tanto de determinar si será necesario sólo un refuerzo en las etapas iniciales de crecimiento o si por el contrario dicho refuerzo ha de ser permanente. Esto es importante porque si la necesidad de protección es sólo temporal pueden

usarse materiales biodegradables, mientras que si la necesidad es permanente deben usarse materiales sintéticos o una combinación de sintéticos y biodegradables.

En general puede afirmarse:

- Los productos sintéticos son más resistentes y duraderos y por tanto más adecuados para tensiones de arrastre elevadas donde el manto no sea capaz de impedir la erosión por sí solo.
- Los productos biodegradables son más respetuosos e incorporan un valor añadido medioambiental superior. Son más indicados en obras provisionales o en obras definitivas con cargas erosionantes resistibles por un turf desarrollado.
- Los geocompuestos mixtos, formados por fibras naturales reforzadas con fibras sintéticas suponen una solución de compromiso entre las anteriores.

En las obras del Llobregat se instalaron 18.200 m<sup>2</sup> de la geomalla de alta resistencia C-350 de North American Green antes citada. Los estudios de longevidad han demostrado que la estructura permanente de la geomalla C350, mantiene prácticamente la totalidad de sus propiedades físicas: la tensión tangencial admisible, resistencia a la tracción y todas aquellas propiedades de la triple malla de polipropileno, habiendo substituido la matriz de coco por una capa orgánica de sistema radicular y componente edáfica. Como complemento de la geomalla anterior, fue preciso emplear 420 unidades

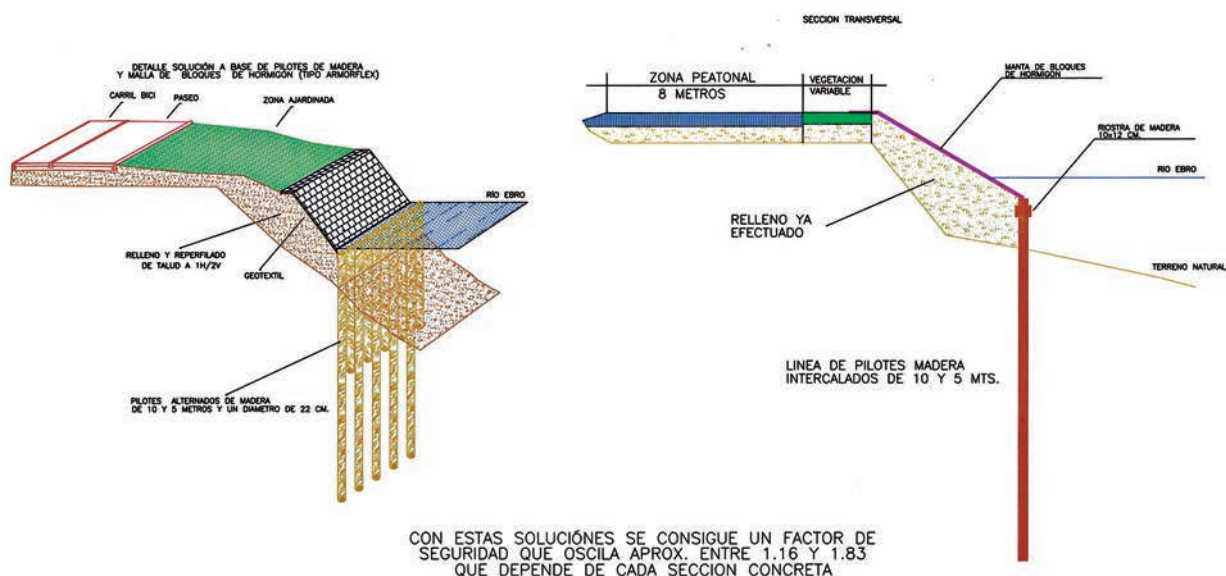


Figura 6: Solución técnica de protección de márgenes mediante tablestacado.

de carrizales estructurados en fibra de la marca Plant Ballet. El herbazal es monoespecífico estructurado en fibra de coco y vegetado habitualmente con enea (*Typha* sp.) o carrizo (*Phragmites australis*), mientras que los materiales que forman la geomalla son matriz de fibra de coco, red estructural exterior de fibra de coco de 3 cm de malla y 0,5 cm de diámetro. En puntos localizados se recurrió al empleo de gaviones flexibles Rock Roll como alternativa al gavión clásico de tela metálica.

## CONCLUSIONES

Las alternativas técnicas relativas a la estrategia de protección en las márgenes del río, considerando los aspectos medioambientales, incluyen la estabilidad y la protección. En este artículo se han analizado, para los deltas del Ebro y Llobregat:

- Pilotes de madera para garantizar de la estabilidad de los taludes, ver figura 6.
- Manta de bloques de hormigón para áreas a erosiones extremos, ver figura 7.
- La protección con fibras sintéticas de márgenes son más resistentes y duraderas, los aspectos de impacto ambiental que deben de ser considerados.
- La protección con fibras biodegradable y geo-compuestos mixtos, con fibras naturales, son más compatibles con el entorno medioambiental, ver figura 8.
- Se ha analizado las funciones del “sward” y “turf” áreas serán analizadas para garantizar la protección de las márgenes de los ataques de las corrientes fluviales y el oleaje de la navegación, aplicado a los deltas de L’Ebre y Llobregat, en la cuenca baja del río.
- La estabilidad del talud y la manta de protección superficial en las márgenes son los aspectos más importantes a considerar teniendo en cuenta los aspectos medioambientales.



Figura 7: Manta de bloque de hormigón en el Delta de L’Ebre, en la márgenes del río.



Figura 8: Manta biodegradable y geocompuestos en el delta del Llobregat, zona baja del río.

## BIBLIOGRAFÍA

- Consortio Plan Integral del Delta del Ebro, 2003. *Asesoría técnica medioambiental al proyecto de camino fluvial desde la margen izquierda del río Ebro desde Tortosa hasta la desembocadura (Baix Ebre)*, Taller de Ingeniería Ambiental.
- Galofré, J., Montoya, F.J., Ruiz, M. y Rojo, J., 2007. *Actuaciones en las márgenes del río Ebro: técnicas, gestión y mejoras medioambientales*. IX Jornadas Españolas de Costas y Puertos, San Sebastián
- Juez, S., Roset, M. y Ainchil, J., 2006. *Encauzamiento de cauces fluviales mediante geosintéticos de revestimientos sembrados*. III Congreso de Ingeniería Civil y Medio Ambiente, CICCIP.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012. *Estudio y análisis de alternativas de actuación y gestión del frente costero, desembocadura y cauce inferior del delta del Ebro*, LIM-IH Cantabria.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2003. *Estudio de estabilidad de taludes para la protección de la margen izquierda mediante tablestacado de madera en Deltebre*. Tarra-gona, G.I.A. SL.
- Peñuelas, G. y Loran, G., 2002. *El desvío del cauce del río Llobregat: una obra de ingeniería medioambiental*. I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Madrid.



## Los pequeños salientes costeros y su diseño formal con el paisaje

Ana María Castañeda Fraile <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jefe del Servicio de Proyectos y Obras. Demarcación de Costas en Cataluña. Ministerio para la Transición Ecológica. acastaneda@mapama.es - amcfraille@gmail.com.

### INTRODUCCIÓN

“A los efectos del presente Convenio: a) por ‘paisaje’ se entenderá cualquier parte del territorio tal y como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos” (**Convenio Europeo del Paisaje**; Florencia, 20 de octubre de 2000. Capítulo I “Disposiciones Generales”. Artículo 1º “Definiciones”).

**El paisaje es un producto de la cultura** en un doble sentido. Por un lado cada sociedad ha dado forma a su paisaje labrándolo, construyéndolo y conservando sus recursos naturales, todo ello motivado por sus necesidades y por su nivel de conocimiento. Por otro lado, la forma en la que una sociedad percibe su entorno físico viene determinada por la propia cultura de esa sociedad, ya que el paisaje no es otra cosa que la percepción que tenemos de nuestro territorio, una percepción de corte sensual y artístico matizada por nuestra cultura, nuestras experiencias y nuestras expectativas individuales.

Los mitos de **la antigüedad** que hacen referencia a la naturaleza o al territorio suelen poseer también un **sentido “utilitario”**, y la mención de ríos, montes, árboles y otros elementos de la naturaleza no puede ser interpretada en la actualidad como signos poéticos de una reverencia contemplativa o de una delectación desinteresada, sino como emblemas ritualizadores que les permitían a los antiguos hacer frente a necesidades primarias, tal y como explican los antropólogos.

Para poder acceder en **la cultura occidental** al concepto de “paisaje” ha sido necesario superar la idea de utilidad realizando un giro conceptual hasta fijar la atención sobre

la **observación placentera**, sobre la **delectación de los sentidos**, tal y como se hace con la percepción de una obra de arte.

El paisaje es un **fenómeno tardío de la civilización** más tardío aún para la filosofía. Es uno de los más tardíos logros del refinamiento de las culturas humanas. Los animales habitan el paisaje y lo van alterando de alguna manera y en alguna medida, pero son incapaces de percibir el espacio físico y geográfico del paisaje como algo bello, estético y hermoso. El mismo ser humano tardó mucho en descubrir que su vida giraba en torno al paisaje al realizar diversas actividades sobre él, al vivir en él.

Cuando de un territorio o de un paraje predicamos que es un paisaje, es porque lo estamos contemplando con ojos estéticos, porque estamos en disposición de disfrutar con el mero acto de su contemplación, por tanto, **el paisaje** no es algo que está en el territorio o en la naturaleza, que en sí mismos no son ni bellos ni feos, sino que **se encuentra en la mirada de quien contempla** con ánimo de disfrutar de la contemplación.

En un principio existía la naturaleza prácticamente intocada, original, con una acción humana muy limitada. Esta proporción se ha modificado sustancialmente con la evolución de las diferentes sociedades y culturas sobre la superficie de la tierra, alcanzándose el grado de que hoy apenas existe ningún sitio que no esté bajo alguna forma de acción o influencia del hombre.



Figura 1: Distintos niveles de intensidad de la acción humana: un paisaje de Marruecos y una imagen de Tokio.



Figura 2: Algunos ejemplos de pequeños salientes costeros naturales.

Más de la mitad de la población mundial vive en la costa. El hombre ha transformado sustancialmente grandes extensiones litorales con la construcción de ciudades, puertos, industrias, infraestructuras hosteleras y con la modificación de playas. A pesar de ello, es relativamente sencillo **acercarse al mar y descubrir paisajes** que nos evoquen la cara más salvaje y pura de la naturaleza. Agrestes acantilados, amables playas, singulares arcos y farallones, rompientes, cromática vegetación, grandes espacios, pequeños detalles y abstracciones aguardan al observador que busque inspiración junto al mar.

## LAS PRIMERAS INTERVENCIONES DEL HOMBRE EN EL LITORAL

Desde que el hombre existe como tal, viene dejando un sedimento resistente sobre el paisaje. Nuestra pregunta es: ¿cuál es la huella que deja el hombre en el paisaje?

Los puertos antiguos son las primeras instalaciones portuarias aparecidas con el desarrollo de la navegación. Están documentados entre los griegos y los romanos, pero también entre los púnicos, los minoicos o el antiguo Egipto.

Dentro del mundo griego, **el puerto de El Pireo** constaba de tres bahías naturales aisladas, y se conectaba con la ciudad de Atenas por una carretera protegida por los Muros Largos, una doble muralla de unos 10 km de longitud.

Éste es un ejemplo de la búsqueda de espacios naturalmente protegidos frente a temporales para establecer de manera simple una zona portuaria tranquila.

En la época romana, el río Ebro era navegable y **el puerto de Caesaraugusta**, la actual Zaragoza, se consideraba el tercero más importante en Hispania, tras el de Logroño y el de Dertosa (Tortosa). El puerto se construyó en el siglo I de nuestra era y fue abandonado a mediados del siglo VI d. C.



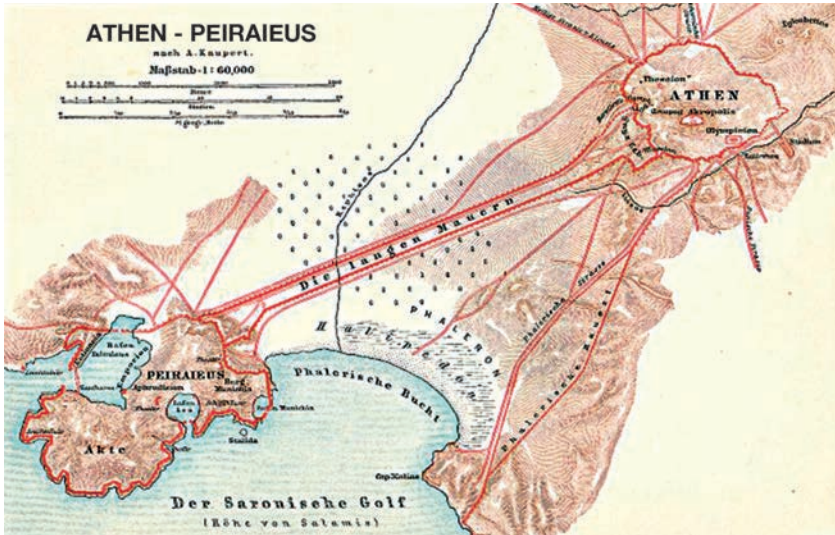


Figura 3: Plano de El Pireo y Atenas.

En ese caso, la protección natural la aportaba el establecimiento del puerto en el interior, en un río.

El **puerto de Sevilla** es un puerto marítimo de interior situado en el estuario del Guadalquivir. Los fenicios implantaron el primer fondeadero, situado entre el actual Alcázar y la Iglesia del Salvador, y en el que se intercambiaban metales preciosos. Los romanos se establecieron en el siglo II a. C. en Hispalis, que se convirtió en un importante puerto fluvial.



Figura 4: Caesaraugusta sobre plano moderno de la ciudad de Zaragoza:

1. Decumano (actuales calles Mayor, Espoz y Mina y Manifestación)
2. Cardo (actual calle Don Jaime I).
3. Foro de Caesaraugusta.
4. Puerto fluvial.
5. Termas públicas.
6. Teatro.
7. Muralla.

## EL DESCUBRIMIENTO DEL PAISAJE COSTERO

Las playas comenzaron a ser sublimadas gracias a diversas razones:

- La progresiva percepción de los beneficios del mar para la salud humana.
- La aceptación de las bondades terapéuticas del ejercicio en un mar frío y con oleaje (siglo XVIII). Los usos de las riberas del mar comenzaron a cambiar cuando se pusieron de moda los baños de mar.
- Su consideración como lugares de ocio y relación ligados al veraneo (finales del s. XIX).

Todas estas cuestiones médicas y sociales animan el nacimiento de numerosas **Casas para Baños de Ola** que se crean con la firme convicción en el poder curativo del “baño de impresión” y son producto de los nuevos usos sociales de la burguesía, la extensión de la civilización industrial y el desarrollo de los ferrocarriles. La palabra turista -del inglés “tour”- nace en ese momento y entre 1840 y 1860 comienzan a publicarse las primeras guías. Al principio sólo los más adinerados pueden viajar para practicar el “**grand tour**”, pero el ferrocarril pone estos lujos al alcance de la clase media y desde 1890 los primeros automóviles extienden las posibilidades del viaje.

Desde principios del siglo XIX se construyeron **estaciones balnearias**, como el diseño de balneario de aguas tranquilas en Marsella que podemos ver en la figura 5.

Poco a poco va precisándose y coloreándose el retrato de la playa ideal. La aparición de **lo pintoresco** induce a los médicos a cantar las virtudes de los “magníficos paisajes marinos”. La sensibilidad ante la estética marina aumenta, y es significativo, a este respecto, que en las estaciones balnearias se tiene buen cuidado de que las nuevas viviendas tengan vistas al mar.

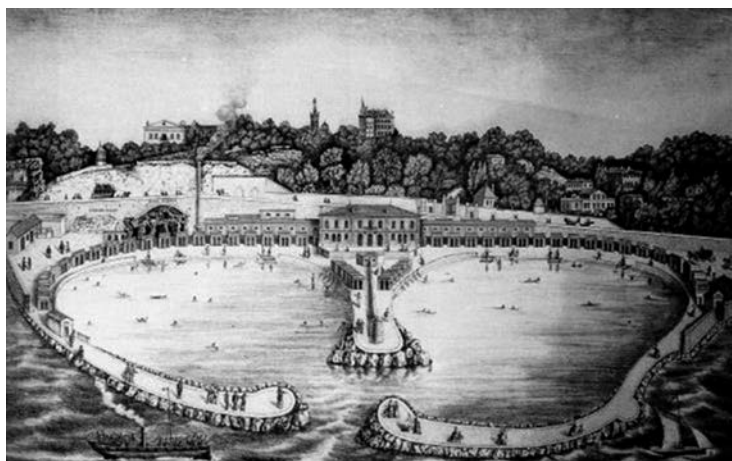


Figura 5: Diseño de Balneario de aguas tranquilas en Marsella.

El viaje está asociado al origen del concepto de paisaje, un concepto acuñado por los viajeros románticos de los siglos XVIII y XIX. En el siglo XX las mejoras en los medios de transporte permitieron que más gente pudiera acceder a un mayor y más variado número de paisajes.

Los nuevos y más rápidos medios de transporte atraen a las multitudes a las playas buscando un ocio que exige no caer en el aburrimiento. Son los nuevos usos de las riberas del mar, que modifican a gran escala el paisaje costero. Pero esta llegada de las multitudes a las playas nos plantea tensiones en los usos de la costa.

En la costa española la tendencia de crecimiento del frente costero mira hacia el mar, adentrándose en él. La demanda de más superficie de playa obliga a recurrir a menudo a los **pequeños salientes costeros**, lo cual es tremendamente peligroso y en ocasiones “contra natura”, ya que a veces nos obsesionamos en crear playas donde nunca existieron ni deberían existir.

## EL MÉTODO DE PROYECTACIÓN CON EL PAISAJE

En un espacio con tantas tensiones, como es el costero, no debemos olvidar que su mayor valor es que es **la frontera de lo humano con lo natural** y su atractivo es justamente la parte natural. **Encontrar un diálogo amable** entre la artificialidad de la obra del hombre con la belleza de la naturaleza ha sido el principal objetivo de la Tesis Doctoral “**El Paisaje y los pequeños salientes costeros**”, dirigida por D. Raúl Medina Santamaría y presentada en la Universidad de Cantabria en 2009. Y ese objetivo debería serlo para cualquier proyectista que respete el paisaje del que va a formar parte su obra.

El **Método de Proyección con el Paisaje** emplea el Paisaje como herramienta de diseño de los pequeños salientes costeros. Sus puntos son:

- 1 Conocer el territorio a gran y media escala.
- 2 Reconocer los elementos característicos del paisaje.
- 3 Buscar los puntos de vista.
- 4 Recoger información desde los puntos de vista.
- 5 Buscar el “genius loci”, el espíritu del lugar.
- 6 Encontrar el mensaje a transmitir.
- 7 Dibujar nuestra propuesta plástica.
- 8 Definir los detalles finales.

### 1. Conocer el territorio a gran y media escala

En este primer punto debemos prestar atención a las dimensiones del paisaje observado, para así tener clara la escala de nuestra intervención sobre el escenario de fondo. Tam-

bién debemos identificar las piezas que percibimos en el paisaje costero que analizamos, definir los límites actuales, investigar en la historia los límites pasados, percibir las tensiones, buscar, reconocer,... Para este análisis del territorio a gran y media escala nos serán de gran ayuda las fotografías aéreas.

## 2. Reconocer los elementos característicos del paisaje

Del análisis de la gran y media escalas debemos extraer el conocimiento que nos permita detectar especialmente la legibilidad del territorio, y lo haremos a través de la búsqueda de los elementos identificativos y descriptivos del lugar.

## 3. Buscar los puntos de vista

En este paso seleccionaremos los puntos de vista que mejor pueden ayudarnos en la lectura del territorio y el análisis de la visibilidad.

## 4. Recoger información desde los puntos de vista

Una vez planteados los puntos de vista a examinar, nos situamos sobre el terreno para tomar fotografías y anotar lo que percibimos. Si estando sobre el terreno descubrimos perspectivas con las que no habíamos contado, podemos añadirlas.

Hasta ahora, en los 4 primeros pasos del Método de Proyección con el Paisaje hemos tomado notas del territorio de manera objetiva y sistemática, descendiendo desde la gran escala hasta la toma de contacto del paseante con el terreno en la pequeña escala.

En los siguientes 4 pasos del Método nos introducimos en temas más subjetivos y personales, los que harán que nuestra creación sea fruto de lo que percibimos en el paisaje y de lo que este paisaje nos transmite.

## 5. Buscar el “Genius loci”, el espíritu del lugar

Para encontrar el “Genius loci”, el espíritu del lugar, tendremos presentes todas las notas tomadas sobre el lugar; incluso será preciso ir repetidas veces y en diferentes circunstancias para impregnarse del lugar y sentirlo, interiorizarlo. Se trata, como hemos dicho, de una experiencia subjetiva, pero es “nuestra” experiencia la que queremos plasmar en nuestra propuesta plástica.

## 6. Encontrar el mensaje a transmitir

A partir de la definición del espíritu del lugar, que implica que hemos interiorizado el paisaje en estudio, nos planteamos cuál ha de ser nuestra actitud hacia ese entorno: debemos tomar posición y definir nuestra postura de intervención, encontrar el mensaje a transmitir.

Plantaremos una propuesta que trate de recoger lo más significativo del entorno y lo utilice para formalizar una solución que dialogue amablemente con el paisaje del que va a formar parte.

## 7. Dibujar nuestra propuesta plástica

Daremos forma material a la idea proyectual (el mensaje) recogiendo lo trabajado hasta aquí sobre el lugar y sirviéndonos de los instrumentos de nuestra caja de herramientas de proyectistas.

## 8. Definir los detalles finales

En este último punto del Método de Proyección con el Paisaje entramos en los detalles de las secciones, materiales, proceso constructivo,...

## ALGUNOS EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PROYECCIÓN CON EL PAISAJE

**La playa de la Barceloneta, en Barcelona,** es una playa urbana con gran presión de usos y sometida a episodios de temporales muy dañinos. La solución de estabilización de la playa mediante la construcción del dique exento no resultó definitiva y la arena migraba hacia poniente.

Después de analizar varias soluciones alternativas, se opta finalmente por interrumpir el transporte litoral construyendo un dique que se una al dique exento existente y conformen ambos un dique en T.

**El sistema de playas de La Magdalena-Los Peligros, en Santander,** se sitúa en la bocana de la Bahía de Santander y junto al estuario de la ría de Cubas, desembocadura del río Miera. A lo largo de la historia la zona de la actuación ha cambiado significativamente, hasta alcanzar en la actualidad una situación de inestabilidad que requiere de constantes operaciones de mantenimiento y reubicación de la arena para conseguir anchos de playa aceptables.

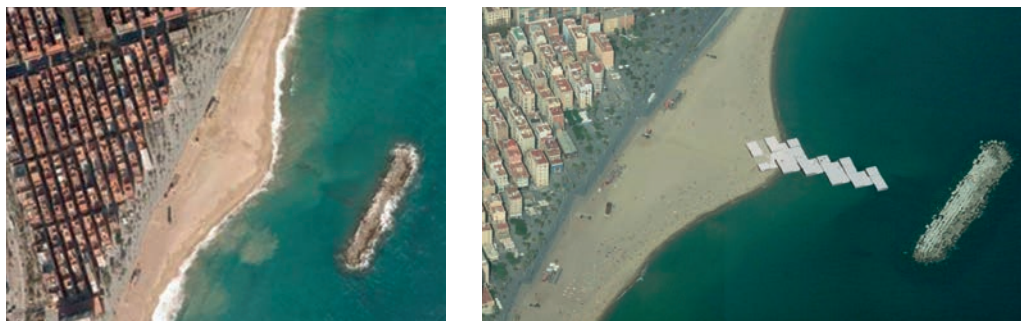


Figura 6: Estado inicial y propuesta de actuación.

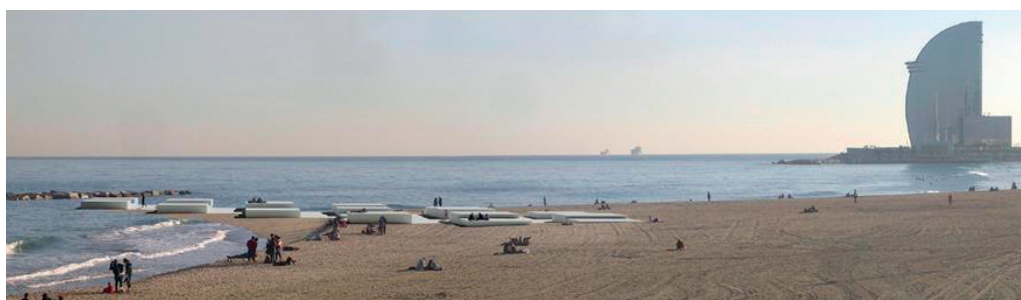


Figura 7: Detalle del nuevo dique.

El “Proyecto de Estabilización del Sistema de playas Magdalena-Peligros, T.M. Santander (Cantabria)”, del entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, intenta encontrar una solución definitiva a la estabilización de este sistema de playas a través de la construcción de unas estructuras de apoyo.

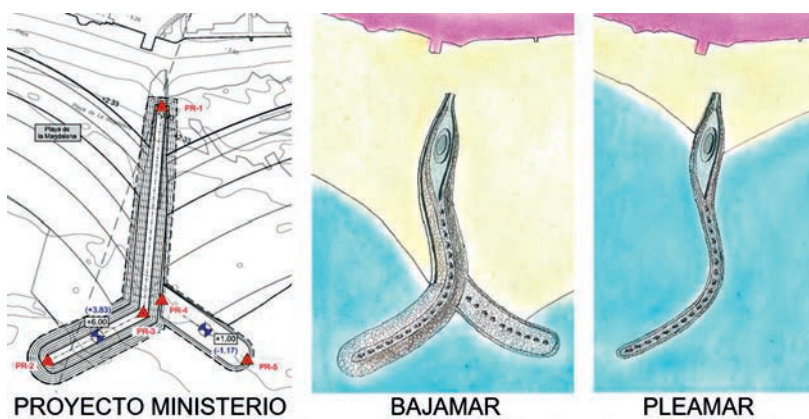


Figura 8: Plano del Proyecto y propuesta de actuación.



Figura 9: La propuesta plástica para el pequeño saliente costero de La Magdalena.

**La playa de Sant Sebastià, en Sitges (Barcelona)** está encajada en un entorno natural rocoso. Es bastante inestable, por lo que se ha llevado a cabo un estudio por parte de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar para su estabilización.

Delas diferentes alternativas analizadas, se decide optar por un dique en L.

Inspirándonos en la espiral logarítmica, presente en las formas de las playas en equilibrio y en numerosos animales, como puede ser la concha del Nautilus, que forman una perfecta espiral logarítmica, decidimos modificar la forma del espigón para hacerla más acorde con la naturaleza.



Figura 10: La alternativa escogida.



Figura 11: Forma en planta del nuevo dique sumergido.

## CONCLUSIONES

- El paisaje se lee a través de capas superpuestas que se interpretan y fusionan en nuestra mente, alcanzando así el conocimiento de la identidad del paisaje.
- Cuanto mejor trabajemos **CONJUNTAMENTE** todos los aspectos a considerar en el proyecto (aspectos físicos, paisajísticos, estructurales, constructivos y ambientales), más seguros serán nuestros pasos a través del **MÉTODO DE PROYECTACIÓN CON EL PAISAJE**.
- La percepción es personal y subjetiva, pero no es en absoluto estática: nuestra percepción se modifica a medida que educamos nuestra mirada.

## REFERENCIAS

A. M. Castañeda Fraile "El paisaje y los pequeños salientes costeros", (2009). Tesis doctoral dirigida por Raúl Medida Santamaría. Universidad de Cantabria.





# Towards green ports through the integration of renewable energies

Javier Abanades<sup>1</sup>, José Landete<sup>2</sup>, Javier Ivars<sup>3</sup>, David López<sup>4</sup>

1 Responsible of Hydrodynamic Modelling. Wind Energy Division, TYPESA. [jabanades@typsa.es](mailto:jabanades@typsa.es)

2 Project Manager. Wind Energy Division, TYPESA. [jlandete@typsa.es](mailto:jlandete@typsa.es)

3 Head of Wind Energy Division, TYPESA. [jivars@typsa.es](mailto:jivars@typsa.es)

4 Head of Coastal and Port Division, TYPESA. [dlopez@typsa.es](mailto:dlopez@typsa.es)

## ABSTRACT

One of the European Ports Policy's key priorities is fostering the environmental profile of European ports and promoting the excellence in port environmental management and performance. This is driven by the concept of Green Port, which is mainly based on the principles of sustainable growth. Among others, one of the key pillars of this success is related to the integration of renewable energy in the port, harnessing the abundant and numerous resources that are present in a port. On this sense, this article summarizes different technical solutions for the integration of renewable energy in the breakwaters of a port.

## INTRODUCTION

Economic development and environmentally friendly are not opposite concepts, and this has been reflected in different fields such as agriculture, industry or commerce, in which significant advances have been experience during the last years. This, indeed, has been fostered by the European Union through the Sustainable Development Strategy (European Commission, 2001), which constituted the basis for the long-term sustainability and addressed in conjunction issues as the economic growth, social cohesion and environmental protection.

On this basis, sustainable development can be defined as the development capable of tackling the present needs without jeopardizing the resources of the future generations

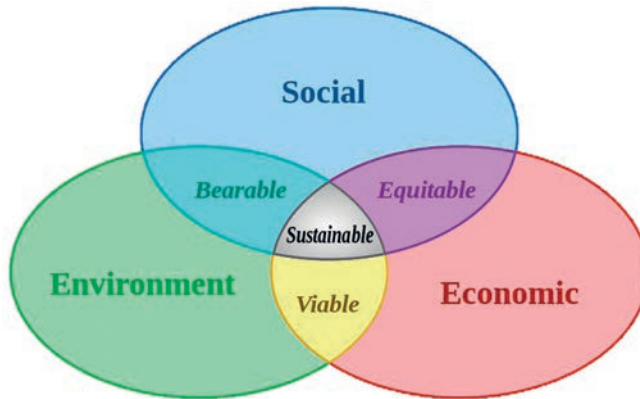


Figure 1: Sustainability pillars.

to satisfy their own needs. This exemplifies that this concept not only refers to the economic development but it also comprises aspects such as social acceptance and environmental resources. Actually, should these three concepts converge; the sustainability of a project is reached.

Sustainable growth is being pursued in most of the fields, and in the case of the port activity, it is referred as green port. This well-known concept can be defined as: “the port in which the port authority together with port users, proactively and responsibly develops and operates, based on an economic green growth strategy, on the working with nature philosophy and on stakeholder participation, starting from a long term vision on the area in which it is located and from its privileged position within the logistic chain, thus assuring development that anticipates on the needs of future generations, for their own benefit and the prosperity of the region that it serves” (Vellinga, 2011).

In addition to this, the necessity of fostering renewable energies to avoid the well know adverse effects brought about by the world’s reliance on fossil fuels convert green ports in essential elements for meeting the objectives of energy mix. In other words, the conversion of the ports to sustainable infrastructure would also contribute to the ambitious energy mix objectives. An example that reflects the concern at an international level was the European Directive 2009/28/CE (European Commission, 2007), which established the 20-20-20 targets for 2020: (i) reduce CO<sub>2</sub> emissions by 20% compared to 1990 levels; (ii) increase the contribution of renewable energies in the energy market up to 20%; and (iii) improve energy efficiency by 20%. This objective has been recently updated for 2030, with a reduction of the CO<sub>2</sub> emissions of 32% (European Commission, 2018).

On this basis, the success in the conversion towards green ports will be strongly linked to the Blue Growth, which is the long term strategy to support sustainable growth in the

marine and maritime sectors as a whole. The European Commission has established that seas and oceans are drivers for the European economy and have great potential for innovation and growth. Then, it can be concluded that these two concepts: *green ports* and *blue growth*, are called to be two of the main pillars of the sustainable growth.

## GREEN PORTS AND RENEWABLE ENERGY

A green port is based on the sustainable development, which not only meets the environmental requirements, but also raises their economic and social interests. The key question of a green port is to find the balance between environmental impact, economic viability and social interests. The reasonable balance is based on the correct judgment of environmental consumption and economic interests, and meets the requirement that the reversible environmental changes never happen.

In brief, the main objective of a green port is to reach high economic efficiency in the port with good ecological environment. On this sense, green ports shall have the orientation of leading future developments, because they consist of an effective way to prevent environmental pollution and ecological damage, and to protect the aquatic resources and the natural environment of the ports.

Then, considering that a green port pursues to utilize efficiently its resources and to reduce the negative impact on regional environment, the integration of renewable energy is one of the main pillars of green ports. The renewable energy resource present in a port is multiple: from the power of the waves to the enhancement of the tidal range and the velocity of the currents associated and the higher wind energy resource compared to an onshore scenario.

Furthermore, the high energy consumption in a port makes this type of mean very interesting for port authorities, allowing them to be autonomous and independent of third parties. This is even more evident in the cases in which the port is the electricity supplier to the different activities and services that take place in their facilities.

One of the best examples of a green port in terms of integration of renewable energy is the Port of Rotterdam; with an installed wind turbine capacity in the port area is near 200 MW in 2016. This represented about 6.5% of the national wind energy capacity produced on land. In the years to come, the share of wind energy in the port industrial complex will continue to grow, as it is represented in the following image (Port of Rotterdam, 2016).

## NORMATIVE FRAMEWORK

Energy mix and energetic transition are fundamental pillars of European and national legislation, since the reduction of energy consumption, especially of fossil origin, is es-

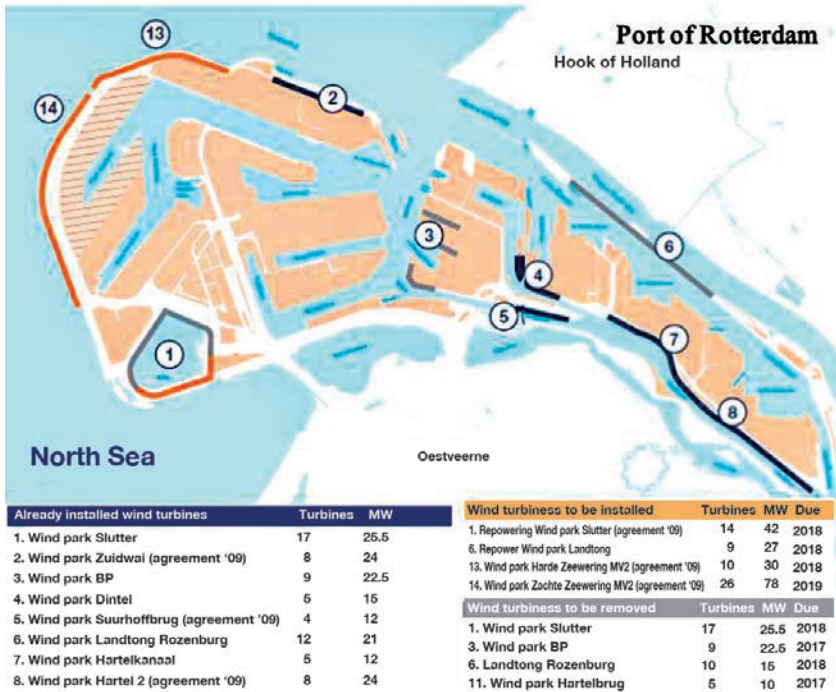


Figura 2: Wind energy in the Port of Rotterdam and the foundation in park #2.  
 Source: Port of Rotterdam and Wolff Nederland Windenergie.

essential to guarantee the competitiveness of the European economy and achieve an adequate control of gas emissions pollutants. Then, the harness of the marine renewable resources is essential for meeting the aforementioned ambitious targets, and the ports are key platforms for this type of development. Actually, at the Spanish context, Puertos del Estado has identified the implementation of renewable energies and distributed energy resource (DER) systems as an aspect that shall be improved in their energy management guidelines (Puertos del Estado, 2014).

The Law of Puertos del Estado y de la Marina Mercante (RDL 2/2011) incorporates sustainability as one of the principles that should govern the port planning and management

model. With regard to port operations, the proposed measures for the generation and use of renewable energy in ports and, more specifically, for the installation of renewable energy systems, in cases where technical-economic feasibility is verified, are remarked.

The World Port Climate Initiative (WPCI) is promoted by the International Association of Port and Harbours (IAPH) and is committed to promote actions that contribute to the reduction of greenhouse gas emissions generated in maritime transport and port activity. For its part, the European Sea Ports Organisation (ESPO) works to ensure that environmental management and natural resources are an integral part of port management as fundamental conditions for achieving sustainable port development. In 2012, they elaborated the guide: “ESPO Green Guide: Towards excellence in port environmental management and sustainability”, which provides recommendations for more environmentally friendly ports – with one of the main sections being the energy conservation and climate change (ESPO, 2012).

## THE INTEGRATION OF WIND ENERGY IN PORTS

One of the most mature technologies to harness the high density resource that is present in the proximity of a port is wind energy. Furthermore, there is a clear advantage versus offshore and onshore solutions. Comparing with offshore, the resource is similar (as there is no presence of large obstacles that can reduce it), but has the main advantage of working on inshore conditions, so the risks associated to offshore operations and downtimes derived of weather windows are reduced drastically. Regarding onshore wind farms, the workability conditions are similar; however the resource is considerably higher.

On this sense, the alternative of integrating wind energy in a port, and more specifically in dikes and breakwaters are the scope of this section. These breakwaters are prime location for the integration, as their particular objective is to protect its lee side from the



Figura 3: On the left, the wind farm of Ebeltoft (Denmark, source; <http://drømstørre.dk>) and on the right, the wind Farm at Punta Lucero (Bilbao, source: Puerto de Bilbao).

waves and have no activity on them. This solution has been implemented in different locations, e.g. Bilbao in Spain, Shoreham Port in UK, Rotterdam in Netherlands, Tianjin in China and Ebeltøft in Denmark.

The following headings present different techniques and means for the integration of wind turbine generators (WTGs) in the breakwaters. These solutions are representative of integration in existing infrastructure, but accounting just for the necessary requirements for founding a WTG. At this stage, the potential effects that could be induced in the breakwater have not been analyzed: e.g. increase in the horizontal load that could provoke sliding (also an increase of weight is associated so it should not be an issue), tilting ULS, wave-wind coupling and bearing capacity of the ground. Although, these effects are relevant, they do not seem to be a show-stopper in the integration of this type of structures.

### Technical solutions for the WTG-Integration in caisson breakwaters

The integration of WTG in caisson breakwaters is based on the gravity foundation principle. Basically the aim is that the weight of the foundation is able to provide the sufficient resistance to cope the forces associated to the wind turbine, as this would not imply a modification of the working principle of the caisson – other secondary effects should be correctly addressed.

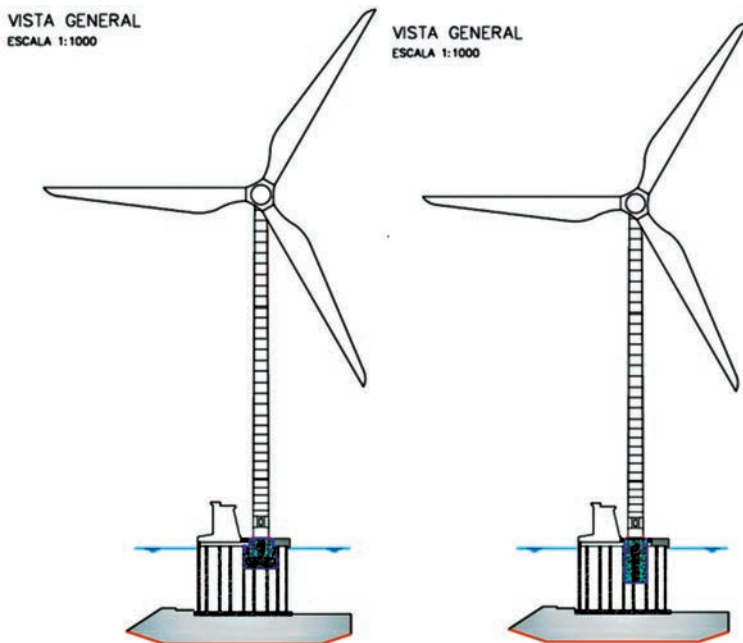


Figure 4: Solutions for the integration of WTGs in concrete caissons.



Figure 5: Meteorological Masts of Inch Cape and Moray Firth built over caisson-type solution.

The most direct type of solution is based on the creation of connections between the foundation of the wind turbine and the current structure. In this way, the balance of the wind turbine must be achieved with the participation of the entire mass of the concrete caisson, verifying that with its volume and weight all the structural verifications are complied. In this sense, it is very important to ensure the bond between the concrete of the caisson and the concrete for the WTG-foundation.

This bond between both structures can be achieved through a greater vertical or lateral contribution. In the figure above, on the left picture the contribution is provided by a greater number of cells (11) involved in creating this bond between structures; however, for its part, the right one involves a less number of cells (3) but with a greater depth.

Other solution, which would not integrate the structure in the caisson, could be the installation of the WTGS in the lee of the caisson, taking advantage of the sheltered conditions generated by the breakwater. Furthermore, the vertical walls of the caisson allow the WTGs to be installed near the breakwater, which would facilitate the installation of the turbine, which could be even carried out from the caisson.

In the case of new structures, the design of the caisson is simpler and would be similar to the case of the Meteorological Masts conducted by TYPASA for the wind farms of Moray Firth and Inch Cape. In this case, the bond between structures is carried out through a central cell, in which the connection is achieved thanks to a bolted-grout solution. The main difference with the integration in a current structure is that one of the cells is planned to resist the forces of the structure, so its dimensions, size of the walls, reinforcement, etc, are designed with this purpose.



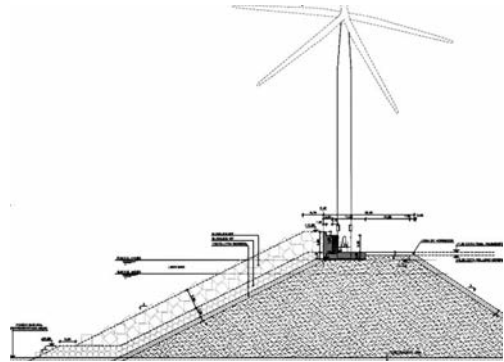


Figura 6: Deep (left) and gravity (right) foundation integrated in a rubble mound breakwater in Nangang WF (left, Source: Siemens-GAMESA) and Port of Gijon (right).

## Technical solutions for the WTG-Integration in rubble-mound breakwaters

Although the integration of a WTG in a caisson is in principle more adequate, as both structures are gravity based; WTG can be also integrated in rubble mound breakwaters. In these cases, the solutions for ensuring the integrity of the foundation are not only based on the weight of the foundation, but also through other methods, e.g. piling and bolting. In the case of the SIEMENS-GAMESA wind farm of Nangang (China), in which TYPESA participated in the revision of the design, the dimensions of the foundation were reduced in order to fit it in the breakwater by means of the utilization of piles. The 5 MW turbines induced a very high moment, so this was the only approach that allowed viable dimensions in the breakwater. So a deep foundation in the lee of the breakwater was selected in this case as the most adequate solution for the WTG integration.

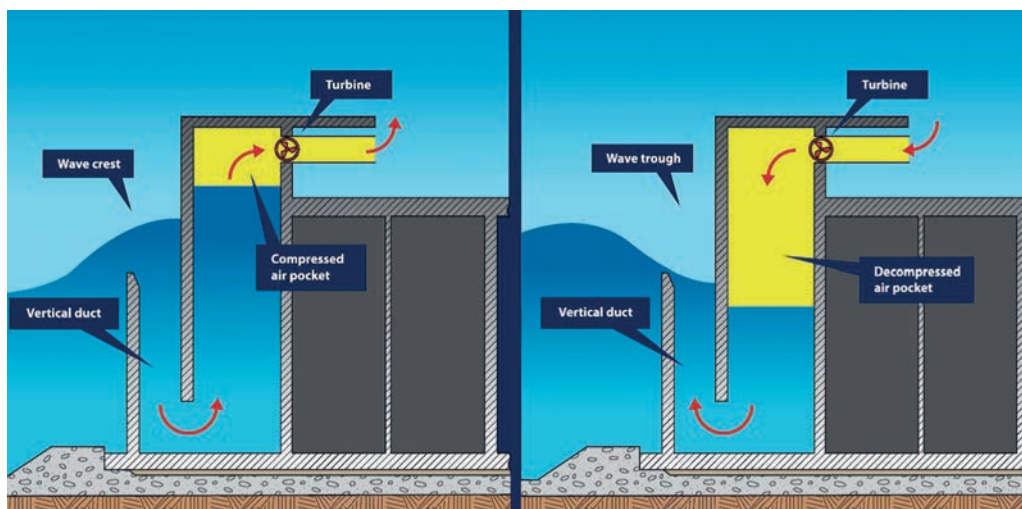
The alternative to fit a gravity foundation in a breakwater was also studied by TYPESA and could be feasible for relatively small WTGs (less than 2 MW). However, there is an evident increase in the size of the WTGs, so the loads transmitted to the ground are higher, and then the dimensions of the foundations. On this sense, it becomes much more difficult to fit the foundation in the lee of the breakwater as was shown in the following image.

## THE INTEGRATION OF WAVE ENERGY IN PORTS

Finally, a resource that cannot be overlooked is wave energy. Although the degree of maturity of its technology is not as high as wind energy, the abundant resource can justify its implementation. This becomes more evident when the wave energy converters (WECs) are mounted on a breakwater as there is a clear reduction in the costs: submarine cable, moorings, offshore risks, etc. Actually, Spain was pioneered in the installation of the first



Figura 7: WEC-breakwater mounted. On the left, Mutriku port (source: Power-technology) and on the right, scheme of U-OWC of Civitavecchia Port (source: ENEPLAN project).



plant mounted on a breakwater. From 2011, the plant of Mutriku has provided electricity to more than 100 families per year.

TYPSA is conducting the technical support of the MAESTRALE project, which main scope is to foster the development of Blue Energy in the Mediterranean Arc. One of the pillars is the integration of wave energy in breakwaters, taking as example in the Mediterranean Sea, the ports of Civitavecchia and Naples. Both of them are currently pilot zones for conducting feasibility studies of these technologies.

## CONCLUSIONS

The main conclusion that can be distilled from this work is that sustainable growth and reduction of CO<sub>2</sub> emissions are two of the main challenges that our society is facing. On

this sense, the harness of the abundant renewable resources is one the pillars to meet these targets; and the ports are key instruments in this aspect. The numerous resources that are present in a port: waves, wind and currents; place these infrastructures as essential to face both issues: the conversion of a traditional port in a green port is associated to a sustainable growth; and consequently this growth is highly dependent on the integration of renewable energy and finally this enhancement of the energy mix will end up in a reduction of the emissions of CO<sub>2</sub>.

## REFERENCES

- ESPO (2012) *ESPO Green Guide: Towards excellence in port environmental management and sustainability*.
- European Commission (2001) *A sustainable Europe for a better world: A European Union strategy for sustainable development. COM(2001) 264 final, COM (2001)*. Available at: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2001/com2001\\_0264en01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2001/com2001_0264en01.pdf).
- European Commission (2007) 'A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)– Towards a low-carbon future', *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2007)*. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007DC0723:EN:HTML:NOT>.
- European Commission (2018) *Renewable Energy Directive 2030: STATEMENT/18/4155*.
- Port of Rotterdam (2016) *THE POWER OF WIND ENERGY*.
- Puertos del Estado (2014) *Guía de Gestión Energética en Puertos*.
- Vellinga, T. (2011) 'Green Ports: Fiction, condition, or foregone conclusion', *Ports and Waterways. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft*.

## Refuerzo Dique de Abrigo del Puerto de Bermeo

Saioa Rezabal <sup>1</sup>, L. Ignacio López de Aguilera <sup>1</sup>, Néstor Urrutxua <sup>2</sup>, Alberto García <sup>2</sup>

<sup>1</sup> DIRECCIÓN DE PUERTOS Y ASUNTOS MARÍTIMOS DEL GOBIERNO VASCO, Dirección de Obra. puertos-bizkaia@euskadi.eus

<sup>2</sup> TYPSA, Asistencia Técnica Dir. Obra. nurrutxua@typsa.es

### INTRODUCCIÓN

La obra denominada “Refuerzo del dique de abrigo del puerto de Bermeo” consiste en el refuerzo integral del dique para evitar que los fuertes temporales, cada vez más frecuentes en la costa Cantábrica, sigan produciendo roturas parciales del dique, como viene ocurriendo cada invierno durante la última década, especialmente durante el invierno del año 2014.

El dique de Bermeo se encuentra entre el cabo Matxitxako y el puerto de Mundaka y es uno de los ocho puertos del Gobierno Vasco en Bizkaia, siendo el más expuesto al oleaje y con mayores alturas de ola debido al importante calado, sobrepasando los 20 m en el último tramo del dique.



Rebase espectacular en situación de temporal.



Rotura del espaldón, temporal 09.02.2016.

## PROYECTO Y ENSAYOS 3D

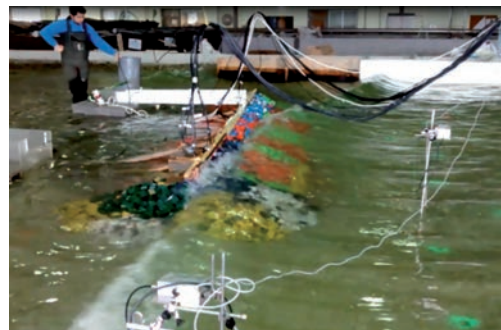
Para conocer con exactitud el estado actual del dique y el comportamiento de la solución proyectada se realizó un ensayo en modelo físico 3D en la Universidad de A Coruña (GEAMA), simulándolo a una escala 1/74 y reproduciendo temporales de 1.500 olas, con alturas de ola significativa ( $H_s$ ) comprendidas entre 5,0 y 10,0 m y periodos de pico ( $T_p$ ) de 17 y 22 segundos. Cabe destacar que se obtuvieron registros de presiones en el espaldón ( $359,7 \text{ kN/m}^2$ ), rebases ( $391,1 \text{ l/s/m}$ ) y altura máxima de ola a pie de dique (15 m).

Los resultados obtenidos en el ensayo en modelo físico pusieron de manifiesto, al igual que la formulación numérica, la precariedad del dique en su estado actual, por lo que se trató de buscar un equilibrio entre el aumento de la cota del espaldón (disminuyen de forma notable los resabes, pero aumentan las presiones en el mismo) y la colocación de bloques en el manto principal aumentando la cota de coronación de la berma (disminuyen las presiones sobre el espaldón, pero aumentan los rebases). Como novedad se proyectó la utilización de hormigón de alta densidad frente al hormigón convencional o a la piedra caliza, lo que conlleva, principalmente, dos beneficios:

- Puesta en valor de un residuo valorizado como son las escorias de acería en sustitución de árido calizo. Se evitó el uso de 22.000 t de árido natural, con el consiguiente beneficio medioambiental.
- Aumento de la densidad del hormigón y reducción de pesos. La densidad juega un papel esencial dentro de los elementos protección como son los bloques, ya que para el mismo Nod (índice de averías) se puede reducir el peso de los bloques aumentando la densidad de los mismos. Directamente esta reducción del peso hace posible la utilización de grúas de menor tamaño para la colocación de los bloques, aspecto vital en este proyecto debido a la reducida superficie terrestre disponible para posicionar las grúas.



Situación actual del dique con bloques de 55 y 85 t con densidad  $2,35 \text{ t/m}^3$  (hormigón convencional), y bloques de 27, 48 y 60 t con densidad  $2,70 \text{ t/m}^3$  (bloques calizos).



Situación proyectada con bloques de 40 t con densidad  $2,75 \text{ t/m}^3$  y bloques de 60 y 80 t con densidad  $2,90 \text{ t/m}^3$  (hormigón con árido siderúrgico).

¡Cabe destacar que el proyecto constructivo ha tenido en cuenta el efecto del cambio climático en el nivel del mar de diseño, lo que se traduce en un mayor oleaje para el cálculo de los elementos de refuerzo del dique: bloques del manto de protección, presiones en el espaldón, rebases a través del dique y estabilidad debido a este rebase en el trasdós del mismo (manto interior).

El 9 de febrero de 2016, en fase de redacción del proyecto de refuerzo, un fuerte temporal produjo la rotura de 35 m del espaldón del dique, por lo que el Gobierno Vasco encargó a TYPSA la redacción del “Proyecto Constructivo de Emergencia y la Asistencia Técnica a la Dirección de Obra del refuerzo del dique de abrigo del puerto de Bermeo”.

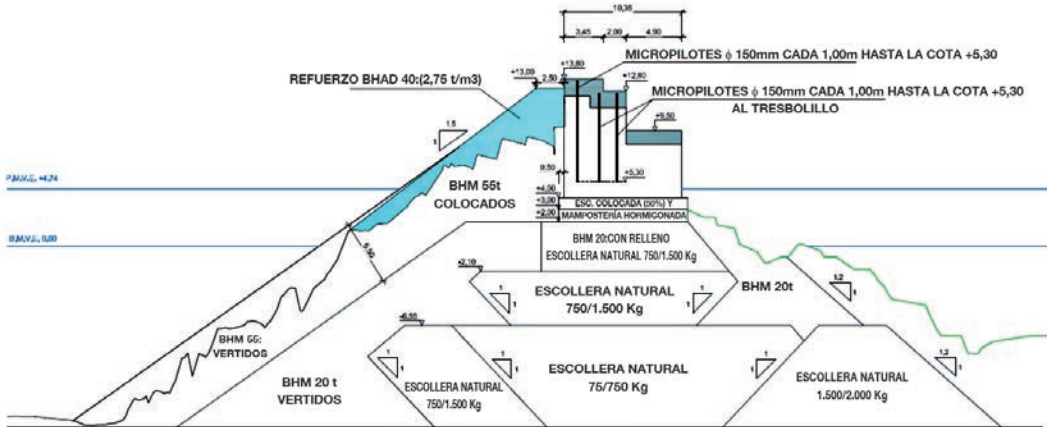
El nuevo proyecto de emergencia debía reconstruir la rotura del espaldón y buscar una solución, con alcance parcial y rápida, para evitar futuras roturas, todo ello siendo compatible con el proyecto original de refuerzo integral del dique de abrigo. Por ello, se analizaron con detalle los puntos más débiles del dique y se diseñaron soluciones para cada zona del mismo:

- Micropilotaje del espaldón para que trabaje de forma monolítica (8.582 ml micros de 150 mm), asegurando su estabilidad tanto a deslizamiento como vuelco, Se pudo comprobar que algunas roturas del espaldón se habían producido por las juntas de hormigonado del hormigón en masa que forma el espaldón (puntos débiles).



Rotura del espaldón durante el temporal del 9 de febrero de 2016.

- Recrecido del espaldón para reducir el caudal de rebase a través del dique (8.620 m<sup>3</sup>).
- Protección del manto principal mediante bloques de alta densidad, aumentando la cota de coronación de la berma superior (617 bloques 40 t y densidad 2,75 t/m<sup>3</sup>, 148 bloques de 60 t y densidad 2,90 t/m<sup>3</sup> y 52 bloques de 80 t y densidad 2,90 t/m<sup>3</sup>).



SECCIÓN TIPO TRAMO 3 (ST-3)

Sección tipo proyectada. Tramo 3.

## OBRA DE REFUERZO

La obra comenzó en junio de 2016 y se prolongó durante un año. Primero se empezó con las labores de micropilotaje con 1.028 micropilotes con una longitud comprendida entre 7,30 y 10,75 m, utilizando para ello cinco micropilotadoras trabajando conjuntamente. Debido a las reducidas dimensiones de ciertas partes del espaldón fue necesario el montaje de cimbras auxiliares donde poder apoyar la maquinaria.



Avance en las labores de micropilotaje.



Uso de cimbra para el apoyo de la micropilotadora debido la escasa anchura del espaldón.

Concluidas las labores de micropilotaje se procedió al recrecido del espaldón mediante el empleo de hormigón convencional. Para ello, los camiones tenían que recorrer marcha atrás los 760 m del dique con una anchura media de 4,50 m por lo que los rendimientos que se obtuvieron fueron bajos (30 m<sup>3</sup>/h). Se empleó un encofrado fenólico ante la imposibilidad de utilizar carro de encofrado debido a los constantes cambios de sección del espaldón.



Avance en las labores de recrecido del espaldón.



Empleo de bombas de hormigonado aprovechando al máximo la anchura del dique.

Simultáneamente a los trabajos anteriores se fabricaron los bloques de alta densidad, habilitándose para ello un parque de bloques a 10 km de Bermeo, lo más cercano posible a la planta de hormigón debido a que el límite de uso del hormigón de alta densidad es notablemente inferior al del hormigón convencional, siendo muy difícil su manipulación pasados los 25-30 minutos desde su fabricación. Este tipo de hormigón es muy sensible a cualquier cambio climático o de dosificación haciendo necesario el



Vista del parque de bloques.



Vibrado del hormigón con retro y vibradores de aguja debido a su dureza.



control de la temperatura del hormigón en fresco y aplicación de un correcto curado para evitar las fisuras por retracción térmica durante el proceso de fraguado. Esto obligó a aumentar el tiempo de encofrado de los bloques, siendo de tres días para los bloques de 40 t y de cinco días para los bloques de 60 y 80 t.

Una vez fabricados los bloques se transportaban de manera mixta (terrestre y marítima). El Gobierno Vasco planteó limitar al máximo el tránsito de vehículos pesados por el interior del pueblo de Bermeo, por lo que los bloques se transportaban en góndolas de transporte especial desde el parque de bloques hasta la zona comercial del puerto de Bermeo, donde se cargaban en una pontona y se llevaban hasta la zona de acopio en el trasdós del dique. Esta operación requería de una logística importante, primero para mantener la actividad diaria del puerto, y segundo en el empleo de las grúas de izado de los bloques, ya que se requerían tres grúas de considerable tonelaje (una en el parque de bloques, otra en la zona comercial del puerto y la última en el propio dique).

La fase más delicada de la obra era la colocación de los bloques de 40, 60 y 80 t. Como en los anteriores tajos, las reducidas dimensiones del dique impedían que los blo-



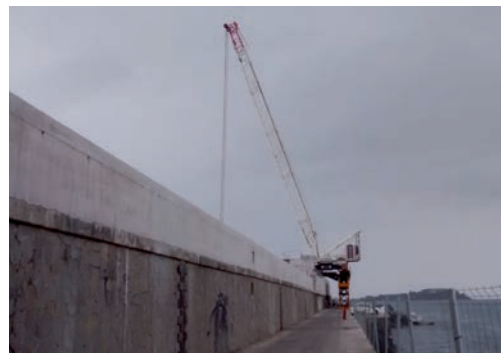
Transporte terrestre en camión góndola.



Transporte marítimo sobre pontona.



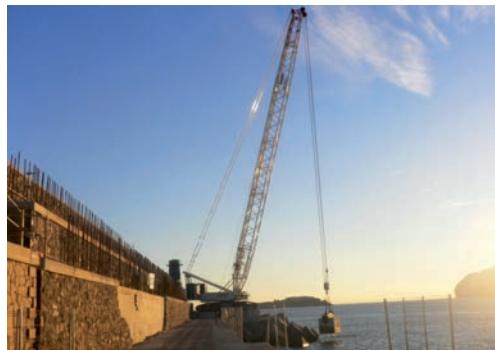
Grúa de 180 t colocando bloques de 40 t.



Grúa de 600 t colocando bloques de 60 t.



Movimiento de los módulos de la cimbra para el avance de la grúa por el dique.



Grúa de 600 t colocando bloques de 80 t.

ques se colocasen con la grúa apoyada en el propio dique (salvo los bloques de 80 t del morro, donde el dique presenta una mayor anchura). Para los bloques de 40 t se montó una grúa de 200 t sobre una cimbra, es decir, una oruga apoyaba sobre el espaldón y otra grúa sobre una cimbra de más de 5,0 m de altura. La cimbra estaba compuesta de varios módulos independientes y era la propia grúa la que movía dichos módulos para avanzar por 450 m del dique.



Vista general del refuerzo del dique de Bermeo (foto tomada desde vuelo dron).

Para los bloques de 60 t, la operación era similar, pero con una grúa de 600 t, con una oruga sobre el espaldón y otra sobre una cimbra de 8,0 m de altura. La grúa se desplazó por 100 m del dique igual que la grúa anterior, moviendo los módulos de la cimbra y desplazándose sobre ella. Finalmente para los bloques de 80 t se montó la grúa anterior, de 600 t, pero sobre el propio dique aprovechando el sobreebanco existente en del morro del dique.

El 22 de junio de 2017 se procedió a la recepción de la obra.

El dique de Bermeo, junto con los refuerzos de los diques de Orio y Zumaia, son las tres experiencias que hasta el momento ha llevado a cabo el Gobierno Vasco en el campo de la ingeniería marítima empleando un residuo valorizado, convertido en árido siderúrgico para la obtención de hormigones de alta densidad, especialmente para los bloques de 60 y 80 t con densidad 2,90 t/m<sup>3</sup>.

## Servicios climáticos para operaciones marinas en parques eólicos offshore (climate services marine operations in offshore wind farms, CliSMO)

Ortiz-Angulo Cantos, J. <sup>1</sup>; Sainz López, O. <sup>2</sup>; Losada Rodríguez, I. J. <sup>3</sup>; Izaguirre Lasa, C. <sup>4</sup>; Piedra Sisniega, A. <sup>5</sup>; Fernández González, C. <sup>6</sup>

<sup>1</sup> MCVALNERA. Consultor. [joc@mcvalnera.com](mailto:joc@mcvalnera.com).

<sup>2</sup> MCVALNERA. Consultora. [osl@mcvalnera.com](mailto:osl@mcvalnera.com)

<sup>3</sup> Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. Director de Investigación de IH Cantabria. [inigo.losada@unican.es](mailto:inigo.losada@unican.es).

<sup>4</sup> Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. [cristina.izaguirre@unican.es](mailto:cristina.izaguirre@unican.es).

<sup>5</sup> Louis Berger. Responsable de la División de Hidráulica y Medio Ambiente. [Apiedra@louisberger.com](mailto:Apiedra@louisberger.com).

<sup>6</sup> Louis Berger. Jefe de departamento. [cefernandez@louisberger.com](mailto:cefernandez@louisberger.com).

### RESUMEN

Las energías renovables han experimentado un gran crecimiento en los últimos años convirtiéndose en una alternativa limpia a las energías basadas en combustibles fósiles. A pesar de sus numerosas ventajas presentan como inconveniente que su producción depende de las condiciones climáticas. En el caso de la energía eólica offshore (EEO), la dependencia del clima no se limita a las condiciones atmosféricas. Dada su localización en el mar, las condiciones marinas, por ejemplo, oleaje y corrientes, afectan a la operatividad de las instalaciones y condicionan la viabilidad económica de los proyectos. Por lo tanto, disponer de información climática de calidad es esencial para el desarrollo de la energía eólica marina.

El correcto desarrollo de la EEO requiere, por tanto, una aproximación multidisciplinar. Es imprescindible la colaboración entre expertos en oceanografía y meteorólogos para generar información climática de calidad, y expertos en puertos y del sector de las EEO para abarcar la logística y las operaciones portuarias. Debido al gran reto global que supone el cambio climático, actualmente se están produciendo rápidos y muy impor-

tantes avances en el estudio y modelado del clima. Sin embargo, la transferencia de estos a la industria ocurre de manera mucho más paulatina, existiendo un desfase importante entre las metodologías y datos empleados por la comunidad científica y la empresarial. Mejores datos y modelos se traducen en menores riesgos financieros, lo cual asegura un desarrollo óptimo de los proyectos de EEO. Es en este aspecto en el que el proyecto CliSMO (Climate Services for Marine Operations in offshore wind farms) destaca, no solo por la colaboración de expertos, sino también por su faceta innovadora.

El principal objetivo del proyecto CliSMO es el desarrollo de nuevos servicios climáticos que aglutinen los últimos avances en el modelado y predicción del clima con el conocimiento de la infraestructura y logística portuaria, permitiendo la optimización y reducción de riesgos en la planificación y ejecución de las operaciones marinas durante todo el ciclo de vida de un parque eólico offshore. El término “servicios climáticos” es comúnmente usado para referirse a la generación de información climática y su transformación acorde a las necesidades del usuario y su uso subsecuente en el proceso de toma de decisiones (Weisse et al., 2015). El objetivo de los servicios climáticos en su sentido más amplio es, por tanto, proveer a personas y organizaciones de información climática actualizada y a medida, que puede ser usada para reducir pérdidas asociadas al clima y mejorar los beneficios.

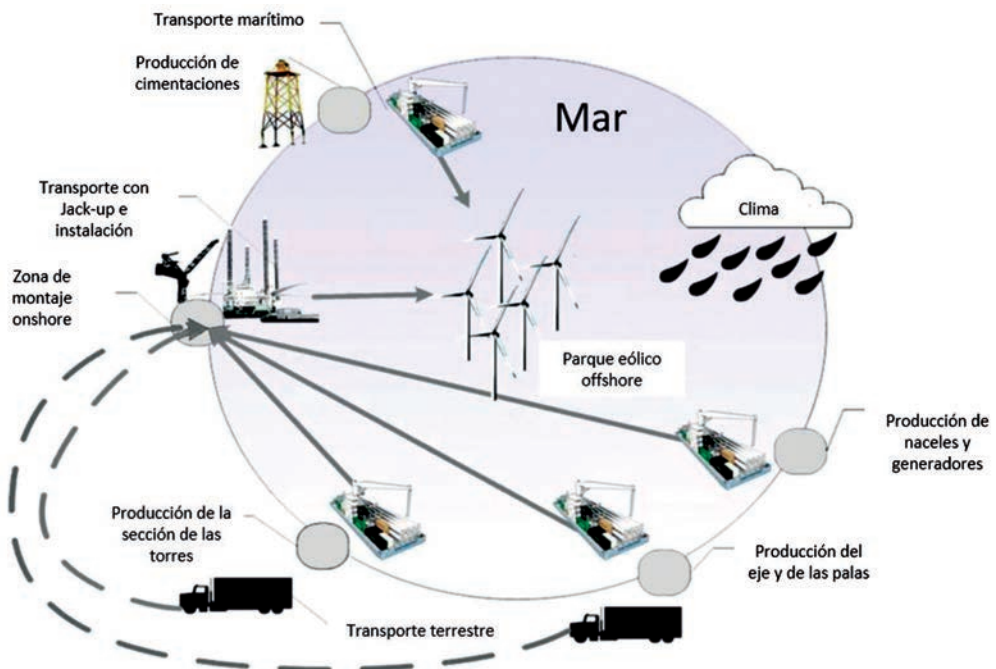


Figura 1. Esquema general de la cadena logística de los elementos que componen un parque eólico offshore.

Actualmente, la EEO demanda servicios climáticos que abarquen diferentes escalas temporales: análisis de datos históricos para la evaluación del recurso aprovechable o el diseño estructural, mediciones a tiempo real para el monitoreo y optimización de las instalaciones, previsiones a corto plazo para la planificación de tareas de construcción y mantenimiento o alertas por eventos extremos, predicciones estacionales o decadales para la planificación estratégica o proyecciones de cambio climático para la estimación de riesgos futuros. CliSMO proporciona productos y servicios climáticos adaptados a las diferentes necesidades de la industria EEO, permitiendo realizar:

- Evaluación de recursos, estudios de viabilidad, dimensionamientos y obtención de los parámetros de diseño de las estructuras.
- Planificación constructiva, de operatividad y mantenimiento en el corto y medio plazo: predicción climatológica a corto plazo, que por un lado permite reducir la incertidumbre y los riesgos sobre los equipos y el personal, y por otro, los costes asociados a la operación y mantenimiento de los parques. Para la planificación de las tareas de operación de parques se proporciona la integración de servicios climáticos de predicción estacional que permiten estimar las necesidades de equipos a meses vista.
- Adaptación al cambio climático, planificación estratégica y desmantelamiento de las instalaciones: evaluación del impacto del cambio climático en las tareas de operación y mantenimiento de parques eólicos marinos, lo que supone una reducción de la incertidumbre en el diseño y estimación de parques teniendo en cuenta la duración del proceso de toma de decisiones.

Las necesidades de la EEO no se limitan a las condiciones climáticas locales en los parques eólicos. Ante las nuevas necesidades operativas y de logística inducidas por el auge del sector, cobran especial relevancia los puertos y las rutas de navegación. Las fases de fabricación, preinstalación, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento, y desmantelamiento, requieren en todos los casos de una o varias terminales portuarias con características específicas en función de la fase del proyecto del parque. Las empresas que forman la cadena logística tendrán en el puerto su base de operaciones, siendo la terminal portuaria una pieza clave para el buen desarrollo del proyecto. Dependiendo de la estrategia de instalación, el puerto será la base de montaje, manipulación y/o fabricación, y por tanto un elemento fundamental en la cadena logística, que precisa de criterios para la elección de uno o varios puertos base y para su adaptación a las necesidades requeridas.

En resumen, el proyecto CliSMO se basa en la creación de un serie de herramientas que proporcionen una respuesta integrada frente a los problemas dependientes de las condiciones meteo-oceánicas. Estas herramientas tienen la capacidad de dar servicio a las instalaciones durante toda su vida útil, desde el estudio de viabilidad o diseño hasta la construcción, operatividad y mantenimiento, adaptación al cambio climático o des-

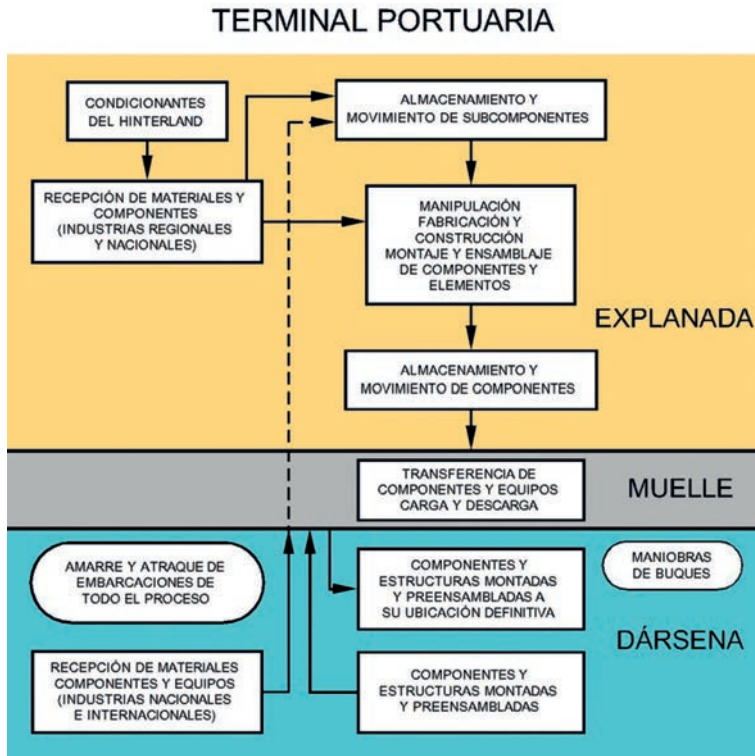


Figura 2. Actividades portuarias asociadas al Desarrollo de un parque eólico offshore.

mantelamiento. Para ello, el servicio proporcionado se basa en un sistema operacional capaz de informar acerca de las ventanas de operación disponibles para las operaciones a realizar en las distintas fases de la vida útil del parque. Así por ejemplo, en la fase de operación y mantenimiento se proporcionará un sistema de ayuda a:

- La gestión del transporte de personas y pequeño material de apoyo.
- La gestión de transportes especiales y remolque de grandes piezas.
- La gestión del acceso a plataforma, basados todos ellos en las predicciones a corto plazo de las variables mete-oceánicas relevantes y umbrales relacionados con las condiciones de navegabilidad y operación correspondientes.

# Occurrence of time clustering of wave storms in the Mediterranean Sea: a spatial analysis

Romano, A <sup>1</sup>; Besio, G <sup>2</sup>; Briganti, R. <sup>3</sup>; Mentaschi, L. <sup>4</sup>; De Girolamo, P. <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, La Sapienza University, Rome, Italy

<sup>2</sup> Department of Civil, Chemical and Environmental Engineering, University of Genoa, Genoa, Italy

<sup>3</sup> Department of Civil Engineering, University of Nottingham, Nottingham, UK

<sup>4</sup> European Commission, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy

## ABSTRACT

In this paper we identify storm time-clustering in the Mediterranean Sea through a comprehensive analysis of the Allan Factor. This parameter is evaluated from long time series of wave height provided by oceanographic buoy measurements and hindcast re-analysis of the whole basin, spanning the period 1979-2014 and characterized by a horizontal resolution of about 0.1 degree in longitude and latitude and a temporal sampling of 1 hour (Mentaschi et al., 2015). The nature of the processes highlighted by the AF and the spatial distribution of the parameter are both investigated. Results reveal that the Allan Factor follows different curves at two distinct time scales. The range of time scales between 12 hrs to 50 days is characterised by a departure from the Poisson distribution. For timescales above 50 days, a cyclic Poisson process is identified. The spatial distribution of the Allan Factor reveals that the clustering at smaller time scales is present in the North-West of the Mediterranean, while seasonality is observed in the whole basin. This analysis is believed to be important to assess the local increased flood and coastal erosion risks due to storm clustering.

## INTRODUCTION

In recent years the occurrence of different coastal storms in a short time has been studied in the context of storm driven erosion of beaches and dunes. Indeed, it has been showed



by different authors (Vousdoukas et al., 2012; Coco et al., 2014, Splinter et al., 2014; Karunarathna et al., 2014; Dissanayake et al., 2015) that storms occurring in quick succession may result in greater beach erosion than the cumulated erosion induced by single storms of far higher return periods.

In the events analysed in the aforementioned studies both the surge and the wave components played an important role. While studies that identify time-clustering of storm surges are available (e.g. Wadey et al., 2014, Haigh et al., 2016), there is no study, to the best knowledge of the authors, that analyses the clustering properties of wave storms alone. In micro-tidal environments, such as the Mediterranean Sea, wave storms are the principal driver of short term coastal erosion and flooding, hence it is important to understand the occurrence of clustering. The Mediterranean Sea wave climate has been extensively studied (e.g. Sartini et al., 2015a) and it is known that throughout the basin winter is richer in cyclones and, in turn, in wave storms. However, regional differences are significant. Sartini et al. (2015a) linked the seasonality of wave storms to local features of atmospheric pressure over the Mediterranean basin strongly suggesting that the local typical meteorological conditions determine different temporal regimes of storm waves.

The present work addresses the gap in the knowledge of the occurrence of time-clustering of wave storms by carrying out an analysis of wave storms sequences using the Allan Factor (hereinafter AF, Allan, 1966, Barnes and Allan, 1966), a well-established technique to study the time behaviour of environmental processes. When the underlying process is characterised by clustering, the AF of a specific sequence of events is larger than 1 and shows a power-law behaviour at the time scales the exhibit departure from a Poisson distribution. The simplicity of the AF analysis made it popular in the study of time sequences of a number of physical processes such as earthquakes (Telesca et al., 2002; Cavers and Vasudevan, 2015), lightning (Telesca et al., 2008), rainfall (Telesca et al., 2007; Garcia-Marin et al., 2008) or fires (Telesca and Pereira, 2010). However, the AF can be larger than 1 also for non-homogeneous Poisson processes, as shown in Serinaldi and Kilsby (2013). Hence, it is important to distinguish clustering dynamics from cyclic Poisson processes. Methodologies that are suitable to achieve this are presented in Serinaldi and Kilsby (2013) and Telesca et al. (2012).

Here we analyse the AF on long time series of wave height in the Mediterranean Sea provided by hindcast re-analysis spanning the period 1979-2014 (Mentaschi et al., 2015). The objective of this study is to identify the presence of time-clustering of wave storms in the whole Mediterranean basin and examine the time scales at which events are correlated as well as the spatial distribution of the clustering. To this end, after scaling properties of wave storms are identified, they are mapped over the Mediterranean Sea. The paper is organised as follows: after this Introduction, Section 2 explains the methodology used for the AF analysis, Section 3 describes the datasets used, Section 4 illustrates the results and Section 5 discusses the results and closes the work.

## CLUSTERING ANALYSIS METHODOLOGY

Sequences of natural events such as earthquakes, rainfall, wildfires, can be seen as realisations of stochastic point processes. A process of this kind describes events that occur randomly in time and it is completely defined by the times at which these events occur. Here time series of sea states are considered. Each sea state is defined by a set of spectral parameters, such as the significant wave height  $H_s$ , the peak period  $T_p$ , the mean period  $T_{m-1,0}$  and the mean direction of propagation  $\theta_m$ . Waves are always present on the sea surface, hence a sequence of storms need to be extracted from a time series of sea states by considering only events that satisfy a certain criterion. A storm is commonly defined as a sequence of sea states in which  $H_s$  exceeds a given threshold (e.g. Goda, 1988). In this work, a threshold for each node is defined by considering the local 98% percentile of the  $H_s$  distribution, regardless of  $\theta_m$  (omnidirectional analysis, see left panel of Figure 1 for threshold values of  $H_s$  obtained with the hindcast model used here).

The time  $t_i$  at which the threshold is exceeded for the first time in each storm defines the event as part of a point process. If the interval between two subsequent events is below 12 hours, the two are regarded as one event, this is common practice in analysing storms and the value is deemed appropriate for the Mediterranean Sea (e.g. Sartini et al., 2015a). Therefore, in each of the computational nodes over the Mediterranean Sea (see right panel of Figure 1 for a map of the domain and the location of few control grid points used in this study to show the single point behavior of the AF), a point process is defined.

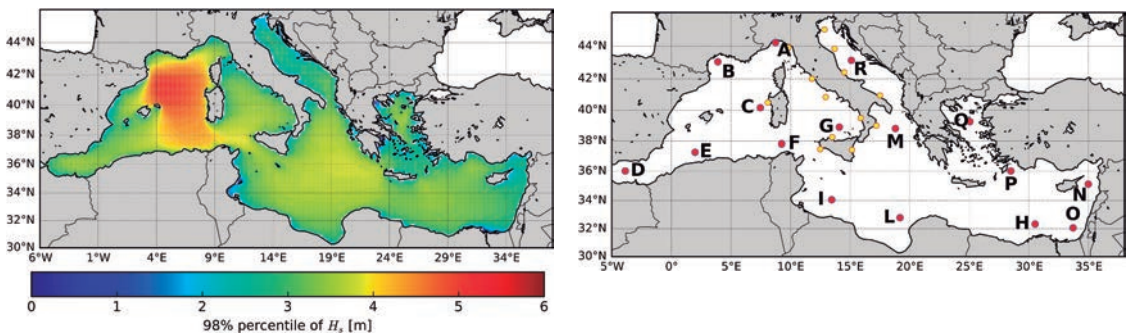


Figure 1. Left panel: Value of significant wave height threshold in metres for the 98% percentile. Right panel: Hindcast control grid points (red circle).

These point processes are studied by defining equally spaced time windows of duration  $\tau$  and counting the events in each window. The result is a sequence of counts  $N_k$  ( $k = 1, \dots, M$ , where  $M$  is the number of time windows). The clustering of the events is then stud-

ied with the Allan Factor (Allan, 1966, Barnes and Allan, 1966), defined as the variance of successive counts as:

$$AF(\tau) = \frac{\langle [N_{k+1}(\tau) - N_k(\tau)]^2 \rangle}{2 \langle N_k(\tau) \rangle} \quad (1)$$

In general term, a point process is called fractal when a number of the relevant statistics shows scaling with related scaling exponents (Lowen and Teich, 1995). This implies that the AF depends on  $\tau$  with a power-law, with exponent  $\alpha$ , which indicates the presence of clusters of points over a number of time scales  $\tau$ . For a fractal process with  $0 < \alpha < 3$  this power law reads (Telesca and Pereira, 2010):

$$AF(\tau) = 1 + \left(\frac{\tau}{\tau_1}\right)^\alpha \quad (2)$$

where  $\tau_1$  is the fractal onset time that marks the lower limit for significant scaling behavior for the AF. As for times smaller than  $\tau_1$ , there is no significant time correlation, while for times greater than  $\tau_1$  a characteristic fractal trend can be derived from the value of the exponent. If the storms process is Poissonian, the arrival times are uncorrelated, hence  $\alpha$  is expected to be zero and the AF will be near unity. If non-poissonian processes are present over a significant range of time scales it will be possible to identify  $\alpha > 0$  and  $AF > 1$ . Serinaldi and Kilsby (2013) demonstrated that cyclic, hence non-homogenous, Poisson processes show  $AF > 1$  for time scales associated to cyclic components. It is therefore necessary to identify and separate the timescales at which clustering occurs from those at which the point process is poissonian. To this end it is necessary to compare the AF pattern found in the wave time series with that of a process of known properties. A cyclic Poisson process is generated here with the same “integrate and fire” (IF) technique used in Serinaldi and Kilsby (2013). The cyclic components are selected by looking at the dominant harmonic components obtained with the Fourier analysis (further details can be found in Besio et al., 2017). The exponent  $\alpha$  is estimated for the time scales at which the process is not poissonian. Note different ranges of  $\tau$  can reveal different time scaling (clustering) of the same process through different slopes of eq. (2) due to different kind of forcing (Telesca and Pereira, 2010).

The occurrence of subsequent wave storms can be interpreted as a realization of stochastic temporal point process that could attain a clustered character when a number of its underlying features exhibit some scaling as a function of some scaling power law. The presence of such characteristics reveals that the process follows some kind of clustering in time (Lowen and Teich, 1995, 1996; Telesca et al., 2002; Telesca and Pereira, 2010). There are different statistical measures available in literature to characterize the counting process of a general physical phenomena. In the present study, we decided to employ the Allan Factor (Allan, 1966; Lowen and Teich, 1996) thanks to the fact that it does not

saturate at unity the exponent as other indicators such as the Fano Factor do. The Allan Factor is defined as the variance of successive counts for a specific counting time window  $T$  divided by two times the mean number of counts in the same counting window:

$$AF(\tau) = \frac{\langle [N_{k+1}(\tau) - N_k(\tau)]^2 \rangle}{\langle N_k(\tau) \rangle} \quad (3)$$

For a fractal process the Allan Factor recovers a power law of the type

$$AF(\tau) = 1 + \left(\frac{\tau}{\tau_1}\right)^\alpha \quad (4)$$

over an extended range of counting windows  $\tau$ , where  $\alpha$  is the so-called fractal exponents that for white noise time series attains values close to zero (i.e. the signal is characterized by the absence of time correlations, homogeneous Poissonian process), while for time clustered processes it shows values greater than zero.  $\tau_1$  represents the fractal onset time and marks the lower limit for significant scaling behavior for the Allan Factor: for times smaller than  $\tau_1$  there is no significant time correlation, while for times greater than  $\tau_1$  a characteristic trend can be derived from the value of the exponent; furthermore different time windows can reveal different time scaling of the same process through different slopes of eq. (4) due to different kind of forcing (Telesca and Pereira, 2010).

## WAVE DATA

Wave hindcast in the Mediterranean Sea has been implemented on a time window covering 36 years, from the first of January 1979 to 31 December 2014 (<http://www.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html>). The wave model is forced by the 10m wind fields obtained by means of the nonhydrostatic model WRF-ARW (Weather Research and Forecasting–Advanced Research WRF) version 3.3.1 (Skamarock et al., 2008). In the present study, a Lambert conformal grid covering the whole of the Mediterranean Sea with a resolution of about 0.1 degree in longitude and latitude has been used. Initial and boundary conditions for atmospheric simulations were provided by the CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) database (Saha et al., 2010). Use of CFSR reanalysis data for wave modelling provides reliable results, even if sometimes extreme wave conditions are not properly modelled (Cavaleri, 2009; Cox et al., 2011; Splinder et al., 2011; Carvalho et al., 2012; Chawla et al., 2013). For further details of the set-up and validation of the meteorological model, readers can refer to Cassola et al. (2015, 2016).

Generation and propagation of sea waves have been modeled using WavewatchIII®, version 3.14 (Tolman, 2009). A 336 x 180 regular grid covers the whole Mediterranean Sea with

a resolution of  $0.1273^\circ \times 0.09^\circ$ , corresponding to about 10km at the latitude of  $45^\circ\text{N}$ . Spectral resolution is characterized by 24 bins in direction and 25 frequencies ranging from 0.06 to 0.7Hz with a step factor of 1.1. The output has been recorded hourly in all points of the computation grid for integrated quantities (i.e. significant wave height  $H_s$ , mean period  $T_{m-1,0}$ , peak period  $T_p$ , mean direction  $\theta_m$ , peak direction  $\theta_p$ , directional spreading  $\Delta\theta$ ). The validation of the wave hindcast has been carried out through extensive comparison of simulated quantities and wave buoy data (see Mentaschi et al., 2013a, b, 2015) and has already been employed for different applications such as wave energy resource assessment (Besio et al., 2016) and extreme and wave climate analysis (Sartini et al., 2015a, b).

## RESULTS: AF OVER THE MEDITERRANEAN SEA

Selected results from the control points located over the basin (see right panel of Figure 1) are shown in Figure 2. The analysis of the AF curves reveal that these can be divided into two groups:

- a) the first group shows clearly the slope corresponding to the departure from the Poisson regimes. The change in regimes occurs at around  $\tau = 50$  days in most cases.  $\alpha$  varies significantly from point to point. A well-defined slope, is very evident at points A (North Thyrrenian Sea, see left panel of Figure 2), B (Gulf of Lyon), D (Alboran Sea), and E (Algerian Sea). In all these cases, a uniform value of  $\alpha$  can be defined and the exponent value is in the interval 0.15-0.3. In other cases the slope is not so well defined or it is significantly smaller than 0.2. Points that show either or both characteristics are point R (Adriatic Sea), C (West Sardinia), F (Tunisian coast), G (South Thyrrenian Sea), M (Ionian Sea) and Q (Aegean Sea). At point Q (Aegean),  $\alpha$  is virtually naught.
- b) in the second group only the cyclic Poissonian regime is clearly recognizable, generally for  $\tau > 20$  days. At smaller scales the slope that is associated with the departure from the Poisson distribution is not present. This is the case of the southern Mediterranean points H (Egypt, see right panel of Figure 2), I (Western Libia), L (North-East Libia), O (South East Mediterranean Sea) and P (Southern Turkey).

The spatial distribution of the slope for small time-scales is shown in Figure 3. This figure has been obtained by determining the best fit value of  $\alpha$  at different time scales. In order to take into account the local differences in determining the transition between slopes and the different regimes seen in the representative points, the slope has been estimated using four different ranges of  $\tau$ . Clustering in the range  $12 < \tau < 72$  hours (3 days) is presented in panel a), for  $12 < \tau < 120$  hours (5 days) results are showed in panel b), finally panel c) shows the results for  $12 < \tau < 240$  hours (10 days). Within this range the small-scale slope is higher in the North-West Mediterranean Sea and, in particular in the North Thyrrenian Sea and in the Balearic Sea. Here  $\alpha$  reaches values up to 0.3. Areas with  $\alpha$

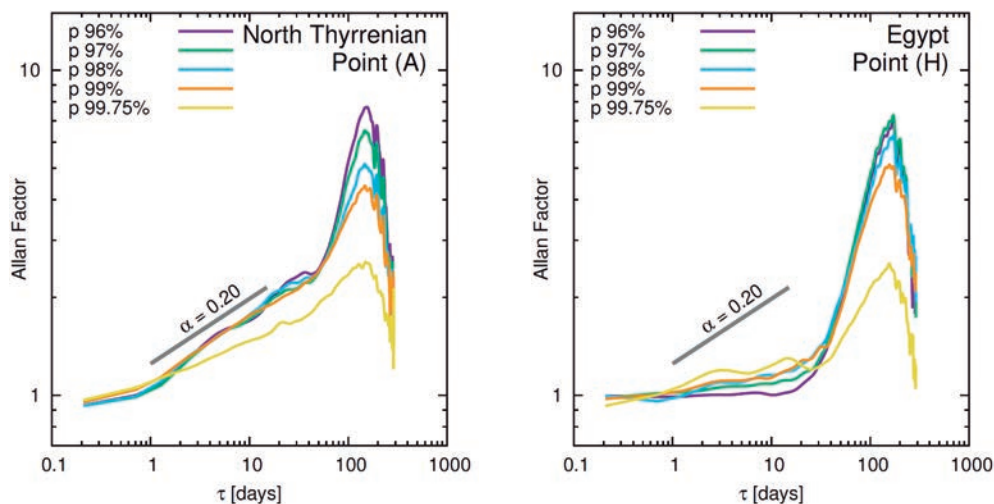


Figure 2. Allan factor (AF) as a function of counting window  $\tau$  and of the wave height threshold (different percentiles as in the legend) for different locations in the Mediterranean Sea (North Thyrrhenian Point A: left panel; Egypt Point H: right panel).

around 0.2 are present in the Adriatic Sea, on the Syrian and Lebanese coast and along the Tunisian coast. The effect of widening the range of  $\tau$  is to decrease the best fit value of  $\alpha$ . This effect reduces the regions that show  $\alpha$  significantly higher than zero in particular in the Adriatic Sea and on the East Coast of Tunisia. When the interval  $12 < \tau < 240$  hours (0.5-10 days) is used (Figure 3 panel c) the best fit of  $\alpha$  is significantly higher than zero only in the North-West Mediterranean Sea with the average  $\alpha$  around 0.2 and zones with  $\alpha > 0$  are present in the East part of the Adriatic Sea and on the Syrian coast.

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The results presented highlighted the presence of a departure from the Poisson distribution for time scales shorter than  $\tau < 1200$  hours (50 days). This regime is characterised by  $\alpha = 0.15-0.3$  and is more evident in the North-West of the Mediterranean Sea. In the rest of the basin  $\alpha$  is closer to zero and the AF pattern is characterised by oscillations, without a well-defined regime.

For  $\tau > 50$  days the arrival of above-threshold storms is dominated by the effect of seasonal and inter-seasonal oscillations and can be described as a cyclic Poisson process. Similar scaling regimes have been observed in other phenomena with seasonal behaviour, e.g. fires (Telesca and Pereira, 2010). These results match with the findings by Sartini et al. (2015a), who found that the northern basin RON buoys (e.g. Ponza and La Spezia buoys in the Thyrrhenian Sea) showed lower seasonality than the buoys in the south basin

(e.g. Crotona, in the Ionian Sea). La Spezia buoy, for example is located in the Ligurian Sea, a region where departure from the Poisson distribution is higher. Although in the region the cyclogenesis in the Gulf of Genoa shows marked seasonality, cyclones are present throughout the year (Lionello et al., 2006; Sartini et al., 2015a). This persistence of cyclonic events helps in explaining the behaviour at smaller scales (i.e.  $\tau < 1200$  hours, 50 days). The clustering at scales of days indicates that meteorological conditions favour the occurrence of multiple events in few days. It is not a case that this behaviour is seen in the most active cyclonic region of the Mediterranean Sea, e.g. the North West according to Lionello et al. (2016). Similar considerations apply to the North Adriatic Sea. In other parts of the basin, where these persistent conditions do not occur, the arrival of storms is well described as a cyclic-Poisson process.

The values of  $\alpha$  found in the present study do not allow to draw conclusions on whether this deviation from a Poisson distribution is large or small for the phenomenon at hand, as there is no comparison with other basins. Because of this, it is important to analyse further basins.

The clustering at the time scales found has the potential to exacerbate local beach erosion generated by individual storms, as shown in Dissanayake et al. (2015), hence it will be important to understand the implication of these time regimes on the dynamics of the Mediterranean coastal regions.

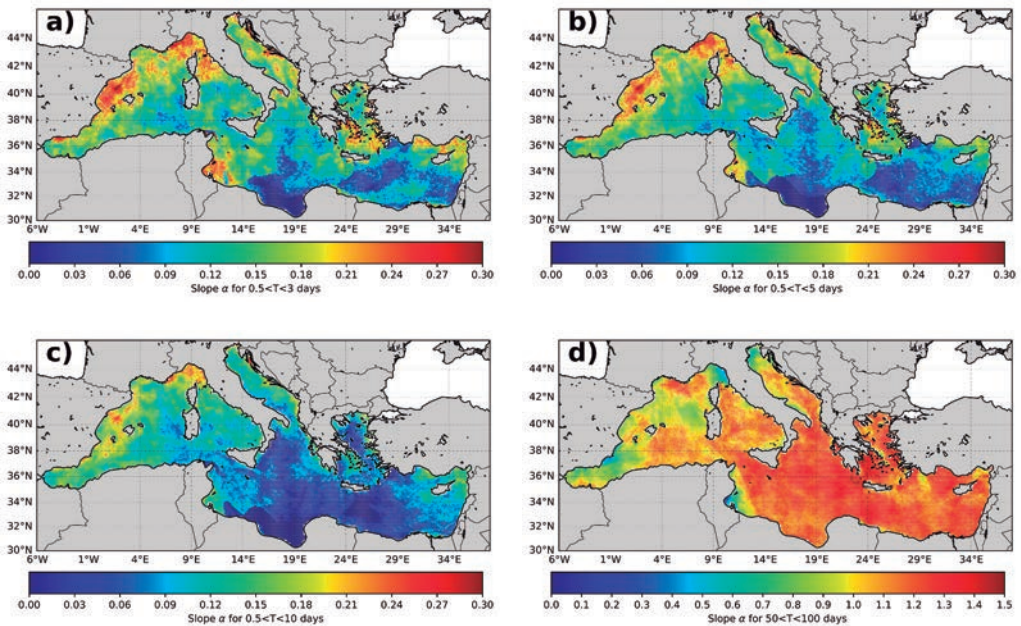


Figure 3. Spatial distribution of the exponent for the whole of the Mediterranean basin.

## REFERENCES

- Allan, D. W.: Statistics of atomic frequency standards, *Proc. IEEE*, 54, 221–230, 1966.
- Arena, G., Briganti, R., Corsini, S., and Franco, L.: The Italian wave measurement buoy network: 12 years management experience, in: *Proceedings of the waves 2001 conference*, San Francisco, 86–95, 2001.
- Barnes, J. and Allan, D. W.: Statistics of atomic frequency standards, *Proc. IEEE*, 54, 176–178, 1966.
- Besio, G., Mentaschi, L., and Mazzino, A.: Wave energy resource assessment in the Mediterranean Sea on the basis of a 35-year hindcast, *Energy*, 94, 50–63, 2016.
- Besio, G., Briganti, R., Romano, A., Mentaschi, L., and De Girolamo, P.: Time clustering of wave storms in the Mediterranean Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, 505–514, 2017.
- Briganti, R. and Beltrami, G. M.: Singular spectrum analysis of storm surges and wave climates, *J. Hydraul. Res.*, 46, 271–279, 2008.
- Carvalho, D., Rocha, A., and Gomez-Gesteira, M.: Ocean surface wind simulation forced by different reanalyses: Comparison with observed data along the Iberian Peninsula coast, *Ocean Model.*, 56, 31–42, 2012.
- Cassola, F., Ferrari, F., and Mazzino, A.: Numerical simulations of Mediterranean heavy precipitation events with the WRF model: analysis of the sensitivity to resolution and microphysics parameterization schemes, *Atmos. Res.*, 164–165, 210–225, 2015.
- Cassola, F., Ferrari, F., Mazzino, A., and Miglietta, M.: The role of the sea on the flash floods events over Liguria (northwestern Italy), *Geophys. Res. Lett.*, 43, 3534–3542, 2016.
- Cavaleri, L.: Wave Modeling – Missing the Peaks, *J. Phys. Oceanogr.*, 39, 2757–2778, 2009.
- Cavers, M. S. and Vasudevan, K.: Brief Communication: Earthquake sequencing: analysis of time series constructed from the Markov chain model, *Nonlin. Processes Geophys.*, 22, 589–599, doi:10.5194/npg-22-589-2015, 2015.
- Chawla, A., Spindler, D. M., and Tolman, H. L.: Validation of a thirty year wave hindcast using the Climate Forecast System Reanalysis winds, *Ocean Model.*, 70, 189–206, 2013.
- Coco, G., Senechal, N., Rejas, A., Bryan, K. R., Capo, S., Parisot, J., Brown, J. A., and MacMahan, J. H.: Beach response to a sequence of extreme storms, *Geomorphology*, 204, 493–501, 2014.
- Corsini, S., Inghilesi, R., Franco, L., and Piscopia, R. A.: *Italian Wave Atlas*, Agency for Environmental Protection and Technical Services (APAT), Rome, 2004.
- Cox, A. T., Cardone, V. J., and Swail, V. R.: On the use of Climate Forecast System Reanalysis Wind Forcing in ocean response modeling, in: *Proceedings, 12th Int. Workshop Wave, Hindcasting, Forecasting*, Hawaii, USA, 2011.



- De Boni, M., Cavaleri, L., and Rusconi, A.: The Italian waves measurement network, *Coast. Eng. Proc.*, 1, 1840–1850, doi:10.1061/9780872629332.139, 1992.
- Dissanayake, P., Brown, J., Wisse, P., and Karunarathna, H.: Comparison of storm cluster vs isolated event impacts on beach/dune morphodynamics, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 164, 301–312, 2015.
- García-Marín, A., Jiménez-Hornero, F., and Ayuso, J.: Applying multifractality and the self-organized criticality theory to describe the temporal rainfall regimes in Andalusia (southern Spain), *Hydrol. Process.*, 22, 295–308, 2008.
- Goda, Y.: *Random Seas and Design of Maritime Structures*, World Scientific, Singapore, 1988.
- Haigh, I. D., Wadey, M. P., Wahl, T., Ozsoy, O., Nicholls, R. J., Brown, J. M., Horsburgh, K., and Gouldby, B.: Spatial and temporal analysis of extreme sea level and storm surge events around the coastline of the UK, *Scientific Data*, 3, 160107, doi:10.1038/sdata.2016.107, 2016.
- Karunarathna, H., Pender, D., Ranasinghe, R., Short, A. D., and Reeve, D. E.: The effects of storm clustering on beach profile variability, *Mar. Geol.*, 348, 103–112, 2014.
- Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, P., Krichak, S., Jansa, A., Maheras, P., Sanna, A., Trigo, I., and Trigo, R.: Chapter 6 Cyclones in the Mediterranean region: Climatology and effects on the environment, in: *Mediterranean*, vol. 4 of *Developments in Earth and Environmental Sciences*, edited by: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., and Boscolo, R., 325–372, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 2006.
- Lionello, P., Trigo, I., Gil, V., Liberato, M., Nissen, K., Pinto, J., Raible, C., Reale, M., Tanzarella, A., Trigo, R., Ulbrich, S., and Ulbrich, U.: Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria, *Tellus A*, 68, 2016.
- Lowen, S. B. and Teich, M. C.: Estimation and simulation of fractal stochastic point processes, *Fractals*, 3, 183–210, 1995.
- Lowen, S. B. and Teich, M. C.: The periodogram and Allan variance reveal fractal exponents greater than unity in auditory-nerve spike trains, *J. Acoust. Soc. Am.*, 99, 3585–3591, 1996.
- Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., and Mazzino, A.: Problems in RMSE-based wave model validations, *Ocean Model.*, 72, 53–58, 2013a.
- Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., and Mazzino, A.: Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean Sea, *J. Coast. Res.*, 2, 1551–1556 doi:10.2112/SI165-262.1, 2013b.
- Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., and Mazzino, A.: Performance evaluation of Wave-watchIII in the Mediterranean Sea, *Ocean Model.*, 90, 82–94, 2015.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.-L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y.-T., Chuang, H.-Y., Juang, H.-M. H., Sela, J., Iredell, M., Treadon, R., Kleist,

- D., Van Delst, P., Keyser, D., Derber, J., Ek, M., Meng, J., Wei, H., Yang, R., Lord, S., Van Den Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah, M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J.-K., Ebisuzaki, W., Lin, R., Xie, P., Chen, M., Zhou, S., Higgins, W., Zou, C.-Z., Liu, Q., Chen, Y., Han, Y., Cucurull, L., Reynolds, R. W., Rutledge, G., and Goldberg, M.: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 91, 1015–1057, 2010.
- Sartini, L., Cassola, F., and Besio, G.: Extreme waves seasonality analysis: An application in the Mediterranean Sea, *J. Geophys. Res.-Oceans*, 120, 6266–6288, 2015a.
- Sartini, L., Mentaschi, L., and Besio, G.: Comparing different extreme wave analysis models for wave climate assessment along the Italian coast, *Coast. Eng.*, 100, 37–47, 2015b.
- Serinaldi, F. and Kilsby, C. G.: On the sampling distribution of Allan factor estimator for a homogeneous Poisson process and its use to test inhomogeneities at multiple scales, *Physica A*, 392, 1080–1089, 2013.
- Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Wang, W., and Powers, J.: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, Technical note tn-468+str., NCAR, Boulder, CO, 113 pp., 2008.
- Splinder, D., Chawla, A., and Tolman, H. L.: An initial look at the CFSR Reanalysis winds for wave modeling, Technical Note, MMAB Contribution No. 290, NCEP, Camp Springs, MD, 2011.
- Splinter, K. D., Carley, J. T., Golshani, A., and Tomlinson, R.: A relationship to describe the cumulative impact of storm clusters on beach erosion, *Coast. Eng.*, 83, 49–55, 2014.
- Telesca, L. and Pereira, M. G.: Time-clustering investigation of fire temporal fluctuations in Portugal, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 661–666, doi:10.5194/nhess-10-661-2010, 2010.
- Telesca, L., Cuomo, V., Lapenna, V., and Macchiato, M.: On the methods to identify clustering properties in sequences of seismic time-occurrences, *J. Seismol.*, 6, 125–134, 2002.
- Telesca, L., Lapenna, V., Scalcione, E., and Summa, D.: Searching for time-scaling features in rainfall sequences, *Chaos Solit. Fract.*, 32, 35–41, 2007.
- Telesca, L., Bernardi, M., and Rovelli, C.: Time-scaling analysis of lightning in Italy, *Commun. Nonlin. Sci. Numer. Simul.*, 13, 1384–1396, 2008.
- Telesca, L., ElShafey Fat ElBary, R., El-Ela Amin Mohamed, A., and ElGabry, M.: Analysis of the cross-correlation between seismicity and water level in the Aswan area (Egypt) from 1982 to 2010, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2203–2207, doi: 10.5194/nhess-12-2203-2012, 2012.
- Tolman, H. L.: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14, Tech. rep., NOAA/NWS/NCEP/MMAB, Camp Springs, MD, 2009.
- Vousdoukas, M. I., Almeida, L. P. M., and Ferreira, Ó.: Beach erosion and recovery during consecutive storms at a steep-sloping, meso-tidal beach, *Earth Surf. Proc. Land.*, 37, 583–593, 2012.



Wadey, M. P., Haigh, I. D., and Brown, J. M.: A century of sea level data and the UK's 2013/14 storm surges: an assessment of extremes and clustering using the Newlyn tide gauge record, *Ocean Sci.*, 10, 1031–1045, doi:10.5194/os-10-1031-2014, 2014.

# Report of MarCom WG 161 - Interaction between offshore wind farms and maritime navigation

Jean-Charles Cornillou <sup>1</sup>

<sup>1</sup> "Centre for studies and expertise on risks, environment, mobility and country planning" (CEREMA), CHAIR WG 161. jean-charles.cornillou@cerema.fr

## OBJECTIF OF WG 161

In the light of international texts, the needs and requirements of maritime navigation should be taken into account when establishing a new activity at sea to ensure the safety of maritime navigation. When setting up an offshore wind farm (OWF) some recommendations are necessary to allow a minimum safety distance between an OWF and maritime traffic. This distance should take into account the optimum distance to stop a vessel, sufficient space to assess the risk of collision and the distance required to minimize disturbances on ships' radars and radio-communication systems; and to determine the aids to navigation required in terms of marine marks and vessel traffic services.

The report intends to be a guide for the Marine Spatial Planning (MSP) of any Coastal State covering the identification of wind farm areas and the design, planning, construction, operation and dismantling of a wind farm.

## CHAPTER 1. GENERAL ASPECTS

This report:

- Provides references to international conventions and regulations.
- Provides guidelines to define an appropriate safe distance to navigation for different situations.

- Describes the electromagnetic radiation effect on radio navigation and radio communication systems.
- Indicates mitigating measures to be taken into account for the safe navigation of shipping.
- Covers emergency situations that may occur within or close to an OWF.

## CHAPTER 2. IDENTIFICATION OF INTERACTIONS

Marine Spatial Planning (MSP) is defined by UNESCO as a public process of analysing and allocating the spatial and temporal distribution of human activities in marine areas to achieve ecological, economic and social objectives that are typically specified through the political process. There are 3 reference documents on MSP:

- Directive 2014/89/EU requesting all European maritime Member States to establish MSPs by 31st March 2021.
- IALA Recommendation R1010 “The involvement of maritime authorities in marine spatial planning (MSP)”.
- IALA guideline G1121 “Navigational safety within marine spatial planning”.

Maritime Emergency Planning (MEP) is the process of risks analysis and contingency planning within a Marine Spatial Plan (MSP). This concept was developed by WG161 in order to ascertain risk analysis in MSP.

## CHAPTER 3. LEGAL ISSUES

This section discusses the most important international provisions, regulations and guidelines for marine spatial planning related to safe distances to multiple offshore structures such as wind farms.

International references are from UN (United Nations Convention on the Law Of the Sea - UNCLOS), UNESCO (Marine Spatial Planning - MSP), IMO (Safety Of Life At Sea - SOLAS, Collision Regulations - COLREG, General Provision for Ships Routeing - GPSR, ...), ITU (Radio Regulations - RR) and ICAO (International Civil Aviation convention annex 14 Aerodromes). International recommendations are the ones from IMO, IALA and PIANC.

## CHAPTER 4. NAVIGATION CONSTRAINTS, COLLISIONS AVOIDANCE & MARKING

The analysis of safety distances between shipping routes and OWF require a good description of the ships that may be navigating close to the OWF. In this respect all kinds of ships in the area should be considered. The main characteristics of the ships must be

defined in order to have a good description of the fleet. It is recommended to make a compilation of factors such as type of ship and goods carried (hazardous or not), main dimensions (length, beam, draught), manoeuvring characteristics (result of manoeuvring tests if available, number of propellers, rudders and thrusters), auxiliary systems such as tugs (in restricted areas or close to ports).

As a complement to the fleet description, it is important also to analyse the routes and the frequency of the ships since traffic density is an important parameter. This analysis will provide information about the real navigation areas and it is an important input to the risk analysis.

It is recommended to make a traffic survey of the area that includes all the vessel types found in the area and cover at least one year of information in order to account for seasonal variations in traffic patterns, fishing operations and recreational activities. In that respect, AIS data records are very useful for traffic analysis. This study must be complemented by a forecast of future traffic taking into account market trends, infrastructure investments in the area or changes in traffic routes.

One of the aims of this analysis should be to provide a good definition of the different actual shipping routes in the area. In this respect, Traffic Separation Scheme (TSS) or marked channels shown on Nautical Charts may provide a first approximation but also, actual shipping lanes should be defined based on recorded traffic statistics.

The distance between a wind farm and a shipping route is defined as the distance between the physical boundary of the wind farm and the nearest edge of the shipping route or navigation channel.

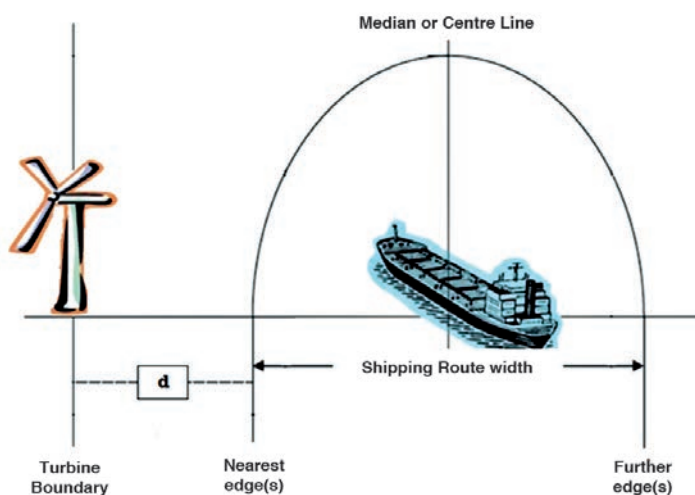


Figure 1: Distance "d" between wind farm and shipping route.

Others factors should be taken into account, such as the geometric configuration of the water (hydrographic), the Aids to Navigation, the maritime and atmospheric conditions (hydrodynamics), pilotage, escorting & towing requirements and the Processes in Safety Distance Estimation.

Given the visual impediment of an OWF, sufficient space should be maintained to allow the vessel to determine the risk of collision, in accordance with COLREG 7. The vessel shall be able to assess the possibility of crossing traffic originating from starboard in front of the OWF, crossing traffic from the OWF or crossing starboard behind the OWF irrespective of the size and type of vessels. This assessment takes into account the distance available in front of the ship and on the sides of the vessel, which distances may vary depending on the manoeuvring space required for a vessel. Vessels should also be given a sufficient field of view to assess the risk of collision of ships coming from the same side of the OWF (in front, inside or behind the OWF).

Action taken to avoid collision with another vessel (COLREG 8) shall be such as to result in passing at a safe distance. The effectiveness of the action shall be carefully checked until the other vessel is finally past and clear. If the stand on vessel (i.e. the vessel with the other on her port side) does not act according the COLREGs, the give way vessel's last resort is a full round turn over starboard.

The required room for turns to starboard and port are shown in figures 2 and 3. The space for the round turn is determined as follows:

- 1) Start of the round turn. A round turn is not started right away. Normally one first deviates course, while observing the other vessel. This requires time. In the meantime, one deviates from the original track. The distance is normally taken as a minimum of 0.3 NM.
- 2) The round turn itself is determined as described in the IMO Standards for Ship Manoeuvrability (IMO resolution MSC.137 (76) and MSC/Circ.1053):  
These requirements apply under controlled conditions during sea trials. It is reasonable to take an extra ships length to compensate for the fact that the Officer On Duty is not fully prepared for this manoeuvre. Therefore, the diameter of the round turn has been determined to be 6 ship's lengths.
- 3) The round turn should not bring the vessel closer than the 500 meter safety distance zone.

A round turn could also be made over to port side, in case the starboard aft quarter is blocked due to an overtaking vessel for example. However, in that case the vessel will not first deviate to port, but start a round turn right away (see Figure 3).

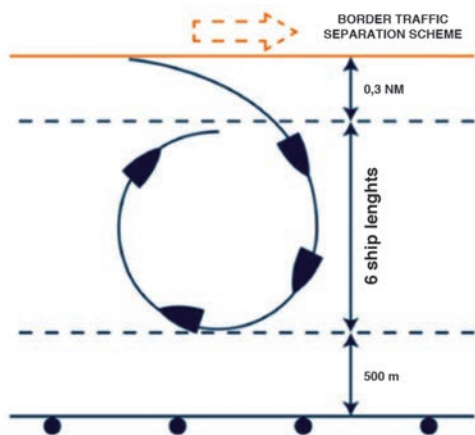


Figure 2: Required space between shipping route and a starboard side wind farm.

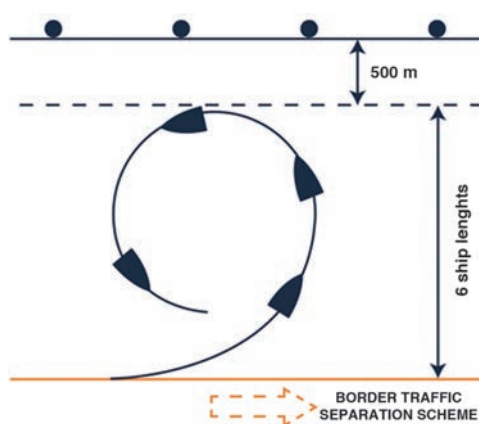


Figure 3: Required space between shipping route and a port side wind farm.

It quite often happens that, after making a round turn, a Not Under Command situation occurs, due to mechanical problems (e.g. low-level alarm on oil levels etc.). On many vessels, the Officer On Duty will hesitate to use hard rudder at once. One would be particularly cautious before starting such a turn on passenger ships and container vessels as it can result in significant damage to passengers, crew and cargo. Round turns are also made in case of a Man Over Board situation.

Risk assessment completes the navigation constraints analysis. It comprises the first step in the development and application of Maritime Emergency Planning (MEP). The aim of the risk assessment is to establish the risks which need to be managed in the area and to identify means to control them to acceptable levels. The risk assessment process should identify the hazards, together with the events or circumstances which may give rise to their realisation, determine the risk posed by them and identify the measures that can be put in place to control the risk by preventing the realisation of the hazard and/or mitigating its effect if it does occur.

## CHAPTER 5. ELECTRO MAGNETIC RADIATION (EMR)

In the focus of Interaction between OWF and maritime navigation, this chapter deals with the following equipment: radar (in particular shipborne radar and vessel traffic service radar); maritime radio communications in line with the GMDSS; Automatic Identification System (AIS); shore-based radio direction finder (RDF); global navigation satellite systems (GNSS); and others navigation systems.



Effect of the presence of an OWF on radar generates inevitable confusion between the position of ships and wind farms, interferences from the rotation of the rotors in some cases; decreasing in precision of detection, inoperative by saturation, blind sectors and false targets. In consequence, these disturbances can significantly degrade the capabilities of detection, localization and identification of radar around wind turbines.

The establishment of OWF is likely to impact the operational range of systems of monitoring and communication. This has an impact mainly for ships within VHF range when located behind OWF. There are several studies that confirm interference of VHF, which under certain conditions can impact not only the analogue voice communications but also DSC and AIS digital signals.

Depending on the importance of the information provided by GNSS or local radio navigation systems, it is suggested that a study of the potential impact on GNSS and radio navigation transmissions and coverage be considered during the planning process for a wind farms.

## CHAPTER 6. EMERGENCY SITUATIONS

Emergency response is one of the crucial links in the global chain of contingency planning and associated risk management. Maritime Emergency Planning (MEP) should be part of a holistic Safety Management System covering both risks to maritime navigation from OWF and vice versa. In order to avoid a complex identification of separate risks ordered by (direct-indirect) causes, risks are globally ordered by the nature of their consequences on:

- People (health, safety & security) with SAR as the most important response.
- Planet (marine environment) with pollution (oil spill) contingency as the primary focus.
- Property & Assets (materials) with salvage as the main emergency response.
- Professions/Business (socio-economy, liability, reputation, etc).

The number, size of wind turbines and fields and geographical coverage of offshore renewable energy installations impacts the sea-space and it is recognized that there will be an increasing SAR challenge caused by large numbers of physical obstacles at sea. The presence of OWF creates new, physical obstacles to both surface vessels and low flying aircrafts.

SAR helicopters normally have radar fitted for search, surveillance and navigation. The effects of wind turbines on an airborne radar picture have undergone limited assessment and it has been noted that wind-turbine radar returns may merge together into a single, large radar image at medium to long ranges. Navigating a SAR helicopter through a wind farm is difficult and requires careful mission management. The feedback from some

European SAR aircrew currently indicates that searches are possible within wind farms but that search quality may be lower than that expected in open water. Crew will need to refer to the available detailed OWF charts and ID numbers of turbines in their vicinity to visually navigate and cross-check location with electronic navigation systems and to plan a route to a rescue location or when searching.

An additional problem is that, depending on the wind farm layout and spacing of turbines, the use of SAR access lanes may lead to a reduction in coverage if the spacing between SAR access lanes is greater than the required sweep width. OWFs should, wherever possible, be laid out in a regular grid pattern. Unfortunately, this is not always possible for engineering and construction reasons, e.g. seabed conditions and water depths, preventing turbines being laid in a regular pattern.

## CHAPTER 7. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS

### MSP & MEP

The identification of the interactions between OWF and navigation can best be achieved by preparing a Marine Spatial Plan (MSP) and by preparing a Marine Emergency Plan (MEP).

### International Ship's Routing

When the OWF is located in the high sea or close to an international ship's routing scheme, a submission to IMO, NCSR sub-committee, should be made if ship's routing measures around the OWF are foreseen in order to safeguard the safety of navigation.

### Basic Rule to Navigators

The basic rule which should firstly be adopted by navigators around or within OWF zones is: "Navigate with caution and avoid these OWF areas as much as possible".

### Radar

If appropriate setting should be implemented on shipborne radar, the recommended distance to minimize disturbance on radars is 1.5 miles.

The main principle in the prevention of shore-based radar interferences is that each radar operator shall be consulted. Radar operators include, civil aviation, weather office, national defence, VTS & ports. There may be a competent Authority in charge to coordinate the consultation, but the rules shall depend on national regulations.

## Radio Communications

In all cases, it is considered best practice to establish the implications for radio communication systems, Radio Direction finder (RDF) and AIS operating in the area around a wind farm, and to carry out a study on the potential impact on radio communications and radio systems to the extent possible. Field measurements should be carried out when OWF is completed in order to confirm the location of any extra VHF coastal radio station or AIS shore based station or simply to check the sea area A1 coverage integrity.

## Safety Distance

A Table of general guidance for planning safety distance between a shipping route and the first obstacle of an OWF has been developed based on the experience of WG 161 Members and regulations adopted in their countries.

There may be opportunities for the interactive safety distance to be flexible where, again, for example, vessels may be able to distance themselves from OWF to provide more comfort without significant penalty, or where OWF could be distanced from shipping nodal points. It is recognised that larger ships, high speed crafts, hazardous cargo and passengers carrying vessels may have larger domains and then require more space for manoeuvring.

Traffic surveys would also establish any route traffic bias where mariners may naturally turn to starboard to facilitate passing encounters in accordance with the COLREG 72. Additionally, marine traffic surveys would identify vessel type or category which may consequently require larger domains to ensure that the following factors can be taken into consideration in determining corridor widths:

- Compliance with the best practices of seamanship and principles to be observed in keeping a navigational watch including the composition of the watch.
- The manoeuvrability of vessels with special reference to stopping distance and turning ability in the prevailing conditions.
- Provisions that may be required with mechanical failure of vessels involved and level of support services.
- The state of visibility, wind, sea and tidal stream, and the proximity of navigational hazards.
- The traffic density including concentrations of fishing vessels or any other vessels.



- The draught in relation to the available depth of water and the existence of submarine cables and obstructions.
- The effect on radar detection of the sea state, weather and other OWF sources of interference.

5 annexes relative to current practices in The Netherlands, Japan, France, Sweden and Germany have been inserted in the end of the report in order to give a complete state of the art on the subject.



## Webgis platform for seismic risk assessment of maritime port systems in Italy

Francesca Bozzoni <sup>1</sup>, Carlo G. Lai <sup>2</sup>, Paolo Marsan <sup>3</sup>, Daniele Conca <sup>4</sup>, Antonino Fama <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Senior researcher, European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering (EUCENTRE), francesca.bozzoni@eucentre.it

<sup>2</sup> Professor, Department of Civil Engineering and Architecture DiCAr, University of Pavia. carlo.lai@unipv.it

<sup>3</sup> Head of Hydrogeological Risk Service, Department of Civil Protection. Paolo.Marsan@protezionecivile.it

<sup>4</sup> Research Assistant, DiCAr, University of Pavia, Italy; EUCENTRE. daniele.conca@eucentre.it

<sup>5</sup> Research Assistant, DiCAr, University of Pavia, Italy; EUCENTRE. antonino.fama@eucentre.it

### ABSTRACT

In the immediate aftermath of an earthquake, maritime ports represent key elements in rescue operations being priority entry points into the area affected by the seismic event. In Italy, the Department of Civil Protection has commissioned to the European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering (EUCENTRE) of Pavia a national research project on seismic vulnerability and risk assessment of seaports. One of the main outcomes of this project is a GIS (Geographical Information System) platform fully accessible through a WebGIS which allows users to consider and evaluate jointly different factors that contribute to the seismic risk of maritime ports. The database, which now includes 61 Italian ports, is continuously updated with data acquired owing to the support of the Ministry of Infrastructures of Italian Government and PIANC Italy. The WebGIS, through the implementation of purposely-developed algorithms, is able to translate a multitude of heterogeneous datasets of seaports into smart and interactive map-based visuals such as soil liquefaction risk charts and seismic damage for specific earthquake scenarios.

*Keywords: seismic risk, maritime ports, GIS, Italy, Civil Protection, interdependencies.*

## INTRODUCTION

Worldwide, a large number of important maritime ports are located in active seismic regions, such as for instance the Mediterranean basin (e.g., Italy, Greece, Turkey, etc.) or the circum-Pacific belt (the so-called “Pacific Ring of Fire”, California, Alaska, Peru, Chile, Japan, New Zealand, etc.). Historical earthquakes such as the Loma Prieta (USA, 1989), the Hyogoken-Nanbu (Japan, 1995), Tokachi-Okii (Japan, 2003) and the most recent events of Port-au-Prince (Haiti, 2010), Tohoku (Japan, 2011) and Kaik ura (New Zealand, 2016) have highlighted the seismic vulnerability of many existing port facilities, whose deficiencies in seismic response should be assessed and addressed. These destroying earthquakes caused severe damage not only in the epicentral area, but also at large distances, generating soil liquefaction and significant ground deformations. For instance, the 2016 M7.8 Kaik ura earthquake caused widespread liquefaction and significant ground movements at CentrePort, Wellington. Settlement of 200-300 mm occurred throughout the reclamation, and settlement as large as 400-600 mm occurred near the reclamation edges where lateral movements on the order of 0.5-1.5 m occurred, which in turn damaged wharves and structures (Cubrinovski et al., 2018).

Maritime ports are key elements in rescue operations in the immediate aftermath of an earthquake. For instance, in the 2010 Haiti earthquake, the loss of serviceability of most wharf structures greatly hampered the relief efforts (Eberhard et al., 2010). Thus, seaports represent entry points into an area affected by an earthquake thereby playing a crucial role for Civil Protection purposes.

In Italy, the Department of Civil Protection has commissioned to the European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering (EUCENTRE) of Pavia (<http://www.eucentre.it>) a national research project on seismic vulnerability and risk assessment of seaport infrastructures. One of the main deliverables of this project is the GIS (Geographical Information System) platform which allows users to consider and evaluate jointly different factors that contribute to the seismic risk of maritime ports. The data acquired were inserted into the GIS platform, continuously updated and improved owing to the support of the Ministry of Infrastructures of Italian Government and PIANC Italy. The database now includes general information of 61 Italian seaports. Furthermore, bathymetric, geotechnical, structural and infrastructural data on the seaport system were collected for the major harbours located in moderate to high seismicity zones. Raw and processed technical data on seaport infrastructures were shared with the Italian Department of Civil Protection through a WebGIS platform. This is a robust engine capable of processing basic information and compute newly-generated data such as seismic damage scenarios of seaport structures and infrastructures taking into account co-seismic effects such as soil liquefaction risk.

## WEBGIS DATABASE OF ITALIAN SEAPORTS

A spatial database was purposely implemented at EUCENTRE to manage and merge available information regarding the Italian ports, overall 61 facilities. For each port, the following basic information were collected such as location, the authority that manages the facility, typology of the port traffic, prevailing functions carried out by the port, seismic classification of the area where the harbour is located, range of depths of the sea-floor inside the port basin, exposure to the winds. The reference seismic hazard at the site of the port is defined according to the prescriptions of the current Italian building code (NTC18) for different return periods.

It is worth noting that the database was recently reorganized taking into account the provisions of the Italian Law issued in 2016 on reorganization, rationalization and simplification of the legislation concerning port authorities. Now, the database includes all 58 ports of national importance as identified in the aforementioned law in addition to 3 ports selected for the importance of the facility for the purpose of civil protection during the emergency following the occurrence of an earthquake. The GIS platform of seaports is integrated and harmonized with all the services that EUCENTRE is developing for the Italian Department of Civil Protection as GIS databases useful to assess the seismic risk of Italian strategic buildings (e.g. schools, hospitals), roadway network and relevant dams. All these database are made available and searchable online through the development of specific functionalities with appropriate WebGIS applications. In this framework, the complex WebGIS architecture allows a homogenous and composite flow of information

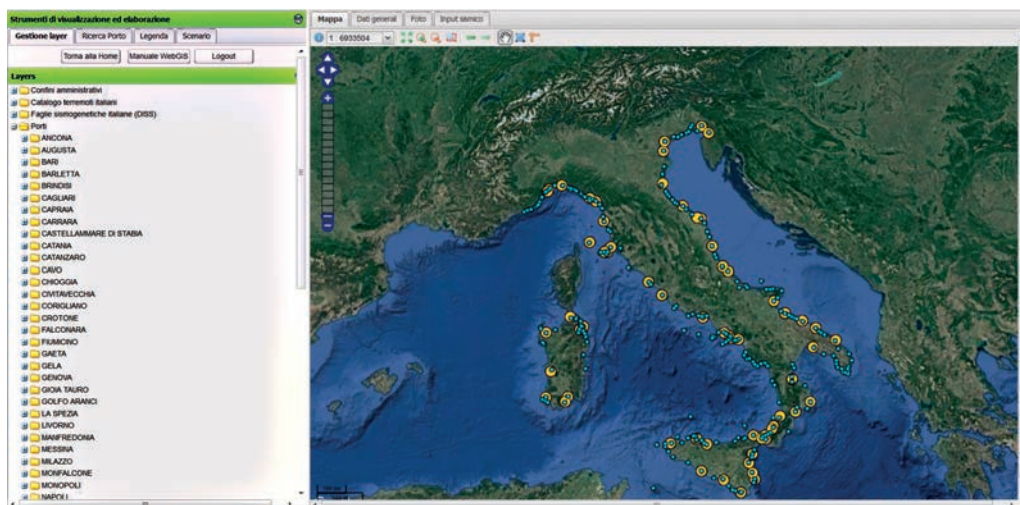


Figure 1. Excerpt from the WebGIS platform showing the 61 Italian seaports (yellow dots) included in the database set-up at EUCENTRE. The light blue dots represent all the 278 ports located in Italy.



to the Department of Civil Protection for the purpose of emergency management and risk prevention. Figure 1 shows an excerpt from the WebGIS platform showing the 61 Italian major seaports (yellow dots) included in the database. Moreover, the location of all the 278 harbours located in Italy (taken from <http://dati.mit.gov.it/catalog/dataset/opereed-infrastrutture-portuali-per-porto-al-31-12-2014>) are displayed.

The WebGIS platform for Italian seaports includes heterogeneous data that can be visualized through various layers, such as information on the structural and infrastructural elements of the harbour as well as geological, geotechnical and bathymetric data. Indeed, thanks to the support of the Italian High Council of Public Works (Ministry of Infrastructure and Transports), surveys were carried out jointly by the staff of EUCENTRE and Department of Civil Protection in order to acquire technical data concerning the most relevant seaports, located in medium to high seismicity areas of the Italian territory. A technical visit at each seaport allowed a direct view of the strategic elements of the harbour, with relevant technical data supplied by the port authorities. These ports were overall 16. The collected data was processed and organized in the WebGIS, where some pieces of information illustrated in Table 1 are displayed.

Typologies of technical data within the italian port database		Number
Plan view of the port		16
Bathymetry (appropriately themed based on the sea-floor depths)		14
Wharf structures (including data on their destination, structural typology, state of repair, dimensional characteristics, constitutive materials and possible measures of retrofitting, etc.)		190
Cranes and cargo handling		96
Components of the electric power system	Transmission substations	90
	Distribution circuits	132
Storage facilities		40
Buildings		109
Railway lines (segments)		1193
Data from geotechnical investigation	Boreholes	144
	In situ geotechnical and geophysical tests	243
Accessibility of the port	From the sea, i.e. inlet and basin of evolution	28
	From the ground level, i.e. access ways linking port area to roadway network	76
	From the sky, i.e. helicopter landing pads	8

Table 1. Technical data included in the database of Italian maritime ports developed at EUCENTRE.

## GIS-BASED TOOLS TO ASSESS SEISMIC RISK OF SEAPORTS

Under earthquake loading, various port facilities can be damaged, from wharves with their supporting systems to superstructures (e.g. cranes) and utilities. In fact, ports represent complex systems composed by elements characterized by different features and thus by non-homogeneous seismic vulnerability. Port facilities can be classified into three main categories (HAZUS, NIBS 2004): waterfront structures (i.e. wharves, seawalls), cranes, cargo handling and storage facilities, and port infrastructure, such as transportation and utility systems.

A GIS-based procedure for seismic damage assessment of seaports was set-up at EU-CENTRE starting from the definition of the seismic hazard and accounting for contributions of both site effects and liquefaction risk (Bozzoni et al., 2011; Bozzoni and Lai, 2012). The WebGIS, through the implementation of purposely-developed algorithms, is able to translate a multitude of heterogeneous datasets of seaports into smart and interactive map-based visuals such as soil liquefaction risk charts and seismic damage for specific earthquake scenarios. This methodology was applied to major Italian seaports, such as the harbour of Salerno (Bozzoni et al., 2011) and the port of Gioia Tauro (Bozzoni et al., 2014; Famà et al., 2014). The reference seismic hazard at the site of the port was defined according to the prescriptions of the Italian building code for three return periods (i.e. 100, 475, and 950 years). Proper interpretation of collected data on soil deposits, that lie in the port area, led to the definition of a suitable geotechnical model that has been used to carry out ground response analyses. The developed procedure includes performance of 1D fully stochastic site response analysis that allows to assess the sensitivity of the results to both epistemic and aleatory uncertainty of soil model parameters as well as the variability of seismic input. Liquefaction risk and induced soil settlements were assessed using state-of-the-art empirical correlations linking liquefaction capacity to field-measured penetration resistance. Potential level of seismic damage to the seaport elements was assessed through a set of specific fragility models.

*In-house* fragility curves for different types of wharves were developed at EUCENTRE. Indeed, analytical fragility functions have been purposely developed for the most common types of wharves in Italy, i.e. blockwork and pile-supported wharves. Novel fragility models for blockwork wharves were derived by using an artificial neural network taking into account different geometries, liquefaction occurrence and type of failure mechanism (i.e. horizontal sliding and tilting towards the sea). Further details can be found in Calabrese and Lai (2013). A procedure to compute deterministic and stochastic fragility curves for pile-supported wharf structures was also developed (Mirfattah, 2013; Mirfattah and Lai, 2015). The study on pile-supported wharves was based on the selection of a *template wharf*, i.e. the Banchina Alti Fondali at the Gioia Tauro port. Furthermore, a methodology enabling to take into account the effect of cumulated damage on pile-supported wharves due to a sequence was developed using state-dependent fragility functions. The residual capacity after the mainshock damage state was evaluated (Nitrios, 2015).

Since a port is composed by interconnected infrastructural elements providing a framework that support the functionality of the entire system, potential disruptions of one (or more) port elements following an earthquake may trigger a cascade effects affecting the whole system. Recently, the GIS-procedure developed at EUCENTRE has been upgraded by including a simulation-based methodology for the assessment of seismic risk of ports as systems of interconnected infrastructural elements. The novel procedure has been then applied to the case study of Gioia Tauro port (Conca et al.). The seismic vulnerability including interdependencies among the port components (i.e. container terminals composed by waterfronts, cranes and, components of the electrical power system) was finally assessed.

Figure 2 schematically shows the flow-chart of the procedure. It is important to point out that all the steps of the method can be carried out at various levels of complexity, applying more refined algorithms and approaches depending on the availability and quality of technical data.

The collected and processed technical data are shared with the Italian Department of Civil Protection through the WebGIS platform. The WebGIS allows a homogenous and

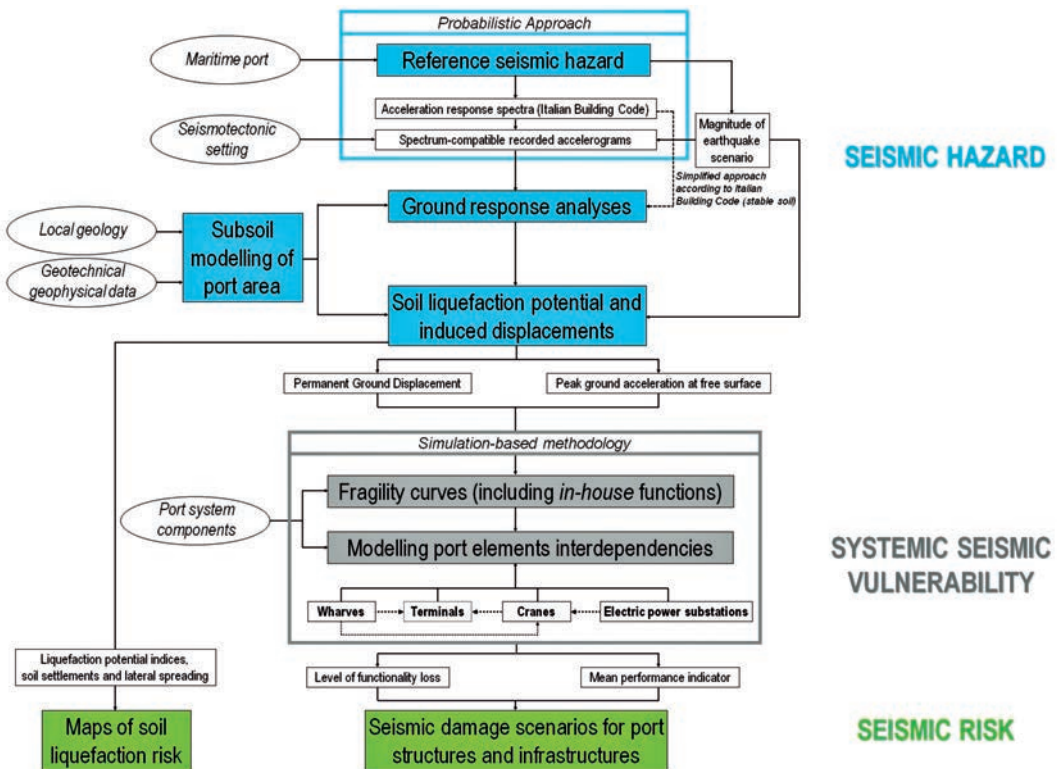


Figure 2: Flow chart of the procedure for seismic risk assessment of maritime port system developed at EUCENTRE.

composite flow of information and results of elaborations (e.g., site response analysis, liquefaction risk maps, seismic damage scenarios, etc.). Figure 3 shows an excerpt from the WebGIS platform showing the levels of functionality loss computed for infrastructures at the port of Gioia Tauro for the return period of 950 years taking into account the interdependencies among port elements in the assessment of seismic vulnerability.

Furthermore, the WebGIS platform is equipped with purposely-developed algorithms for the (near-) real-time assessment of earthquake-related damage to maritime ports. The (near-) or *quasi* real-time assessment is based on a deterministic definition of the seismic hazard. When an earthquake occurs, the user specifies the major seismological characteristics of the event like hypocentral location, magnitude and possibly the focal mechanism. Ground shaking at the site of interest is estimated using state-of-the art ground motion prediction equations (GMPE). The predicted damage scenario for each maritime port is then obtained by using fragility models from the literature including the *in-house* models, previously mentioned. Further details can be found in Bozzoni and Lai (2017).

Quite recently, access to the WebGIS platform was given also to port authorities, that provided the technical data. This initiative has significantly strengthened inter-institutional synergy in Italy among Department of Civil Protection, High Council of Public Works, PIANC Italy, and EUCENTRE on the issues related to the seismic risk assessment of maritime ports.

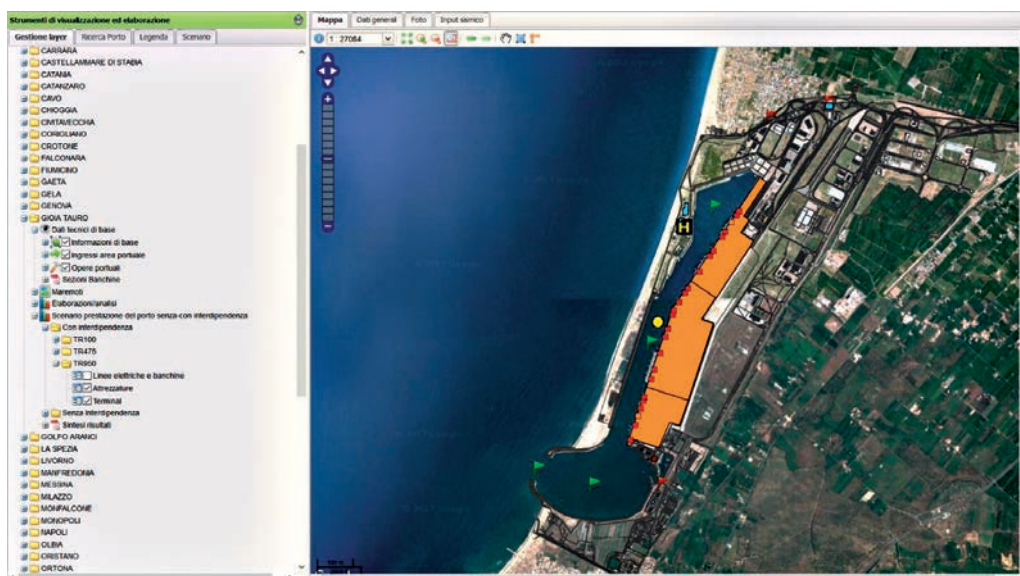


Figure 3: Excerpt from the WebGIS platform showing the levels of functionality loss computed for infrastructures at the port of Gioia Tauro for the return period of 950 years taking into account the interdependencies among port elements in the seismic vulnerability assessment.

## CONCLUDING REMARKS

Poor performance has been exhibited by seaports infrastructures during past and recent earthquakes when severe damage was caused by ground shaking and co-seismic effects, such as soil liquefaction. Ports represent complex systems with different features and vulnerabilities. Under earthquake loading, various facilities can be damaged, from wharves structures with their supporting systems to superstructures and utilities, and potential disruptions of one (or more) port elements may trigger a domino effect affecting the whole system.

In Italy, an inter-institutional synergy on the issues related to the assessment of the seismic risk of seaports started about ten years ago. This fruitful collaboration involves the Department of Civil Protection, the High Council of Public Works of the Ministry of Infrastructures of Italian Government, PIANC Italy, the Italian port authorities and the European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering (EUCENTRE) of Pavia. Indeed, the Department of Civil Protection funds a project on seismic vulnerability and risk assessment of national seaports, carried out by EUCENTRE.

In this framework, a spatial database has been built at EUCENTRE starting from the collected technical data on Italian harbours provided by the port authorities. The GIS database, which is continuously updated and improved owing to the support of the Ministry of Infrastructures of Italian Government and PIANC Italy, is fully accessible online as WebGIS platform. The WebGIS platform allows users to consider and evaluate jointly different factors that contribute to the seismic risk of maritime ports. Indeed, at EUCENTRE, GIS-based tools have been developed to assess the earthquake-related damage to maritime port systems starting from the definition of the seismic hazard and accounting for contributions of both site effects and liquefaction risk taking also into account the systemic seismic vulnerability, i.e. interdependencies among the seaport elements. Moreover, the WebGIS platform is equipped with purposely-developed algorithms for the (near-) real-time assessment of earthquake-related damage of maritime ports.

A homogenous and composite flow of data and results of analyses (e.g., liquefaction risk maps, seismic damage scenarios, etc.) is shared with the Department of Civil Protection through the purposely-developed WebGIS platform. Recently, access to the WebGIS platform was given also to port authorities, that provided technical data, strengthening significantly the inter-institutional collaboration in Italy on the assessment and management of seismic risk of seaports.

In this framework, the WebGIS developed at EUCENTRE represents a valid support to decision makers in the development of mitigation and prevention strategies, plans of intervention and post-earthquake emergency management.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work has been carried out under the financial auspices of the Department of Civil Protection of Italian Government within the project named “Seismic vulnerability of maritime ports” (Progetto n. 7 2018). This support is gratefully acknowledged by the authors. A special thanks to Prof. Mauro Dolce for his efforts spent on building a fruitful inter-institutional collaboration with the Italian institutions devoted to handle the issues on seaports.

We would like to express our gratitude to the High Council of Public Works and PIANC Italy. A special word of appreciation goes to Eng. Andrea Ferrante and Eng. Massimo Sessa, respectively. We are also deeply grateful to the staff of the port authorities who kindly provided technical data on Italian ports.

Support provided at EUCENTRE especially by Eng. Alessio Cantoni is gratefully acknowledged by the authors. Prof. Paolo Franchin and Dr. Francesco Cavalieri (Sapienza University of Rome) are acknowledged for the fruitful discussions on the methodology developed at EUCENTRE to take into account interdependencies among port elements in the vulnerability assessment.

## Bibliographic references

- Bozzoni, F., Famà, A., Lai, C.G., Mirfattah, S.A. 2014. Seismic risk assessment of seaports using GIS: the port of Gioia Tauro in Southern Italy, *33th PIANC World Congress*, San Francisco, CA, USA.
- Bozzoni, F., Lai, C.G. 2012. Seismic Risk Assessment of Italian Seaports Using GIS Technology: the Ports of the Calabria Region, *15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisbon, Portugal.
- Bozzoni, F., Lai, C.G. 2017. Tools for rapid seismic response assessment of strategic facilities under GIS environment: applications to Italian seaports and embankment dams, *Proceedings, 3rd International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*, PBD-III, Vancouver, Canada.
- Bozzoni, F., Scandella, L., Lai, C.G., Corigliano, M. (2011). Stima del Danno Sismico di Porti Marittimi Attraverso la Tecnologia GIS: il Caso del Porto di Salerno. *Progettazione Sismica*. Vol. 2, No. 1, pp. 117-137, 2011. In Italian.
- Calabrese, A., Lai, C.G. 2013. Fragility functions of blockwork wharves using artificial neural networks, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 52(1): 88-102.
- Conca, D., Bozzoni, F., Lai, C.G. The influence of interdependencies among port elements in seismic risk assessment of seaport systems: application to the largest port for container throughput in Italy. Submitted to *Bullet of Earthquake Engineering*.

- Cubrinovski, M., Bray, J.D., de la Torre, C., Olsen, M., Bradley, B., Chiaro, G., Stocks, E., Wotherspoon, L., Krall, T. (2018). Liquefaction-Induced Damage and CPT Characterization of the Reclamations at CentrePort, Wellington. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 108, No. 3B, pp. 1695-1708.
- Eberhard, M.O., Baldridge, S., Marshall, J., Mooney, W., Rix, G.J. 2010. The Mw 7.0 Haiti earthquake of January 12, 2010; USGS/EERI Advance Reconnaissance Team report: U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1048, 58 p.
- Famà, A., Bozzoni, F., Lai, C.G. 2014. Valutazione in Ambiente GIS del Danno Sismico di Strutture Portuali Marittime: il Caso del Porto di Gioia Tauro. *Progettazione Sismica*. Vol. 5, No. 2, pp. 49-72, 2014. In Italian.
- Mirfattah, S.A. 2013. Assessment of seismic vulnerability and risk of pile-supported wharves, PhD Thesis, European School of Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School, IUSS Pavia), Pavia, Italy. Advisor: Prof. Carlo G. Lai.
- Mirfattah, S.A., Lai, C.G. 2015. Effect of Uncertainties in Soil Properties on Probabilistic Seismic Performance of Pile-Supported Wharves Proceedings, *6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Christchurch, New Zealand.
- NIBS 2004. National Institute of Building Sciences. *Earthquake loss estimation methodology, HAZUS*. Technical manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- NTC18. *Norme tecniche per le Costruzioni*, D.M. 17.1.2018 (Italian Building Code).
- Ntritsos, N. 2015. A State-Dependent Approach for Seismic Fragility Analysis of Wharves Supported in Liquefiable Soil, Master Thesis, European School of Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School, IUSS Pavia), Pavia, Italy. Advisor: Carlo G. Lai.

## Sustainable steel solutions for port infrastructure

João MARTINS <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical Marketing Manager. ArcelorMittal Sheet Piling. joao.martins@arcelormittal.com

Steel sheet piles have been used in ports for the execution of quay walls for almost 100 years. They replaced wooden piles due to the lack in the supply of wood by the end of the 19th century.

In the meantime, numerous quay walls, jetties and breakwaters around the globe have been built with steel sheet piles. The evolution of the shapes of the profiles combined with the improvement of the steel grades made it possible to design increasingly deeper maritime structures in response to the increase of the size of the vessels.

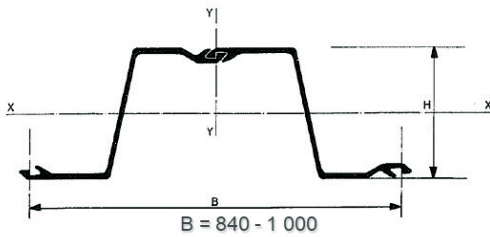
Research and development contributed to lowering the environmental impact of the steel in several ways. Firstly, by reducing the quantity of steel required to build equivalent structures, and secondly by developing new production routes that recycle steel.

Durability is an important criterion of sustainability, and one of the major challenges for maritime structures. Steel and reinforced concrete are both affected by this harsh environment. Construction industry is looking for new innovative solutions to increase the service life and reduce maintenance costs during the entire life-cycle.

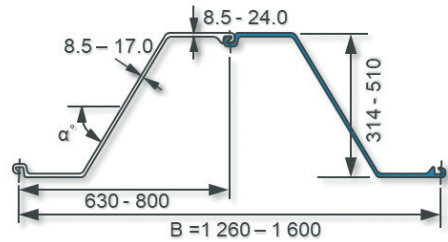
The second aspect in sustainability is the environment. Financial considerations will always be a key parameter in the choice of the technical solution, but the world is changing, and in the last years, environmental aspects are gaining more and more importance in the complex decision-making process.

The inexorable advance in rolling techniques, along with the development of more efficient driving techniques pushed steel sheet manufacturers to improve the effectiveness of their products, the aim being to outperform competitors. For instance, the reduction in





**BZ (1950's)**



**AZ® (1990 - 2004 - 2015)**

	$W_{el}$ ( $cm^3/m$ )	mass ( $kg/m^2$ )	$\Delta$ mass (%)
BZ IIR	1 370	140.0	
AZ 14-770	1 355	103.2	<b>-26%</b>
BZ VN	3 720	237.0	
AZ 38-700N	3 795	180.6	<b>-24%</b>

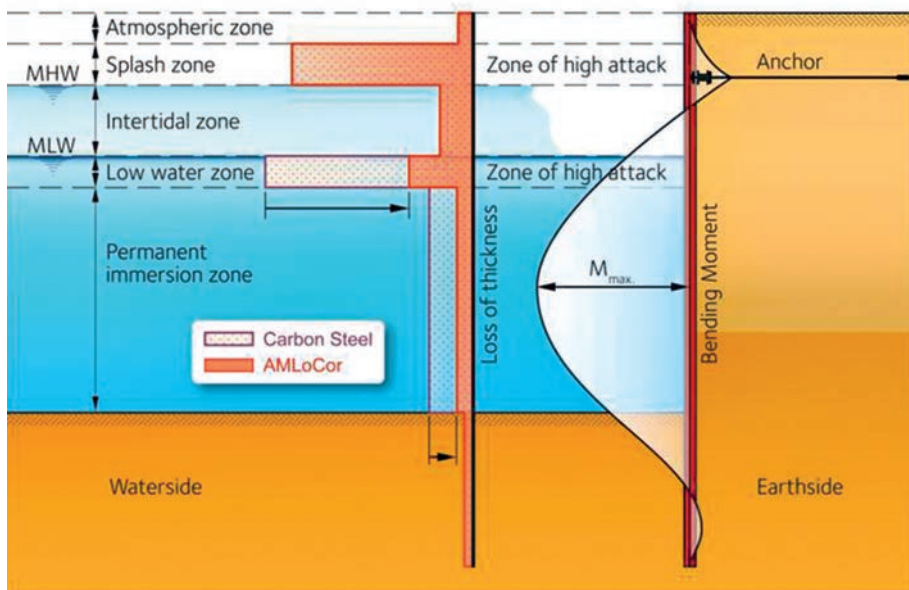
Development of Z-type sections over last decades: mass reduction (mass) for similar section properties.

weight between different generations of Z-type sheet pile sections with the same section modulus is significant: the new AZ®-800, launched in 2015, is more than 25% lighter than an equivalent BZ section from the 1950's.

Similarly, the high section modulus HZ®-M steel wall system was launched in 2008 and beats the old HZ system from the 1970's by at least 10% in weight. Its maximum resistance (maximum section modulus) was more than doubled.

Additionally, taking into account the increase of up to 30% in yield strength of current steel grades, *the mass of steel required to build exactly the same sheet pile structure has decreased in the last decades by more than 50%!*

Corrosion is one the key parameters for the optimization of a steel structure in a marine environment. It is quite difficult to estimate a reduction of thickness of a steel element in sweater, because many parameters influence the corrosion phenomenon. These parameters can also vary during the service life of the structure. To improve the durability, new steel grades emerged in the last years specifically for marine applications. Based on more than 15 years of exposure of steel samples in seawater in a UK port, measured corrosion rates of steel grade AMLoCor® in the low water zone and in the permanent immersion zone are up to 5 times smaller than the ones of standard carbon steel.



Corrosion rates measured in a port in the UK over a period of 15 years.

AMLoCor has been granted a German national technical agreement, so that even if it contains more alloys than a standard steel used in construction, it can be designed according to the international design standards for steel. For instance, approximately 4 000 tonnes of steel sheet piles in AMLoCor were installed in the new Uniterminal in the Port of Koege, Denmark, in 2016.



Uniterminal | Port of Koege | Denmark (2016). 4 000 t of AMLoCor © steel sheet piles installed.

*Reduced corrosion rates can lead to lighter sheet pile sections, and can avoid the need for coatings. This is a typical win-win situation for the environment.*

Groins built with steel sheet piles are used to protect beaches from wave erosion, and more recently, sheet pile walls in the USA were designed to protect beach fronts from the devastation of storms and hurricanes.

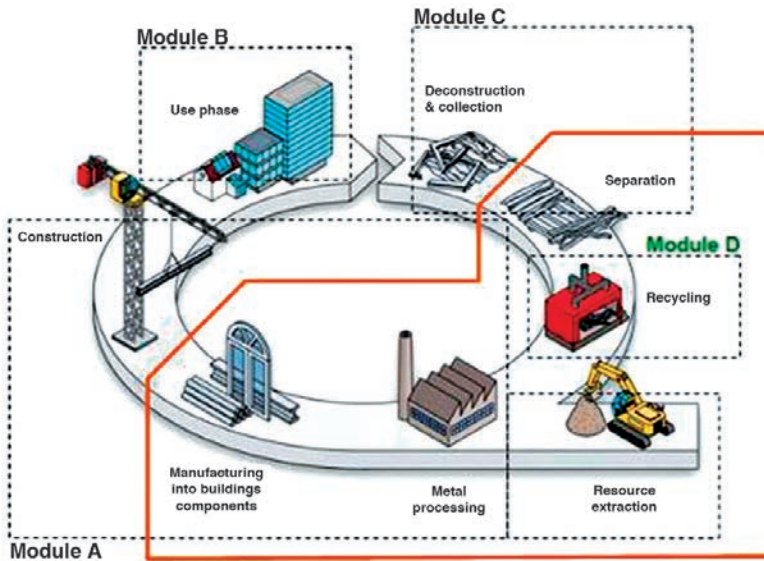
Steel is durable and resistant, but it has another outstanding property: *steel can be recycled over and over again. Recycling preserves natural resources, and hence contributes to a more sustainable world. Steel is an environmentally-friendly material, and 100% of the steel in any structure can be recovered and recycled.*

The challenge in port construction is that old structures are not always dismantled, but in a few decades, recovering the different construction materials for further processing, preferably recycling, will be a natural thought for every project owner. The building industry already takes into account environmental criteria, for instance in the certification of 'green' buildings (labels such as LEED, BREEAM,...). It is noteworthy that some European administrations already implement sustainable criteria in their tenders of public works, based on the 'Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement'. One method is to monetize the different sustainable criteria, for instance by giving credits based on an LCA (environmentally-friendly materials get more credits).

The difficulty in comparing alternative solutions from an environmental point of view is the lack of reliable information about the environmental impacts of each material. The effects of installation, its use phase, and after the service life, the recycling, are not easy to calculate. The main contributors of a structure to the environmental impact shall be analysed through a Life Cycle Assessment (LCA) according to ISO standards, taking into account every phase of the structure, including the recycling of the material.

An Environmental Product Declaration (EPD) for a specific product (specific use) simplifies such comparisons. It consists of an LCA using data provided by one or more production mills (steel mills and rolling mills) for specific products. Assumptions on reuse and recycling rates depend on the utilization of the products. Steel sheet piles can be reused several times, for temporary applications, but most of them are used in permanent structures for a service life ranging from 30 up to 100 years. Some modules, such as production from cradle-to-gate (modules A1 to A3 from EN 15804) are mandatory, others are left to the choice of the manufacturer.

ArcelorMittal leads the way by being the first manufacturer of steel sheet piles to have published a peer-reviewed EPD according to the latest ISO and EN standards for steel products in 2016, and a more specific *EPD for EcoSheetPiles™*, which are sheet piles



Modules considered in the EPD according to EN 15804.

manufactured exclusively out of scrap through an electric arc furnace (EAF) route, in June 2018.

The next step in the industry should be the development of more user-friendly tools and calculators to perform the comparison of LCA's with different materials. It is important to mention that *LCA's should compare alternatives for the same functional unit.*

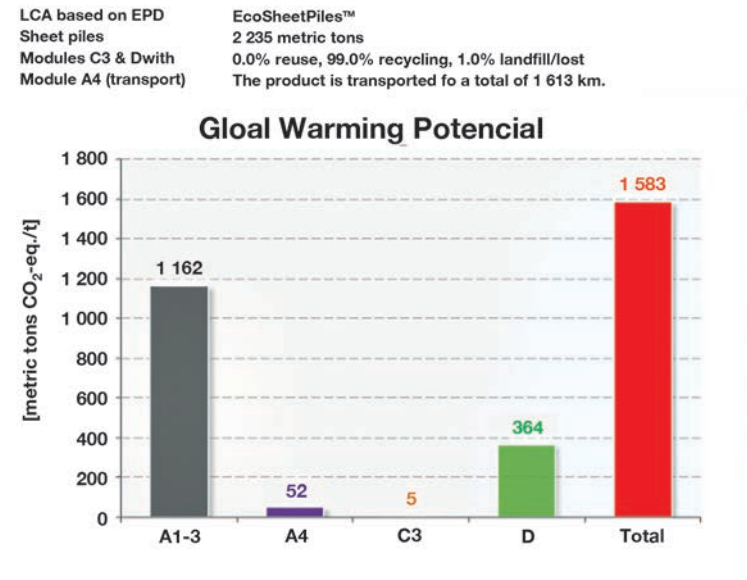


EPD EcoSheetPiles™ (ArcelorMittal) published by IBU e.V. in June 2018.

LCA's performed by ArcelorMittal in the past have shown that for a couple of quay wall configurations, steel has a lower environmental footprint than alternative materials, provided that steel elements are recovered and recycled after the service life of the structure.

As an example, below chart shows a simplified LCA for the parameter 'Global Warming Potential' (CO<sub>2</sub>) using realistic assumptions for a project in Denmark, where 2 235 t of sheet piles manufactured in Belval, Luxembourg, were transported by rail to Antwerp, Belgium (around 328 km), and then by vessel to Kalundborg, Denmark (around 1 285 km). There can be huge differences between the EPD's and assumptions made in a LCA for a specific project. Clearly, transport has a very small impact on the overall carbon footprint of the solution. Installation, maintenance and dismantling can most of the time also be neglected (not represented on the graph). Following graph is based on a recycling rate of 99% of steel, and no reuse.

The key parameter is undoubtedly the re-use and recycling rate. The *electric arc furnace route (EAF) reduces significantly the environmental impact of a sheet pile solution*. Module D takes into account the influence of reuse and recycling of steel, but since it is not mandatory to declare it, some authorities do not consider it in the LCA. In our opinion, module D should always be considered.



LCA: global warming potential for a sheet pile project in Kalundborg, Denmark (2018).



Finally, a fashionable expression nowadays is *circular economy*, which encompasses the reuse of products and materials, consequently reducing the waste of natural resources. *Steel sheet piles have been a precursor because they can be re-used several times for temporary excavations before being scraped, and are sometimes even re-used in permanent structures. We have seen steel sheet piles that have been used up to 10 times. Rental of steel sheet piles contributes also to the circular economy (reuse).*

Sustainability is a key goal for new port infrastructures in the future. It will be a challenge, for sure, and innovative steel solutions can definitely contribute to the achievement of this crucial goal.



## Combinación de estudios geofísicos y geotécnicos para la obtención de un modelo del terreno en la zona sur de Isla Verde (Puerto de Algeciras)

Amadeu Deu <sup>1</sup>, Xavier Martí <sup>1</sup>, Norma Pérez <sup>1</sup>, Marcelo Devincenzi <sup>1</sup>, Andrés Barranco <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Control y Prospecciones IGEOEST S.L. amadeu@igeotest.com

<sup>2</sup> ESGEMAR S.A. esgemar@esgemar.com

### INTRODUCCIÓN

La combinación de técnicas geofísicas y ensayos geotécnicos en estudios de caracterización del terreno permite, por un lado, la optimización de las campañas y, por el otro, obtener modelos más precisos de la morfología y propiedades geotécnicas de las diferentes unidades afectadas. En el presente artículo se muestra un ejemplo de los beneficios de esta combinación en una campaña realizada para determinar las características del subsuelo para una futura prolongación del Muelle Este y del Dique de Abrigo al sur de la Isla Verde de Algeciras.

Los trabajos de campo consistieron en los siguientes reconocimientos:

- Campaña geofísica: sísmica de reflexión continua de alta resolución con un sistema BOOMER y batimetría mediante ecosonda multihaz en una superficie aproximada de 600 Ha.
- Campaña geotécnica: 107 ensayos CPTu submarinos con un equipo de 20 Tn de capacidad de empuje y 12 ensayos de disipación del exceso de presiones de poros.

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras (APBA) considera la ampliación hacia el sur de la Isla Verde Exterior como una de las posibles áreas de desarrollo de las infraes-





Figura 1. Puerto de Algeciras y la posible área de desarrollo hacia el sur de la Isla Verde (Fuente: Puerto de Algeciras EUROPA PRESS/APBA-ARCHIVO –modificado–).

estructuras del puerto. En concreto, la prolongación del Muelle Este y del Dique de Abrigo permitiría la puesta en marcha de la tercera terminal de contenedores del puerto. En la Figura 1 se muestra el Puerto de Algeciras y la posible área de desarrollo.

## CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN

Los trabajos de campo se dividieron en dos fases. La primera fue la campaña de investigación geofísica marina, en la que se estudió de una forma global todo el conjunto de la zona de investigación. Se obtuvieron datos de la morfología del substrato, así como una primera aproximación del espesor de sedimentos y la profundidad del basamento. Los resultados de esta investigación permitieron una planificación más acertada de los ensayos CPTu para, posteriormente, unificando toda la información, obtener la disposición y propiedades geotécnicas de cada uno de los niveles.

### Investigación geofísica

La campaña de investigación geofísica marina tuvo como principal objetivo la obtención de la cartografía geológica del substrato y el espesor de sedimentos, así como una aproximación a las características morfológicas del basamento rocoso. Para ello se realizaron los siguientes trabajos:

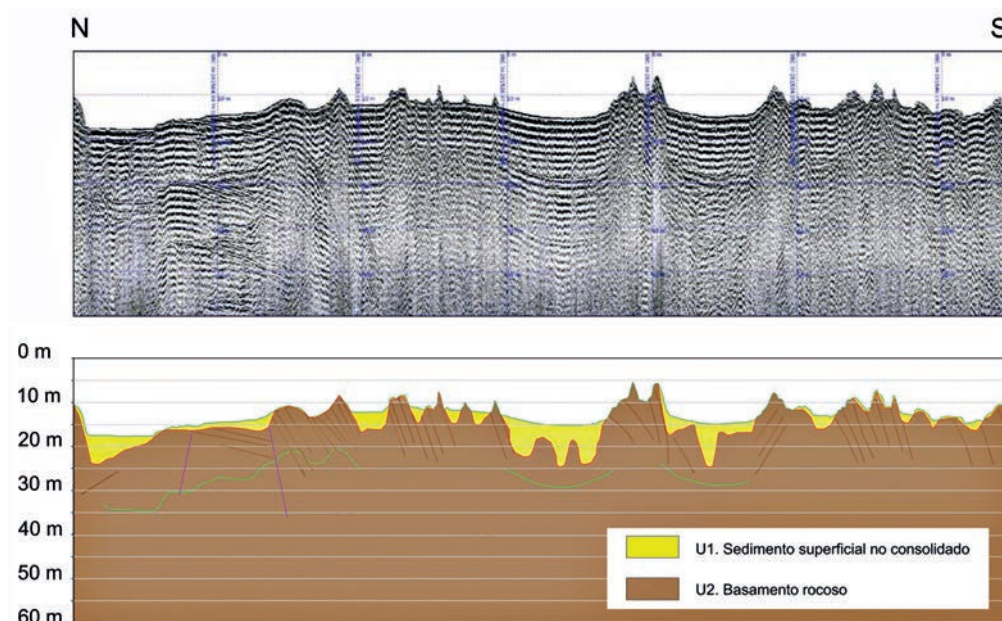


Figura 2. Ejemplo de perfil sísmico interpretado.

- Una batimetría mediante sonda multihaz.
- Una serie de perfiles de sísmica de reflexión continua de alta resolución mediante un equipo BOOMER que permitió una penetración media de investigación de entre 30 m y 100 m. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de perfil interpretado.

## Investigación geotécnica

La localización de los puntos de investigación vino determinada por los resultados de la campaña geofísica previa. Los objetivos de esta campaña fueron los siguientes:

- Estudiar con detenimiento aquellas zonas de mayor espesor de sedimento.
- Determinar las propiedades geotécnicas de los diferentes niveles.
- Verificar la profundidad del substrato rocoso (Figura 3, derecha). Para ello se empleó un equipo de CPTu submarino con una capacidad máxima de empuje de 20 Tn, permitiendo alcanzar valores de hasta 100 MPa de resistencia por punta en algunos casos (Figura 3, izquierda). Se ejecutaron 107 ensayos con un total de 542,07 m investigados y 12 ensayos de disipación del exceso de presiones de poros.

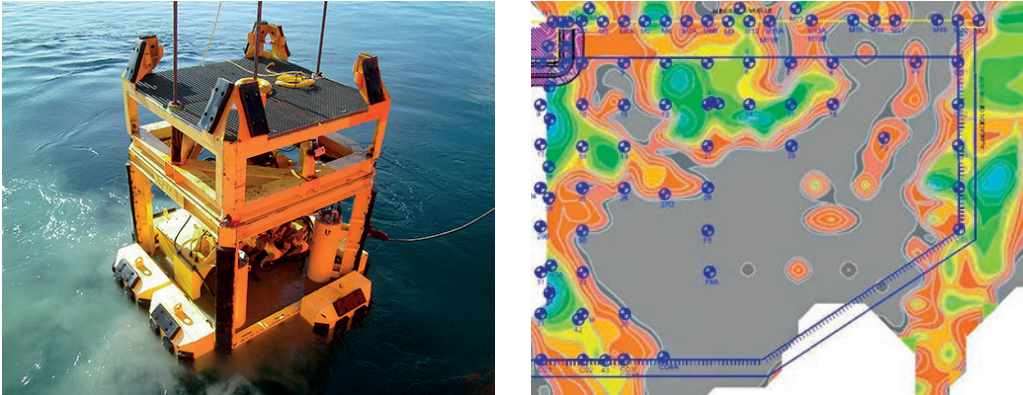


Figura 3. Equipo de CPTu submarino MANTA (izquierda) y localización de los ensayos CPTu con base en el mapa de espesor de sedimentos obtenido tras la campaña geofísica.

## RESULTADOS

El espesor de sedimentos en la zona de estudio fue evaluado mediante ambas técnicas de investigación. Para el caso de los ensayos CPTu, el criterio para considerar rechazo y, por lo tanto, asumir dicha profundidad como el techo del substrato rocoso, fue el incremento súbito de la resistencia por punta. En algunos casos se alcanzaron valores de 100 MPa, el cual es el límite operativo de los conos. Desde un punto de vista general, existe una buena correlación entre ambos mapas, tal y como se muestra la Figura 4.

Los resultados muestran una gran coincidencia en las áreas norte y oeste de la zona de investigación. Sin embargo, existen discrepancias en la zona este, coincidiendo con la

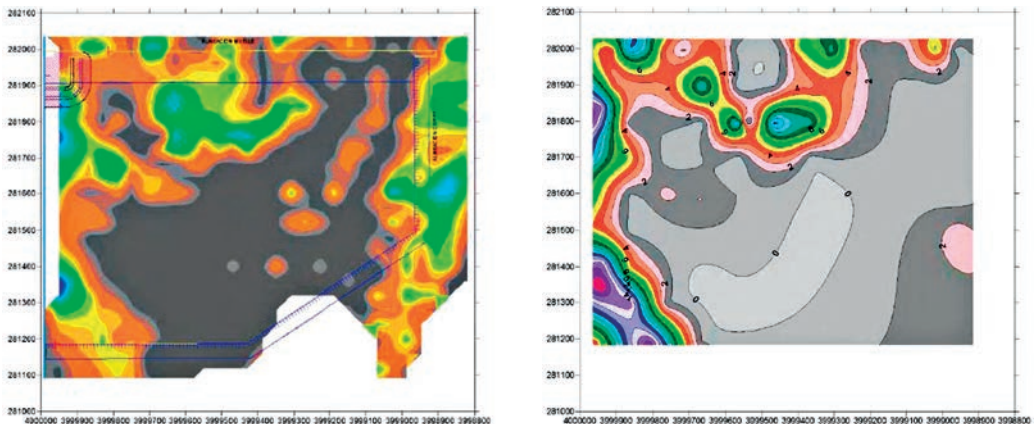


Figura 4. Comparación entre el espesor de sedimentos obtenidos a partir de los datos geofísicos (izquierda) y geotécnicos (derecha).

aalineación hacia el sur del muelle existente, debido al rechazo prematuro de los ensayos CPTu en esa zona. Cabe también considerar que, en algunos casos, el rechazo del ensayo se produjo a mayor profundidad que la del techo del substrato rocoso, al existir un tramo superficial alterado que pudo ser atravesado por el cono.

La campaña geotécnica también permitió definir con mayor nivel de detalle los diferentes niveles geotécnicos previamente establecidos a partir de los resultados de la campaña geofísica. Eso es debido a que, al ser un ensayo in-situ, el ensayo CPTu proporciona información de carácter puntual pero con un nivel de detalle muy superior al de la sísmica de reflexión. A partir de todos estos resultados se definieron los siguientes niveles geotécnicos:

- *Nivel 1. Lecho Marino:* nivel heterogéneo, de carácter arcilloso en superficie y más arenoso hacia la base, de muy baja resistencia y con una potencia máxima de 0,8 m. Este nivel corresponde, a grandes rasgos, con la unidad de “lecho marino” definida tras la investigación geofísica.
- *Nivel 2. Arena densa:* arena y arena limosa de espesor variable entre los 0,1 m y los 8,1 m, de resistencia elevada en el techo y disminuyendo hacia la base del nivel. Este nivel está englobado en la unidad “Depósitos de sedimentos no consolidados” definida tras la investigación geofísica.

Algunas propiedades de los niveles 1 y 2 se muestran en la Figura 5.

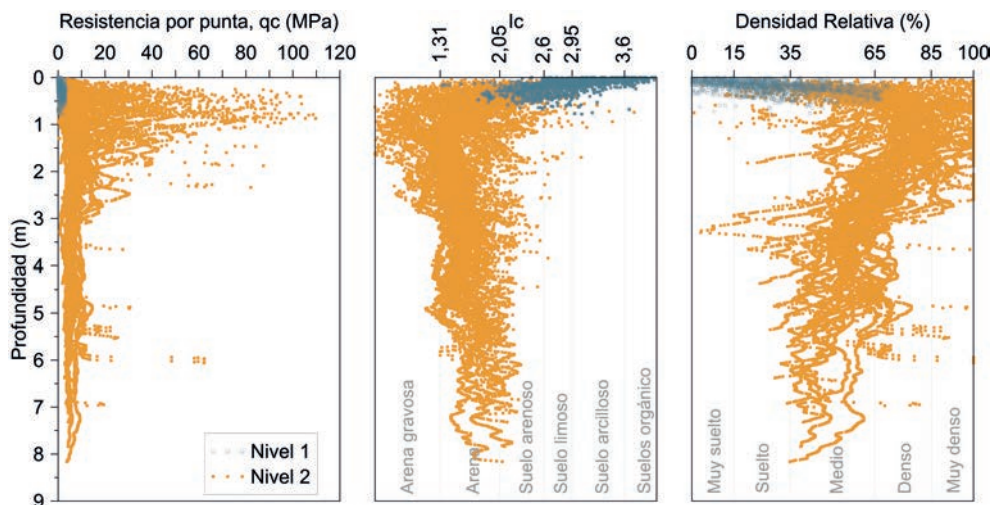


Figura 5. Comparación de la resistencia por punta ( $q_c$ ), Índice del tipo de suelo ( $I_c$ ) y Densidad Relativa para los materiales del Nivel 1 y 2.

- Nivel 3. Arena fina densa (3A) y alternancia de arcilla y limo (3B):** el subnivel arenoso es predominante en la zona de estudio. Se trata de arena densa a muy densa y limo con un valor de resistencia creciente con la profundidad. El subnivel cohesivo, limitado a la alineación norte del muelle, está formado por arcillas y arcillas limosas con intercalaciones arenosas. Este nivel puede correlacionarse con una parte de la unidad “Depósitos de sedimentos no consolidados” y con algunos tramos de la unidad “Basamento rocoso”, ambas definidas tras la investigación geofísica.

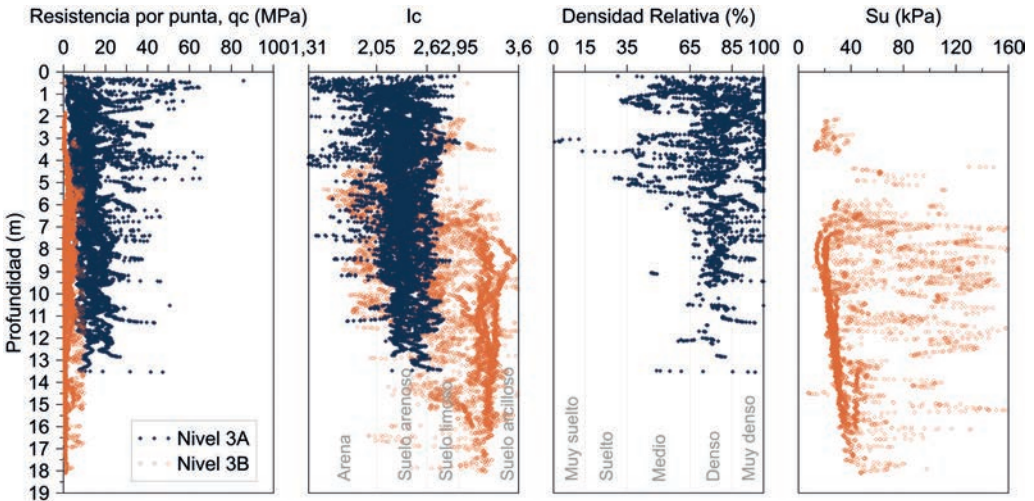


Figura 6. Comparación de la resistencia por punta ( $q_c$ ) e Índice del tipo de suelo ( $I_c$ ) para los materiales del Nivel 3A y 3B. Se muestra, además, la Densidad Relativa (subnivel 3A) y la Resistencia al Corte Sin Drenaje (subnivel 3B).

En la Figura 6 se muestra una comparación de algunas propiedades geotécnicas de los subniveles 3A y 3B.

- Nivel 4. Sustrato rocoso:** se han diferenciado dos subunidades. La primera presenta reflectores penetrativos correspondientes a paquetes de rocas estratificadas (areniscas y margas); la segunda presenta facies sísmicas de carácter masivo relacionadas con paquetes de roca con estratificación poco marcada (lutitas grises). Es un nivel subvertical, siendo las capas de arenisca coincidentes con los mayores relieves del fondo marino. Son materiales fuertemente tectonizados, presentando pliegues, fracturas y fallas. Este nivel fue enteramente descrito a partir de los resultados de la campaña geofísica.

En la Figura 7 se muestra la comparativa de ambas campañas de investigación en un perfil de reflexión N-S. Puede observarse la buena correlación entre la profundidad de rechazo de los ensayos CPTu y el techo del nivel de sustrato rocoso. Los diferentes niveles

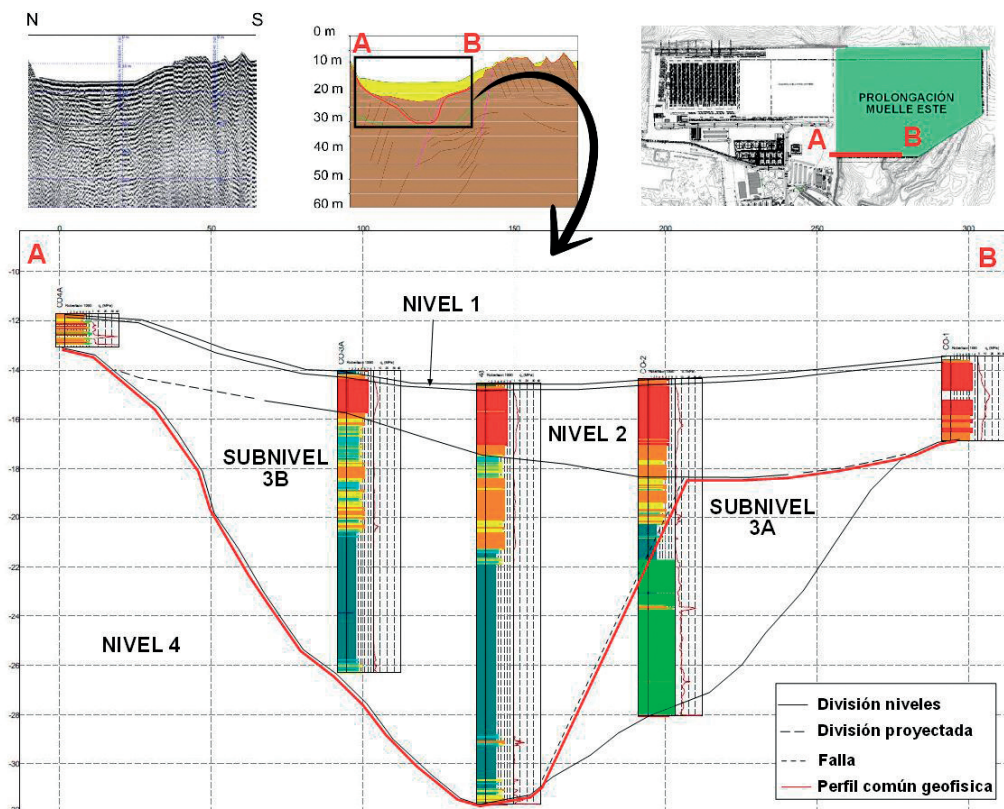


Figura 7. Correlación entre la interpretación geofísica y los resultados de ensayos CPTu en un perfil de sísmica de reflexión.

geotécnicos quedan bien diferenciados tanto a partir de los datos de los ensayos in-situ como de los reflectores interpretados a partir de los datos sísmicos. Además, la diferenciación entre subniveles del nivel 3 permite verificar la presencia de estructuras tectónicas tipo falla, así como la morfología compleja del basamento rocoso.

## CONCLUSIONES

Trabajar conjuntamente técnicas geofísicas y ensayos geotécnicos es una buena herramienta para el desarrollo de modelos del terreno que permite que la morfología y propiedades de las diferentes unidades queden bien definidas.

En el caso del trabajo presentado, se ha podido determinar el espesor de sedimentos así como la profundidad y características del substrato rocoso en un área de morfología compleja gracias a la conjunción de las dos técnicas. Además, se han definido los niveles en función de las propiedades geotécnicas de cada uno de ellos.



## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras por autorizar la publicación de los datos utilizados para la redacción de este artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Mayne, P.W. 2007. *NCHRP Synthesis 368: Cone Penetration Test*. Transportation Research Board, National Academies Press. Washington DC.
- Robertson, P.K. 1990. *Soil classification using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal, 27. Pp. 151-158.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 1<sup>st</sup> Edition. New York. John Wiley and Sons.

## Nueva herramienta para el diseño de puertos: sistema de modelado portuario. Módulo infraestructuras (SMP v0)

Antonio Tomás<sup>1</sup>, Gabriel Díaz-Hernández<sup>1</sup>, Javier L. Lara<sup>1</sup>, María F. Álvarez de Eulate<sup>1</sup>, Alejandro González

<sup>1</sup> Instituto de Hidráulica Ambiental "IHCantabria". Universidad de Cantabria.  
antonio.tomas@unican.es; gabriel.diaz@unican.es; jav.lopez@unican.es; maria.fuentes@unican.es

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los puertos comerciales en España se han visto en la necesidad de realizar importantes inversiones en la mejora de sus instalaciones, en la adaptación de infraestructuras existentes y en abordar estrategias que buscan mejorar la eficiencia y competitividad. Esto es debido, principalmente, al constante crecimiento del Sistema Portuario Español (cuya actividad representa el 1.1% del PIB, según datos de Puertos del Estado), moviendo cada vez más un mayor número de mercancías y pasajeros. Desde el año 2009 el tráfico portuario aumenta del orden de un 5% anual (en Toneladas, según datos de Puertos del Estado). Por otro lado, este aumento del tráfico se ha visto acentuado por el uso de embarcaciones cada vez más grandes, requiriendo una logística más precisa y una reducción de las paradas operativas al máximo posible.

Debido a las condicionantes anteriormente mencionadas, se espera que la ingeniería portuaria comience a requerir la realización de estudios específicos sobre temáticas de adaptabilidad a nuevos escenarios geométricos, de ordenamiento o uso e incluso de los nuevos condicionantes impuestos por el cambio climático. Todo ello con el objetivo de construir estructuras cada vez más fiables y económicamente viables.

IHCantabria es consciente de esta tendencia global por lo que, en los últimos años, ha invertido un importante esfuerzo científico para el desarrollo de nuevas estrategias para atajar las distintas problemáticas portuarias reales. Se trata de estrategias que cubren distintos ámbitos del estudio portuario, desde la mejora sustancial de las bases de datos



climáticos disponibles, desarrollo de innovadoras herramientas numéricas de gran ayuda al diseño portuario y asimilación de los criterios y normativas de diseño.

Dentro de las normativas de diseño disponibles, Puertos del Estado, a través del Programa de Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM) proporciona un conjunto de normas y criterios técnicos de aplicación en el proyecto, construcción, explotación, mantenimiento, reparación y desmantelamiento de todas las obras marítimas y portuarias. También Puertos del Estado, dentro de la materia concreta de programación y financiación de inversiones en infraestructuras portuarias, ha revisado y actualizado el Método de Evaluación de Inversiones Portuarias (MEIPOR) que sirve como herramienta para la toma de decisiones y de gestión de las inversiones en el sistema portuario.

## OBJETIVO

Con esta motivación se concibe el nuevo Sistema de Modelado Portuario (SMP) que reúne en una única herramienta o software profesional los diferentes conocimientos técnicos, modelos numéricos avanzados y metodologías de especial interés para el diseño de las infraestructuras portuarias dentro del marco normativo de referencia en España, las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM, Puertos del Estado).

## RESULTADOS

### Introducción

El SMP se desarrolla en un entorno visual y de fácil integración modular, concebido como un producto abierto, susceptible a ser actualizado y/o ampliado en cualquier momento, es decir, un producto “vivo” que permita seguir avanzando en la técnica a través de la adopción de nuevos módulos/criterios científicos e ingenieriles.

Así, la versión SMP v0 incorpora únicamente el denominado Módulo de Infraestructuras, que bajo la tutela y control normativo de la ROM desarrolla e integra (ver Figura 1):

- Criterios de diseño con base en la ROM (Módulo 0).
- Clima marítimo portuario, que consiste en la propagación automatizada de oleaje desde aguas profundas hasta la zona portuaria (Módulo 1).
- Diseño en planta de una infraestructura portuaria a través de la realización de estudios avanzados de agitación portuaria (Módulo 2).
- Diseño en alzado de estructuras de protección portuaria. Análisis mediante formulaciones semi-empíricas (Modulo 3) y análisis mediante modelado numérico (Módulo 4).

SMP v0	
<b>0 DESIGN GUIDELINES</b>	
0.1	Minimum useful life
0.2	Probability of failure
0.3	Minimum operability
0.4	Maximum number of annual stoppages
0.5	Maximum duration of an operational stoppage
<b>1 WAVE PROPAGATION</b>	
1.1	Bathymetry
1.2	Mesh
1.3	Wave and wind forcing
1.4	Control points
1.5	Simulation settings
1.6	Outputs
<b>2 HARBOR AGITATION</b>	
2.1	Bathymetry
2.2	Harbor boundary
2.3	Mesh
2.4	Wave forcing
2.5	Simulation settings
2.6	Outputs
<b>3 BREAKWATER EMPIRICAL FORMULA DESIGN</b>	
3.1	Wave and water level conditions
3.2	ULS analysis
3.3	SLS analysis
3.4	Downtime analysis
<b>4 BREAKWATER CFD ANALYSIS</b>	
4.1	Mesh
4.2	Wave series
4.3	Wave paddle
4.4	Simulation settings
4.5	Outputs

Figura 1: Esquema de los módulos de infraestructuras del Sistema de Modelado Portuario (SMP v0): Módulo 0, Módulo 1, Módulo 2, Módulo 3 y Módulo 4.

La estructura del SMP es completamente modular, pudiéndose utilizar cada uno de los módulos definidos (ver Figura 1) de forma independiente, pero también puede seguir la metodología integral de uso definida por la herramienta. Así mismo y dicha conceptualización de la herramienta permite la integración futura de otros módulos que recoja el resto de aspectos que condicionan el diseño y explotación portuaria proporcionados por ROM y MEIPOR.

Dicha herramienta se genera dentro de una filosofía de software “freeware” (programa gratuito y licencia de uso comercial), con manuales de usuario y cursos de formación, de los que se da información más detallada a través de <http://www.smp.ihcantabria.com/>. La versión v0 del SMP está verificada para poder ser utilizada por el sistema operativo Microsoft Windows y el idioma de la interfaz de usuario es el inglés.

A continuación se explica el contenido de cada uno de los módulos de la presente versión del SMP.

## Módulo 0 – Design Guidelines

En el módulo 0 se definen los criterios generales de diseño del puerto:

- Vida útil mínima.
- Probabilidad conjunta de fallo para Estado Límite Último y del Estado Límite de Servicio.
- Operatividad mínima.
- Número máximo de paradas anuales.
- Duración máxima probable de una parada operativa.

Los valores a adoptar para los criterios de diseño se toman como referencia las tablas de la ROM 1.0-09, que recomiendan los valores para obras de abrigo a partir del carácter de la obra; aunque se pueden incorporar otros valores. A partir de los mismos se define el periodo de retorno para los Estados Límites.

## Módulo 1 – Wave Propagation

En el Módulo 1 se realiza la propagación del oleaje desde aguas abiertas hasta la zona portuaria, definiendo el oleaje incidente en la zona de estudio mediante el uso del modelo SWAN (Booij et al., 1999); integrando en la herramienta SMP v0 una versión mejorada del IHpropaga (<http://www.ihpropaga.ihcantabria.com/>). La metodología de propagación permite al usuario definir distintas opciones de ejecución:

- Sistema de referencia: UTM o Geográficas (Lon-Lat).
- Malla de ejecución: estructurada (rectangular, con un anidamiento de mallas) o no estructurada.
- Ejecución estacionaria.
- Condiciones de contorno (oleaje y viento): Variación espacial o constante; sólo viento, sólo oleaje u oleaje y viento.
- Estados de mar a ejecutar: Selección de casos representativos (técnica MaxDiss) o ejecución de todos los estados de mar.
- Resultados: Espectros de oleaje o sólo parámetros de estado de mar.
- Reconstrucción series temporales de parámetros (técnica RBF), si se ha realizado selección de casos representativos.
- Caracterización del clima marítimo a partir de series temporales
- Cálculo de la operatividad con base en los criterios de diseño establecidos.

Cabe señalar que la metodología para generar series temporales de oleaje propagado hasta la zona de interés se realiza mediante la metodología definida en Camus et al. (2013) en tres pasos: (1) la selección de los estados de mar a propagar (MaxDiss), (2) propagación de los mismos y (3) reconstrucción de las series de parámetros de oleaje (RBF); la cual está perfectamente implementada e integrada en el SMP v0.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de uso del SMP v0 (Módulo 1) para la propagación con el modelo SWAN con malla no estructurada, en LON-LAT y variación espacial del oleaje y viento en los contornos.

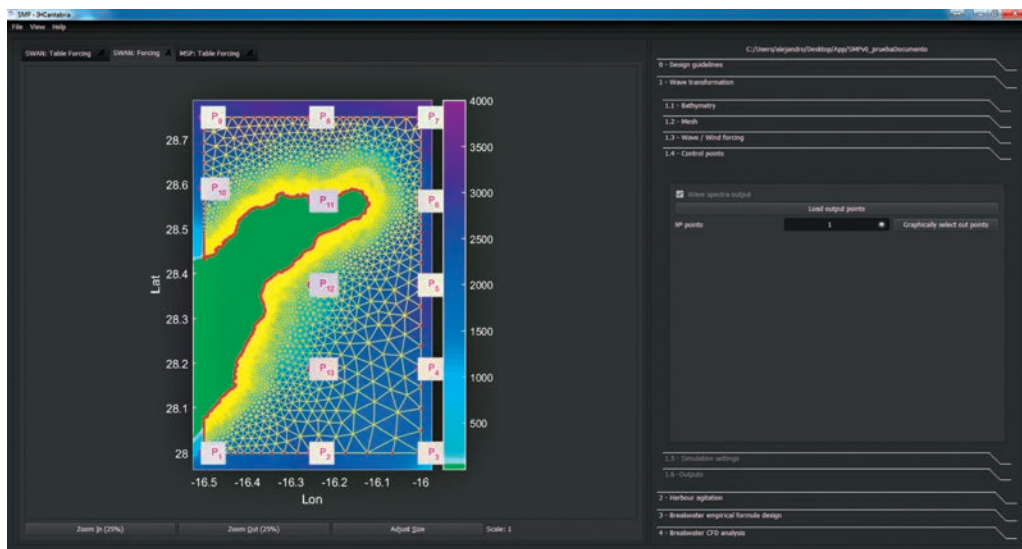


Figura 2: Ejemplo del Sistema de Modelado Portuario (SMP v0): Módulo 1.3 (Wave and wind forcing). Configuración de las condiciones de contorno (oleaje y viento) a ejecutar por el Modelo SWAN (vista de la malla de ejecución)

## Módulo 2 – Harbour Agitation

En el Módulo 2 se realiza la agitación interior para el diseño en planta de cualquier infraestructura portuaria mediante el uso del modelo MSP (elliptic Mild SloPe equation). Este tipo de modelos son capaces de resolver en un dominio numérico bidimensional, los procesos lineales de refracción, difracción, asomeramiento, y reflexión (total y parcial) y los procesos de disipación de energía del flujo por fricción y rotura del oleaje.

La metodología para el cálculo de la agitación interior permite al usuario definir distintas opciones de ejecución:

- Sistema de referencia: UTM o Geográficas (Lon-Lat).
- Malla de ejecución no estructurada (ver ejemplo en figura 3).
- Ejecución estacionaria.
- Condiciones de contorno oleaje: Monocromático o espectral.
- Estados de mar a ejecutar: Selección de casos representativos (técnica MaxDiss) o ejecución de todos los estados de mar.
- Reconstrucción series temporales de parámetros (técnica RBF), si se ha realizado selección de casos representativos.
- Resultados: en puntos o en áreas.
- Caracterización del clima marítimo a partir de series temporales.
- Cálculo de la operatividad con base en los criterios de diseño de la ROM 3.1-99 o los que el usuario establezca.

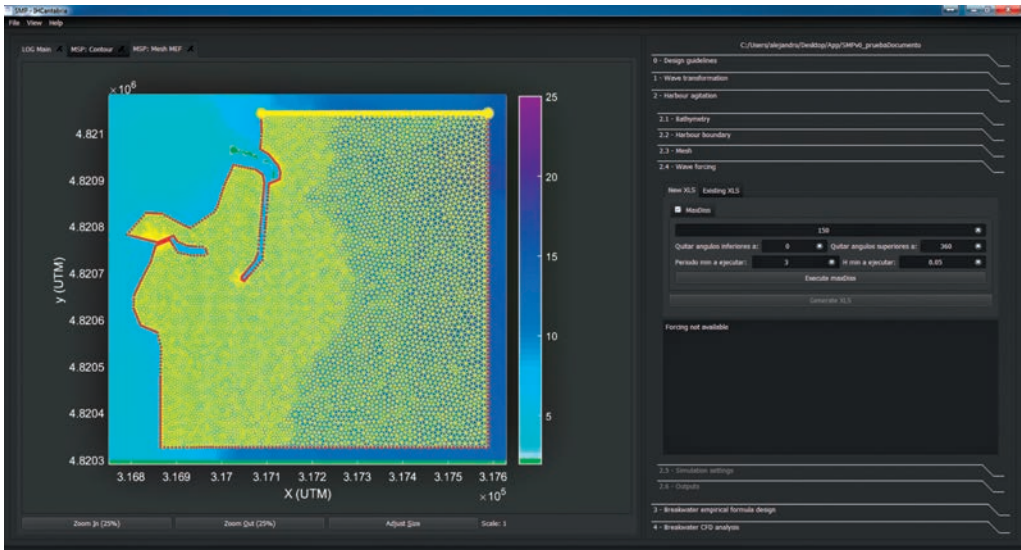


Figura 3: Ejemplo del Sistema de Modelado Portuario (SMP v0): Módulo 2.4 (Wave forcing). Configuración del oleaje a ejecutar por el Modelo MSP (vista de la malla de ejecución).

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de uso del SMP v0 (Módulo 2) para el análisis de agitación portuaria con el modelo MSP con malla no estructurada, en UTM.

Cabe señalar que la metodología para generar series temporales de agitación se basa en la misma metodología que la aplicada para el Módulo 2, definida en Camus *et al.* (2013) y perfectamente adaptada e implementada en el SMP v0 para agitación interior.

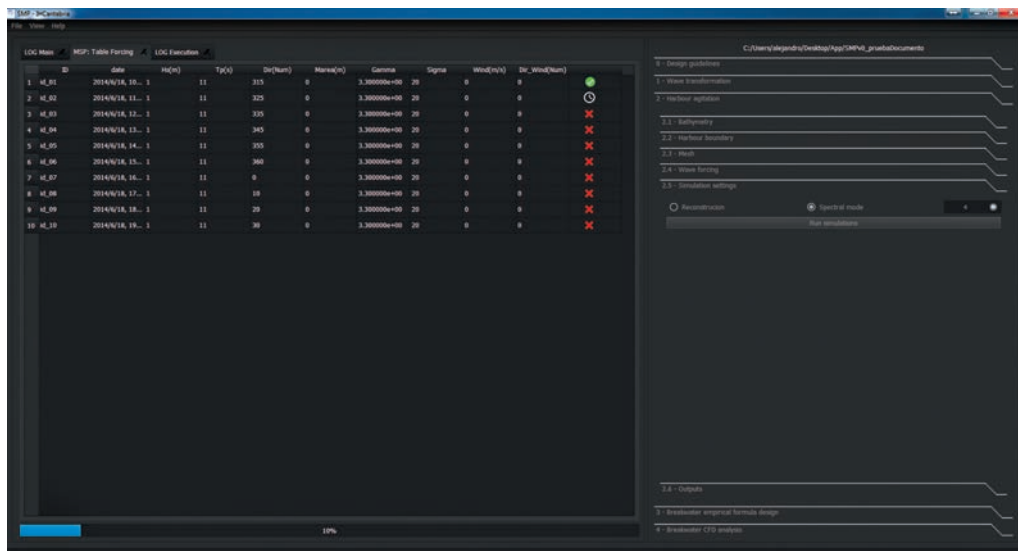


Figura 4: Ejemplo del Sistema de Modelado Portuario (SMP v0): Módulo 2.5 (Simulation). Estado de ejecución del listado de casos a ejecutar por el Modelo MSP.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo del gestor de las simulaciones numéricas del SMP v0, que guía y muestra al usuario el estado de ejecución de las simulaciones numéricas (fundamentalmente de los modelos MSP y SWAN), facilitando su gestión.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de uso del SMP v0 (Módulo 3) para la visualización de un mapa de resultados obtenido el modelo MSP.

### Módulo 3 – Empirical Design

En el Módulo 3 se usan las formulas semi-empíricas del estado del arte recopiladas en el EurOtop Manual (2016) y en el Rock Manual (2007). Dichas formulaciones se aplican para el diseño en alzado de diques verticales y en talud, estudiando los modos de fallo más usuales de estos tipos de estructuras:

	Dique en talud	Dique vertical
Estado Límite Último	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilidad piezas manto principal</li> <li>Estabilidad hidráulica del espaldón</li> <li>Estabilidad de las piezas de la berma de pie</li> <li>Rebase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilidad hidráulica del cajón</li> <li>Estabilidad de las piezas de la cimentación</li> <li>Rebase</li> </ul>
Estado Límite de servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rebase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rebase</li> </ul>
Operatividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rebase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rebase</li> </ul>

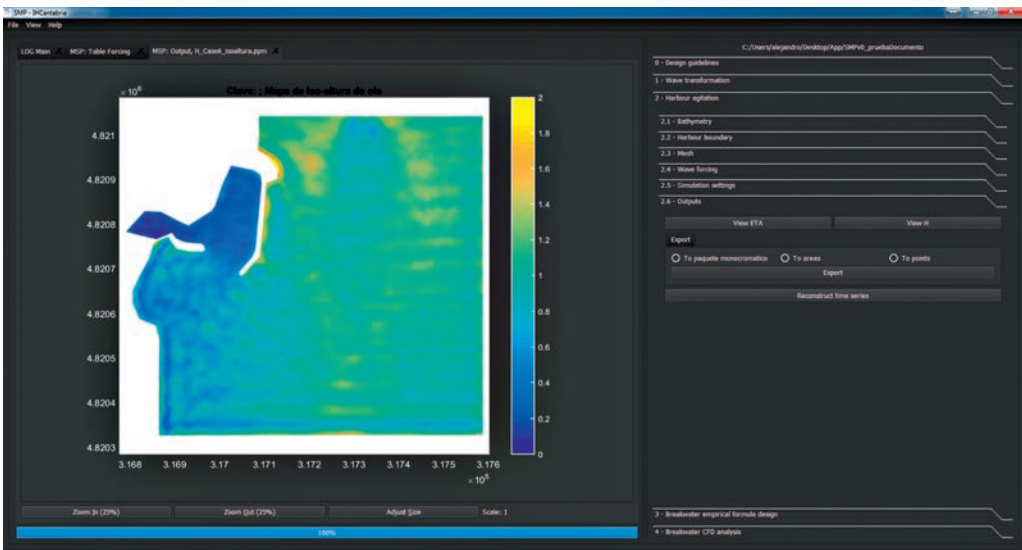


Figura 5: Ejemplo del Sistema de Modelado Portuario (SMP v0): Módulo 2.6 (Outputs). Resultado de isoaltura de ola de un estado de mar ejecutado por el Modelo MSP.

Se verifica el si falla o no para cada modo de fallo y para los distintos estados de mar de cálculo (estado límite último y de servicio); así como la probabilidad de fallo para los modos de parada operativa calculada a partir de series de parámetros de estados de mar.

### Módulo 4 – CFD Analysis

En el Módulo 4 se facilita el uso del modelo numérico CFD (Computational Fluid Dynamics) IH2VOF (<http://www.ih2vof.ihcantabria.com/>), modelo en plena expansión y el más avanzado entre los de su categoría para el estudio de la interacción oleaje-estruc-

tura. Entre sus principales características destacan su capacidad para la simulación de todo tipo de estructuras marítimas a escala de prototipo o laboratorio, así como su capacidad para simular todo tipo de oleajes: oleaje regular, irregular, onda solitaria, etc.

En resumen, el modelo es capaz de proporcionar el campo de velocidades y presiones en un dominio bidimensional. Es también de destacar su capacidad para la determinación del flujo sobre una estructura, el rebase y la transmisión, tanto en el fluido como en el interior de los medios porosos. El modelo por tanto permite determinar tanto parámetros de estabilidad como son las presiones y fuerzas sobre los objetos monolíticos (cajón o espaldón) así como variables funcionales como el oleaje a pie de estructura, el rebase sobre la misma o el run -up.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de uso del SMP v0 (Módulo 3) para la ejecución del modelo IH2VOF para una sección de dique en talud.

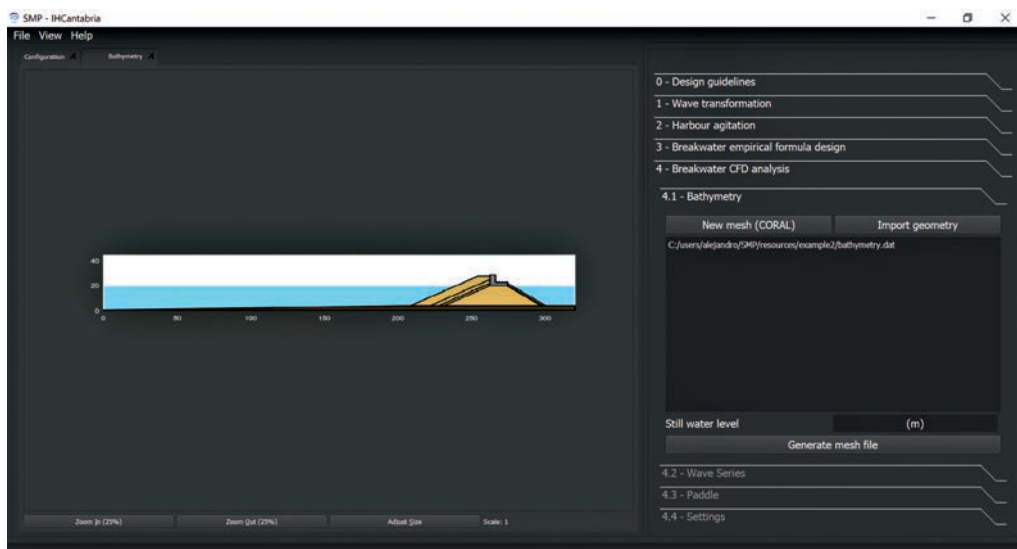


Figura 6: Ejemplo del Sistema de Modelado Portuario (SMP v0): Módulo 3.1 (Mesh).  
Generación de la malla de ejecución del Modelo IH2VOF (vista de la batimetría  
y sección transversal de un dique en talud).

## CONCLUSIONES

El SMP es un sistema pionero y único en el mundo, de fácil uso, fiable e intuitivo, destinado a ser empleado por cualquier técnico relacionado con el mundo de la ingeniería marítima y portuaria que requiera dar un salto cualitativo en la técnica y alcanzar una mejora en la calidad de sus productos.



Con la nueva herramienta se permite aplicar de forma más sencilla y eficaz los requerimientos que marca las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM, fundamentalmente ROM 1.0-09 & ROM 3.1-99), que en la actualidad deben ser tenidas en cuenta en cualquier proyecto marítimo o portuario desarrollado en España y cada vez más, en el área de influencia de la ingeniería marítima española (Latinoamérica y el Caribe).

El SMP es una herramienta que guía el uso de distintos modelos numéricos avanzados, facilitando su uso e integrándolos dentro de una metodología robusta y eficiente del tratamiento y generación de la información necesaria para el diseño de puertos. Dicha herramienta no solo ayuda a la ejecución de modelos numéricos de última generación ya validados o el uso de fórmulas semi-empíricas del estado del arte actual (que pueden ser utilizados de forma individual o aislada), sino también los puede integrar dentro de una metodología de pre-proceso y post-proceso estadístico para obtener resultados óptimos, tanto en calidad, como en tiempos de cómputo.

Así mismo, al seguir las definiciones y criterios de diseño de la ROM, los resultados obtenidos por la herramienta son directamente aplicables para la verificación de la ROM, aunque tiene la suficiente versatilidad como para poder ser usado dentro de otros marcos normativos.

Dicha herramienta se genera dentro de una filosofía de software “freeware” (programa gratuito y licencia de uso comercial), con manuales de usuario y cursos de formación, de los que se da información más detallada a través de <http://www.smp.ihcantabria.com/>

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Gobierno de Cantabria (Consejería de Innovación, Industria, Turismo y Comercio) la financiación por el proyecto Sistema de Modelado Portuario (SMP). La Fundación Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria ha recibido una ayuda cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Programa Operativo FEDER 2014-2020 de Cantabria por medio de la línea de subvenciones INNOVA 2016.

Los autores agradecen a Miguel Ángel Losada el incondicional apoyo para la realización del presente proyecto.

## REFERENCIAS

- Booij, N.; Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H.; 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(4). pp 7649-7666. doi: 10.1029/98JC026222.
- Camus, P.; Méndez, F.J.; Medina, R.; Tomás, A.; Izaguirre, C.; 2013. High resolution Downscaled Ocean Waves (DOW) reanálisis in coastal areas *Coastal Engineering*, 72, 56-68. doi: 10.1016/j.coastaleng.2012.09.002
- EurOtop, 2016. 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., chüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com).
- The Rock Manual; 2007. The use of rock in hydraulic engineering. CUR CIRIA CETMEF.
- ROM 1.0-09 "Recommendations of the Project design and construction of breakwaters (Part I: Calculation and Project factors. Climate agents)". [www.puertos.es](http://www.puertos.es).
- ROM 3.1-99 "Design of the maritime configuration of ports, approach channels and harbor basins". [www.puertos.es](http://www.puertos.es).



# Port of Manzanillo: Climate Risk Management

Chris Coleby<sup>1</sup>, Antonio Cerezo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Senior Environmental Consultant. WorleyParsons. [chris.coleby@worleyparsons.com](mailto:chris.coleby@worleyparsons.com)

<sup>2</sup> Ports and Marine Lead. WorleyParsons. [antonio.cerezo@worleyparsons.com](mailto:antonio.cerezo@worleyparsons.com)

## INTRODUCTION

Climate change is underway. Global average temperatures and sea levels are rising, and droughts, floods, heat waves and storms are becoming more common. Even if emissions of greenhouse gases are reduced dramatically, the world faces inevitable future changes. If the risks are not addressed, the implications of climate variability and change for ports and their stakeholders could be significant.

In general terms, ports are widely regarded as being highly vulnerable to the impacts of climate change. They are located on the coast and can be affected by rising sea levels, changes in storminess and waves. These climate-related factors, along with others such as increases in temperature and changes in precipitation, can damage port infrastructure and equipment, reduce operational capacity, compromise pollution control equipment and pose challenges for health and safety. Wider impacts of climate change on the global economy will affect overall trade and hence port revenues.

In this context, the development of climate change risk assessments and adaptation plans are a priority for ports themselves, and for the economies of the countries they serve. Ports have a critical role to play in the globalized and highly interconnected economy. The Inter-American Development Bank ('IDB') partnered with the Administracion Portuaria Integral de Manzanillo S.A. de C.V. ('API Manzanillo') in the preparation of a study to assess climate-related risks and opportunities for the Port of Manzanillo, Mexico and to develop an Adaptation Plan. The study analysis was undertaken by a team involving Acclimatise Group Ltd. Advisian (Worley Parsons Group) and national and international experts.

The study aimed to address the following questions:

- What risks and opportunities does climate change present for the port?
- How could the port manage climate risks and uncertainties in the most financially optimal way, taking account of environmental and social objectives?
- How could climate-related opportunities be developed and exploited?
- What key climate-related factors should API Manzanillo take into account to maintain its competitiveness and develop its medium and long term business strategy?
- How should adaptation actions be prioritized and sequenced in an Adaptation Plan?
- Where could API Manzanillo work in collaboration with other stakeholders to best manage climate risks and take advantage of opportunities?

## THE PORT OF MANZANILLO, MEXICO

The Port of Manzanillo in the State of Colima, Mexico, is internationally renowned as one of the main containerized cargo ports globally. It is an important regional traffic hub and is considered Mexico's leading port in the Pacific. It is ranked as one of the ten largest and most important ports in the Americas and the second most important Latin American port in the Pacific.

The port has positioned itself as the key port for the management of containerized cargo in Mexico, accounting for 60% of containerized cargo on the Pacific coast of Mexico and 46% within the entire country. The port also provides services and facilities for the handling of bulk minerals, general cargo, and agricultural bulk and petroleum products. The Port of Manzanillo is administered by the Administración Portuaria Integral de Manzanillo S.A. de C.V. 'API Manzanillo', a federal agency created in 1994 with a 50 year concession to administer, promote, build and maintain it. The port has 14 terminals under concession all of which are managed by private capital investors.



Figura 1: Location of the Port of Manzanillo  
Source: Report authors

API Manzanillo is responsible for the overall management of the port facilities and environmental performance. The terminals are responsible for maintaining their specific equipment and infrastructure, such as cranes and buildings, with environmental protocols applied within the ports overall environmental management plan.

Some of the key facilities and services provided by the terminals at the time of the study were:

- A total static capacity of over 49,000 TEUs and dynamic capacity of over 2 million TEUs;
- A specialized container terminal (Contecon) loading/unloading 3 vessels simultaneously, maximum performance 120 containers per hour per vessel;
- 2 terminals specialized in mineral bulk, capacity 60,000 tons, loading/unloading 200 tons per hour;
- Agricultural bulk installations, five storage silos, one offers loading services of up to 1,000 tons per hour storage space of 50,000 tons;
- Storage area for cement, capacity of 25,000 tons; two storage spaces for the management of 50,000 tons of clinker and one for 16,000 tons of cement bulk and general bulk.
- There are two multiple use areas for the management of general and containerized cargo and two freezers for the storage of perishable goods, total storage space of more than 6,000 tons of fresh produce; and
- Terminal specializing in frozen fishing produce, 3,500 tons storage space.

## CLIMATE VARIABILITY AND CLIMATE CHANGE AT MANZANILLO

Mexico experiences a long dry season from December to May and a wet season from June to November. Most of the wet season rainfall is from tropical thunderstorms.

Tropical cyclones and tropical storms disrupt operations at Manzanillo. Analysis of 2014 data showed that only tropical cyclones and storms passing within a few tens of kilometers of the port led to downtime. Overall, the North East Pacific has the second highest number of tropical cyclones globally (after the West Pacific) (Figure 2).

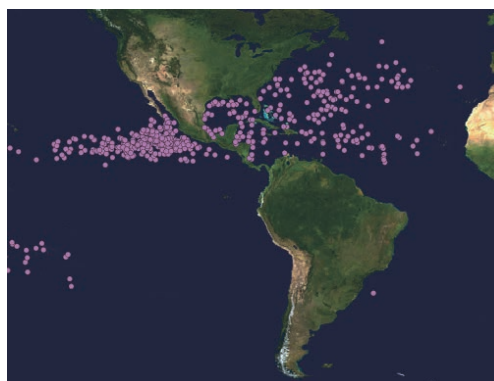


Figura 2: Distribution of tropical cyclones at their maximum intensities  
 Source: Ramsay, H. (2014). Shifting storms. *Nature*. 509, 290-291

Average rainfall over Mexico is already decreasing, though there are an increasing number of days experiencing heavy rainfall events. Temperatures in the wet season are increasing, as are wind speeds in some months.

These trends are expected to continue with climate change. In the future, mean rainfall over Manzanillo is projected to decrease in both the wet and the dry season. Extreme rainfall will increase, as climate change brings more energy in the lower atmosphere. Future temperatures are expected to rise, by around 1°C by the 2020s, rising to 3°C by the 2070s. Projected changes in wind speeds are very small, but are not well predicted by climate models.

Tropical cyclones are migrating poleward, at a rate of about 50 km per decade. It is likely that this trend will continue, leading potentially to fewer tropical cyclones over Manzanillo, although this statement has low confidence. Tropical cyclones are expected to decrease in frequency of occurrence but the most intense phase of cyclones is expected to last longer. Overall, it can be expected that more intense tropical cyclones in future will lead to increased storm surge heights.

## HYDROLOGICAL AND OCEANOGRAPHIC CONDITIONS

### Hydrology

The Port of Manzanillo is a focal point for rainfall drainage from the surrounding area. Urbanization has already modified the drainage basin, increasing the amount of water

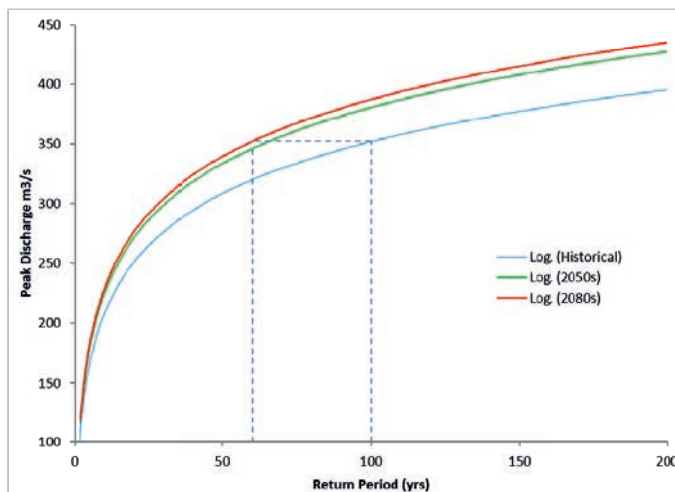


Figura 3: Charges in peak discharge flows  
Source: Report authors

entering the port during intense rainfall events. Due to debris accumulation in the drain from within the city of Manzanillo, insufficient drainage capacity and the impermeable nature of port infrastructure, the main port entrance and internal access road and rail connections are subject to almost annual surface water flooding events.

Due to climate change, there is expected to be a significant increase in the flow of drainage water entering the port by 2050. The likelihood of a flood event is estimated to almost double by 2050. Infrastructure built for a 1 in 100 year event today will only protect from a 1 in 60 year event by 2050 (Figure 3).

## Oceanography

Sea level data recorded at Manzanillo showed an observed rate of sea level rise of 3.3 mm per annum. If this observed rate continues, it will lead to 0.12 m of further sea level rise by 2050 (Figure 4).

To capture a range of possible future sea level rise scenarios, moderate and worst case ‘accelerated’ sea level rise scenarios were also developed, based on Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) low and high greenhouse gas concentration scenarios. These indicate 0.13 m and 0.16 m of sea level rise by 2050 (0.36 m and 0.66 m by 2100).

Extreme storm surge heights can be significant at Manzanillo, with the height of the current 1 in 250 year event estimated at 2.52 m, and the 1 in 500 year event at 2.85 m. The likelihood of a larger storm surge is considered to increase in the future, reflecting

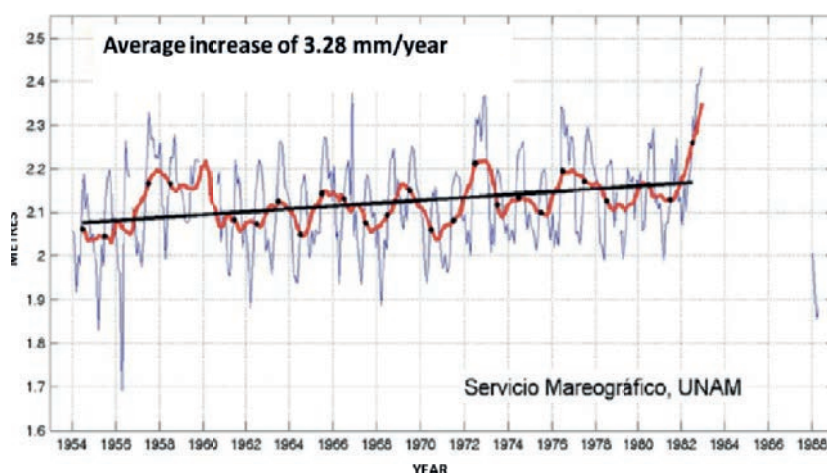


Figura 4: Observed sea level rise at Manzanillo (1954 to 1982)  
Source: INECC/PEACC Colima



the increasing intensity of tropical cyclones over time. However data are not available to estimate accurately changing storm tracks and their proximity to Manzanillo.

Maximum and average wave height is likely to moderately increase in the future in the Eastern Tropical Pacific. An increase in maximum wave height of approximately 0.12 m is expected by 2100 under a high scenario, and average wave height could increase by 0.08 m.

## PORT SUCCESS CRITERIA AT RISK FROM CLIMATE CHANGE

Various success criteria for ports can potentially be affected by climate change (Figure 5).

In the case of the Port of Manzanillo, the study found the aspects likely to be significantly affected by climate change were:

- Disruptions to port operations, due to increased rainfall intensity causing greater surface water flooding of the internal port access road and rail connections;
- Increased sedimentation of the port basin, reducing draft clearance for vessels and terminal access, due to increased rainfall intensity; and
- Increased intensity of rainfall causing increased damage to infrastructure and equipment through surface water flooding.

The absence of port-wide risks to berthing at Manzanillo is due to the highly sheltered nature of the inner harbor. Wind and wave related berthing issues are only an issue for the PEMEX terminal outside the harbor entrance.



Figura 5: Conceptual model of a cargo handling port and the main aspects of its value chain that can be affected by climate change

Source: Report authors. Adapted from Stenek, V. et al. (2011). Climate risk and business: Ports. Terminal Marítimo Muelles el Bosque, Cartagena Colombia. Executive Summary.



No significant issues on navigation and approach to the port were identified.

For goods storage, most terminals using refrigerated containers (reefers) will experience minor increases in energy costs due to higher temperatures, though this is not a significant risk across the port as a whole. However for specialist refrigeration and freezing terminals the financial impact of rising energy costs due to higher temperatures is greater.

Coastal flooding to goods handling and storage facilities is only a risk under extreme storm surge events. This may affect the MARFRIGO terminal by 2040 under the 1 in 250 year event estimated for 2040 taking account of climate change, as it has the lowest quay heights. Other terminals are not considered at risk from storm surge flooding until the 2070s.

Extreme wind speeds are not a risk to goods handling as the port is closed before handling thresholds are reached. Category 4 or 5 tropical cyclones may present a risk of damage to cranes, but quantifying future changes in storm activity is currently not possible.

Risks to environmental performance due to climate change are not considered significant, due to API Manzanillo's existing management procedures and insurances.

## **FINANCIAL AND ECONOMIC SUMMARY OF CLIMATE CHANGE RISKS FOR THE PORT OF MANZANILLO**

The climate change risks with the most significant financial impacts for the Port of Manzanillo as a whole are:

- Increased surface water flooding of the port. This affects the terminals road and rail movements, and increases maintenance costs for API Manzanillo;
- Increased sedimentation of the port basin due to increased intense rainfall. This reduces draft clearance for vessels and increases maintenance dredging, both of which disrupt terminal operations and cost API Manzanillo; and
- Impacts of climate change on the global economy, which in turn, could affect trade through the port.

If no action is taken, significant financial impacts will be borne by both API Manzanillo and the terminals for these key issues. However the impacts are not considered severe enough to pose risks to the continuity of business at the port over the medium or long term (2050s to 2080s). A comparative summary of the increase in costs due to climate change by 2050, if no action is taken on adaptation, is given in Figure 6.

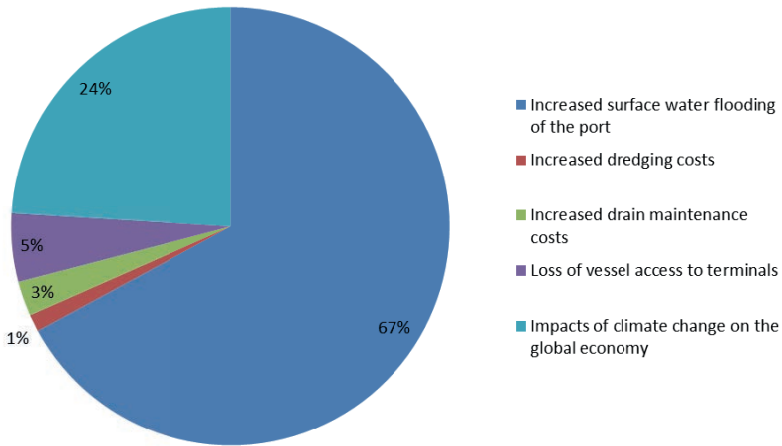


Figura 6: Increase in costs/loss of revenue by 2050 for risks with the greatest financial impacts  
Source: Report authors

## Cost effectiveness of adaptation options

For the priority risks, a high level analysis of the cost effectiveness of identified adaptation measures was conducted. Low, medium and high ratings for cost and effectiveness were assigned to each adaptation measure. For example, for surface water flooding affecting road/rail connectivity, the adaptation measures considered were:

- **P1** Upgrade drainage system inside the port;
- **P5** Use of sustainable drainage systems (SuDS);
- **P6** Upgrade and improve sediment traps;
- **P7** Review and adjust maintenance program for drainage system to ensure maximum capacity is achieved e.g. frequency of drain clearance;
- **P8** Catchment level landscape planning; and
- **P21** Implement traffic management measures to minimize bottlenecks during flood events.

High-level conclusions from the findings of the cost effectiveness analysis are:

- **Engineered (grey)** measures are often the most effective at reducing risk, but are generally more costly and have few positive (beneficial) additional consequences;
- **Ecosystem-based (green)** options have more positive additional consequences, but they are typically not as effective as engineered options at reducing risk; and

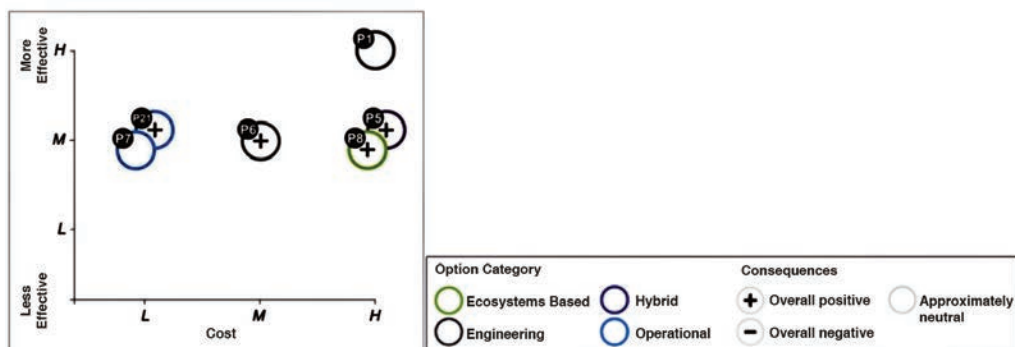


Figura 7: Cost effectiveness of adaptation measures for surface water flooding  
 Source: Report authors

- **Hybrid (purple)** options tend to be in the middle in terms of cost effectiveness, and can have positive additional consequences.

## ADAPTATION PLAN

‘Adaptation’ is the general term used to describe the range of actions that can be taken to reduce vulnerability to climate change. The study’s Adaptation Plan set out the measures to manage climate-related risks and opportunities for the Port of Manzanillo and the port community, whilst being in alignment with key adaptation policy instruments at the Federal, State and Municipal levels.

**Mainstreaming adaptation:** In line with good practice, the measures in the Adaptation Plan need to be mainstreamed within existing plans and processes at the port where relevant. Namely within the Port Master Plan and Operational plans and procedures of API Manzanillo and the terminals. Mainstreaming is an efficient way of ensuring that actions in the plan have owners, and are delivered and monitored effectively. The adaptation measures recommended in the Adaptation Plan contribute either to (Figure 8):

- **Building adaptive capacity:** helping to understand and respond to climate change challenges. This includes data collection, research, monitoring and awareness raising, support governance or organizational structures. Low cost, no/low regret measures, recommended implementation as soon as possible.
- **Delivering adaptation actions:** implementing actions that help reduce climate change risks or take advantage of opportunities. These are further divided into Grey, Green and Hybrid. Adaptation measures were further divided into two categories:

- a) **Priority adaptation measures** addressing priority risks identified in the risk assessment
- b) **Adaptation measures addressing medium and low priority risks**

## STAKEHOLDER ENGAGEMENT PLAN

Adequate engagement of relevant stakeholders is a critical factor for the successful implementation of any adaptation plan, identifying synergies in adaptation objectives and avoiding conflicts. Key stakeholders for API Manzanillo included various government and port community departments and operators. The study recommended a number of steps for API Manzanillo to implement the Adaptation Plan (Figure 9)



Figura 8: Types of climate change adaptation measures recommended for the Port of Manzanillo  
Source: Report authors

## STUDY LIMITATIONS

Climate change risk assessments and the development of adaptation plans face some limitations, due to the current state of knowledge on climate change and its impacts. The key limitations identified for this study were the following:



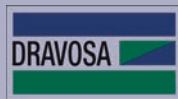
Figura 9: Next steps in the implementation of the Port of Manzanillo Adaptation Plan  
Source: Report authors



- **Future changes in tropical storms:** A high proportion of climate change risks facing the port are related to changes in regional tropical cyclone and tropical storm activity. At present, scientists are not able to quantify accurately changes in future storm intensity and locations. Therefore, a sensitivity analysis approach was used, evaluating on a range of possible future scenarios;
- **Future changes in extreme rainfall events and extreme wind speeds:** Due to uncertainty in future changes in tropical cyclones and storms, quantifying changes in rainfall intensity and wind speed is difficult. Therefore, this study analysed observed trends in these variables and, where those trends were statistically significant, it assumed they would continue linearly into the future;
- **Sedimentation rates:** The study assumed that sediment discharge varies linearly with flow discharge. However, more frequent and higher-intensity rainfall events could increase sedimentation non-linearly; and
- **Data availability for financial analysis:** Some of the terminals operating at the port were not able to provide data on the costs of current climate-related events and on their future financial projections. Some analyses were therefore limited to terminals who provided data, and/or assumptions were made that data from a limited number of terminals was representative of all of them.



Colaboran



9 788488 740090

P.V.P. 50€