

XIV JORNADAS ESPAÑOLAS DE INGENIERÍA DE  
**COSTAS Y PUERTOS**  
Alicante 24 y 25 de mayo de 2017



EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



---

# XIV Jornadas españolas de ingeniería de Costas y Puertos

---

Alicante, 24 y 25 de mayo de 2017

*Editora científica*

M. Esther Gómez-Martín

**EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

*Congresos UPV*

*XIV Jornadas españolas de ingeniería de Costas y Puertos*

Editora científica

M. Esther Gómez-Martín

© de los textos: los autores

© imagen de portada: “Hidra imagen aérea” (hidraimagen.com)

© 2018 Editorial Universitat Politècnica de València

[www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 6401\_01\_01\_01

ISBN: 978-84-9048-619-1

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

## Patrocinadores



AYUNTAMIENTO DE ALICANTE



## Colaboradores



## Organizadores



AYUNTAMIENTO DE ALICANTE





## Comité Permanente

Adolfo Uriarte Villalba, *AZTI TECNALIA*

Gonzalo Gómez Barquín, *Puertos del Estado*

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

José María Grassa Garrido, *CEDEX*

Josep Ramon Medina Folgado, *Universitat Politècnica de València*

Paloma Lorente Velázquez-Gaztelu, *Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar*

Raúl Medina Santamaría, *Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria*

## Comité Organizador

### Presidentes

Gabriel Echávarri Fernández, *Alcalde del Ayuntamiento de Alicante*

Juan Antonio Gisbert García, *Presidente de la Autoridad Portuaria de Alicante*

José Miguel Saval Pérez, *Subdelegado del Gobierno en Alicante*

Rosa de los Ríos Jimeno, *Jefa del Servicio Provincial de Costas en Alicante*

### Secretaria

M. Esther Gómez-Martín, *Universidad de Alicante / Universitat Politècnica de València*

### Vocales

Andrés Francisco Rico Mora, *Representante Provincial de Alicante del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*

Carlos Eleno Carretero, *Director de la Autoridad Portuaria de Alicante*

Luis Aragonés Pomares, *Coordinador de Grado en Ingeniería Civil de la Universidad de Alicante*

M. Auxiliadora Jordá Guijarro, *Jefa de Proyectos del Servicio Provincial de Costas en Alicante*

M. Pilar Álvarez Montero, *Sub. DG de Puertos, Aeropuertos y Costas de la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Comunidad Valencia*



## **Temas**

Las Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos son unos encuentros bienales, de carácter científico-técnico, que reúnen a los mejores expertos tanto de las universidades como de las administraciones y empresas, en los que se abordan a través de Ponencias y Sesiones de Pósteres temas de máximo interés, relacionados con las infraestructuras portuarias y con la gestión y protección del litoral.

Las decimocuartas Jornadas se celebrarán en Alicante y su organización ha sido asumida por un comité local que trata de representar a los diferentes sectores involucrados, como son, el Ayuntamiento de Alicante, la Subdelegación del Gobierno, la Autoridad Portuaria de Alicante, el Servicio Provincial de Costas en Alicante, la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Comunidad Valenciana, la Universidad de Alicante y el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

En estas Jornadas, estarán presentes las instituciones, empresas y entidades más relevantes en las actuaciones que se llevan a cabo en la zona portuaria y costera, a través tanto de la exposición comercial como de las ponencias que se desarrollarán en 5 salas simultáneas. Con una asistencia prevista de más de 400 profesionales del sector, la XIV edición de estas Jornadas va a ser un punto de encuentro imprescindible durante el año 2017.

Clima Marítimo. Oceanografía Física

Medio Ambiente, Vertidos y Calidad del Agua Marina

Obras y Estructuras Marítimas

Procesos Litorales y Actuaciones en la Costa

Planificación y Gestión de Puertos

Gestión del Litoral

Riesgos de Inundación y Cambio Climático

Planificación Espacial Marina y Estrategias Marinas Europea



## Índice

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PRUEBA DE TIRO DE DUQUE DE ALBA CON MEDIOS MARÍTIMOS. PUERTO DE MAÓ                                                                                                                                 | 1   |
| Cesare A. Mosca; Antonio Ginard López                                                                                                                                                               |     |
| AMPLIACIÓN DE LA LÍNEA DE ATRAQUE MEDIANTE LA EJECUCIÓN DE DUQUES DE ALBA EN LA TERMINAL DE TRANSBORADORES DE BOUZAS                                                                                | 9   |
| Miguel Ángel López; José Enrique Escolar; Santiago Povedano                                                                                                                                         |     |
| OBRA AUMENTO DE CALADO DEL MUELLE RAOS 1 EN EL PUERTO DE SANTANDER                                                                                                                                  | 25  |
| Alberto Rodríguez-Solórzano; Néstor Urrutxua-Miguel                                                                                                                                                 |     |
| TRASLADO Y MONTAJE DE UNA RAMPA RO-RO FLOTANTE DESDE EL ÁREA COMERCIAL A LA ESTACIÓN MARÍTIMA EN EL PUERTO DE SANTANDER                                                                             | 33  |
| Rubén Suárez-López; María Luisa Magallanes-Fernández; Manuel Biedma-García; Julián Murillo-Bolado                                                                                                   |     |
| ALGECIRAS SAFEPORT: NUEVAS HERRAMIENTAS MET-OCEAN PARA EL DISEÑO Y EXPLOTACIÓN PORTUARIA                                                                                                            | 43  |
| Pablo Rodríguez-Rubio; Francisco J. de los Santos; Rafael Molina; Christian Mans; Gabriel Díaz-Hernández; Antonio Tomás; Javier L. Lara; José María Terrés-Nicoli; Iñigo J. Losada; Enrique Álvarez |     |
| HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN DE LA AGITACIÓN PRODUCIDA POR EL PASO DE EMBARCACIONES EN ÁREAS PORTUARIAS                                                                               | 51  |
| Gabriel Díaz-Hernández; Antonio Tomás; Javier L. Lara; Beatriz Rodríguez; Rafael Molina; Pablo Rodríguez-Rubio; Francisco de los Santos                                                             |     |
| INTERACCIÓN ENTRE LA REFLEXIÓN DE LA GENERACIÓN DE FORMAS DE LECHO                                                                                                                                  | 63  |
| Manuel Cobos; María Clavero; Sandro Longo; Asunción Baquerizo; Miguel Ángel Losada                                                                                                                  |     |
| TIPOLOGÍAS DE PERFILES DE PLAYAS EN EL LITORAL DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ                                                                                                                             | 71  |
| Antonio Contreras; Gregorio Gómez-Pina; Juan José Muñoz-Pérez; Gabriel Chamorro                                                                                                                     |     |
| MAPAS DE PELIGROSIDAD POR MAREMOTO EN LA COSTA ESPAÑOLA COMO APOYO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LOS PLANES DE ACTUACIÓN DE C.C.A.A.                                                                   | 83  |
| Mauricio González; Íñigo Aniel-Quiroga; Pablo García; Omar Quetzalcoatl; Patricia Fernández                                                                                                         |     |
| MAPAS DE PELIGROSIDAD FRENTE A MAREMOTOS EN LAS COSTAS ESPAÑOLAS                                                                                                                                    | 91  |
| Ángela Palao-Domínguez; María Crespo; Ángela Tintoré-Parra; Luis Lacoma-Aller; Ana María Fernández-Espinosa                                                                                         |     |
| BARRERAS NATURALES PARA LA DEFENSA DE LA COSTA: MARCO ESTRATÉGICO Y APLICACIONES                                                                                                                    | 101 |
| Pelayo Menéndez; Íñigo J. Losada; Michael W. Beck; Borja G. Reguero                                                                                                                                 |     |
| ENSAYO EN MODELO FÍSICO A GRAN ESCALA DE LAS OPERACIONES DE REPERFILADO DE PLAYAS PARA LA PROTECCIÓN DEL TERRITORIO FRENTE A TEMPORALES DE OLEAJE                                                   | 103 |
| José Francisco Sánchez-González; Melva Martín-Hidalgo; José Manuel de la Peña-Olivas                                                                                                                |     |

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ESTUDIOS DE DISPERSIÓN PARA EL VERTIDO DE LOS PRODUCTOS DE DRAGADO. CASOS: ENTORNO DE SÁLVORA                                                                                                                | 115 |
| Juan Antonio Rodríguez-Pardo; Miguel Ángel Vigo-Baz; Fernando López-Mera                                                                                                                                     |     |
| HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN DE CONTINGENCIAS POR VERTIDOS MARINOS EN EL PUERTO DE BILBAO (BILBOIL)                                                                                                    | 127 |
| Jorge Arce-Marcos; Andrea Del Campo-Pena; Manuel González-Pérez; Luis Ferrer-Rodríguez; David Gutiérrez-Barceló; Alberto Ojanguren-Bergaz                                                                    |     |
| REFUERZO DEL DIQUE DE ONDARROA TRAS EL TEMPORAL DEL 9 DE FEBRERO DE 2016                                                                                                                                     | 135 |
| Elena Quevedo-Baquerizo; Lorenzo Quevedo-Negrete; Saioa Rezabal-Arocena                                                                                                                                      |     |
| DISEÑO INTEGRAL OPTIMIZADO DE DEFENSAS COSTERAS Y MARINA CON EL USO DE XBLOC                                                                                                                                 | 145 |
| Jorge Gutiérrez-Martínez; Richard De Rover; Pieter Bakker; Johan Sebastiaan Reedijk; Erik ten Oever; Tamara Eggeling; John Rae Manaois; Michael Van de Koppel                                                |     |
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MARINA BAIE D'ALGER                                                                                                                                                              | 151 |
| Juan Ignacio Grau-Albert; Juan Lazzari-Gutiérrez; Vicente Pardo                                                                                                                                              |     |
| METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA MANIOBRA DE FONDEO DE CAJONES EN INFRAESTRUCTURAS MARÍTIMAS                                                                                                           | 155 |
| Lucía Meneses; Daniel de Los Dolores; Javier Sarmiento; David Blanco; Raúl Guanche; Íñigo J. Losada; María F. Rodríguez de Segovia; Manuel J. Ruiz; Miguel Ángel Martín; María José Conde; Francisco Esteban |     |
| PLOCAN: REFLOTE, TRANSPORTE Y FONDEO DE OBRA MARÍTIMA SINGULAR                                                                                                                                               | 167 |
| Natividad Sánchez-López; José Manuel González-Herrero; P. Bautiste Villanueva                                                                                                                                |     |
| SIMULACIÓN DEL PROCESO DE REMOLQUE DE CIMENTACIONES PARA AEROGENERADORES MARINOS. PROYECTO I+D+i "CAPEMA"                                                                                                    | 179 |
| Jesús Fernández-Prisuelos; José María Montero-Montalvo; Miguel Vázquez-Romero; Laura Freire-Bermúdez                                                                                                         |     |
| BARCOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE: VENTANAS TEMPORALES Y CLASIFICACIÓN COVEMA                                                                                                          | 189 |
| Jorge Luengo; Javier García Barba; Vicente Negro; José Santos López-Gutiérrez; María Dolores Esteban Pérez                                                                                                   |     |
| VALIDACIÓN PRE-OPERATIVA Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA OPERACIONAL DE AGITACIÓN PORTUARIA DEL PROYECTO SAMOA                                                                                                | 199 |
| Gabriel Díaz-Hernández, Beatriz Rodríguez, Enrique Álvarez-Fanjul, Jose María García-Valdecasas, Javier L. Lara, Raúl Medina, Antonio Tomás                                                                  |     |
| NUEVOS RETOS EN LA OBSERVACIÓN Y PREDICCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS AL NIVEL DEL MAR                                                                                                                            | 211 |
| Begoña Pérez Gómez; Irene Pérez González; Marcos García Sotillo; Enrique Álvarez Fanjul                                                                                                                      |     |
| NUEVA GUÍA DEL PIANC SOBRE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA PUERTOS MARÍTIMOS Y DE INTERIOR E INFRAESTRUCTURA MARÍTIMA (PIANC WG178)                                                                      | 213 |
| Susana Lizondo; Íñigo Losada Rodríguez; Jan Brooke; Charles Haine; Ben Hodgkin                                                                                                                               |     |
| EXPERIENCIA EN EL TRASLADO DE EJEMPLARES DE NACRA DE ROCA (PINNA RUDIS) AFECTADOS POR ACTUACIONES PORTUARIAS EN AGUAS DE SERVICIO DEL PUERTO DE ALGECIRAS                                                    | 221 |
| Francisco José González; Mario Barrientos; Sergio Mestre; Carlo Tidu; Susana Díez; Manuel Moreno; Juan Pablo Pérez; Alfredo Carrasco; Juan Antonio Patrón                                                    |     |

|                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| REUBICACIÓN DE 75 EJEMPLARES DE <i>PINNA NOBILIS</i> PREVIA A LA<br>INSTALACIÓN DE UN CABLE SUBMARINO EN EL PARQUE NATURAL DEL DELTA<br>DEL EBRO                                                            | 229 |
| Vicente Castañer-Franch y Javier Martín-Fernández                                                                                                                                                           |     |
| ANÁLISIS DE LAS TENSIONES TÉRMICAS EN CUBIPOD®. PROYECTO CEMAT                                                                                                                                              | 241 |
| Vicente Pardo; Daniel Di Capua; Carmen Andrade; Luís Saucedo y José Millán                                                                                                                                  |     |
| ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ANTE TSUNAMI DE DIQUES ROMPEOLAS DE<br>MATERIALES SUELTOS BASADO EN ENSAYOS DE LABORATORIO                                                                                          | 251 |
| Íñigo Aniel-Quiroga; César Vidal; E. M. González; Javier López Lara                                                                                                                                         |     |
| FORMA EN PLANTA DE EQUILIBRIO EN PLAYAS ENCAJADAS: INFLUENCIA DE<br>LA VARIABILIDAD DIRECCIONAL DEL OLEAJE                                                                                                  | 261 |
| Ahmed Ibrahim Elshinnawy; Raúl Medina; Mauricio González                                                                                                                                                    |     |
| LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LAS PLAYAS DE ARENA DEL<br>LEVANTE MEDITERRÁNEO                                                                                                                        | 273 |
| José Ignacio Pagán Conesa; Luis Aragonés Pomares; Isabel López Úbeda;<br>José Cristobal Serra Peris                                                                                                         |     |
| DISEÑO DE UN ARRECIFE ARTIFICIAL DE SURF ARTIFICIAL EN LA PLAYA DE<br>SOMO-LOREDO                                                                                                                           | 283 |
| Jared Ortiz-Angulo Cantos; Gabriel Díaz-Hernández; Javier López-Lara                                                                                                                                        |     |
| EL CÁLCULO DEL LIMITE INTERIOR DE LA ZONA MARÍTIMO-TERRESTRE EN LA<br>NUEVA NORMATIVA DE COSTAS: UN PROBLEMA DE GESTIÓN                                                                                     | 291 |
| José Ramón Martínez-Cordero; Christian Jesús Montero-Llerandi                                                                                                                                               |     |
| CONSIDERACIONES PARA UNA METODOLOGÍA ÚNICA EN LA ESTIMACIÓN DEL<br>ALCANCE DE UN TEMPORAL. APLICACIÓN PARA LA DELIMITACIÓN DE LA<br>ZONA MARÍTIMO TERRESTRE                                                 | 305 |
| Pablo Cabrera; Juan José Muñoz; Gabriel Chamorro                                                                                                                                                            |     |
| EL PATRIMONIO CULTURAL DEL PAISAJE COSTERO EN LA PROVINCIA DE<br>ALICANTE                                                                                                                                   | 313 |
| José Luis Menéndez Fueyo; M <sup>a</sup> Auxiliadora Jordá Guijarro                                                                                                                                         |     |
| INNOVACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TERCER JUEGO DE ESCLUSAS DEL<br>CANAL DE PANAMÁ                                                                                                                         | 325 |
| Sergi Ametller                                                                                                                                                                                              |     |
| ESTIMACIÓN NUMÉRICA DE LA VELOCIDAD LÍMITE DE VIENTO PARA LA<br>PERMANENCIA DE MEGACRUCEROS EN LA TERMINAL ADOSADA AL DIQUE DEL<br>OESTE DEL PUERTO DE PALMA. COMPARACIÓN CON EL PROCEDIMIENTO DE LA<br>ROM | 329 |
| M <sup>a</sup> Jesús Martín-Soldevilla; Marta Jiménez-Saavedra; Ana Lope-Carvajal;<br>Antonio Ginard-López; Víctor Darder-Gallardo                                                                          |     |
| ESTABILIZACIÓN DEL ENTORNO NATURAL DE LA PLAYA DE SANT SEBASTIÀ.<br>SITGES (BARCELONA)                                                                                                                      | 339 |
| Ana María Castañeda-Fraile; Francisco Javier Escartín-García                                                                                                                                                |     |
| INFLUENCIA DE LOS CONVERTIDORES DE ENERGÍA DEL OLEAJE EN LA<br>MORFODINÁMICA DE PLAYAS HETEROGÉNEAS                                                                                                         | 351 |
| Rafael J. Bergillos; Adolfo García-García; Alejandro López-Ruiz; Miguel Ortega-Sánchez                                                                                                                      |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| METODOLOGÍA PARA LA TRAMIFICACIÓN DE ZONAS DE TRANSICIÓN BASADA EN LA INTERACCIÓN DE AGENTES                                                                                                                                                                        | 359 |
| Juan Del Rosal-Salido; Pedro Folgueras; Miguel Ortega-Sánchez; Miguel Ángel Losada                                                                                                                                                                                  |     |
| LAS ESTRATEGIAS MARINAS DE ESPAÑA: UNA VISIÓN DE CONJUNTO TRAS LA FINALIZACIÓN DEL PRIMER CICLO                                                                                                                                                                     | 369 |
| M <sup>a</sup> Sagrario Arrieta Algarra; Ainhoa Pérez Puyol; Marta Martínez-Gil Pardo de Vera; Jose Luis Buceta Miller; Laura Díaz Domínguez; Paula Isabel Valcarce Arena; Jorge Alonso Rodríguez; Ana Ruiz Sierra; Itziar Martín Partida; Cristina Danés de Castro |     |
| ESTUDIO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL REBASE EN EL DIQUE SUROESTE DE LA DÁRSENA DE ESCOMBRERAS                                                                                                                                                              | 383 |
| José María Valdés; José María Grassa; Ramón M. Gutiérrez-Serret; José Lozano; María Jesús Martín-Soldevilla; Paloma Aberturas; Martín Jáuregui                                                                                                                      |     |
| VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RED NEURONAL DE CLASH PARA DIQUES REBASABLES A ROTURA POR FONDO                                                                                                                                                                       | 395 |
| Gloria Argente; Maria Piedad Herrera; María Esther Gómez-Martín; Josep Ramón Medina                                                                                                                                                                                 |     |
| EL FACTOR DE RUGOSIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE REBASE                                                                                                                                                                                                                   | 403 |
| Josep Ramón Medina; Jorge Molines                                                                                                                                                                                                                                   |     |
| APLICACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN MULTIVARIADA DE LOS TEMPORALES A LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO CON LOS MÉTODOS PROBABILISTAS RECOGIDOS EN LA ROM                                                                                                                      | 411 |
| M <sup>a</sup> Jesús Martín; Paloma Aberuras; Elena Cristóbal; José M. Grassa; Obdulio Serrano; Enrique Álvarez; Susana Pérez                                                                                                                                       |     |
| CÁLCULO SEMIPROBABILÍSTICO DE LAS OBRAS DE ABRIGO. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DIFERENTES MÉTODOS DE NIVEL I (COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARCIALES)                                                                                                                 | 423 |
| F Javier Escartín-García                                                                                                                                                                                                                                            |     |
| ESTUDIO DE LA PLAYA DE SAN LORENZO DE GIJÓN (ASTURIAS)                                                                                                                                                                                                              | 433 |
| José Manuel de la Peña Olivas; José Francisco Sánchez González                                                                                                                                                                                                      |     |
| REHABILITACIÓN DE LOS MUELLES QUE CONFORMAN LA MARINA DEL PORT VELL EN EL PUERTO DE BARCELONA                                                                                                                                                                       | 445 |
| Jose María Naranjo; Elisa Barrós; Juan Vicente Miñana; Joan González                                                                                                                                                                                                |     |
| EL PROBLEMA DE LA GESTIÓN DE LOS DRAGADOS DE MANTENIMIENTO EN PEQUEÑOS PUERTOS AUTONÓMICOS                                                                                                                                                                          | 457 |
| María Luisa Magallanes-Fernández; Juan Casanueva-Arpide; Amador Gafo-Álvarez                                                                                                                                                                                        |     |
| REFLEXIONES SOBRE EL EMPLEO DE MODELOS NUMÉRICOS “USER FRIENDLY” EN LA PRÁCTICA PROFESIONAL DE LA INGENIERÍA MARÍTIMA                                                                                                                                               | 465 |
| Gabriel Chamorro; José Manuel Galán; Vicente Negro; Juan José Muñoz; Pablo Cabrera; Antonio Contreras                                                                                                                                                               |     |
| ESTUDIO NUMÉRICO DEL EFECTO DE LAS BATEAS MEJILLONERAS EN LA PROPAGACIÓN DEL OLEAJE                                                                                                                                                                                 | 473 |
| Gladis Castro-Rodríguez; Gabriel Díaz-Hernández; Javier Sopelana-Peralta                                                                                                                                                                                            |     |
| RESPUESTA MAREAL Y DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA SALINIDAD EN EL ESTUARIO DEL GUADALQUIVIR POR CAMBIOS EN LA MORFOLOGÍA DE LA RED DE CANALES                                                                                                                             | 485 |
| Reyes Siles-Ajamil; Manuel Díez-Minguito; Miguel Ángel Losada-Rodríguez                                                                                                                                                                                             |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL TRANSPORTE DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO<br>BAJO LA INFLUENCIA DE VIENTO<br>Andrea Lira-Loarca; Fabio Addona; María Clavero; Sandro Longo; Asunción Baquerizo;<br>Miguel Ángel Losada                                                                                                    | 495 |
| ESTABILIDAD DE LOS ESPALDONES DE DIQUES EN TALUD CON MANTOS DE<br>CUBOS Y CUBÍPODOS<br>Jorge Molines; Josep Ramón Medina                                                                                                                                                                                      | 501 |
| EVALUACIÓN DE LA ATENUACIÓN DE LA RESONANCIA EN PUERTOS MEDIANTE<br>ESTRUCTURAS ANTIRREFLEJANTES<br>Jose Alberto Gonzalez-Escriba; Josep R. Medina; Joaquín M. Garrido                                                                                                                                        | 509 |
| RECOMENDACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE BERMAS DE<br>PROTECCIÓN EN MUROS DE PASEOS MARÍTIMOS<br>Jesús González Moreno; Miguel Figueres Moreno; Joaquín Garrido                                                                                                                                            | 519 |
| DISEÑO DE BERMAS DE PIE CON OLEAJE ROMPIENDO POR FONDO<br>Maria Piedad Herrera Gamboa; Josep R. Medina                                                                                                                                                                                                        | 529 |
| COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO Y SENSIBILIDAD DE LOS ESQUEMAS DE<br>DISEÑO EN ESTRUCTURAS DE GRAVEDAD APLICADAS A ENERGÍAS EÓLICAS<br>MARINAS<br>Adrián Escobar; José Santos López-Gutiérrez; María Dolores Esteban; Vicente Negro                                                                              | 539 |
| MODELO HIDRODINÁMICO DE ALTA RESOLUCIÓN DEL PUERTO DE ALGECIRAS<br>- PROYECTO SAMPAA2<br>Simone Sammartino; J. Carlos Sánchez-Garrido; Cristina Naranjo; Jesús García-Lafuente;<br>Pablo Rodríguez-Rubio; Francisco de los Santos-Ramos; Marcos García-Sotillo;<br>Enrique Álvarez-Fanjul                     | 549 |
| ¿CÓMO ENTIENDEN LOS CIUDADANOS LA APARICIÓN DE LOS ESCALONES DE<br>ARENA EN LAS PLAYAS DE CÁDIZ?<br>Gregorio Gómez Pina; P. Pouillet; Juan José Muñoz; Antonio Contreras                                                                                                                                      | 563 |
| LA REGRESIÓN EN LA COSTA DE VALENCIA ENTRE LOS RÍOS TURIA Y JÚCAR:<br>REVISIÓN HISTÓRICA Y GESTIÓN<br>Vicente Ibarra; Jaime Almenar                                                                                                                                                                           | 575 |
| IMPACTO SOBRE LAS PLAYAS AL NORTE Y SUR DEL PUERTO DE VALENCIA<br>TRAS LA FINALIZACIÓN DE LAS OBRAS DE AMPLIACIÓN<br>José C. Serra-Peris; Manuel Guerra-Vázquez; Maravillas Sánchez-Barcaeztegui                                                                                                              | 579 |
| ACTUACIONES EN EL LITORAL DE A CORUÑA PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE<br>LOS TEMPORALES EXTRAORDINARIOS DEL ÚLTIMO LUSTRO<br>Carlos Gil Villar; Rafael Eimil Apenela; Ignacio Pardo de Vera; Ricardo Babío Arcay                                                                                                  | 587 |
| SENDA PEATONAL Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS ARQUEOLÓGICAS DE<br>LA ÉPOCA ROMANA ENTRE LA PLAYA DE LA ALBUFERETA Y EL PUERTO<br>COSTABLANCA, EN EL T.M. DE ALICANTE<br>Rafael Zamorano Rubio; M <sup>a</sup> Auxiliadora Jordá Guijarro; Joaquín Pina Mira;<br>Adela Sánchez Lardiés; José Luis Morales Maciá | 599 |
| PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA TERMINAL DE CONTENEDORES<br>SEMIAUTOMATIZADA EN LA AMPLIACIÓN NORTE DEL PUERTO DE VALENCIA<br>Rafael Ignacio González-Mateos; Pablo Jiménez-Bayo; José Aguilar-Herrando                                                                                                            | 611 |
| PUERTO DE MOTRIL (GRANADA): TRANSFORMACIÓN DE UN PUERTO AL<br>SERVICIO DEL TRÁFICO DE PASAJEROS<br>Mónica Ruiz Seisdedos                                                                                                                                                                                      | 623 |

|                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PREDICCIÓN METEOROLÓGICA Y DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES DE ALTA RESOLUCIÓN EN ZONAS PORTUARIAS<br>Elena Padorno-Prieto; Inés Santos-Atienza; José Ángel Ruíz-Pacheco;<br>María Allué-Camacho; Víctor Vaz-de Jesús; Isabel Martínez-Marco | 633 |
| GENERACIÓN DEL OLEAJE EN AGUAS SOMERAS: UN ENFOQUE TEÓRICO APLICADO AL SACO INTERNO DE LA BAHÍA DE CÁDIZ<br>Pilar Díaz-Carrasco; Miguel Ortega-Sánchez; Miguel Á. Losada                                                                   | 643 |
| ONDAS DE PLATAFORMA CONTINENTAL EN EL MAR DE ALBORÁN Y COSTA LEVANTINA ESPAÑOLA<br>María Ángeles Serrano; Manuel Díez-Minguito; Miguel Ortega-Sánchez;<br>Miguel Á. Losada                                                                 | 655 |
| VERIFICACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS DEL MODELO HARMONIE A MUY ALTA RESOLUCIÓN<br>José Ángel Ruiz-Pacheco; Elena Padorno-Prieto; Inés Santos-Atienza;<br>Isabel Martínez-Marco                                                         | 661 |
| NUEVOS MÉTODOS COMPUTACIONALES APLICADOS A LA INGENIERÍA DE COSTAS<br>Mercedes López-López; Isabel López-Úbeda; Yolanda Villacampa-Esteve;<br>Luis Aragonés-Pomares                                                                        | 671 |
| MODELO INTEGRAL PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUAS EN ZONAS COSTERAS<br>Celia Murcia; Fernando Álvarez                                                                                                                                    | 677 |
| ANÁLISIS DE LOS EVENTOS EXTREMOS DE REBASE Y ESTABILIDAD DE LA CORONACIÓN DE DIQUES EN TALUD<br>Patricia Mares-Nasarre; María Piedad Herrera; M. Esther Gómez-Martín;<br>Josep Ramon Medina                                                | 683 |
| ADAPTACIÓN DE TERMINALES PORTUARIAS AL INCREMENTO DE TAMAÑO DE LOS BUQUES<br>Eloy Pita; Mario Sánchez-Barriga; Lucas Martín                                                                                                                | 691 |
| ESTIMACIÓN DE LA SENSITIVIDAD A PARTIR DE ENSAYOS T-BAR EN SUELOS BLANDOS MARINOS<br>Marcelo Deivinzenci; Amadeu Deu; Norma Pérez                                                                                                          | 701 |
| DISEÑO DE MANTOS DE CUBÍPODOS “INDESTRUCTIBLES” Y NO REBASABLES SOMETIDOS A OLEAJE LIMITADO POR FONDO<br>María Esther Gómez-Martín; María Piedad Herrera; Josep Ramon Medina                                                               | 707 |
| APLICACIÓN DEL TEOREMA DE LA COTA INFERIOR DEL CÁLCULO PLÁSTICO AL PREDIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE AMARRE PARA EMBARCACIONES DE RECREO<br>Alfonso Ávila; Carlos R. Sánchez-Carratalá                                                    | 715 |
| EL CONCEPTO DE PAISAJE A TRAVÉS DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN PORTUARIA: APLICACIÓN A LA NÁUTICA RECREATIVA EN LA PROVINCIA DE GRANADA<br>Ricardo Martín-Polo; Fernando Copado-García                                               | 727 |
| METODOLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DE LA OPERATIVIDAD EN CANALES DE NAVEGACIÓN: EL CASO DE PUNTA UMBRÍA<br>Miguel Á. Reyes-Merlo; Pedro Otiñar-Morillas; Juan Del-Rosal-Salido; Rafael J. Bergillos;<br>Miguel Ortega-Sánchez                  | 739 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LA REGENERACIÓN DE LOS ESPACIOS COMO ÁREA DE OPORTUNIDAD URBANA:<br>APLICACIÓN A LOS PUERTOS DE COMPETENCIA AUTONÓMICA<br>Fernando Copado-García; Ricardo Martín-Polo                                                                                                                                                                                                     | 745 |
| ANÁLISIS DE IMPLANTACIÓN DE UNA ZONA FRANCA EN LA PROVINCIA DE<br>ALICANTE<br>Joaquín Melgarejo-Moreno; Francisco Llopis-Vañó; Armando Ortuño-Padilla;<br>Patricia Fernández-Aracil                                                                                                                                                                                       | 755 |
| OBRAS DE EMERGENCIA EN EL ACANTILADO EN LA PLAYA DE FUENTE DEL<br>GALLO (CÁDIZ)<br>Natalia Nacle López; Patricio Pouillet Brea; Gregorio Gómez Pina;<br>José Manuel González Herrero                                                                                                                                                                                      | 763 |
| SEGUIMIENTO AMBIENTAL DURANTE LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DEL<br>PROYECTO DE REHABILITACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA FACHADA COSTERA<br>DEL CASCO URBANO DE ALTEA (PARTE MARÍTIMA). T.M. DE ALTEA<br>(ALICANTE). CELDA NORTE (EL CHARCO)<br>Francisco Luna Martínez; M <sup>a</sup> Auxiliadora Jordá Guijarro; Carlos A. Villena Hernández;<br>Andrea Martínez García Del Real | 773 |
| ALTERACIONES EN EL FLUJO DE ENERGÍA MAREAL EN LAS BAHÍAS POR EL<br>IMPACTO DE NUEVAS CONSTRUCCIONES: BAHÍA DE CÁDIZ<br>Carmen Zarzuelo; Alejandro López-Ruiz; Manuel Díez-Minguito; Andrea Lira-Loarca;<br>Miguel Ortega-Sánchez                                                                                                                                          | 781 |
| ESTABILIZACIÓN CON MALLAS DE ALAMBRE DE ACERO DE ALTO LÍMITE<br>ELÁSTICO TECCO® Y DELTAX® DEL ACANTILADO DE LA PLAYA DE<br>PEÑARRUBIA (GIJÓN – ASTURIAS)<br>Julio Prieto Fernández; José Luis Gutiérrez García; Luis García-Arango Veiga;<br>Hugo Menéndez Rodríguez                                                                                                      | 787 |
| REMEDIACIÓN DE SEDIMENTOS MARINOS ANÓXICOS<br>Borja Ferrández; Cesar Bordehore; Antonio Sánchez; Eva S. Fonfría; Mar Cerdán                                                                                                                                                                                                                                               | 797 |
| CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS ÁRIDOS PARA SU EMPLEO EN<br>REGENERACIÓN DE PLAYAS DE GRAVA (ESTUDIO DE PLAYAS DE CANTOS<br>RODADOS EN LA PROVINCIA DE ALICANTE)<br>David Cano Giménez; Adolfo Gea Pacheco; M <sup>a</sup> Auxiliadora Jordá Guijarro;<br>Juan Antonio Guillamont Hurtado                                                                              | 809 |



## Modelo hidrodinámico de alta resolución del Puerto de Algeciras – Proyecto SAMPA2

Sammartino, Simone<sup>a</sup>; Sánchez-Garrido J. Carlos<sup>a</sup>; Naranjo Cristina<sup>a</sup>; García-Lafuente Jesús<sup>a</sup>; Rodríguez-Rubio Pablo<sup>b</sup>; de los Santos-Ramos Francisco<sup>c</sup>; García-Sotillo Marcos<sup>d</sup>; Álvarez-Fanjul Enrique<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Oceanografía Física, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga, [ssammartino@ctima.uma.es](mailto:ssammartino@ctima.uma.es),

<sup>b</sup>Portel Servicios Telemáticos, EEMM Puerto de Algeciras, Local C7, 11207 Algeciras, Cádiz,

<sup>c</sup>Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras, Avda. Hispanidad 2, 11207, Algeciras, Cádiz,

<sup>d</sup>Puertos del Estado, Dpto. de Medio Físico, Avda. del Partenón 10, 28042, Madrid

### Resumen

El nuevo modelo hidrodinámico SAMPA2 consta de un sistema de tres dominios anidados capaces de reproducir la dinámica regional del Estrecho de Gibraltar y cuencas aledañas y llegar a resolver la circulación de pequeña escala del Puerto de la Bahía de Algeciras. El modelo presenta una validación muy satisfactoria en la Bahía y una notable mejora en las soluciones del dominio regional al local, dentro del puerto homónimo, derivadas del considerable incremento de resolución (de hasta ~30 m). Las corrientes superficiales de los tres dominios alimentan un módulo de evaluación de la calidad ambiental del Puerto, desarrollado para analizar la capacidad de renovación de las estructuras civiles en su interior. Un algoritmo de cálculo de trayectorias Lagrangianas de partículas virtuales especialmente adaptado al tipo de mallado del modelo y optimizado para la interacción entre partícula y contornos rígidos del Puerto, se aplica al estudio de la renovación de 8 dársenas sometidas a diversas condiciones externas de viento y fase e intensidad de la marea. Los resultados reflejan una predominancia clara del viento como factor determinante para la ventilación de las dársenas, con el Poniente responsable de una renovación uno o dos órdenes de magnitud más efectiva que el Levante.

**Palabras clave:** Bahía de Algeciras, Puerto de Algeciras, modelado numérico, oceanografía operacional, trayectorias Lagrangianas, calidad de agua.

## 1. Introducción

En 2010, la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) y Puertos del Estado (PdE) junto con el Grupo de Oceanografía Física de la Universidad de Málaga (GOFIMA) comenzaron un proyecto para la puesta en marcha de un “Sistema Autónomo de medición, predicción y alerta por variables océano-meteorológicas en la Bahía de Algeciras”, con el acrónimo de SAMPA. En el marco de este proyecto, GOFIMA desarrolló un modelo hidrodinámico de alta resolución que pudiera predecir el estado del Océano (nivel del mar, velocidad y dirección de la corriente, temperatura y salinidad) con un horizonte a 72h vista, en un dominio que engloba el Golfo de Cádiz y el Mar de Alborán. El mallado curvilíneo de resolución variable y máxima en el área del Estrecho de Gibraltar – Bahía de Algeciras, alcanzaba los 400 m de tamaño de celda en la misma Bahía (Fig. 1).

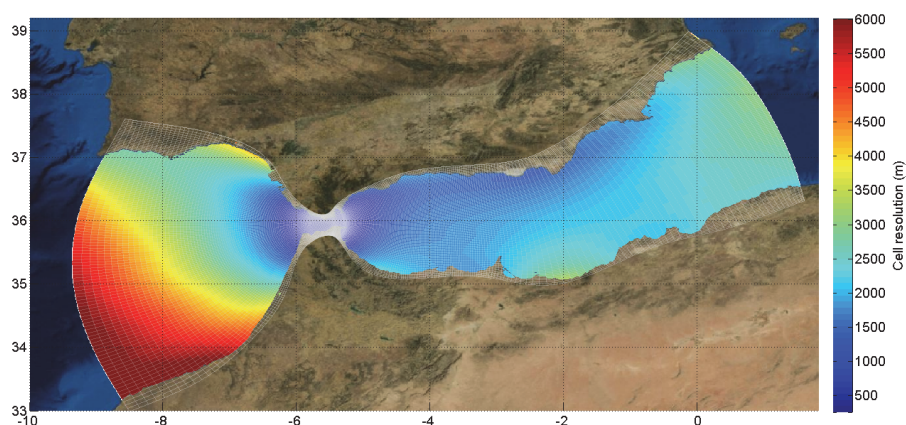


Fig. 1. Dominio del modelo SAMPA. La escala de color indica la resolución horizontal del mallado.

SAMPAA fue proyecto piloto para la integración de un modelo numérico de ese alcance en un sistema operacional y tuvo una buena acogida por parte de la comunidad oceanográfica española. Los resultados del modelo se difundieron mediante dos productos operacionales servidos por la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras, con el Cuadro de Mando Ambiental (CMA, <https://cma.puertos.es/>), y por Puertos del Estado, con el servicio online PORTUS (<http://portus.puertos.es>). Estos dos productos representaron el primer ejemplo de publicación de un forecast océano-meteorológico accesible tanto al público generalizado como al personal técnico marítimo empleado en el puerto. Desde el punto de vista académico, con el modelo hidrodinámico que estaba detrás del producto operacional SAMPAA se llevaron a cabo diversos estudios científicos de la dinámica del Estrecho y zonas aledañas, tanto a escala de cuenca en el Mar de Alborán (Sánchez Garrido et al. 2013, 2015), como a escala local en la propia Bahía de Algeciras (Sammartino et al. 2014; Sánchez Garrido et al. 2014), que se publicaron en revistas internacionales indexadas (Q1).

Pocos años después, en parte gracias al éxito de SAMPAA, la APBA experimentó un crecimiento científico-técnico muy rápido que desembocó en la puesta en marcha del proyecto conocido como *Brain Port*, el puerto inteligente. Este proyecto preveía, entre muchos otros objetivos, la implementación de un modelo numérico de muy alta resolución que fuera capaz de resolver la dinámica portuaria dentro de las dársenas. El actual modelo SAMPAA no cumplía con estos requisitos y entonces en 2015 se inició una nueva colaboración con la APBA para el “Desarrollo de un modelo de alta resolución en el Puerto de la Bahía de Algeciras”, el nuevo proyecto SAMPAA2.

El presente artículo describe el desarrollo del nuevo modelo numérico llevado a cabo en el marco del proyecto SAMPAA2 y detalla la implementación del módulo de evaluación de la calidad de aguas del Puerto de Algeciras, acoplado al propio modelo. La sección 2 describe el desarrollo, validación y puesta en marcha del nuevo modelo, la sección 3 detalla el diseño e implementación del módulo de calidad ambiental y finalmente la sección 4 resume las conclusiones del trabajo.

## 2. El nuevo modelo SAMPAA2

Para poder satisfacer las exigencias de la APBA, de resolver la dinámica portuaria local, el modelo SAMPAA2 se ha diseñado como un sistema de dominios anidados, donde el notable incremento de resolución requerido respecto a la versión precedente se ha logrado acoplando tres mallados distintos de resolución creciente. El primer dominio (REG, Fig. 2a) corresponde en extensión al mallado del anterior modelo SAMPAA (Fig. 1), aunque proporciona una resolución menor (~600 m en la zona Estrecho de Gibraltar – Bahía de Algeciras). Presenta un total de 46 niveles verticales de espesor variable y mínimo en superficie (grosor de la celda superficial = 5 m), por un total de casi 1.6 millones de nodos.

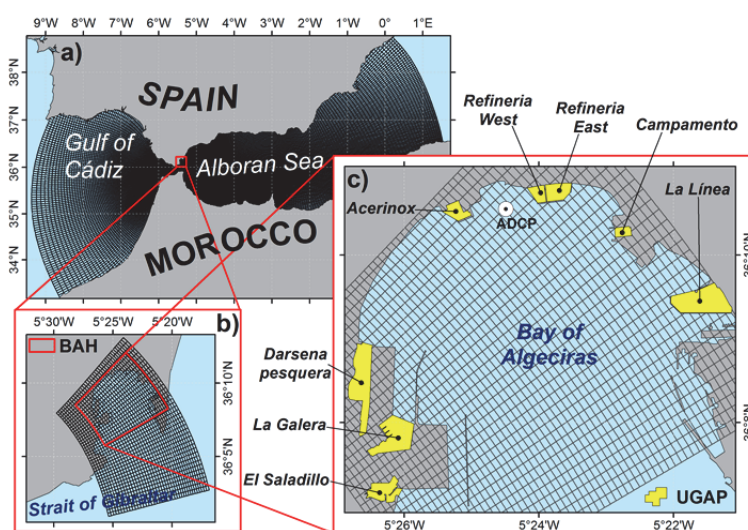


Fig. 2. Dominios del nuevo modelo SAMPAA2: REG (panel a), BAH (panel b) y BAH (panel c). En el panel b) también se muestra la extensión del dominio BAH en rojo. El mallado del dominio BAH en el panel c) está representado con una de cada 5 celdas, para su mejor visibilidad. Las dársenas (UGAPs, ver texto) analizadas en el módulo de calidad de aguas se muestran en el panel c) en color amarillo.

Al dominio REG se anida el dominio BAM (acrónimo del inglés *Bay of Algeciras Medium resolution*), que cubre toda la Bahía y se extiende fuera de ella hasta aproximadamente la mitad del Estrecho (Fig. 2b). El dominio presenta una ratio de escalado de 1:4 con el REG, alcanzando una resolución de unos 150 m dentro de la Bahía, una mayor resolución vertical, con sus 35 niveles distribuidos en una profundidad máxima bastante menor que el REG y una celda superficial de 3 m de espesor, y un total de poco menos de 300.000 nodos. Con este dominio intermedio se alimenta el dominio de muy alta resolución, BAH (acrónimo del inglés *Bay of Algeciras High resolution*), que llega a alcanzar una resolución de 30 m en el interior de la Bahía (Fig. 2c). Su ratio de escalado con respecto al BAM es de 1:5 y su resolución vertical aumenta ulteriormente hasta proporcionar un grosor de la celda superficial de 2 m por 35 niveles totales. El coste computacional de este dominio de más de 1.7 millones de nodos, es comparable, si no superior, al dominio REG. La Tabla 1 resume algunas estadísticas de los tres dominios.

| Dominio | Mallado    | Resolución en la zona BdA-EdG | Grosor celda superficial | Total de nodos |
|---------|------------|-------------------------------|--------------------------|----------------|
| REG     | 390x96x46  | ~600 m                        | 5 m                      | 1.589.760      |
| BAM     | 95x88x35   | ~150 m                        | 3 m                      | 292.600        |
| BAH     | 312x160x35 | ~30 m                         | 2 m                      | 1.747.200      |

Tabla 1. Estadísticas de los tres dominios empleados en el modelo SAMPA2. Los acrónimos BdA y EdG indican Bahía de Algeciras y Estrecho de Gibraltar, respectivamente.

Las batimetrías de los tres dominios se han calculado a partir de distintas fuentes de datos, según la resolución de cada uno de ellos. Para el dominio REG, en lugar de reinterpolar la actual batimetría del anterior modelo SAMPA, se ha recalculado la nueva a partir del modelo digital del terreno (DTM) del Observatorio Marino Europeo EMODnet (European Marine Observation and Data Network, <http://www.emodnet.eu/>) para la mayor parte del dominio, y la Ecocartografía del Golfo de Cádiz, de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), para la zona de plataforma de toda la Provincia de Cádiz (<http://www.ecocartografias.com/ecocartografia-de-cadiz/>). Especial atención se ha prestado a la zona del Estrecho y a sus dos principales umbrales (Camarinal y Espartel), cuya batimetría se ha derivado del DTM de alta resolución del Estrecho de Gibraltar y Golfo de Cádiz realizado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO). La nueva batimetría presenta mayor nivel de detalle respecto al anterior mallado de SAMPA en toda la zona del Estrecho, y pequeñas, pero no despreciables, diferencias en las áreas de las dos secciones transversales correspondientes a los dos umbrales citados. En particular se aprecia un incremento entorno al 1-2% respecto a la superficie original de las secciones del SAMPA, que afecta directamente al tamaño de los flujos intercambiados a través del Estrecho de Gibraltar. Para los dominios BAM y BAH se han interpolado los datos procedentes de tres modelos batimétricos proporcionados por la APBA, que llegan a cubrir gran parte del área de la Bahía con resoluciones de hasta un metro, y para el resto del dominio los contornos digitalizados de la carta náutica número 52043 de la Marina Británica. Tanto para el dominio REG como para los otros dos de mayor resolución, en los datos batimétricos de profundidad se ha integrado el perfil de alta resolución de la línea de costa (cota cero) del proyecto OPENSTREETMAP (<http://openstreetmapdata.com/data/coastlines>).

El modelo numérico que se aplica a los tres dominios es el MITgcm (Marshall et al. 1997), ya empleado satisfactoriamente para reproducir la compleja dinámica de la zona del Estrecho (Sánchez Garrido et al. 2011, 2013), y con pequeñas modificaciones adoptadas en cada uno de los dominios para adaptar el código a las distintas resoluciones (verificación de las condiciones Courant–Friedrichs–Lewy (CFL), esquemas de parametrización de la turbulencia, etc.). Los tres modelos se ejecutan de forma secuencial, con un esquema de anidamiento de un solo sentido (one-way) en el cual el de menor resolución / mayor extensión contiene y alimenta al siguiente. En particular, los dos dominios padre REG y BAM guardan salidas cada 10 minutos y con esas se prescriben las condiciones de contorno de los correspondientes dominios hijos. Los tres dominios están estructurados para que su ejecución sea totalmente paralelizada en un total de 40 CPUs. La ejecución completa del sistema operacional con predicción a 72h vista en los tres dominios se lleva a cabo en las instalaciones de Puertos del Estado en poco más de 2 horas.

## 2.1 Forzamientos

Para el dominio REG se definen los siguientes forzamientos:

- El modelo Copernicus Marine IBI (Iberian Biscay Irish) Ocean Analysis and Forecasting system, CMEMS-IBI (Sotillo et al. 2015) proporciona los campos baroclínicos de temperatura, salinidad y velocidad horizontal prescritos como condiciones de contornos abiertos en los extremos laterales del dominio.
- El modelo NIVMAR de Puertos del Estado (Fanjul et al. 2001) proporciona el campo de velocidad normal a los contornos laterales, necesario para aplicar el efecto de la presión atmosférica sobre el intercambio neto en el Estrecho.
- El modelo HIRLAM de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, Cats and Wolters 1996; Navascués et al. 2013) proporciona el forzamiento atmosférico superficial, en términos de stress del viento, radiación de onda corta y larga, precipitación, y humedad y temperatura del aire.
- El modelo LEGOS-POC/CLS (Carrère and Lyard 2003) proporciona los armónicos de marea para calcular el forzamiento barotrópico de velocidad mareal en los contornos laterales.

En los dominios BAM y BAH el forzamiento atmosférico proporcionado por el modelo HIRLAM se interpola a la resolución superficial del mallado, mientras que los campos baroclinos de las condiciones iniciales y de contorno son proporcionadas por los respectivos modelos padres.

## 2.2 Validación

El anterior modelo SAMP A, asimilable al dominio REG del actual SAMP A2, ha sido ampliamente validado durante el desarrollo del anterior proyecto y los resultados se han publicado en los informes técnicos correspondientes y en diversas publicaciones en revistas indexadas. Ejemplos de estos últimos son los trabajos de caracterización de la dinámica de la Bahía de Algeciras a escala mareal (Sammartino et al. 2014) y subinercial (Sánchez Garrido et al. 2014), las comparaciones realizadas con observaciones (Soto-Navarro et al. 2016; Jordà et al. 2017), e incluso la validación basada en experimentos de deriva Lagrangiana a escala regional (Sotillo et al. 2016). Los dominios anidados del nuevo modelo SAMP A2, sin embargo, necesitaban una validación más fina, que pudiera corroborar la validez de las soluciones a escala portuaria y de la Bahía.

A este respecto, en Octubre y Diciembre de 2015, con la colaboración y el apoyo logístico de la APBA, se llevaron a cabo sendas campañas de medida en la Bahía (Fig. 3). Por un lado se desplegaron dos parejas de fondeos profundos, una desde Octubre hasta Diciembre de 2015, y otra desde Diciembre hasta Marzo de 2016, ubicados alrededor del cañón de Algeciras en una profundidad de aproximadamente 250 m, equipados con perfiladores de corriente y sensores de temperatura y salinidad. Por otro lado se desplegaron dos fondeos someros en la batimétrica de 30 metros en el extremo Noroeste de la Bahía, equipados con un perfilador de corriente de alta frecuencia.

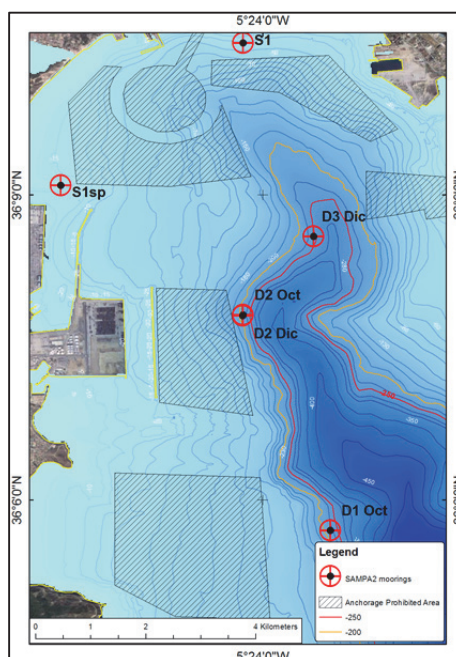


Fig. 3. Ubicación de los fondeos desplegados en Octubre y Diciembre de 2015. El fondeo D2 se mantuvo en ambas campañas en la misma posición.

Esta validación tiene la doble finalidad de evaluar la fiabilidad de las soluciones de SAMPA2 y de comparar los resultados de los distintos dominios para estimar la mejora introducida por el incremento de resolución en las áreas portuarias de la Bahía. Los resultados son generalmente muy satisfactorios y en los fondeos profundos bastante equilibrados entre los tres dominios. Donde el incremento de resolución se muestra más efectivo es en los fondeos someros, en los cuales el modelo BAH destaca sobre el REG por proporcionar soluciones notablemente más afines a las observaciones. Los resultados de los fondeo someros son muy similares y por tanto aquí sólo se presentan los obtenidos en el fondeo S1, desplegado entre Diciembre 2015 y Enero 2016, representativos de ambas estaciones.

La Tabla 2 muestra los resultados de la validación para las constituyentes  $M_2$  y  $S_2$  (las de mayor peso en la banda predominante semidiurna) de la corriente promediada verticalmente (barotrópica).

|                                      |       | OBS.             | REG              | BAH              |
|--------------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------|
| Semieje mayor ( $\text{cm s}^{-1}$ ) |       | $2.46 \pm 1.04$  | $3.91 \pm 0.53$  | $1.88 \pm 0.40$  |
|                                      |       | $0.63 \pm 0.84$  | $1.51 \pm 0.56$  | $0.99 \pm 0.42$  |
| Semieje menor ( $\text{cm s}^{-1}$ ) |       | $-0.06 \pm 0.18$ | $0.64 \pm 0.27$  | $0.00 \pm 0.11$  |
|                                      | $M_2$ | $-0.08 \pm 0.27$ | $0.28 \pm 0.27$  | $-0.01 \pm 0.11$ |
| Fase (grados)                        | $S_2$ | $52.9 \pm 20.8$  | $-11.8 \pm 7.0$  | $-37.5 \pm 13.4$ |
|                                      |       | $287.2 \pm 82.4$ | $44.7 \pm 21.1$  | $204.3 \pm 23.7$ |
| Inclinación (grados)                 |       | $1.3 \pm 4.3$    | $-20.2 \pm 4.5$  | $2.5 \pm 3.0$    |
|                                      |       | $15.9 \pm 20.8$  | $160.1 \pm 10.4$ | $3.4 \pm 6.2$    |
| Varianza explicada (%)               |       | 10               | 62               | 20               |

Tabla 2. Constantes armónicas de  $M_2$  y  $S_2$  de la corriente barotrópica (promediada verticalmente) en S1.

El dominio BAH generalmente presenta una mayor correspondencia con las observaciones en términos de orientación y amplitud de las elipses de marea, mientras la fase de  $M_2$  muestra una coherencia ligeramente mejor en el REG. Curiosamente el dominio REG muestra una varianza explicada sospechosamente elevada, posible indicio de una contribución determinística de la corriente no reflejada en las observaciones.

Dada la notable uniformidad de la corriente en la columna de agua en una zona tan somera, los resultados del análisis baroclino son muy coherentes con los anteriores (Fig. 4).

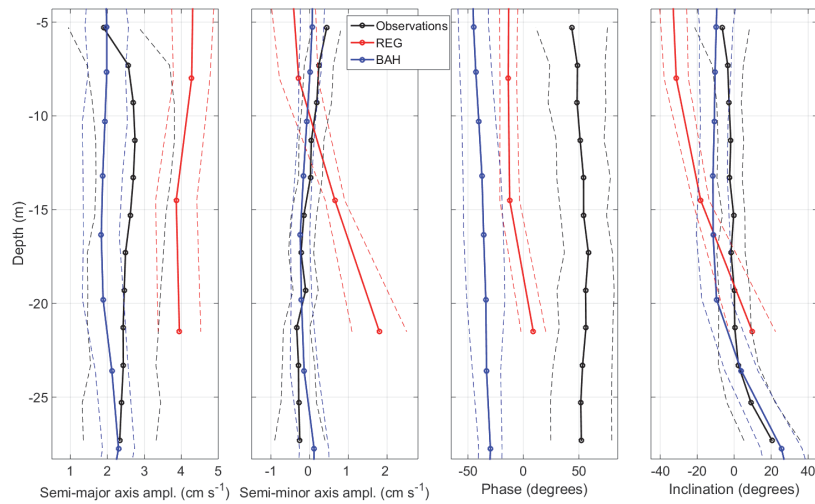


Fig. 4. Perfiles verticales de constantes armónicas para la constituyente  $M_2$  en S1.

De nuevo las amplitudes y orientación de las elipses son mucho más coherentes en BAH que en REG, mientras que la fase sigue siendo una excepción. Resulta especialmente notable como el modelo BAH sea capaz de reproducir con tanta fidelidad corrientes tan débiles, del orden de poco  $\text{cm s}^{-1}$ .

Finalmente la coherencia entre observaciones y modelos a escala subinercial se ha analizado filtrando la componente zonal de la corriente (predominante en esa zona de la Bahía, ver orientación de las elipses en Fig. 4) para eliminar la contribución mareal (Godin 1972). La Fig. 5 muestra las series filtradas y los máximos de coeficiente de correlación (y sus respectivos desfases) obtenidos aplicando el análisis de correlación cruzadas entre observaciones y modelos.

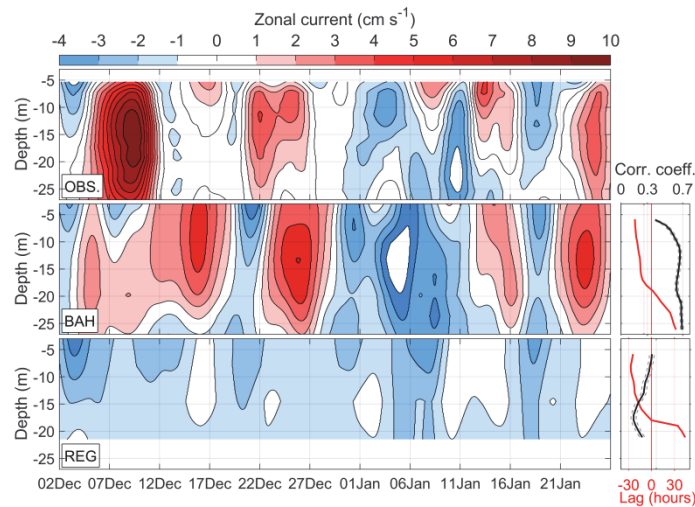


Fig. 5. Series filtradas de la corriente zonal y perfiles de máximo coeficiente de correlación (en negro) obtenidos de la correlación cruzada entre observaciones y modelos. También se muestran en rojo los desfases correspondientes a estos máximos.

La notable superioridad de los resultados del dominio BAH sobre el REG resulta evidente en un análisis visual de las series comparadas, y los resultados de la correlación cruzada lo confirman. La máxima correlación entre BAH y observaciones es siempre mayor que la obtenida para el REG, con un valor promediado verticalmente de 0.63, contra los 0.24 del dominio regional. Los desfases observados en ambas series se reducen notablemente si se elimina la primera semana de la serie en el análisis, como consecuencia de que los procesos subinerciales necesitan un tiempo ligeramente mayor del establecido por el spin-up del modelo (una semana) para ajustarse a las condiciones iniciales.

### 3. Módulo de calidad ambiental

Uno de los compromisos del proyecto SAMPA2 es proporcionar herramientas de análisis de la calidad de aguas del Puerto de Algeciras, para cumplir con los requisitos de las directrices ROM5.1-13 (Rodríguez Sánchez-Arévalo 2013). Acoplado al modelo numérico implementado en el proyecto, se ha desarrollado un módulo de cálculo de los tiempos de renovación de las aguas de la Bahía, expresamente orientado a evaluar la calidad de aguas de las dársenas de mayor interés para la autoridad portuaria local.

#### Algoritmo de seguimiento de trayectorias Lagrangianas

El módulo de calidad de aguas se basa en el cálculo de trayectorias Lagrangianas de partículas virtuales y la posterior estimación de ciertos índices de renovación a partir de esas trayectorias. El algoritmo de cálculo de las trayectorias es una versión del esquema Runge-Kutta de 4º orden específicamente adaptado a la integración en un modelo anidado con mallados curvilíneos, y especialmente sensible a la interacción de las partículas con los contornos rígidos del interior de las dársenas. La posición de una partícula virtual advectada por la corriente se define como:

$$x_i(t_j + \Delta t) = x_i(t_j) + \bar{U}_i(t_j, x) \Delta t + \sqrt{2} r_i R \quad (1)$$

donde  $x_i(t_j + \Delta t)$  es la posición futura de la partícula,  $x_i(t_j)$  su posición actual y el término  $\sqrt{2} r_i R$  una contribución aleatoria que representa una perturbación turbulenta que no llega a ser resuelta por el modelo, con  $r$  el error cuadrático medio entre la velocidad anterior y posterior al tiempo  $t$  y  $R$  un ruido blanco Gaussiano con varianza unitaria (LaCasce 2008). En cada iteración del algoritmo, el campo de velocidad se obtiene del modelo con mayor resolución que incluya la posición de la partícula en su dominio. Una de las características distintivas de este algoritmo es la estrategia empleada para modelar la interacción de la partícula con los contornos rígidos de las dársenas del puerto. Cuando la corriente prescribe una trayectoria de la partícula que intersecta el contorno, el vector de velocidad se descompone en las dos componentes paralelas y perpendiculares (con sentido hacia fuera) al contorno (Fig. 6).

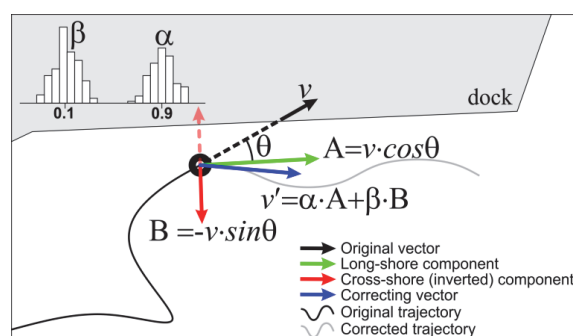


Fig. 6. Esquema de cálculo de la trayectoria de la partícula en caso de interacción con los contornos rígidos del dominio.

A ambas se aplican unos pesos con cierta componente aleatoria ( $\alpha$  y  $\beta$  en la Fig. 6), pero tales que la componente longitudinal contribuya mucho más que la trasversal, y el vector resultante (en azul en la figura) se obtiene de la media ponderada de ellas. Esta estrategia reduce la posibilidad de que la partícula se quede estancada en los contornos cerrados de las dársenas simulando otros mecanismos, como el oleaje, o la agitación que la puedan advectar lejos de ellos.

#### 3.1 Experimentos

Para obtener una caracterización lo más representativa posible de toda la casuística de circunstancias ambientales que puedan afectar a la capacidad de renovación de las dársenas, se ha ejecutado un hindcast de los tres modelos de 61 días, durante los cuales se han buscado e identificado periodos donde se diesen condiciones distintas de:

- Viento: Poniente, Levante, Calma
- Intensidad de marea: viva, muerta
- Fase de marea: llenante, vaciante

De la combinación de estas condiciones externas se han definido 10 escenarios distintos (pues sólo se han encontrado calmas durante marea muerta), que se han aplicado como condiciones iniciales de una serie de experimentos de lanzamiento de partículas virtuales en 8 dársenas identificadas como Unidades Portuaria de Gestión Ambiental (UGAPs, Fig. 1c).

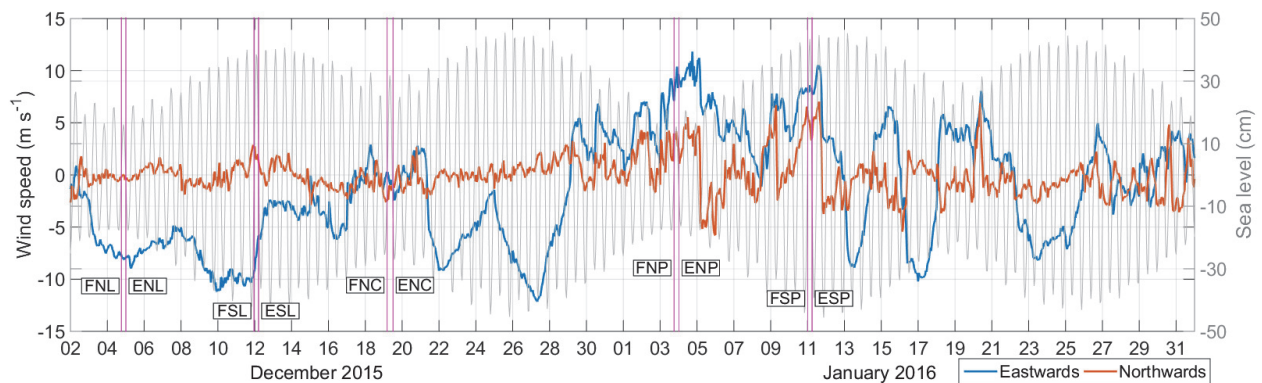


Fig. 7. Serie temporal de las dos componentes de velocidad del viento y nivel del mar en Algeciras, observadas durante el hindcast. Las líneas magentas indican los tiempos de comienzo de los experimentos, etiquetados según el código de 3 letras acorde a: fase de marea (Flood/Ebb), su intensidad (Spring/Neap) y viento (Poniente, Levante, Calma), véase también leyenda en Fig. 8.

Para cada experimento se han lanzado un total de 2400 partículas aleatoriamente distribuidas en la superficie de cada dársena (ver Fig. 1) y sus trayectorias se han seguido durante un periodo de 10 días. Las velocidades superficiales proporcionadas por los tres modelos se han guardado con un intervalo de 15 minutos, mientras que el intervalo de iteración del algoritmo de cálculo de las trayectorias se ha fijado en 3 minutos.

El índice que más realísticamente describe la capacidad de renovación de un volumen de agua semi-cerrado es el tiempo de renovación. Las directrices ROM (Rodríguez Sánchez-Arévalo 2013) determinan que el tiempo de renovación de las UGAPs muy modificadas se calcula según:

$$C(t) = 100e^{-t/a} \quad (2)$$

que describe la variación de una masa de trazador  $C$  en el tiempo  $t$  como una exponencial cuyo término  $a$  indica el tiempo necesario para que la concentración inicial se reduzca en un factor de  $e$ . En un sistema Lagrangiano como el empleado en este caso, el número de partículas presentes en el interior de las UGAPs y su variación en el tiempo representa un proxy muy adecuado de la capacidad de ventilación de la misma y puede ser aproximado por la exponencial (2) para obtener una estima de  $a$  en cada una de las condiciones definidas anteriormente.

### 3.2 Resultados

La Fig. 8 muestra los resultados de los 80 experimentos realizados en las 8 UGAPs del Puerto de Algeciras.

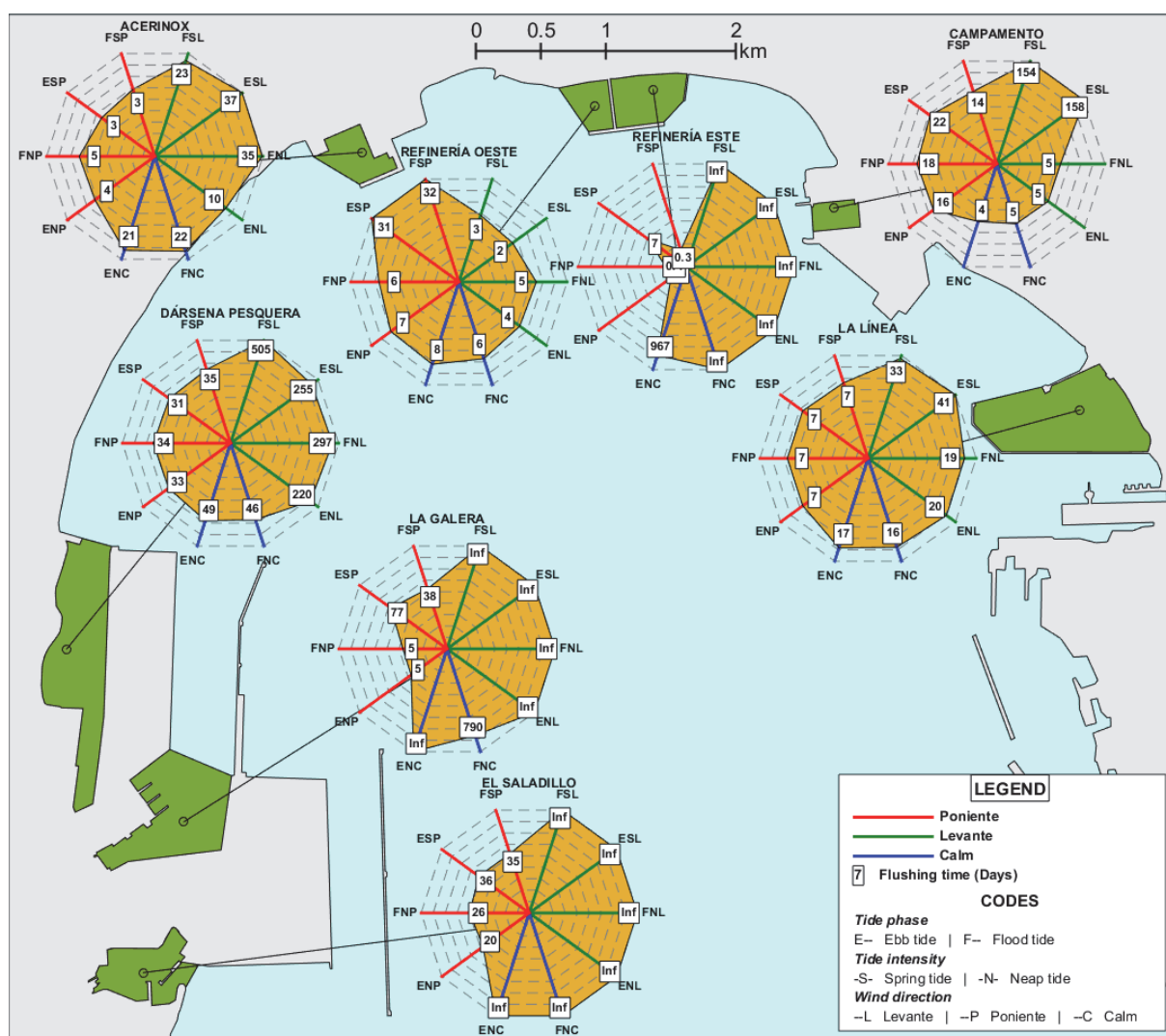


Fig. 8. Diagrama de radar de los tiempos de renovación obtenidos para los 80 experimentos realizados en el Puerto de Algeciras. Ver leyenda para la correcta interpretación de las etiquetas. Los valores Inf indican tiempos de renovación mayores de 1000 días.

El resultado más evidente es el notable sesgo que presenta el viento en la mayor parte de las UGAPs, especialmente las del margen occidental de la Bahía. La mayor parte de ellas presenta valores de tiempos de renovación un orden de magnitud menor con Poniente que con Levante e incluso algunas como La Galera, El Saladillo o Refinería Este presentan valores superiores a 1000 días (etiquetados Inf en la Fig. 8).

Como ejemplo representativo del efecto el viento sobre la capacidad de renovación de las dársenas, la Fig. 9 muestra la comparación de las curvas de abundancia de partículas obtenidas en la UGAP La Línea en las mismas condiciones de marea (viva, vaciante) y con vientos de Poniente o Levante.

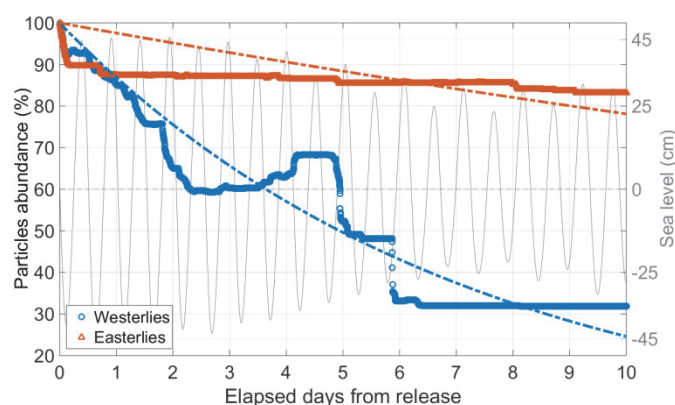


Fig. 9. Abundancia de partículas observadas en la UGAP La Línea en marea vaciante, marea viva y viento de Poniente (círculos azules) y Levante (Triángulos rojos).

El Poniente (círculos azules) evacúa el 40% de las partículas en los primeros dos días, una pequeña fracción (~10%) recircula dentro de la dársena durante el cuarto día y finalmente otro 40% aproximadamente sale durante el quinto día. Desde el sexto día en adelante las partículas siguen circulando dentro de la dársena y su concentración se mantiene constante, proporcionando un valor asintótico de la curva de abundancia de aproximadamente el 30%. Por otro lado el Levante evacúa rápidamente un 10% de partículas en las primeras cuatro horas, durante la marea vaciante, para luego estabilizarse y seguir vaciando la dársena a un ritmo mucho más lento. Al final del experimento el porcentaje de partículas que quedan recirculando en la UGAP se mantiene alrededor del 85% del total inicial. Los tiempos de renovación de los dos casos presentados son 7 y 41 días para las condiciones de Poniente y Levante, respectivamente (casos ESP y ESL en Fig. 8).

La marea tiene un efecto secundario y de alguna forma inesperado sobre la capacidad de renovación de las dársenas analizadas. La intensidad de marea, determinada por el ciclo marea viva-muerta, produce en principio mayores amplitudes de las oscilaciones en los trayectos de entrada y salida de las UGAPs en mareas vivas. Por tanto es esperable que la marea viva (muerta) incremente (disminuya) la ventilación de las mismas. Mientras esto es cierto a escala de Bahía, donde la marea viva aumenta la probabilidad de que las partículas salgan de la cuenca y sean advectadas por el Chorro Atlántico lejos de ella (Sánchez Garrido et al. 2014), a escala de dársena ésta tiene un efecto contra-intuitivo. La comparación entre los casos de marea viva y muerta en condiciones de marea llenante y viento de Levante en la UGAP Campamento es un ejemplo esclarecedor (casos FSL y FNL en Fig. 8). Si bien es cierto que la marea viva favorece la evacuación de partículas durante el primer ciclo de marea llenante (en la cual el flujo hacía el interior de la Bahía succiona agua fuera de la dársena), también empuja las mismas muy al interior de la dársena en la siguiente marea vaciante donde la corriente es más débil y las probabilidades de volver a recircular fuera de ella son escasas. En cambio, en marea muerta, aun siendo el primer empuje fuera de la UGAP más débil, el segundo hacia dentro también lo es, y el resultado final es una mejor ventilación de la dársena con mareas menos intensas. Los tiempos de renovación son de 5 y 154 días en condiciones de marea muerta y viva, respectivamente (FNL y FSL en Campamento en Fig. 8).

Finalmente la fase de marea tiene un efecto aún menos evidente sobre la ventilación de las UGAPs. En la Bahía de Algeciras la marea barotrópica está en fase con el flujo de la capa más superficial (caracterizado prevalentemente por agua Atlántica), determinando una corriente superficial entrante en marea llenante y saliente en marea vaciante (Sammartino et al. 2014). A escala de Bahía, por tanto, la marea vaciante es la que determina la mayor ventilación, mientras que a escala de dársena ésta depende de la geometría y orientación de la propia estructura. Además la corriente de marea afecta sobre todo las primeras 6 horas del experimento, diluyéndose sus efectos a lo largo de los diez días sucesivos. No obstante existen algunas excepciones tal y como la de la dársena La Galera en la cual, bajo condiciones de viento de Poniente y marea viva la marea llenante succiona las partículas hacia el contorno abierto favoreciendo el efecto del viento, mientras que la marea vaciante se contrapone, si bien débilmente, a éste. El resultado es un tiempo de renovación de 38 y 77 días en marea llenante y vaciante, respectivamente (casos FSP y ESP en Fig. 8).

### 3.3 Página WEB y fichas de calidad de agua

Con el objetivo de diseminar los resultados de este módulo de evaluación de la calidad de agua en el Puerto de Algeciras, GOFIMA ha realizado una página web específicamente diseñada para eso (<http://oceano.uma.es/ugaps.php>, Fig. 10a). Una vez seleccionada la UGAP entre las 8 analizadas, y elegidas las tres condiciones iniciales del experimento, se accede a la visualización de los resultados tanto en forma de índices numéricos (tiempos de renovación), como gráficas de la abundancia de partículas y mapas de los tiempos de residencia de las mismas. Adicionalmente un código de color, verde o rojo para UGAP con alta ( $\alpha < 7$  días) o baja ( $\alpha > 7$  días) capacidad de renovación, acorde a lo establecido en la ROM 5.1-13 (Rodríguez Sánchez-Arévalo 2013), permite una estimación rápida e intuitiva de la ventilación de la dársena. En la misma página también se visualiza una animación de las trayectorias en cada experimento, para analizar la propia dinámica de las partículas. Finalmente todos los resultados producidos en cada experimento son resumidos en unas fichas descargables en formato PDF, desde la misma página (Fig. 10b).

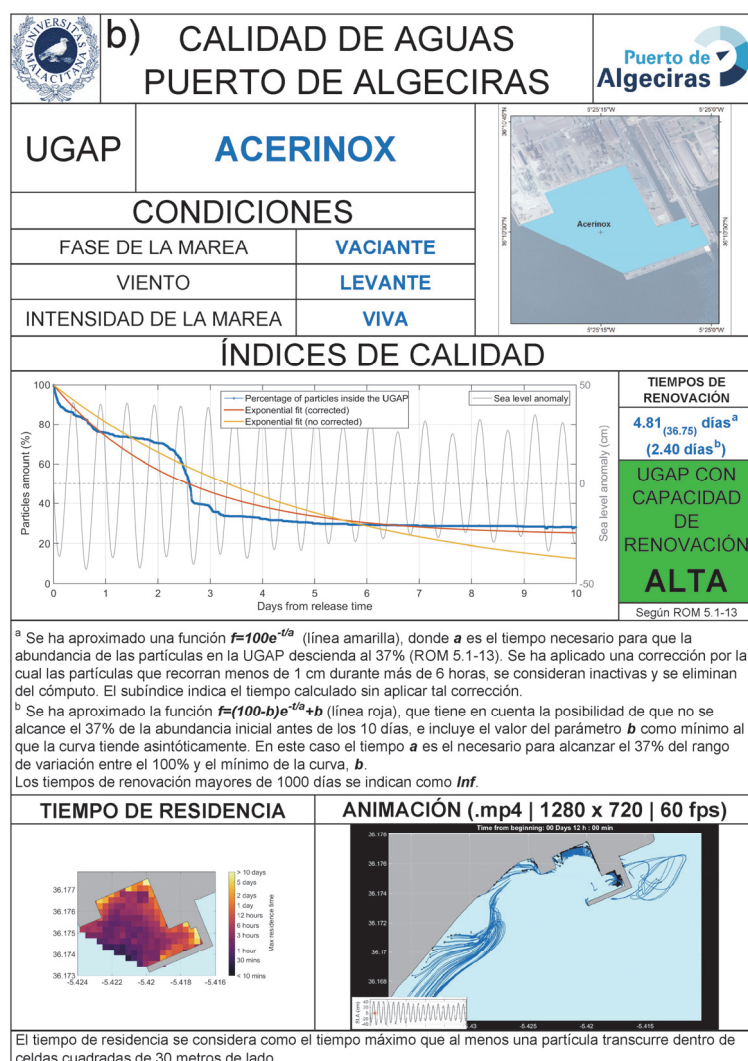
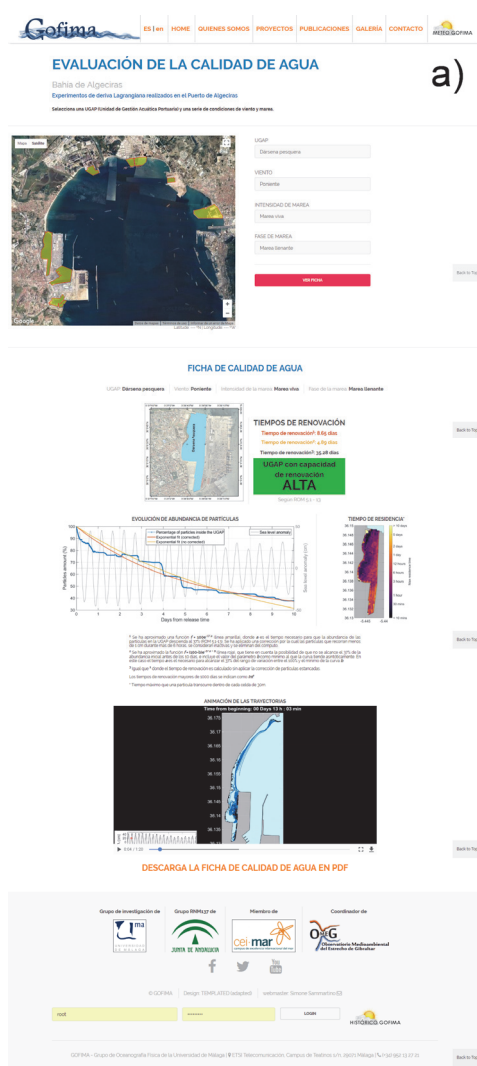


Fig. 10. Izquierda: página web de los resultados del análisis de calidad de agua. Derecha: ficha de ejemplo.

## 4. Conclusiones

La nueva versión del modelo hidrodinámico SAMPA, desarrollado en el marco del proyecto SAMPA2, consiste en un sistema de modelos anidados de resolución variable y creciente, desde la escala regional hasta la portuaria, donde se alcanza una resolución de  $\sim 30$  m. Tal resolución es suficiente para resolver la dinámica dentro de las estructuras civiles del Puerto de Algeciras y hace que el modelo esté de hecho integrado en el actual cuadro de mando ambiental de la APBA (CMA). A partir de este modelo, se ha desarrollado un módulo de calidad de aguas del Puerto, basado en el

seguimiento de trayectorias Lagrangianas de partículas virtuales lanzadas en las dársenas, que ha permitido una evaluación de la capacidad de renovación de las mismas en diversas condiciones ambientales de viento y marea.

El viento ha resultado ser el factor predominante, con tiempos de renovación de uno o dos órdenes de magnitud menor con Poniente que con Levante, mientras que la alternancia marea-viva-muerta y la fase de marea, aun teniendo importancia a escala de Bahía, afectan relativamente menos a la ventilación de las dársenas. Estudios anteriores (Macías et al. 2007; Sánchez Garrido et al. 2015) demuestran que la Bahía juega un papel importante en el intercambio de materia y biomasa fitoplanctónica con el cercano Mar de Alborán, y este estudio indica como la escala espacial es un factor determinante en este intercambio. En caso de vertidos accidentales de contaminantes flotantes, por ejemplo, según éste se haya producido en el interior de una dársena o en el medio de la Bahía, los protocolos de actuación de las autoridades locales deberán tener en cuenta las distintas respuestas de la Bahía y de su Puerto a las diversas condiciones externas: la dinámica mareal afectará mayormente a la propia Bahía, mientras que el viento será factor predominante en la circulación y la ventilación de las dársenas. La combinación de ambos factores determinará el patrón de dispersión de esos contaminantes fuera de la Bahía.

## Agradecimientos

Los resultados de esta trabajo se han obtenido en el marco del proyecto “Desarrollo de un modelo de alta resolución del Puerto de la Bahía de Algeciras”, financiado por la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras. Financiación parcial procede también del Ministerio de Economía y Competitividad en el marco del proyecto ENCIBA CTM2013-40886-P, y de la Junta de Andalucía en el marco del proyecto de Excelencia MOCBASE (P12-RNM-1540).

## Referencias

- CARRÈRE L, LYARD F (2003). "Modeling the barotropic response of the global ocean to atmospheric wind and pressure forcing - comparisons with observations. " *Geophys Res Lett* 30:1275. doi: 10.1029/2002GL016473
- CATS G, WOLTERS L (1996). "The Hirlam project [meteorology]. " *IEEE Comput Sci Eng* 3:4–7. doi: 10.1109/99.556505
- FANJUL EÁ, GÓMEZ BP, ARÉVALO IRS (2001). "Nivmar: a storm surge forecasting system for Spanish waters. " *Sci Mar* 65:145–154. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.2001.65s1145>
- GODIN G (1972). "The Analysis of Tides. " University of Toronto Press
- JORDÀ G, SÁNCHEZ-ROMÁN A, GOMIS D (2017). "Reconstruction of transports through the Strait of Gibraltar from limited observations. " *Clim Dyn* 48:851–865. doi: 10.1007/s00382-016-3113-8
- LACASCE JH (2008). "Statistics from Lagrangian observations. " *Prog Oceanogr* 77:1–29. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2008.02.002>
- MACIAS D, MARTIN AP, GARCIA-LAFUENTE J, ET AL (2007). "Analysis of mixing and biogeochemical effects induced by tides on the Atlantic–Mediterranean flow in the Strait of Gibraltar through a physical–biological coupled model. " *Prog Oceanogr* 74:252–272. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2007.04.006>
- MARSHALL J, ADCROFT A, HILL C, ET AL (1997). "A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers. " *J Geophys Res Ocean* 102:5753–5766. doi: 10.1029/96JC02775
- NAVASCUES B, CALVO J, MORALES G, ET AL (2013). "Long-term verification of HIRLAM and ECMWF forecasts over Southern Europe: History and perspectives of Numerical Weather Prediction at AEMET. " *Atmos Res* 125–126:20–33. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.010>
- RODRIGUEZ SANCHEZ-AREVALO I (2013). "Recommendations for maritime works - ROM 5.1-13. Quality of coastal waters in port areas. " Madrid
- SAMMARTINO S, GARCÍA LAFUENTE J, SÁNCHEZ GARRIDO JC, ET AL (2014). "A numerical model analysis of the tidal flows in the Bay of Algeciras, Strait of Gibraltar. " *Cont Shelf Res* 72:34–46. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2013.11.002>
- SÁNCHEZ GARRIDO JC, GARCÍA LAFUENTE J, ÁLVAREZ FANJUL E, ET AL (2013). "What does cause the collapse of the Western Alboran Gyre? Results of an operational ocean model. " *Prog Oceanogr* 116:142–153. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2013.07.002>

- SÁNCHEZ GARRIDO JC, GARCÍA LAFUENTE J, SAMMARTINO S, ET AL (2014). "Meteorologically-driven circulation and flushing times of the Bay of Algeciras, Strait of Gibraltar. " *Mar Pollut Bull* 80:97–106.
- SÁNCHEZ GARRIDO JC, NARANJO C, MACÍAS D, ET AL (2015). "Modeling the impact of tidal flows on the biological productivity of the Alboran Sea. " *J Geophys Res Ocean* 120:7329–7345. doi: 10.1002/2015JC010885
- SANCHEZ GARRIDO JC, SANNINO G, LIBERTI L, ET AL (2011). "Numerical modeling of three-dimensional stratified tidal flow over Camarinal Sill, Strait of Gibraltar. " *J Geophys Res Ocean* 116:C12026.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2011JC007093>
- SOTILLO MG, AMO-BALADRÓN A, PADORNO E, ET AL (2016). "How is the surface Atlantic water inflow through the Gibraltar Strait forecasted? A lagrangian validation of operational oceanographic services in the Alboran Sea and the Western Mediterranean. " *Deep Sea Res Part II Top Stud Oceanogr* 133:100–117.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.05.020>
- SOTILLO MG, CAILLEAU S, LORENTE P, ET AL (2015). "The MyOcean IBI Ocean Forecast and Reanalysis Systems: operational products and roadmap to the future Copernicus Service. " *J Oper Oceanogr* 8:63–79.  
doi: 10.1080/1755876X.2015.1014663
- SOTO-NAVARRO J, LORENTE P, ÁLVAREZ FANJUL E, ET AL (2016). "Surface circulation at the Strait of Gibraltar: A combined HF radar and high resolution model study. " *J Geophys Res Ocean* 121:2016–2034.  
doi: 10.1002/2015JC011354

## Patrocinadores



AYUNTAMIENTO DE ALICANTE



## Colaboradores



## Organizadores



AYUNTAMIENTO DE ALICANTE



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

EDITORIAL