

Innovación en Ingeniería de Puertos y Costas

Innovation in Port and Coastal Engineering

José M. Grassa Garrido. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Ramón M. Gutierrez Serret. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Antonio Ruiz Mateo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Antonio Lechuga Álvaro. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

María Jesús Martín Soldevilla. Dra. en Ciencias Químicas

Tomás Echegoyen Martín. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Centro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX. Jose.M.Grassa@cedex.es

Resumen: El artículo pasa revista a algunas motivaciones de la innovación en el ámbito de la Ingeniería de Puertos y Costas, haciendo referencia a factores específicos, distintivos de esta especialidad entre los que se encuentran, por una parte, los cambios de escala y por otra los nuevos usos del mar ejemplificados por las posibilidades actuales de la energía eólica marina y la desalación. Se analizan también algunos aspectos de la investigación para la innovación desde las facetas del estudio del oleaje, la geometría de los puertos, las estructuras marítimas y las playas y calidad de la costa.

Palabras Clave: Puertos, Costas, Estructuras, Modelos, Simulación

Abstract: The article examines some of the driving forces behind innovation in Ports and Coastal Engineering. Reference is made to specific factors such as change of scale and the new uses of the sea offered by the current possibilities of offshore wind energy and seawater desalination. Certain aspects of research for innovation are considered with regards to wave studies, harbour plan layouts, maritime structures, beaches and coastal quality.

Keywords: Ports, Coasts, Structures, Models, Simulation

1. Introducción

La innovación es una cuestión central en el ámbito de la Ingeniería Marítima. Además de las fuerzas que conducen el desarrollo en cualquier otra faceta de la ingeniería civil, búsqueda de una mayor eficiencia y necesidad de reconsideración, en un nuevo marco global, de las actuaciones, la Ingeniería Marítima se caracteriza por un permanente cambio, tanto desde la perspectiva de la escala como por el desarrollo de nuevos usos del mar.

Como en cualquier otro sector de actividad, la búsqueda de una mayor eficiencia es una fuerza motriz principal

del proceso de innovación en el ámbito de la ingeniería marítima. El menor consumo de recursos e impacto de las actuaciones, la reducción de su huella en el vulnerable y escaso medio litoral es una necesidad acuciante desde las perspectivas económica, social y legal, tanto en las fases de planificación como en las de construcción y explotación.

En segundo lugar, ya no es posible considerar ninguna actividad de ingeniería en el litoral como cerrada en sí misma y analizarla en base a simples factores internos. Progresivamente, aspectos antes considerados externalidades se convierten en exigencias principales de la activi-

dad forzando su reconsideración. La incorporación creciente de aspectos ambientales es un buen ejemplo en este sentido, poniendo de manifiesto la mayor "dimensionalidad" de la ingeniería hoy. Esto es especialmente cierto en las tareas de planificación y gestión que de forma creciente constituyen el aspecto más amplio de la profesión de Ingeniero.

Este artículo revisa brevemente algunas de las fuerzas específicas, promotoras de innovación en el ámbito de la ingeniería marítima y con cierto detalle, analiza algunos aspectos de investigación necesarios para la innovación. Finalmente se realizan algunas consideraciones sobre el papel de tecnologías genéricas.

2. Factores específicos para la innovación

2.1. Los cambios de escala

Por su parte, los cambios de escala son un elemento singular como motor de la innovación en la ingeniería portuaria debido a las economías subyacentes. En contraste con otros sectores del transporte donde los vehículos a servir por la infraestructura se mantienen relativamente uniformes a lo largo del tiempo (alta velocidad ferroviaria y aeronaves de doble puente son excepciones) el sector marítimo está sometido a permanentes cambios, siendo los relativos a porta-contenedores y cruceros los más intensos hoy. En 15 años el tamaño del mayor buque porta contenedores se ha duplicado, de 4,500 a 8,400 TEUs, especulándose sobre el encargo de buques de 12,000 TEU's (límite de paso por el canal de Suez) y considerándose factible técnicamente llegar a los 18,000 (límite del estrecho de Malaca). Similar aprovechamiento de las economías de escala se encuentra hoy en el ámbito de los cruceros con la aparición de los mega-cruceros. La flota oceánica de cruceros tenía en 2001 una capacidad media de 862 pasajeros por buque; en contraste, los buques entregados en 2002 tienen una capacidad media de 2,140, llegando algunos a superar las 3,000 plazas. Ello obliga a puertos y canales de acceso más profundos, áreas de maniobra y dársenas más amplias, así como una reconsideración de las zonas terrestres en los puertos. Un fenómeno similar se produce en relación con la explotación petrolífera fuera de la costa, donde el coste actual del petróleo conduce a plataformas en aguas más profundas.

Algunos de los mayores problemas en ingeniería marítima se han producido precisamente por una valoración inadecuada de estos cambios de escala. La simple extrapolación de la experiencia, propia de la ingeniería convencional, no es una guía suficiente. Por ejemplo, las experiencias deducidas de la estabilidad de estructuras sometidas a la acción del oleaje en aguas poco profundas,

donde la acción del oleaje está limitada por la presencia del fondo, con relativa independencia de su dureza en mar abierto, no son aplicables a diques en aguas profundas, donde es imprescindible disponer de una evaluación estadística adecuada de las condiciones máximas a considerar en el diseño.

2.2. Los nuevos usos del mar

Los nuevos usos del mar, en los que la Ingeniería Marítima tiene un papel principal son también un motor de la innovación. Por ejemplo, el sector de la energía eólica, cuyo desarrollo en Europa (y particularmente en España) ha sido espectacular en la última década debido a la reducción de sus costes y a un marco promotor favorable, considera muy seriamente su instalación fuera de la costa, debido a las evidentes ventajas, intensidad y persistencia del viento, menor turbulencia y fatiga de los materiales, mejor perfil de velocidades, reducción de algunos impactos (ruido e intrusión visual), cercanía a zonas de consumo. Aunque se espera que la potencia offshore eólica instalada en Europa pase de 530 MW en 2003 a 10,000 MW en 2008, existen también dificultades que deben ser objeto de investigación: diseño económico de las cimentaciones en el mar de los aerogeneradores, procedimientos constructivos, mantenimiento de estas estructuras poco accesibles, evaluación de impactos en el medio marino incluyendo conflictos con otros usos tales como la pesca y navegación. La Asociación Europea de Energía del Viento (EWEA) considera, entre otros, los siguientes aspectos en su Plan Estratégico de I+D: Estudios de las fuerzas combinadas de viento y oleaje, desarrollo de la previsión y medidas de meteorología offshore y desarrollo de estructuras alternativas para aguas profundas. El incidente reciente en la instalación marina mayor del mundo, Horns Rev, Dinamarca, con 80 generadores de 2 MW, que ha conducido al cambio de todas las turbinas, puede ser una demostración de la dificultad del medio marino. Más allá de las expectativas del sector, un informe reciente encargado por Greenpeace aboga porque para 2020, un tercio del total del consumo eléctrico europeo provenga de energía eólica offshore. Ello implicaría la instalación de 240 GW de capacidad de generación, 10 veces más que toda la capacidad eólica disponible en la actualidad en tierra ó mar. Para España se postula la instalación de 25 GW, con una ocupación de 3,190 km². Objetivos tan ambiciosos como estos claramente demandan por otra parte la realización de un análisis ambiental de carácter estratégico.

Aunque a corto plazo la energía eólica puede ser la energía marina por excelencia, hay un creciente interés por los molinos de marea, incluyendo micro instalaciones y por la energía de las olas, así como por el aprovechamiento de la energía de las corrientes marinas de forma

muy similar a la eólica. La potencia de un generador es directamente proporcional a la densidad del fluido y al cubo de su velocidad y aunque la velocidad de las corrientes es muy inferior a la del viento, la densidad del agua es 1,000 veces mayor.

La desalación es también una actividad en la costa novedosa y con un fuerte crecimiento tanto en España como en otros países. Desde el punto de vista de la ingeniería y medio ambiente marino, un aspecto principal de estas instalaciones es el diseño de los dispositivos de vertido de las aguas de rechazo resultado de ósmosis inversa, con salinidades doble de la del mar y la evitación de sus posibles efectos negativos sobre los ecosistemas litorales, en nuestra costa mediterránea sobre todo las praderas de *Posidonea oceanica*, fanerógama muy sensible a cambios relativamente pequeños en la salinidad ambiente. El CEDEX viene desarrollando en los últimos años estudios para el diseño de estos dispositivos de vertido combinando experimentación en la naturaleza, ensayos a escala reducida y desarrollos matemático - numéricos. En el contexto de la desalación, la energía eólica es un buen complemento para satisfacer las necesidades de las plantas.

Otras posibilidades alternativas en algunos lugares pueden venir de la mano del concepto OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) basado en el aprovechamiento energético del gradiente térmico entre las aguas de superficie y las aguas profundas. Un método directo de obtención de agua dulce empleado experimentalmente en Hawai y de especial interés se basa en la condensación de humedad atmosférica ó de la existente en el suelo provocada por la circulación de estas aguas frías profundas por una red de tuberías. Esta aguas frías pueden tener por otra parte un aprovechamiento como portadoras de nutrientes que mejoren la productividad biológica en las zonas costeras promoviendo las posibilidades de la acuicultura y actuando como un surgimiento, "upwelling", artificial.

3. Investigación para la innovación

3.1. El Oleaje

El estudio del oleaje ha sido y sigue siendo un elemento troncal de la actividad investigadora en Puertos y Costas, ya que es el principal condicionante en el diseño en planta de las zonas marítimas de los puertos, el principal agente generador de la dinámica costera y la principal acción a soportar por las estructuras de protección. En el ámbito de su caracterización climática, un esfuerzo sostenido de medida sigue siendo de extraordinaria importancia para el mejor conocimiento del medio costero, la seguridad y economía de las actuaciones, en particular en cuanto a la estructura direc-

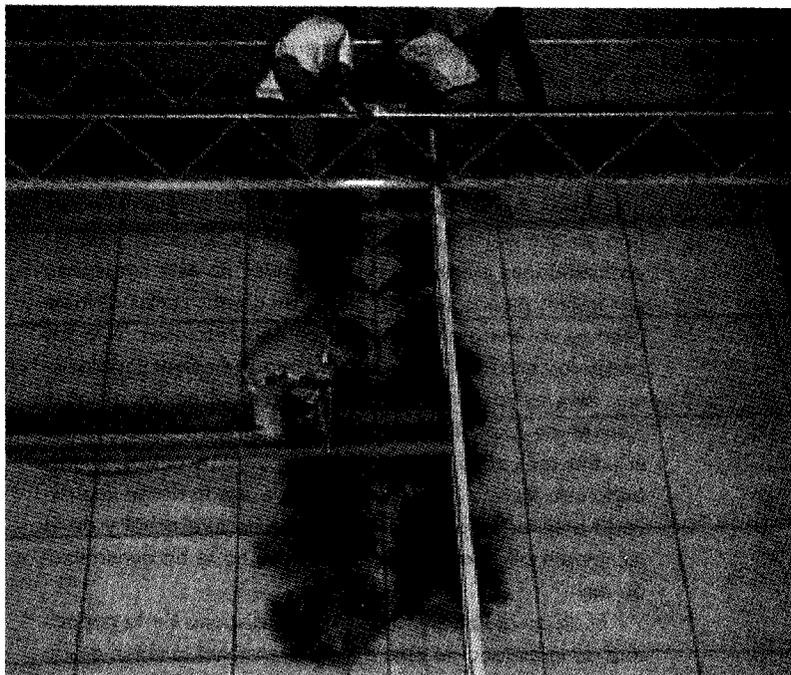
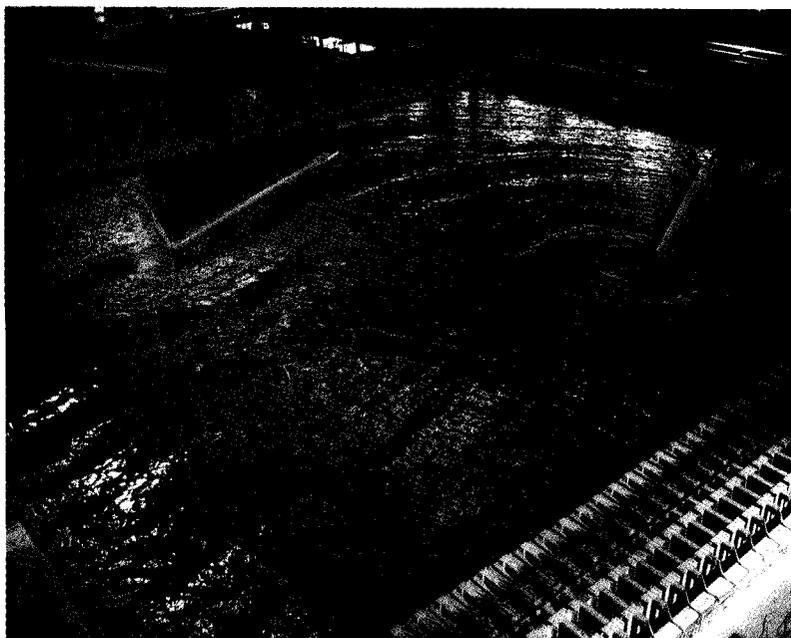


Fig. 1. Ensayos 3D de dispositivos de vertido de salmuera de desaladoras.

cional del oleaje real. Progresivamente este esfuerzo es complementado con la información sintética generada por modelos de previsión de oleaje que deben continuar su desarrollo en cuanto a precisión en la caracterización de los picos de las tormentas (ello posiblemente está actualmente limitado por la calidad de la información atmosférica de partida) y sobre todo en cuanto a su extensión a zonas de aguas poco profundas en las que se implantan las obras.

Fig. 2. Tanque de Oleaje Multi-Direccional del CEDEX. Ensayo de la bocana sur del Puerto de Barcelona.



Por su parte, la modelización física y numérica de la propagación del oleaje ha experimentado espectaculares avances en las décadas de 1980 y 1990. Sin embargo, lo disponible dista mucho de ser completamente satisfactorio.

En la modelización física "estandar", se ha pasado de la generación de ondas simples a ensayos con oleaje irregular pero de crestas largas, lo que sigue siendo poco realista ya que el oleaje, en condiciones de temporal y en las profundidades crecientes de los puertos no está constituido por frentes planos sino por oleaje de crestas cortas distribuyéndose su energía en un abanico de direcciones. A lo largo de los años 90 se ha comenzado a emplear instalaciones de ensayo de oleaje multi-direccional en los grandes Centros de Experimentación Hidráulica del mundo, en los estudios aplicados de ingeniería de puertos y costas, empleando esta técnica que ya venía siendo usada desde una década anterior en el mundo de la arquitectura naval y de la tecnología offshore. Pese a ello, su uso no se ha generalizado aún.

En la modelización numérica, se dispone de la capacidad de modelado de oleaje multi-direccional también desde comienzos de los años 90, habiéndose seguido un camino similar al de los modelos físicos. Aunque se puede pensar que el modelado numérico del oleaje ha alcanzado un nivel aceptable, hay que destacar que, desde la perspectiva general de la hidráulica computacional, esta área se encuentra en un estado sorprendentemente pobre. No se dispone hoy de un modelo capaz de (con precisión) partir de oleaje en aguas profundas, propagarlo hasta la costa incluyendo efectos de cambios bruscos de calado, modelizar adecuadamente su rotura, su posterior disipación, flujo y reflujos en la orilla e influencia en las olas posteriores. Esto no es posible hoy en dos dimensiones y mucho menos en las tres dimensiones en las que muchos problemas se plantean.

En el paso desde la investigación a la práctica, quedan tareas a realizar para consolidar esta nueva representación, más realista, del oleaje:

- Consolidación de estándares internacionales de descripción del oleaje de crestas cortas, similares a los existentes (IAHR - PIANC) para oleaje de crestas largas.
- Avance en la caracterización climática de la multi-direccionalidad del oleaje.
- Mayor disponibilidad y aplicabilidad de instalaciones de ensayo con oleaje realista y mejoras en sus sistemas de control (absorción activa de reflexiones en 3D).
- Avances en el modelado numérico.

3.2. La geometría de los Puertos

En el área del diseño portuario en planta de las zonas marítimas de los puertos, se ha producido un cambio cualita-

tivo importante en los últimos años, desde un desarrollo tecnológico que ha atendido prioritariamente al análisis de la hidrodinámica interior con una consideración simplista del buque y sus necesidades de maniobra a una nueva situación más equilibrada en la que el tratamiento de la problemática del buque en su evolución en aguas restringidas en la aproximación y en el puerto dispone de un soporte técnico - científica de muy superior nivel. Ello no obstante, son deseables mejores niveles de integración.

Dos áreas críticas para el mejor aprovechamiento en la explotación de terminales portuarias y para su seguridad son:

- Objetivación de condiciones de accesibilidad a puerto en función de condiciones ambientales, buques, medios de remolque y sistemas de ayuda a la navegación. Los simuladores de maniobra de buques orientados a los estudios de ingeniería son una herramienta eficazísima en este sentido.
- Avances en el diseño y optimización de los atraques. El objetivo último para la operatividad en la carga descarga no es tanto la tranquilidad del agua en la dársena como el mantenimiento de los movimientos del buque por debajo de unos umbrales específicos. El rediseño de un atraque puede en ocasiones mejorar la operatividad compitiendo provechosamente con un mucho más costoso desarrollo de obras de protección. Los experimentos en modelo físico a escala reducida y los modelos numéricos resultan de gran utilidad en esta tarea.

Otro aspecto ligado a la seguridad y prevención de riesgos es el análisis de maniobras de emergencia, en particular en terminales de mercancías peligrosas. También en este aspecto los simuladores son de gran utilidad en el establecimiento de protocolos de actuación en situaciones de riesgo.

Un problema no resuelto hoy con generalidad es el relativo a las ondas de largo periodo en los puertos, el fenómeno de las resacas. En forma simple se puede decir que se dispone hoy de métodos para la caracterización de estos problemas, su análisis y el establecimiento de medidas de corrección que se aplican, las más de las veces, a posteriori, sólo una vez que estos problemas se han producido. Es necesario avanzar aún en el conocimiento de los mecanismos de generación de las ondas largas, sus procesos de liberación y en la mejor sistematización de técnicas para evitar estos fenómenos.

Por último, es necesario prestar una mayor atención a la acción del viento en el entorno portuario. Este es un factor crítico en la eficacia de operación de grúas y en las acciones sobre buques de gran obra muerta, resultando asimismo un factor de importancia en la evaluación de

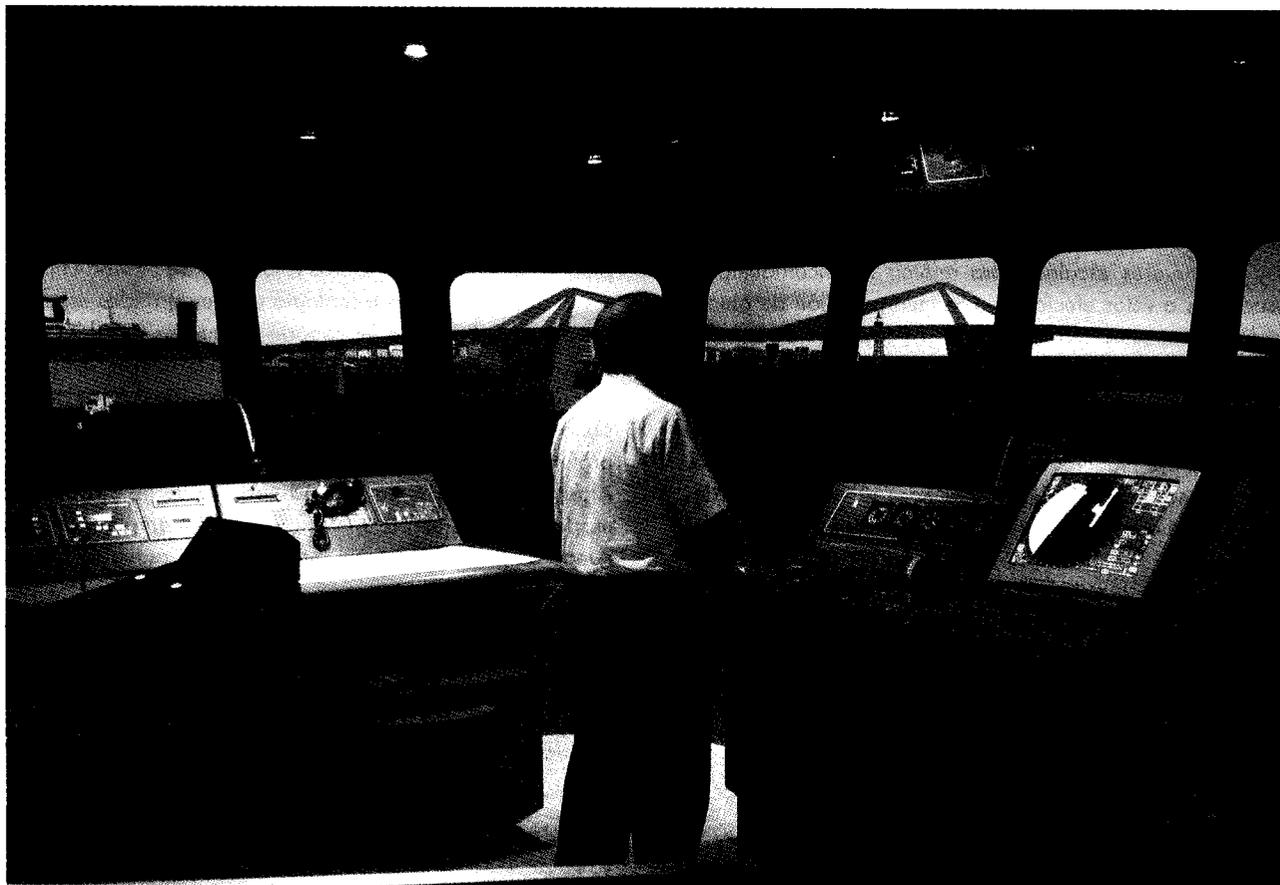


Fig. 3. Puente principal de la unidad de simulación de maniobras del CEDEX.

los efectos ambientales del almacenamiento de determinadas mercancías. Es posible aún avanzar significativamente en la metodología de análisis del viento como acción en el entorno portuario y por supuesto ello es también aplicable a la dinámica de la zona subaérea de las playas, donde se han producido escasos avances desde mediados del siglo pasado.

3.3. Las Estructuras Marítimas

Un factor principal que limita la innovación en el ámbito de las estructuras marítimas es la falta de herramientas numéricas adecuadas que permitan una evaluación rápida de nuevos conceptos y su perfeccionamiento sin tener que recurrir inicialmente al empleo de costosas instalaciones de ensayo en las que, en todo caso, sólo se pueden reproducir un número limitado de casos que, deseablemente, ya hayan demostrado su carácter prometedor. La investigación en este campo que permita desarrollar herramientas de análisis flexibles y suficientemente aproximadas puede ser una de las líneas socialmente más rentables. Ello requiere un avance radical en el modelado del oleaje, que puede proceder de la integración progresiva de las aproximaciones de la Hidráulica Computacional y

de la más generalista Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). En el mundo de la CFD se llevan ya muchos años tratando problemas con contornos complejos, modelos avanzados de turbulencia y progresivamente se incorporan posibilidades de superficie libre. Aproximaciones tales como los métodos VOF (Volume Of Fluid) desarrollados en Los Alamos en la década de 1970 y SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) concebido inicialmente en la comunidad astrofísica han comenzado a emplearse tenta-



Fig. 4. Barco escorado por efecto de onda larga.

tivamente en problemas de Ingeniería de Puertos y Costas y pueden dar magníficos resultados en este campo a medio plazo al permitir establecer tanques y canales de ensayo numéricos muy versátiles. Estos métodos requieren elevados recursos de cálculo pero ello no es a futuro un factor limitativo.

Las instalaciones de ensayo de estructuras marítimas deben a su vez avanzar progresivamente en las direcciones de mayores escalas, para reducir las incertidumbres asociadas a estos efectos, y a la incorporación de oleaje realista de crestas cortas. En diversos aspectos de la ingeniería marítima, el paso de oleaje de crestas largas a cortas está siendo tan dramático como lo fue en su día el paso de las ondas regulares a la consideración del oleaje espectral. Los modelos físicos resultan además imprescindibles como elemento de soporte para el necesario avance de los modelos numéricos, como plataforma para su validación.

Un aspecto de especial relevancia para el avance de la ingeniería de las estructuras marítimas es la monitorización detallada de obras construidas. Esta monitorización, ya convencional en otras áreas de la Ingeniería Civil, producirá importantes rendimientos en realimentación de los procesos de proyecto y puede también mejorar la seguridad y actividades de mantenimiento de las obras monitorizadas, con un impacto notable en el Coste Total de Propiedad de las infraestructuras a lo largo de su vida útil.

El desarrollo de la tecnología de muy grandes estructuras flotantes (VLFS) es un soporte de nuevas posibilidades para usos tradicionales y también para nuevos usos del mar. Algunos de los grandes desarrollos portuarios en España se ven dificultados en la actualidad por las grandes profundidades de los fondos (por ejemplo en la Bahía de Algeciras), por la mala calidad portante de los suelos submarinos (por ejemplo en el caso de la ampliación del Puerto de Barcelona) y, en general por la reducida dispo-



Fig. 5. Ensayo de diques verticales poco reflejantes en el Canal de Gran Escala del CEDEX.

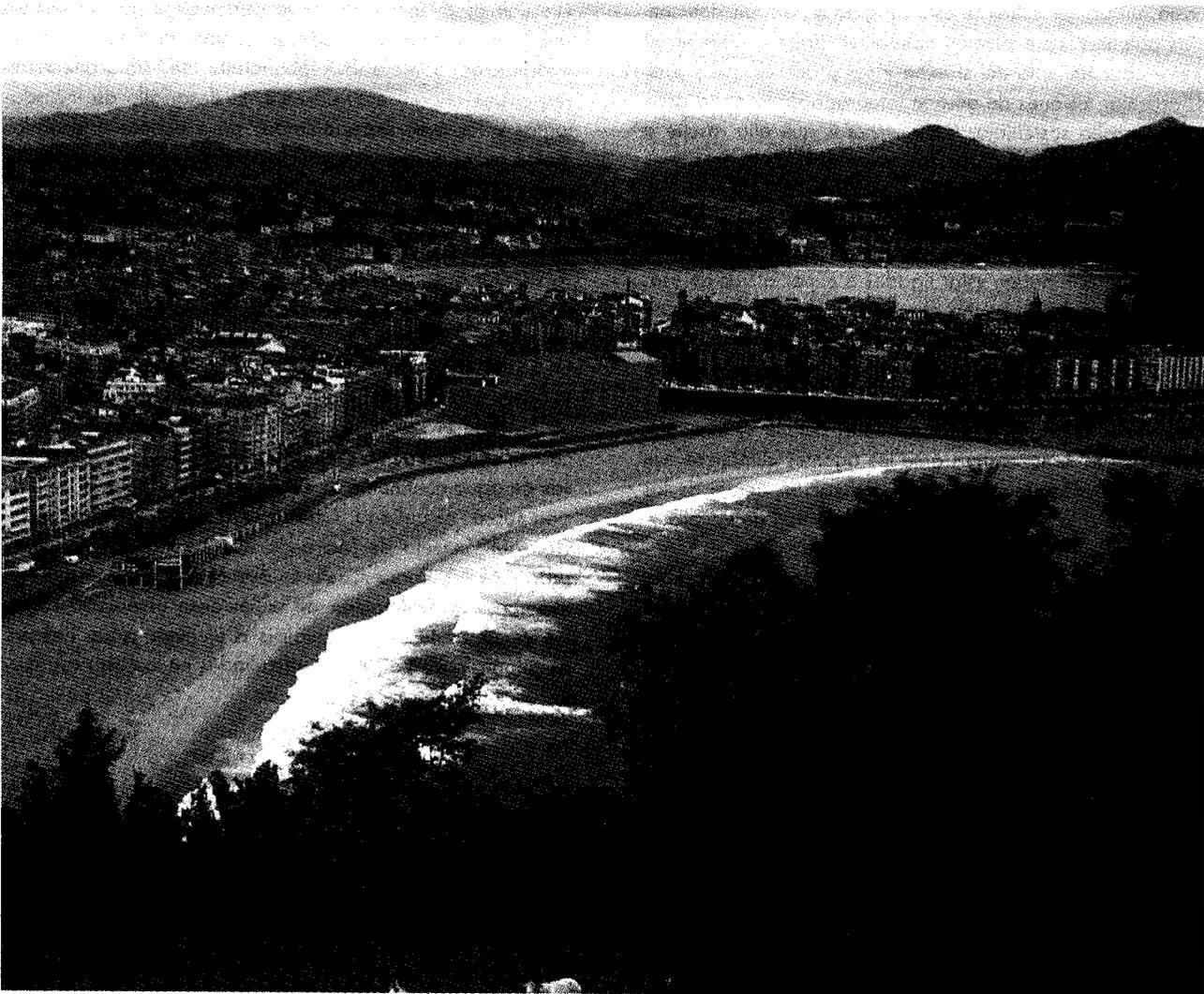


Fig. 6. Playa de la Zurriola, Gros, San Sebastián.

nibilidad e impacto asociado a la realización de grandes rellenos en el mar. El empleo de grandes plataformas flotantes puede ser una alternativa en el futuro para este tipo de situaciones ó para otras aplicaciones como por ejemplo el desarrollo de aeropuertos, independizando el coste de ejecución del calado y/ó de la calidad geotécnica de los fondos. Ventajas adicionales de este concepto pueden ser sus posibilidades de reutilización, su menor impacto ambiental al no perturbar los fondos, afectar menos la circulación costera y evitar gigantescos movimientos de tierras. Junto a la reutilización, este concepto permite realmente valorar sus propios costes de desmantelamiento.

La primera terminal de contenedores flotante fue construida en el Puerto de Valdez, Alaska en 1982. Está formada por dos grandes cajones flotantes, construidos en Tacoma (Washington) y transportados por vía marítima hasta Valdez, donde fueron postensados conjuntamente y anclados al fondo. En Japón, país especialmente activo en

este campo, se ha construido recientemente en la bahía de Tokio una plataforma experimental de un kilómetro de longitud para el estudio de la aplicación del concepto a aeropuertos y en Nagasaki una instalación flotante de almacenamiento de petróleo. En España, un primer ejemplo en este sentido ha sido la exitosa construcción del nuevo dique de Mónaco por las empresas FCC y Dragados. El empleo de estas estructuras ha sido propuesto también para albergar instalaciones industriales completas como por ejemplo, plantas regasificadoras de LPG flotantes que han sido propuestas en los países nórdicos y se encuentran en discusión actualmente en Chile.

3.4. Las playas y la calidad de la Costa

La actividad de conservación y mejora de la calidad de la costa no requiere ninguna introducción dada su importancia. Tras la constatación del valor objetivo de la

costa, un primer esfuerzo está dirigido a corregir deficiencias patentes. La evolución natural se dirige a obtener un mejor conocimiento del sistema y sus procesos que permita articular visiones de gestión integrada de la costa para su desarrollo sostenible. Cabe esperar que ello resulte a medio plazo en una sustitución progresiva de actuaciones de "choque" por una actividad con mayor peso de gestión y vigilancia que deberá basarse en un mejor conocimiento y, en buena medida, en la objetivación de criterios de calidad que deben estar ligados a expectativas de uso.

Queda todavía mucho camino por recorrer para una adecuada comprensión de los complejos procesos físico – químico – biológicos en la zona litoral ó simplemente para que los modelos conceptuales aplicables nos sirvan realmente para predecir con adecuado detalle el funcionamiento de la zona costera ante los agentes climáticos. Un cambio de enfoque, desde la modelización simple de los fenómenos a la mas integrada consideración de los procesos parece necesario.

España ocupa un buen lugar para liderar investigación en conceptos y estándares de calidad ambiental de las zonas costeras, dada la intensidad de uso y presión sobre nuestro litoral. Algunas áreas de conocimiento se encuentran en un estado aún muy infradesarrollado, como por ejemplo lo relativo a la calidad de las arenas de las playas. Calidad de aguas (donde la transposición de la Directiva Marco de Aguas en un importante motivador) y de sedimentos son dos aspectos de interés principal, a los que se deben orientar esfuerzos de investigación aplicables en forma directa a actividades tales como la gestión ambiental de los dragados portuarios y los vertidos desde tierra al mar. La investigación en estos ámbitos debería ser en buena medida de carácter prenormativo, como soporte técnico – científico a la objetivación de criterios en las necesarias regulaciones ambientales.

Una reflexión de carácter general pero que se considera de especial interés en este contexto de Gestión de la Costa es la necesidad de, una vez superado el efecto novedoso de los modelos numéricos avanzados, volver la vista a los datos, a la información básica donde, en muchos casos, está directamente disponible la respuesta. La

cuestión es avanzar, desde la perspectiva de la Gestión del Conocimiento, en la adecuada contextualización de la información, a veces sobreabundante, de forma que estas respuestas afloren naturalmente. El desarrollo de metodologías y técnicas especializadas para aplicar adecuadamente en esta área tecnologías genéricas de minería de datos y sistemas de información geográfica puede ser de gran utilidad.

Aunque la necesidad de disponer de una Infraestructura de Datos es común a muchos tipos de actividades, se percibe especialmente en los grandes planes como el que supone la implantación de la Directiva Marco de Aguas en España, que requiere como uno de sus primeros pasos el establecimiento de un Sistema de Información Geográfica de todo el territorio nacional conteniendo, entre otras cosas, la delimitación y clasificación tipológica de las masas de agua continentales así como de los factores de presión sobre su calidad. Otros ejemplos son la recomendación del Consejo de Mayo de 2002 sobre Gestión Integrada de las Zonas Costeras que requiere a los estados miembros la realización de un extenso inventario sobre las zonas costeras ó el análisis a ejecutar sobre lugares de refugio para buques en dificultades en la costa española.

4. Conclusión

Se ha pasado revista a algunos aspectos que motivan la innovación en Ingeniería Marítima y a algunas de las áreas temáticas y herramientas para su ejecución. Esta rama de la Ingeniería Civil y el estudio del Medio Ambiente asociado tratan problemas de elevada complejidad en un marco de cambio en el que es necesario un esfuerzo sostenido en investigación, desarrollo e innovación. Estas nuevas orientaciones requieren un reequilibrio de las dedicaciones y énfasis, más ajustados a las nuevas necesidades. Ello no quiere decir sin embargo que se puedan considerar "cerradas" determinadas áreas de investigación dado lo poco que aún, desafortunadamente, conocemos en muchos aspectos. ■

Referencias

- (1) BAIRD, A.J., 2003, *Global strategy in the maritime sector: perspectives for the shipping and ports industry*. OEA.
- (2) TRIAY, F., 2003, *Los cruceros y su impacto en la operación portuaria*. Puertos del Estado.

- (3) GREENPEACE, 2004. *Sea Wind Europe* (Elaborado por Garrad Hassan and Partners Ltd.). Disponible a través de INTERNET: [http://www.greenpeace.org.uk /MultimediaFiles/Live/FullReport/6204.pdf](http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/6204.pdf)
- (4) LIGGET y otros, 1996. *New Trends in Hydraulic Research*, IAHR.

- (5) BARCELÓ, J. y otros, 2004. *El dique de Mónaco. Conclusiones e innovaciones aplicadas*. Hormigón y acero, 223-226.
- (6) GRASSA, J.M. y ECHEGOYEN, T, 2003. *Infraestructuras de datos en Ingeniería civil y medio Ambiente*. Congreso de Ingeniería Civil, Madrid, CICCIP.