

La Oceanografía y la Ingeniería Marítima y Costera

J. Javier Diez González

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Promoción 1969

Catedrático de Puertos y Costas y de Oceanografía e Ingeniería de Costas

La Oceanografía constituye una ciencia joven y esencialmente pluridisciplinar aunque tenga por objeto problemas entre los más antiguos para el Hombre. Como disciplina de la Ingeniería Civil es reciente. Casi absolutamente puede afirmarse que su incorporación se produce en este siglo y sólo en su último cuarto con carácter explícito. Sin embargo puede considerarse pionera a la Ingeniería Civil española en la incorporación de sus conceptos a su práctica profesional. De hecho la primera y todavía única cátedra universitaria en España con esa denominación se constituyó como Agregación de la Cátedra de Puertos y Costas de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid - 1976 -, siendo D. Enrique Balaguer, Director y D. Pedro Suárez Bores Subdirector de Estudios de la misma.

ESPAÑA Y LA INGENIERÍA MARÍTIMA Y OCEÁNICA

Que España tenga casi todo su contorno costero recortado y obligado a establecer puertos exteriores; que actividades como la pesca y navegación marítima hayan tenido en España expresión de privilegio desde siempre; que gran parte de las costas españolas sufran los embates del mar como ningunas otras en el planeta; incluso otras razones más "lejanas" podrían explicar que en este siglo, el del desarrollo de las actividades marítimas por excelencia, se haya conducido a un importante progreso en el análisis de los problemas oceánicos con efecto en la ingeniería civil, tanto portuaria como costera, territorial y urbanística como ambiental.

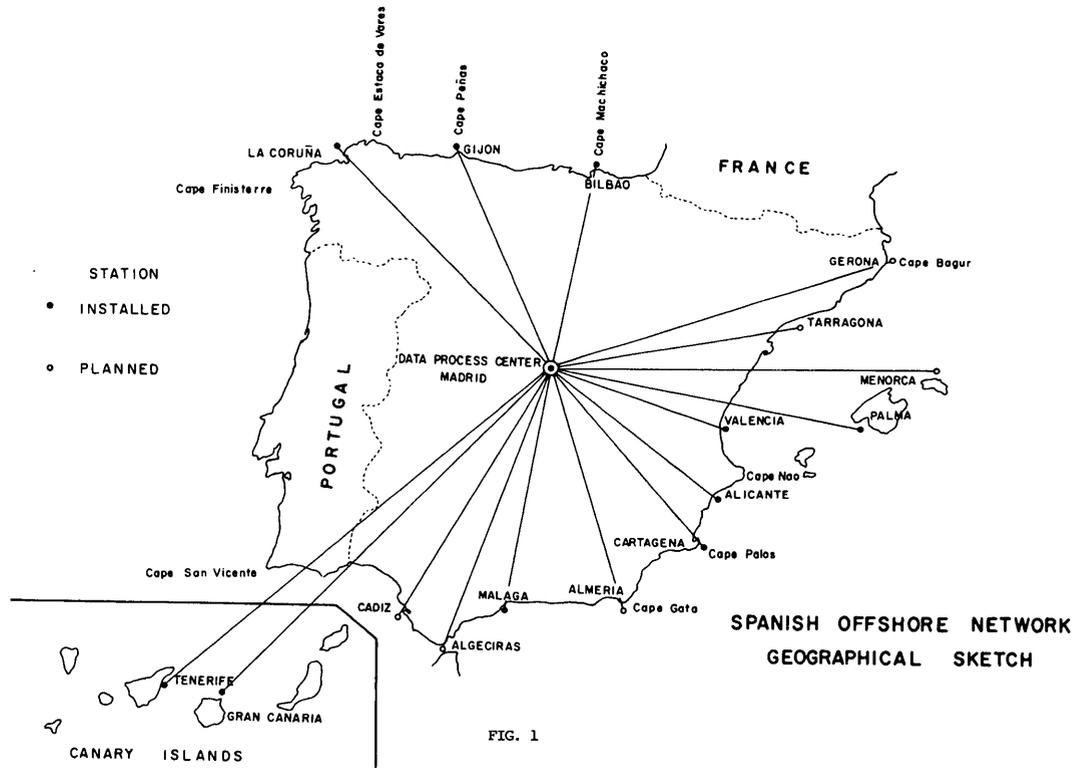
La estructura y morfología de las costas españolas ha obligado a establecer la mayoría de sus puertos frente al mar abierto y, en casi todos los restantes casos, sus necesidades

o aspiraciones de expansión han conducido al mismo resultado. Desde siempre por tanto la ingeniería portuaria española ha requerido un cierto conocimiento y estimación de los parámetros oceanográficos. Siendo así que no puede considerarse el nacimiento de la Oceanografía como disciplina científica, bien que multidisciplinar, hasta mediados del siglo pasado, es lógico que el empirismo y la experiencia, la más pura aplicación del criterio ancestral de prueba y error, haya sido la principal fuente de conocimiento aplicado en el nuestro y en los demás países hasta bien entrado este siglo.

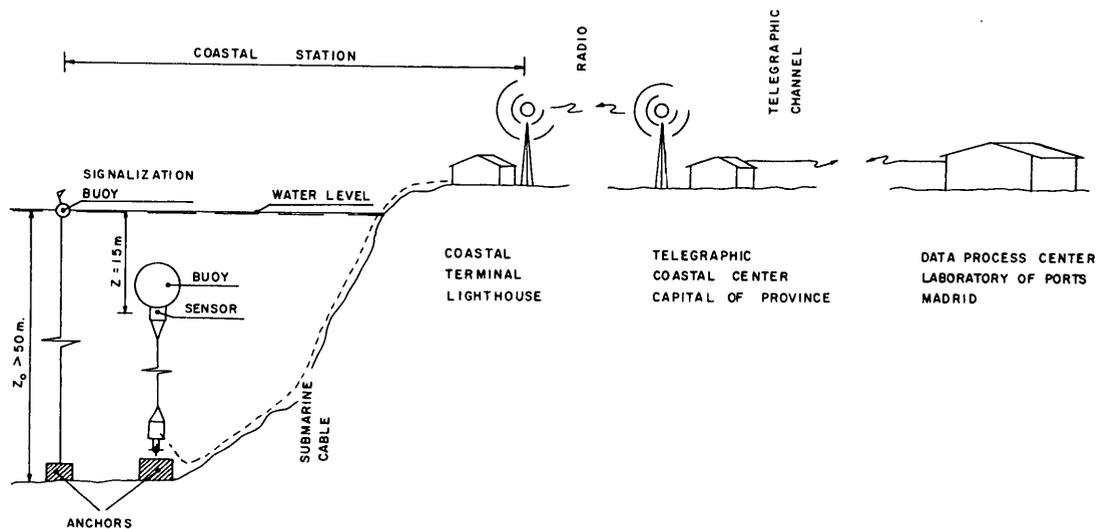
Recíprocamente, han sido muy escasas las actuaciones en las costas, afectando a la fachada litoral y sometidas a su dinámica, aparte las portuarias o de señalización hasta tiempos muy recientes, si se exceptúan algunos paseos marítimo o muros de fortaleza estrictamente urbanos. Y tampoco, por otra parte, ha tenido motivos para el desarrollo temprano de las acciones de investigación y extracción de recursos del subsuelo oceánico. De modo que el progreso de las ingenierías marítima y oceánica y el de los puertos han corrido paralelos en España.

En contrapartida, la naturaleza especialmente agresiva del clima marítimo de nuestras costas, especialmente en las fachadas cantábrica y atlántica, ha conducido a una evolución portuaria con dos características singulares: la necesidad de obras de abrigo de especialísima significación y entidad, y la proliferación de puertos a lo largo de la costa. Efectivamente, las limitaciones en las dimensiones de las primeras conducen a limitaciones en el tamaño y ubicación de los puertos (especialmente en el Cantábrico) y, consecuentemente, a la exigencia de su multiplicación logística. Este última consecuencia ha inducido sin duda la proliferación de perturbaciones en el equilibrio y en la evolución natural de las costas, aunque estas perturbaciones tuvieran una magnitud limitada; sólo cuando los

Figura 1. Red exterior española de oleaje, tal como fue concebida por el profesor Suárez Bores.



SPANISH OFFSHORE NETWORK FUNCTIONAL SKETCH



puertos principales inician su desarrollo y ampliación obligados por el volumen de tráfico y las dimensiones de los buques esas perturbaciones e impactos comenzaron a manifestar magnitudes dramáticas.

LAS OBRAS DE ABRIGO

Ciertamente las dimensiones de las obras de abrigo no empezaron a ser determinantes hasta este siglo, de modo que se justifica que el progreso de la ingeniería a este respecto, el que requiere un mejor conocimiento y una más precisa estima de los parámetros oceánicos, se haya producido durante este siglo. Y como obras de ingeniería paradigmáticas se pueden considerar los diques en talud (en España, tomando el todo por la parte en razón de la abundancia de roquedos fuente de materiales, diques de escollera) y los diques verticales. En el diseño, proyecto y construcción de ambas tipologías la ingeniería española ha sido relevante cuando no pionera. Se mantienen hoy como singulares muchos diques de abrigo españoles, algunos ya "veteranos", entre los que los de Valencia, San Ciprián, Gijón, Barcelona y ambos de Bilbao lo son especialmente.

Las primeras obras de abrigo de manifiesta singularidad y de constatables dificultades constructiva y de diseño se produjeron en nuestras costas y, quizás consecuentemente, las primeras formulaciones racionales para abordar el cálculo y diseño de los diques de abrigo frente al oleaje tuvieron su origen en ingenieros de Caminos, Canales y Puertos españoles; entre los que se debe destacar a los profesores Castro (autor de la primera fórmula conocida en el mundo para el cálculo del peso de los cantos del manto principal de los diques en talud -1933-), Iribarren (su sucesor en la cátedra, quien resuelve técnicamente el problema de la propagación del oleaje sobre la plataforma costera con el Método de los Planos de Oleaje, y el que mayor relevancia llegó a alcanzar en el mundo, en gran medida en y por su debate científico con Hudson - 1938, 1985 -) y S.Bores (discípulo y sucesor de Iribarren y el primero que plantea la estabilidad de las obras marítimas como un sistema de fiabilidad, dependiendo el colapso de las obras del fallo de todos y cada uno de los componentes, y el fallo de cada uno de estos componentes de un gran número de variables tanto endógenas como exógenas - altura de ola, período, persistencia, dirección, nivel del mar.... -), naciendo así el Método Sistemático Multivariado -1977, 1979 -, hoy aplicado a numerosas tecnologías como la Meteorología, el Medio Ambiente....

Esta continuidad y progreso en el esfuerzo investigador en nuestra Escuela asentada en la experiencia secular de ingenieros tan insignes como Churrua, constructor del dique de El Abra, en Bilbao, y otros, en Barcelona, Valencia, Gijón, etc. forman las raíces, ya seculares, de lo que en la actualidad constituye una auténtica Escuela Española de Ingeniería de Costas.

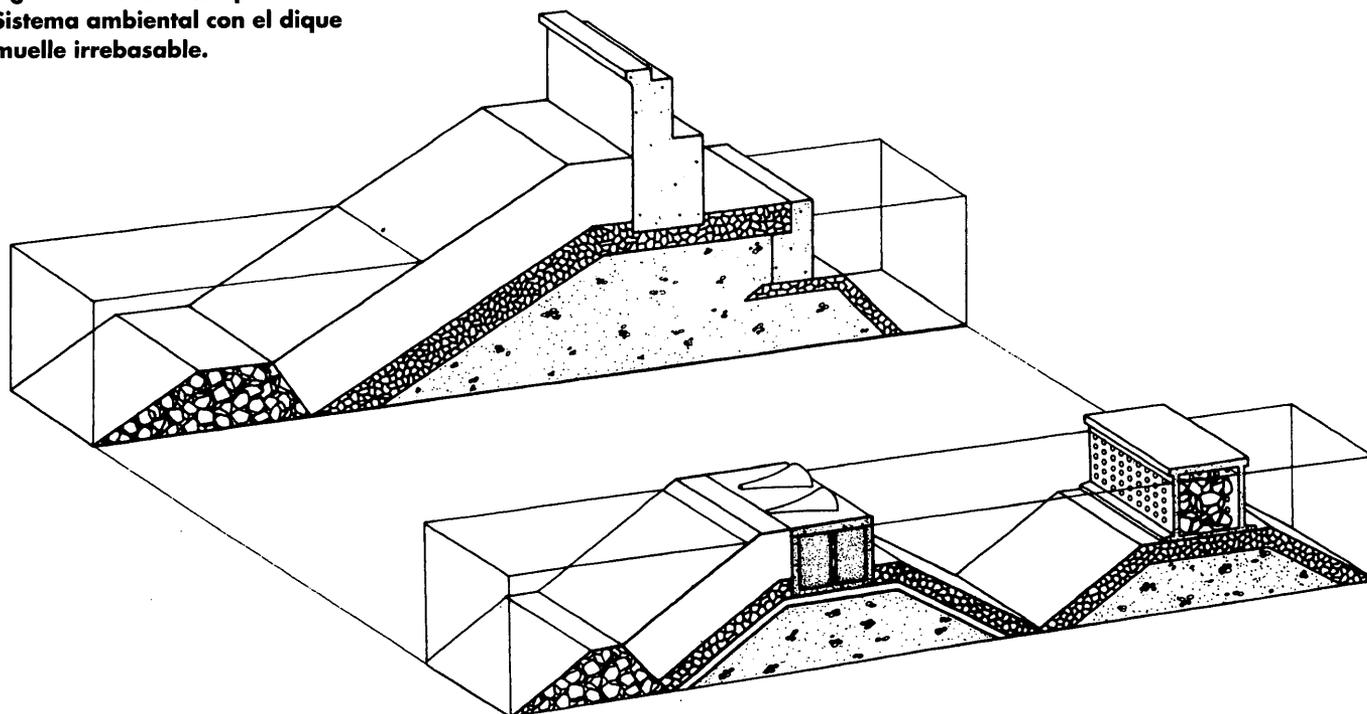
LA OCEANOGRAFÍA APLICADA

La necesaria conquista de profundidades para su incorporación a los puertos modificó radicalmente el modo de considerar las variables de cálculo de las obras y, en consecuencia, el clima marítimo. Afortunadamente los progresos en la Oceanografía y su pluridisciplinariedad con las contribuciones de Longurt-Higgins -Geometría Estadística- y Pearson -Teoría Espectral- permitieron a partir de 1952 el tratamiento estadístico de las variables del oleaje y de otras que siempre se habían considerado como deterministas.

Debe recordarse de nuevo al profesor Suárez Bores como introductor entre nosotros de la nueva metodología, y de la idea y proyecto, en 1968, de la Red Exterior de Registro del Oleaje -figura 1-, primera y aún única del mundo en su género. Este sistema, infraestructura, de medida y registro de variables marítimas comprende la totalidad del litoral español, peninsular e insular, y su centro de recepción de datos se encuentra, desde la creación de la Red, en el Laboratorio de Puertos (hoy Centro de Puertos y Costas), que ha venido realizando una gran labor en el apoyo técnico a la Ingeniería de Puertos y Costas de España, y que fue fundado por D. Ramón Iribarren. En él comenzó la modelización física entre nosotros, aunque en el final del siglo ya hay otras varias instalaciones menores.

El aislamiento y la autarquía, junto con la rigidez de los planes de estudio, de las titulaciones y de su régimen competencial, en nuestro país había retrasado tanto la pluridisciplinariedad como la permeabilidad interdisciplinaria en el análisis de los temas ambientales, territoriales e infraestructurales, lo que afectó a la ingeniería marítima y costera. (A pesar de ello el problema clave de la propagación de las ondas en profundidades limitadas tuvo durante mucho tiempo como mejor aproximación el método de los planos de oleaje). Pero una vez susceptibles de ser soslayadas, siquiera a nivel individual, como ocurrió con la incorporación de los análisis estadístico y espectral de los fenómenos naturales que cursan con manifestaciones energéticas (que derivó de los progresos en el tratamiento de la teoría de señales, entre otros), enseguida se recuperó su progresión en ella a pesar de la pérdida de influencia del idioma; lo que quizás explique como algo absolutamente ajeno a la casualidad que, en el último tercio del siglo que ahora termina, nuestra ingeniería marítima, bien que por la iniciativa original de una misma y sola persona, fuera la pionera en el desarrollo de una red instrumental para la observación y estudio del oleaje y del planteamiento del análisis sistemático para el diseño y del método multivariado para el cálculo de obras marítimas. De donde dio el salto de pasar a incluir las variables ambientales en el diseño de forma explícita (Figura 2). Por otra parte a la modelización física se añadió en rápido progreso durante el último cuarto de siglo la numérica.

Figura 2. Sección comparativa del Sistema ambiental con el dique muelle irrebalsable.



LA OCEANOGRAFÍA Y LA TRASFORMACIÓN DE LOS PUERTOS

A las demandas de progreso en el conocimiento y manejo de las variables estocásticas, y esencialmente del oleaje irregular, colaboraron no sólo las necesidades del cálculo de los diques de abrigo, sino los de las estructuras, también portuarias, construídas en mar abierto (off-shore) y obligadas por requerimientos de calados en costas en las que la inviabilidad económica de las obras de abrigo, como factor negativo, y el aceptable coeficiente de utilización marcado por la distribución de temporales, como factor positivo, sugirieron tales tipos de infraestructuras. Las cuales, además de un menor impacto morfodinámico en el entorno costero, permitían una mejor distribución territorial de las infraestructuras. Ese fue el primer paso en nuestra ingeniería para generalizar su entrada en el campo de las plataformas fijas y flotantes con otros fines ajenos a los portuarios, facilitando su concurrencia con la Ingeniería naval que, en reciprocidad ("feed-back"), es hoy colaboradora esencial en el desarrollo en planta ("lay-out") portuario.

Porque las dimensiones y complejidad de algunos de los puertos españoles, que al ser exteriores y "puntuales" no admiten el desarrollo longitudinal, digitado o articulado característico de los puertos interiores, son absolutamente infrecuentes en el mundo y están requiriendo planificaciones y reconversiones en planta que hoy resultan pioneras.

INGENIERÍA MARÍTIMA Y ORGANIZACIÓN PORTUARIA

La expansión marítima de los puertos españoles condujo inexorablemente a su expansión en tierra, a la ampliación de sus áreas industriales y a la transformación de sus relaciones de articulación con otras infraestructuras del transporte; lo que estableció con rapidéz diferenciaciones de escala entre unos pocos, los grandes, y los restantes. La expansión y transformación de puertos como Barcelona, Valencia y Bilbao, pero también de otros como los de Gijón, Algeciras y Huelva es digna de consideración incluso entre los puertos del mundo, aunque no se signifiquen en él por sus dimensiones, porque sí que lo hacen por las dificultades físicas para lograrlo.

Todo ello, y la coincidencia con la transformación de la estructura y de la Administración del Estado ha conducido, junto a una mayor autonomía de los puertos, a su regionalización y reorganización dentro del reciente Ente de Puertos del Estado, con el que se absorbió la antigua Dirección General de Puertos. Esta modificación estructural del sistema portuario español está permitiendo la potenciación de un servicio de apoyo científico técnico que no podrían tener los puertos individualmente. De modo que también impulsa y desarrolla las nuevas tecnologías en la explotación y gestión, bien a partir de empresas formadas por el propio Ente y las Autoridades Portuarias (ITP) o con participación externa (Telefónica en PORTEL), o



bien potenciando directamente las infraestructuras de hardware y software de los distintos puertos; siendo oportuno destacar el desarrollo del EDI (Electronic Data Interchange) para el tratamiento de la información.

DESARROLLO DEL SISTEMA PORTUARIO Y EL SISTEMA DE TRANSPORTES

En otro orde ideas, el referido desarrollo de los grandes puertos españoles está conduciendo en este fin de siglo y milenio a una transformación sustancial en el sistema infraestructural de los transportes peninsulares. La importancia del comercio para el desarrollo, y su dependencia esencial del tráfico marítimo condicionan las conexiones intermodales. Pero también puede estar conduciendo, al ser un desarrollo heterogéneo el que se produce dentro del sistema portuario peninsular, a un incremento de los desequilibrios regionales. En efecto, la articulación de cada puerto con el sistema de transportes terrestres condiciona necesariamente la evolución y desarrollo de su correspondiente "hinterland".

Podemos encontrar dos posibles paradigmas de un proceso, el del diferencial del crecimiento del trío portuario Bilbao-Barcelona-Valencia respecto del resto del sistema y el del desarrollo del puerto de Algeciras, el primero puede estar inclinando decisivamente el desequilibrio "constituido" hacia el sector Nordeste Peninsular, por una parte, mientras que la ausencia de las infraestructuras terrestres que requeriría el desarrollo del puerto de Algeciras, por la otra, puede estar haciendo de éste un puerto inútil para el desarrollo de, más allá que la estricta Andalucía, gran parte de las mitades Sur y Occidente de la Península.

LA INGENIERÍA DE COSTAS EN ESPAÑA

Y lo mismo de positivo respecto de la relevancia española en la ingeniería portuaria puede decirse acerca de la ingeniería costera respecto de los problemas territoriales y ambientales susceptibles de generarse en las costas, natural o antropogé-

nicamente, y por razones de desarrollo o de protección. A pesar de que la eclosión de la Ingeniería de Costas en el mundo se produjo durante nuestro aislamiento y deflación económica.

No fue la Ingeniería marítima en España ignorante de los impactos que las obras portuarias producían sobre la morfología de su entorno. Ni tampoco del potencial turístico que nuestras costas permitían desarrollar. Pero no se disponía de un campo de doctrina, ni aquí ni fuera de aquí, para un diagnóstico o actuación adecuados en todos los casos. (Sirva como prueba de ello el fracaso generalizado de las soluciones desarrolladas durante décadas en el mundo entero, y especialmente en el país que a la sazón dedicaba un mayor esfuerzo económico al respecto, USA., en el intento de recuperar las playas afectadas por obras portuarias o por indebidas ocupaciones de la franja costera.) Y, adicionalmente, el esfuerzo económico que nuestro país dedicaba, probablemente por sus grandes limitaciones en su desarrollo y potencial económico, era puramente simbólico. Sólo en el último cuarto del siglo se replanteó este esfuerzo y se elevó a cotas importantes.

A pesar de la desproporción entre los recursos humanos dedicados fuera y dentro de España a la Ingeniería de Costas, en 1964 Iribarren diseña la playa de las Teresitas en Tenerife, encajada y contenida mediante un espigón con coronación a nivel de media marea. Es la primera playa artificial del mundo concebida como tal y en ella colaboró ya su Adjunto de Cátedra Suárez Bores, que inicia desde entonces un largo camino de innovación morfodinámica y estructural. Define el concepto de estabilidad en plante en base al equilibrio entre los transportes sólidos debidos a la incidencia y al gradiente de sobre-elevación del oleaje, y analiza los cambios en el perfil de equilibrio transversal, hasta proponer la Clasificación Genética de Formas Costeras, que ha supuesto un salto cualitativo en el potencial analítico de los problemas costeros concretos y en la capacidad de diagnóstico y de evaluación de alternativas de diseño.

Sus diseños de diques rebasables anuladores de energía de la Central de Foix (1970), y de diques Arrecife para su Proyecto de las Playas de Levante de Barcelona (1983) (Figura 3), generan un nuevo concepto de diseño litoral respetuoso con la naturaleza, permisivo de la contemplación del paisaje marino y

de la libre circulación de agua y brisa en las áreas artificialmente abribadas. En esa línea consigue notables avances en el concepto de mejoras de la Calidad Ambiental con su *Sistema Ambiental*, concibiendo la simulación de paisajes naturales a través de la morfología de las obras.

Desde entonces mucho se ha hecho en el Mundo y en España para la recuperación y para la generación "ex novo" de playas, y nuestro país se ha aplicado con ahínco creciente a la tarea en relación de dependencia con la creciente sensibilidad sobre los recursos turísticos de nuestro litoral (y con la convicción científica de que las playas son el mejor sistema protector de la costa). (Figura 3, playas de Barcelona). Hasta el punto de que en estas dos décadas del final de milenio es el país con mayores inversiones públicas por habitante y kilómetro de costa (y probablemente en valores absolutos) dedicados a la generación y recuperación de playas y a la ordenación, accesibilidad y protección del sistema costero. La modelización física y numérica se ha desarrollado enormemente en este tiempo aunque con desigual fortuna.

LA ORDENACIÓN COSTERA Y LITORAL

Este siglo ha sido el de la culminación de un proceso iniciado el anterior hacia una progresiva ocupación costera por la atracción de sus recursos, algunos claramente limitados y susceptibles de ser destruidos. Los impactos morfológicos de los puertos lo prueban. Pero la ocupación de las costas tiene múltiples formas diferentes de las portuarias (las únicas totalmente inevitables en nuestro país), y algunas de ellas producen mayores transformaciones aún, y casi nunca de naturaleza positiva en términos ambientales, salvo previa y adecuada ordenación y planificación.

La ingeniería de costas, como se ha expuesto, vino en su momento a tratar de corregir/evitar los impactos o a transformar la costa en busca de la obtención de mayores o nuevos recursos (playas, paseos, granjas marinas...); pero durante mucho tiempo lo ha hecho en pugna con otros usos o siste-

mas de ocupación. Lo que se ha evidenciado como insuficiente solución al problema que plantea la limitación de recursos costeros. Desde hace algún tiempo se ha dado un salto cualitativo, primariamente en nuestro país, en el sentido de considerar el problema de la conservación de los recursos playeros como una cuestión de ordenación territorial del medio litoral.

A ello han contribuido la aprehensión de dos conceptos preñados de pluridisciplinariedad: el de unidades morfodinámicas y el de interfase costero-litoral. El primero refleja el hecho de que no se puede hacer ingeniería en un punto de la costa más que si está encuadrado en un sistema de actuaciones que se extiende a la totalidad de la unidad morfodinámica en que se encuentra.

El segundo responde al hecho de que entre el medio y el ecosistema marinos propiamente dichos, por una parte, y el medio y el ecosistema continentales también propiamente dichos, existe siempre un medio y un ecosistema intermedio que, además, es intermediario entre ambos extremos, esto es, un sistema activo que actúa de intercambiador de masa y energía sobre un territorio (biotopo) con dimensiones apreciables, y entre el cual y los dos intermediados no existe una auténtica solución de continuidad.

La idea de que la ingeniería debe acomodarse a la planificación y ésta a la dinámica natural de esta fase intermedia está empezando hoy a regir la ingeniería marítima y costera y especial y avanzadamente en España.

EPÍLOGO

La ingeniería marítima, portuaria y costera, dentro de la ingeniería civil española, presenta hoy una buena salud y unas huestes considerables, pero durante más tiempo del debido, quizás, gracias a individualidades pioneras no siempre suficientemente comprendidas o acompañadas. De ahí que deba recordárseles aquí como símbolos de todo el siglo, a los profesores Castro, Iribarne y S.Bores, exponentes, artífices y gérmenes del proceso. ●