

XXX CLH

CONGRESO LATINOAMERICANO
DE HIDRAULICA | BRASIL | 2022

ANALES

- VOLÚMEN 4 -

HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS



International Association
for Hydro-Environment
Engineering and Research

Hosted by
Spain Water and IWHR, China

Organizadores

Dr. Cristiano Poletto - UFRGS (Presidente)
Dr. José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP
Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim - UNICAMP

**ANALES DEL
XXX CONGRESO LATINOAMERICANO DE
HIDRÁULICA 2022**

**- VOLÚMEN 4 -
HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS**



Madrid – España
2023

Copyright © 2023, by IAHR Publishing.

Derechos Reservados en 2023 por **IAHR Publishing.**

Montaje: Cristiano Poletto

Organización General de la Obra: Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho;
André Luís Sotero Salustiano Martim

Maquetación: Juliane Fagotti; Cícero Manz Fagotti

Relectura General: Elissandro Voigt Beier

Portada: Juliane Fagotti

Cristiano Poletto; José Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim
(Organizadores)

ANALES del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – VOLÚMEN 4 –
HIDRÁULICA MARÍTIMA Y DE ESTUARIOS / Organizadores: Cristiano Poletto; José
Gilberto Dalfré Filho; André Luís Sotero Salustiano Martim – MADRI, España: IAHR
Publishing, 2023.

244p.: il.;

ISBN • 978-90-832612-5-6

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin
autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

REALIZACIÓN



International Association
for Hydro-Environment
Engineering and Research

Hosted by
Spain Water and IWHR, China

COMITÉ ORGANIZADOR



DETERMINAÇÃO PRÁTICA DA PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO DO TRECHO ENTRE A PONTA DA PRAIA E O CANAL 4 EM SANTOS - SP	193
AYUDA A LA GESTIÓN COSTERA Y PORTUARIA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS CLIMÁTICO PREDICTIVO: ARQUITECTURA, METODOLOGÍA E HISTORIAS DE ÉXITO	202
HIDRODINÁMICA DEL SISTEMA LAGUNAR HUIZACHE – CAIMANERO, SINALOA, MÉXICO.....	214
MODELAGEM HIDRODINÂMICA DE ALTA RESOLUÇÃO DO ESTUÁRIO DO RIO CAMBORIÚ	216
TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING APLICADAS EM AUXÍLIO À MISSÕES DE BUSCA E SALVAMENTO NA BACIA DE CAMPOS – RIO DE JANEIRO	218
ESTUDO DA DINÂMICA DE CORRENTES DE TURBIDEZ EM SISTEMAS CANAL-BACIA POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM DIFERENÇAS FINITAS DE SEGUNDA ORDEM	220
EFEITO DA DECLIVIDADE DE FUNDO SOBRE A HIDRODINÂMICA DE UM <i>OSCILLATING WAVE SURGE CONVERTER</i>	222
AVALIAÇÃO DE INTRUSÃO SALINA NOS MUNICÍPIOS DE ITANHAÉM E BERTIOGA COM USO DE MODELO HIDRODINÂMICO	233
IMPACTOS DE LAS BORRASCAS GLORIA Y FILOMENA EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO PENINSULAR ESPAÑOL	243

AYUDA A LA GESTIÓN COSTERA Y PORTUARIA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS CLIMÁTICO PREDICTIVO: ARQUITECTURA, METODOLOGÍA E HISTORIAS DE ÉXITO

Gabriel Díaz-Hernández, Antonio Tomás, Beatriz Rodríguez, María F. Álvarez de Eulate, Eva Romano, Francisco Jaime, Javier L. Lara

IHCantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España.

gabriel.diaz@unican.es, antonio.tomas@unican.es, beatriz.rodriguez@unican.es, maria.fuentes@unican.es, eva.romano@unican.es, francisco.jaime@unican.es, jav.lopez@unican.es

RESUMEN:

A lo largo de los últimos 10 años, IHCantabria ha venido desarrollando productos para el apoyo operacional, destinados a gestionar actividades costeras y portuarias. Estos sistemas han ido evolucionando en función de los requerimientos y sofisticación de cada estudio/proyecto y, por lo tanto, el método general se ha ido enriqueciendo con nuevas experiencias de uso, manejo de datos, asimilación de información y adopción de nuevas herramientas de análisis. Llegando de esta forma a establecer una arquitectura innovadora y generalista para el montaje de este tipo de sistemas.

El objetivo de esta comunicación es mostrar, en primer lugar, la historia de evolución en la metodología para el diseño de sistemas operacionales de ayuda a la gestión costera y portuaria, mostrando el flujo de tareas generales que se recomienda seguir y la filosofía general del concepto de “sistema de alerta temprana” modular, adaptable, relocalizable, eficiente, fiable y realista. En segundo lugar, se presenta una discusión sobre el tipo de pre y post-proceso que requiere cada sistema, en relación directa con las fuentes de datos disponibles y las herramientas matemáticas, numéricas y estadísticas que se han ido desarrollando, heredando, validando y adaptando. Y en tercer lugar se muestran algunas de las historias de éxito que se han desarrollado desde el Grupo de Hidrodinámica e Infraestructuras Costeras de IHCantabria.

ABSTRACT:

Over the last 10 years, IHCantabria has been developing products for operational support, coastal management and port activities. These systems have evolved according to the requirements and sophistication of each study/project and, therefore, the general method has been enriched with new experiences of use, data handling, information assimilation and adoption of new analysis tools. In this way, an innovative and generalist architecture for the assembly of this type of systems has been established.

The objective of this communication is to show, firstly, the evolutionary history of the methodology for the design of operational systems to support coastal and port management, showing the general recommended workflow of tasks to be followed and the general philosophy of the concept of a modular, adaptable, relocatable, efficient, reliable and realistic "early warning system". Secondly, a discussion is presented on the type of pre- and post-processing that each system requires, in direct relation to the available data sources and the mathematical, numerical and statistical tools that have been developed, inherited, validated and adapted. And thirdly, some of the success stories that have been developed by the Hydrodynamics and Coastal Infrastructures Group of IHCantabria are shown.

PALABRAS CLAVES: Predicción; alerta temprana; gestión costera y portuaria

INTRODUCCIÓN: NUEVOS RETOS, PROCESOS Y SOLUCIONES

En la actualidad, las necesidades de gestión de estudios y proyectos en costas y puertos han evolucionado de forma exponencial. Partiendo de soluciones básicas para aportar la sencilla predicción de variables básicas, denominadas de nivel 1, en ventanas de respuesta diarias y horarias, y creciendo hacia soluciones más complejas que involucran las variables derivadas (de nivel 2 y 3), cuya solución no es trivial y que requieren del uso de herramientas avanzadas cuyos tiempos computacionales de solución se contraponen a los tiempos requeridos por la operación o alerta temprana.

La figura 1 muestra una relación de las variables generales a ser evaluadas en cada nivel de sofisticación, de 1 a 3.

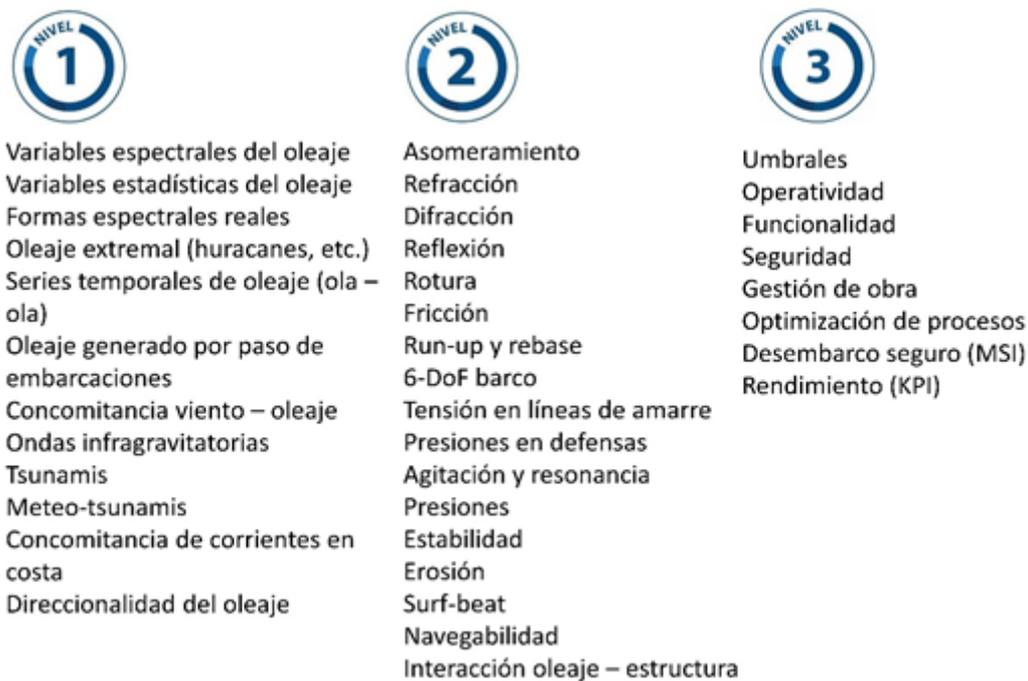


Figura 1.- Variables involucradas en los sistemas operacionales v2.0, niveles 1 a 3.

Esta relación de variables, que co-habitan en la solución final de carácter operacional o forecast, requieren de un esquema metodológico para poder encadenar sus efectos, comportamiento físico y predicción final, a través de un montaje generalista que permita el futuro intercambio/sustitución de variables y métodos de forma transparente.

A manera de ejemplo, la figura 2 muestra una variación de la figura 1, en donde se han remarcado en rojo aquellas variables que se pueden requerir para un estudio (hipotético) titulado: “Sistema de predicción de la parada operativa en la línea de amarre en una terminal de contenedores”. Así como las interrelaciones y dependencias entre ellas (flechas verdes).

A continuación, en el apartado siguiente, se presenta el esquema general que se propone, denominado arquitectura v2.0 para el adecuado montaje de sistemas operacionales predictivos, basados en la solución de la historia de los procesos a través de una técnica de hibridación del reanálisis o hindcast.



Figura 2.- Ejemplo de las variables a seleccionar (en rojo) y sus interrelaciones (en verde) para el ejemplo (hipotético) planteado.

ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA 2.0

Los sistemas operacionales 2.0 necesitan cumplir ciertas características de calidad, manejabilidad, explotación y fiabilidad que, en su conjunto, condicionan su arquitectura general. Tradicionalmente, los sistemas operacionales (v1.0) han planteado una aproximación lineal y limitada a la obtención de variables de nivel 1 y 2 (en el menor de los casos), debido principalmente a la limitación computacional requerida para aportar soluciones (diariamente y en pocas horas). La figura 3 muestra el esquema general de este método tradicional 1.0.

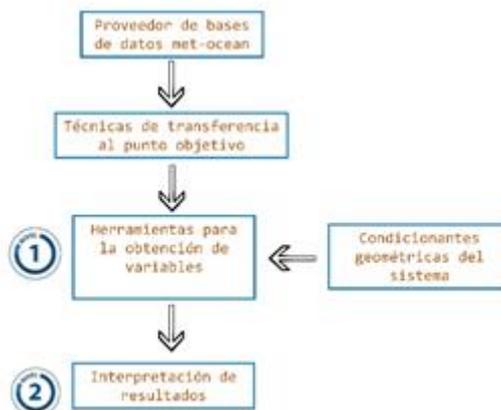


Figura 3.- Esquema general de los sistemas tradicionales v1.0.

Esta forma de diseñar los sistemas operacionales, presenta ciertas e importantes desventajas que alejan el uso extendido del método y que pueden llegar a suponer graves desventajas operativas tales como: resultados sin control de calidad, solución obtenida de forma dinámica (real-time soluciones), limitación en herramientas debido al tiempo computacional, sin aprendizaje (*feedback*), discretas en el espacio, geoméricamente inertes, incertidumbres desconocidas, no-comunicación entre módulos y generalmente de carácter determinista.

Por ello se cree necesaria la conceptualización de una nueva arquitectura v2.0 que subsane estas carencias. La línea argumental de estos sistemas, obedece a las siguientes directrices de calidad/diseño que se describen brevemente a continuación:

- a) Eficiencia y rapidez en las predicciones. Se refiere a la necesidad de crear un sistema suficientemente ágil y eficiente que pueda aportar resultados dentro de la ventana temporal pre-establecida por el cliente. Generalmente dicha ventana se reduce a tiempos muy competitivos de alrededor a 1 hora, disponible para desencadenar todos los procesos, obtener resultados y publicarlos. Por ello el método general de montaje se fundamenta en una arquitectura híbrida que combina métodos de auto-selección de familias de forzamientos (*clustering*), métodos de asimilación dinámica de datos, herramientas numéricas pre-ejecutadas y estrategias de reconstrucción estadística.
- b) Robustez (24/7). El flujo de tareas debe ser ligero y computacionalmente ordenado, para garantizar un adecuado desencadenamiento de los procesos y obtención de resultados. Gracias a la eficiencia en el método general (explicado anteriormente), la robustez se alcanza fácilmente, ya que el proceso solo se basa en la ejecución de cada sub-parte y en el post-proceso de rutinas computacionales básicas.
- c) Diseño modular. Se refiere a la capacidad que debe contar el sistema para intercambiar métodos y herramientas de forma directa, sin realizar mayores modificaciones en la arquitectura troncal del sistema (*plug & play*). Esta forma de trabajo requiere una adecuada normalización de los formatos de intercomunicación entre módulos (*I/O*) para que la conexión de cada parte sea compatible con la codificación del sistema general. Esta característica permite crear sistemas a medida de las necesidades físicas del estudio, permitiendo la libre conexión o desconexión de herramientas, modelos y algoritmos, con el fin de adecuar la solución de cada proceso de interés en su particular ámbito espacio-temporal.
- d) Fiable y realista en los resultados. Posiblemente una de las características más importantes para este tipo de desarrollos, ya que aporta fiabilidad a la herramienta, credibilidad en el método general y satisfacción del cliente final. Para ello se proponen métodos de validación de las herramientas y resultados con información medida *in-situ*. Una práctica habitual dentro del desarrollo del método general, es generar documentos de recomendación para llevar a cabo campañas de campo *ex profeso*, indicando localizaciones, tipos de equipos y variables a medir, calendarios recomendados, algoritmos de post-proceso sugerido y productos finales de validación a general. Es importante destacar que, para sistemas de ayuda en la construcción portuaria, las mediciones recogerán la lógica evolución/crecimiento de la obra, lo cual debe ser adecuadamente representado por el sistema operacional (modificación de batimetrías, elementos de abrigo evolutivos, etc.).
- e) Herramientas matemáticas y numéricas ad-hoc. Este concepto se relaciona de forma estrecha al concepto de sistema modular anteriormente comentado y se basa en la precisa integración de aquellas herramientas destinadas a la solución de los procesos físicos de especial interés. Esto se logra a través de un adecuado uso y adaptación de herramientas de desarrollo propio (p: ej. Modelos IH2VOF, IHBouss, SMC, etc.) y/o herramientas de terceros (p. ej. Modelo SWAN, ROMS, Delft3D, etc.), además del acoplamiento espacio-temporal entre ellas y una detallada intercomunicación entre forzamientos y resultados a lo largo de todo el proceso. En la actualidad, IHCantabria cuenta con un amplio catálogo de herramientas preparadas para su adaptación directa al sistema general, de forma 100% modular.
- f) Auto-diagnosic de resultados. Esta característica corresponde al uso de los métodos estadísticos que permitan realizar un diagnóstico pormenorizado en los resultados que el sistema va aportando diariamente, para finalmente poder identificar y cuantificar los errores e incertidumbres que se van desencadenando a lo largo de la ejecución del sistema. Este concepto, íntimamente ligado a la teoría de “cascada de incertidumbres”, permite optimizar cada método y reducir las incertidumbres/errores.

- g) Integración *nowcast*. Se refiere a la capacidad que debe presentar el sistema para poder aprovechar las mediciones in-situ que sigan aportándose de manera operativa y de forma paralela al uso del sistema en su fase de explotación. Para ello se desarrollan algoritmos de acceso, lectura, post-proceso y asimilación de la información medida y su comparación con las predicciones aportadas por el sistema, con la capacidad final de generar re-ajustes en ciertos parámetros de control, mejorando de este modo las predicciones. Esta capacidad de auto-aprendizaje por parte del sistema garantiza que, en pocos meses, el sistema alcance un nivel operacional maduro.
- h) Resultados a medida. Radica en la capacidad que presenta el sistema en relación con la correcta confección de los formatos de presentación de los resultados (tablas-resumen, boletines e-mail, páginas web), adaptando los mismos a las necesidades del cliente y mostrando las incertidumbres generales en las predicciones, las cuales ayudarán a la adecuada toma de decisiones.

MÉTODO PROPUESTO

La arquitectura v2.0 propone un método de aproximación al problema y diseño operativo en dos fases: a) la fase del montaje del estudio de reanálisis o hindcast y b) la fase del producto operacional/predictivo o forecast.

La figura 4 muestra el esquema general de la arquitectura 2.0, el cual se basa íntegramente en la técnica de hibridación para un downscaling en costa, originalmente propuesta por Camus et al. 2013.

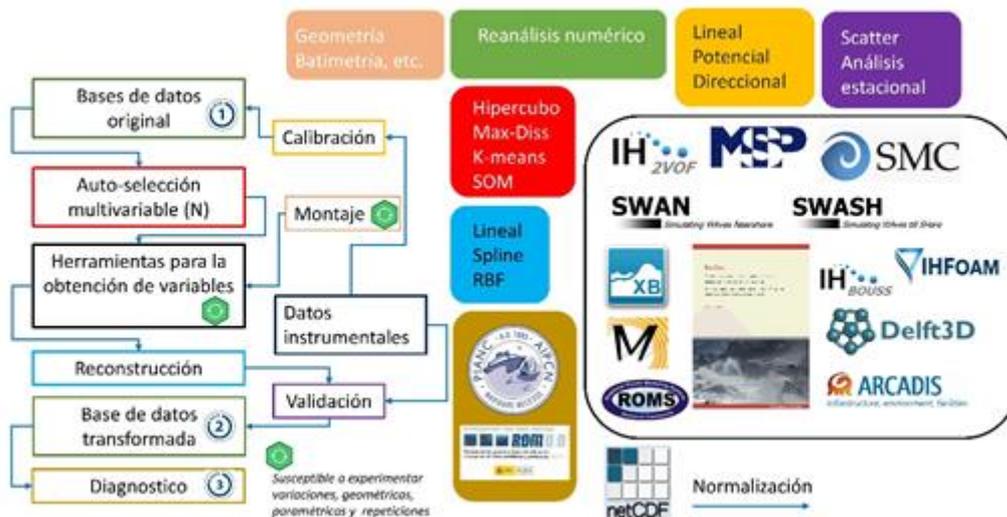


Figura 4.- Esquema general de los sistemas en su arquitectura 2.0.

Dicho método integra distintos módulos que, de forma ordenada, se van sucediendo y permiten la obtención de cualquiera de las variables en cualquiera de los niveles 1 a 3 anteriormente establecidos. La gran ventaja del método es que permite adoptar cualquier proceso de transformación de las variables desde el nivel 1, hacia los niveles 2 y 3, sin importar la sofisticación de la herramienta (matemática o numérica) que lo realice. Ello gracias al concepto de “catálogo pre-ejecutado de casos” o clusters, que se encargan de asimilar la estadística de toda la casuística de procesos involucrados, desde los forzamientos involucrados hasta la respuesta final.

El método híbrido siempre pasa por los mismos módulos: a) lectura de la base de datos original de forzamientos (generalmente en aguas profundas, series de oleaje, viento y nivel del mar); b) la aplicación de un algoritmo de auto-selección de las N familias de casos a ejecutar, que abarcarán toda la física del clima en el punto exterior; c) la transformación de las variables de nivel 1 a los niveles 2

y 3 a través de la ejecución de los N casos con el uso de herramientas numéricas principalmente; d) la reconstrucción de la base de datos original al punto de transferencia tras haber pasado por los procesos de transformación, por ejemplo desde el exterior de un puerto hasta la zona de agitación interior, haciendo uso de un algoritmo que estadísticamente interrelaciona el catálogo pre-ejecutado de N casos con la estadística completa del forzamiento en la zona exterior; y e) el diagnóstico o explotación final del dato para su uso diagnóstico histórico (hindcast).

El método, se repite sin importar los procesos que se quieran resolver, e incluso se puede auto-alimentar/encadenar con un esquema análogo para poder enlazar distintas variables (por ejemplo desde niveles 2 a 3). Esto supone una gran ventaja ya que el diagnóstico resultante de cada paso puede aportar información sobre la física de los procesos que se resuelven y por lo tanto, permite contar con un catálogo de “funciones de transferencia” multidimensionales que aportarán luz sobre el funcionamiento general de un sistema costero y/o portuario.

Adicionalmente, una de las ventajas más importantes es que los métodos/algoritmos que se embeben en cada módulo del método, permiten ser intercambiados directamente, sin mayor modificación de las llamadas e intercomunicaciones entre estos, por ejemplo, si se desea evaluar el caudal de rebase sobre una estructura, el módulo de “herramientas” puede ser el uso de las formulaciones semi-empíricas recogidas en el manual EurOtop (2016), o bien resultado de ensayos experimentales en laboratorio o incluso de modelos numéricos más sofisticados que resuelvan la mecánica de fluidos tridimensional y su interacción con estructuras reales (Losada et al. 2008).

Una vez resuelta la primera fase del método, la aproximación hindcast, se puede migrar el montaje hacia la solución predictiva o forecast. La figura 5 muestra este esquema de migración en donde se puede visualizar la facilidad de este proceso, donde el catálogo pre-ejecutado migra hacia la solución forecast de forma directa.

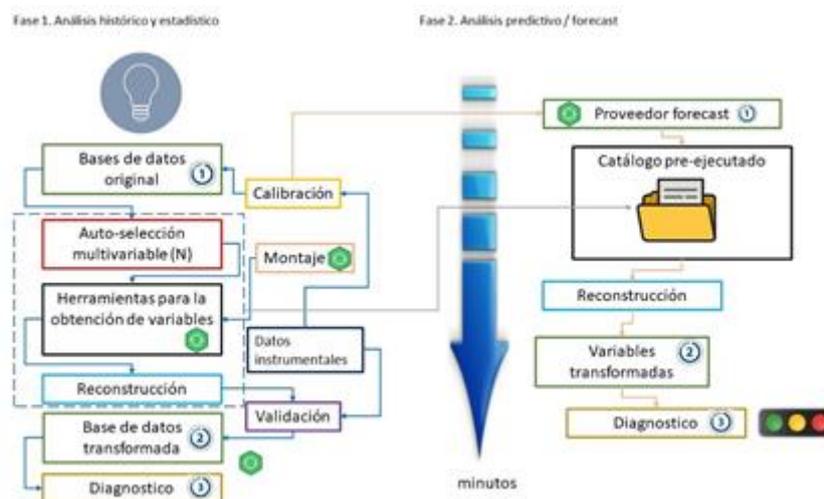


Figura 5.- Migración de la fase 1 hindcast a la fase 2 forecast, arquitectura v2.0.

Una vez confeccionado el esquema forecast, simplemente se debe relacionar la entrada de datos del forzamiento general (oleaje, viento, nivel del mar, etc.), y realizar el diagnóstico final de los datos obtenidos tras la reconstrucción estadística. Todo ello se sucede en un tiempo muy eficiente, de pocos segundos por hora deseada de predicción, ya que los algoritmos de búsqueda, ponderación y reconstrucción del método son de carácter analítico. Esta característica supone una gran ventaja de cara a dar cumplimiento de publicación de los resultados que diariamente son requeridos por el cliente/gestor/usuario final.

A manera de ejemplo, la figura 6 muestra el montaje de la arquitectura v2.0 para la fase 1 (hindcast) de un estudio realizado para el rebase del oleaje sobre estructuras de abrigo costero/portuario.

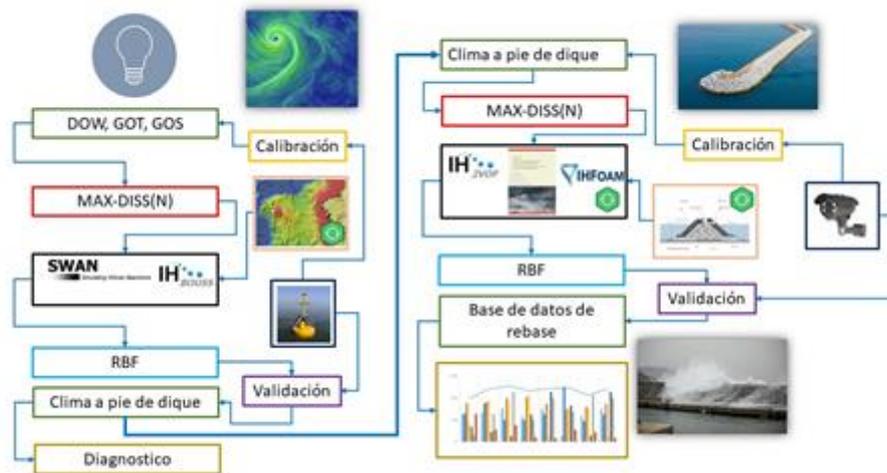


Figura 6.- Ejemplo de un sistema de análisis del rebase del oleaje diseñado con base en la arquitectura v2.0.

De la figura 6 se pueden destacar dos aspectos de especial importancia. El primero reside en la capacidad del método en el intercambio modular (ejemplificado con los iconos verdes), ya sea para la información batimétrica, de las secciones de las estructuras o incluso en las herramientas que resuelven los procesos físicos de interacción del oleaje con la estructura (EurOtop o aproximación numéricos CFD-3D). La segunda característica que se ilustra de forma clara en el ejemplo expuesto en la figura 6, consiste en el encadenamiento recursivo del propio método, ambas partes iniciando con el clima de oleaje en aguas profundas, y el clima de oleaje reconstruido a pie de estructura.

Adicionalmente, cabe resaltar la importancia que debe tener el trabajo de validación con datos instrumentales dentro del método y la confección adecuada del esquema a seguir, para garantizar la fiabilidad de los resultados parciales y finales y para poder contar con un comparador operativo que permita al gestor final conocer los rangos de error que se pueden cometer.

RESULTADOS ESPERADOS E HISTORIAS DE ÉXITO

El nuevo método propuesto o arquitectura v2.0, defiende la idea de separar en dos fases bien diferenciadas la aproximación al montaje del sistema o análisis general. El objetivo fundamental de este tipo de estudio es poder diseñar un sistema operacional (forecast) que integre ciertas características de calidad, fiabilidad, eficiencia y ser modular, no obstante, la fase 1 se ha determinado como fundamental para poder realizar un montaje competitivo, aprender sobre el fenómeno de interés y poder iterar en la estrategia de diseño hasta encontrar un resultado óptimo.

La figura 7 muestra algunos de los productos intangibles que se pueden derivar de la fase del montaje, productos que más allá de aportar una solución material dentro del sistema final, permiten al técnico que lo monta entender el funcionamiento a detalle de la fenomenología motivo del estudio. En pocas palabras, pasar por la fase 1 permite al desarrollador, técnico, cliente y gestor final, ser expertos en el entendimiento de la zona de estudio, desde un punto de vista de forzamientos, procesos y respuesta.

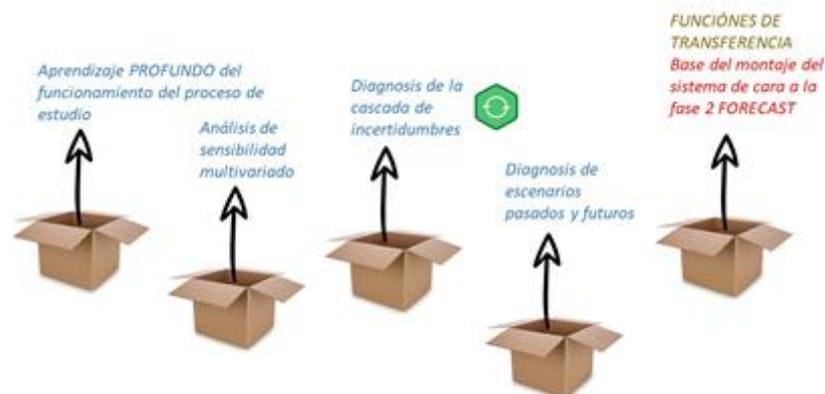


Figura 7.- Réditos intangibles detrás el montaje de la fase 1 dentro de la arquitectura v2.0.

Tras más de 10 años de desarrollo y explotación de la arquitectura v2.0, IHCantabria ha logrado dar respuesta en diferentes temáticas asociadas da diversas soluciones ingenieriles de gran ayuda a los gestores costeros y portuarios. La figura 8 muestra algunos de estos títulos en forma de productos finalistas, así como la figura 9 muestra un mapa de las localizaciones de todos los sistemas hasta ahora desarrollados empleando la arquitectura de sistemas operacionales v2.0, incluyendo las empresas públicas y privadas que han estado involucradas.



Figura 8.- Título/temática de sistemas operacionales realizados por IHCantabria en lo últimos 10 años, todos empleando la arquitectura v2.0.

Historia de éxito 1: Sistemas de predicción de oleaje de ayuda a la construcción: caso del puerto de Langosteira (España), Puerto de Açú (Brasil) y Puerto de Aberdeen (UK)

El programa de alerta temprana de oleaje diseñado para la ayuda y apoyo en la gestión de los trabajos diarios en obras portuarias, ha sido orientado a proporcionar las condiciones a corto y medio plazo del oleaje y su interacción con las obras portuarias y costeras durante las distintas fases del proceso constructivo. El objetivo final del sistema, cuya estructura metodológica se ha diseñado para ser completamente relocalizable, es emplear e interpretar las predicciones diarias de variables oceanográficas asociadas a los parámetros de cada estado de mar en obra, proporcionadas por cualquier proveedor met-ocean disponible en cada ubicación, de manera rápida, veraz y fiable, para de esta forma poder delimitar las condiciones seguras de trabajo diario en obra. El sistema ha sido implementado en las obras de construcción del puerto de Langosteira en Galicia, España (ver figura 9), la expansión del puerto exterior de Aberdeen, Escocia, Reino Unido y en el apoyo a la construcción del puerto de Açú en Brasil. la Terminal 2.

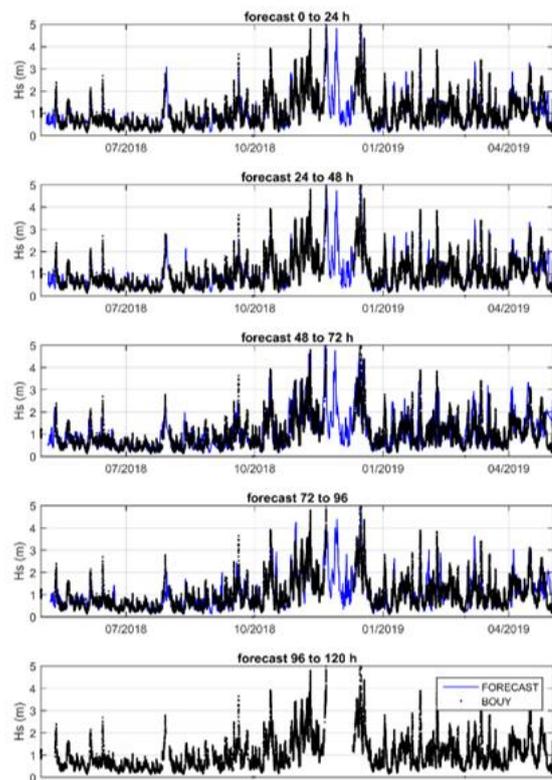
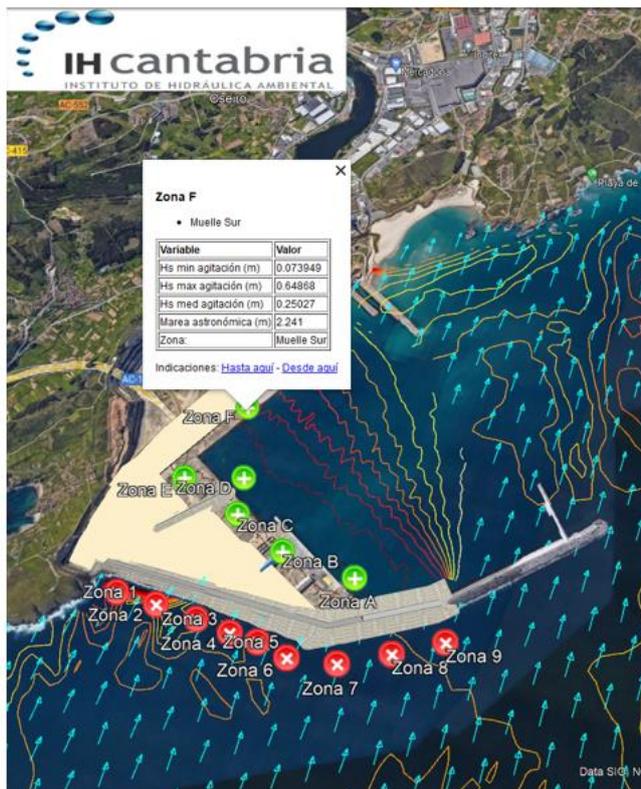


Figura 9.- Ejemplo del sistema operacional de ayuda a la construcción aplicado al puerto de Langosteira, Coruña, España. Y validación de la altura de ola significativa (H_s) frente l puerto para distintos días de publicación del forecast.

Historia de éxito 2: Sistema de ayuda a la navegación y desembarco anfibio para la Armada Española y el Ministerio de Defensa, proyecto SIAAMETOC-OM

Se trata de un sistema operacional para el aprovechamiento de datos meteoceanográficos que sirve de apoyo a las operaciones marinas de la Armada Española. Esta permite tomar decisiones en cualquier clase de maniobra marítima incrementando la seguridad tanto en buques como del personal o los equipamientos.

El propósito es “la identificación, análisis y explotación de datos meteo-oceanográficos disponibles actualmente a nivel mundial, y su adaptación e interpretación automática para el apoyo a misiones y operaciones marítimas del Ministerio de Defensa, de manera fiable, eficiente y realista”. La herramienta cuenta con una sola interfaz de usuario que aprovechará las bases de datos preexistentes y permitirá tomar decisiones rápidas a los oficiales meteo-oceanográficos y los grupos navales de playas (GNP), en las misiones de apoyo. Además, puede planificar de forma segura maniobras de desembarco en cualquier playa del mundo y gestionar la varada y navegación desde el buque anfibio hasta la zona costera (ver figura 10).

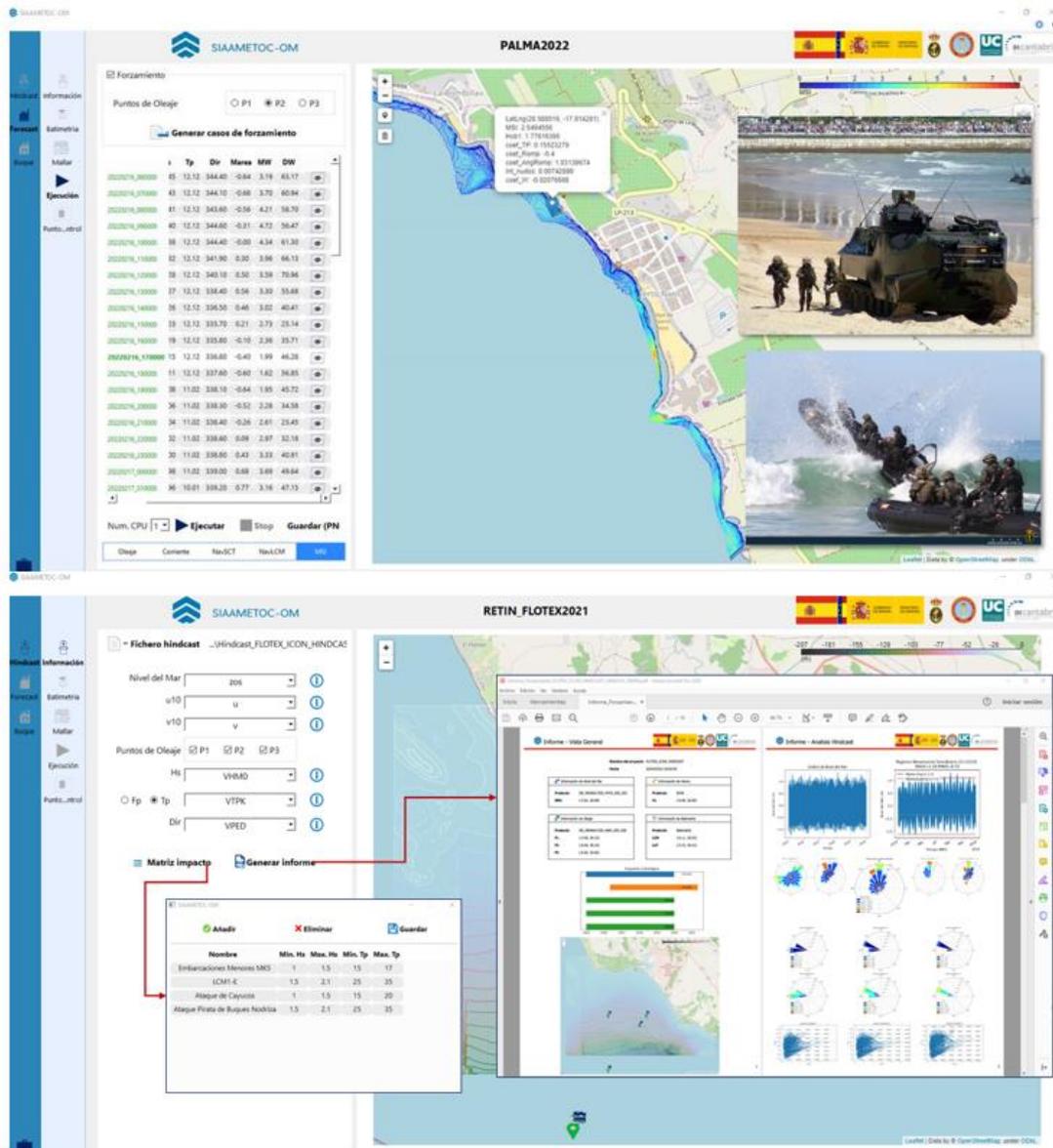


Figura 10.- Sistema SIAAMETOC-OM, ejemplo del a GUI diseñada para la gestión de desembarco anfibio.

Historia de éxito 3: Sistema predictivo en tiempo real de propagación de oleaje e inundación en costa, proyecto NOWcast-Santander

El sistema propone un sistema operacional (24/7) de oleaje + corrientes mareales en la zona de entrada al puerto de Santander, que apoye a la toma de decisiones en trabajos de practicaje, navegación y rebase costero. Se ha seguido una arquitectura concatenada de modelos de propagación de oleaje regional. Corrientes de marea a través de un hidrodinámico, forzado con las condiciones de niveles y viento, y un sistema avanzado de ejecución numérica de oleaje en tiempo real, con base en un modelo de Boussinesq ejecutado sobre la GPU, lo cual aporta eficiencia a las predicciones y realismo en los procesos físicos. El sistema cuenta con una interfaz de usuario para realizar las consultas vía web diariamente (ver figura 11).

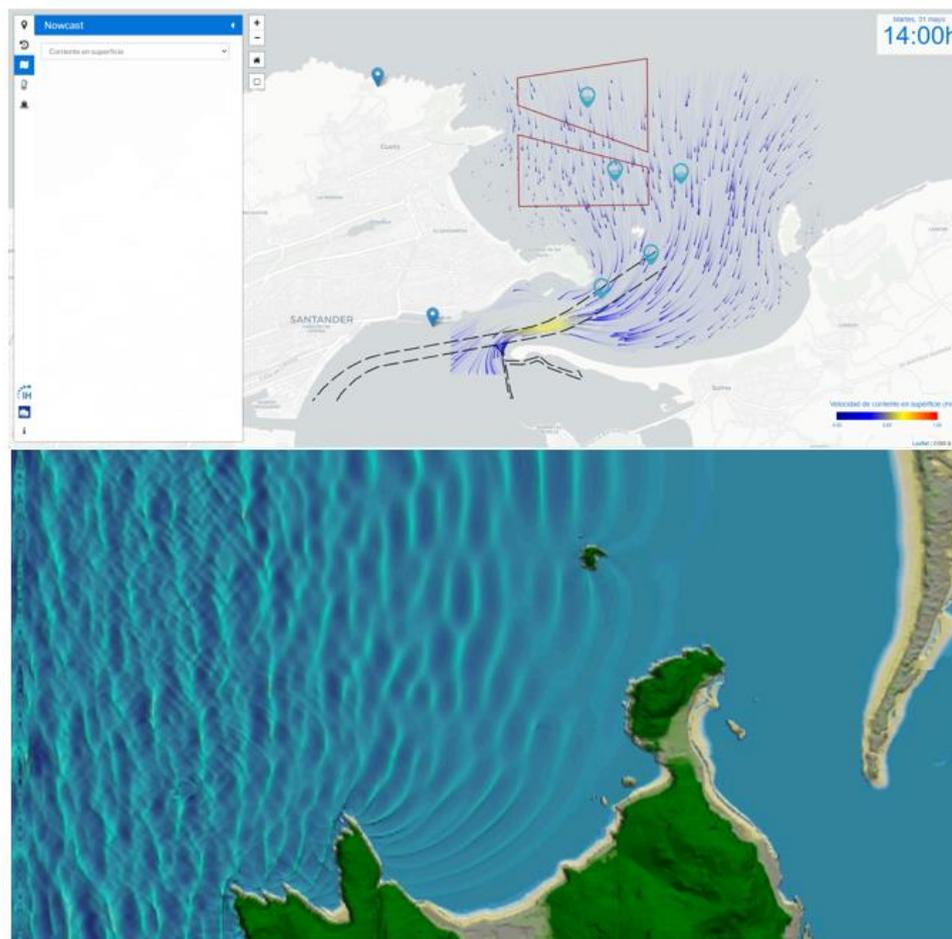


Figura 11.- Salida del sistema de predicción en tiempo real para inundación en la Bahía de SANTANDER, España.

Historia de éxito 4: Sistema de predicción de la parada operativa en puertos, por agitación, resonancia y movimiento de buque amarrado, proyecto SAMOA, SAFEPORT y PROAS

El objetivo de trabajo es dar respuesta a preguntas tales como cuál es la respuesta del puerto frente a la energía del oleaje que entra en él y cómo podemos usar esa información para establecer mejoras en las operaciones que se realizan en su interior. El método permite realizar una caracterización completa y de muy alta resolución, tanto espacial como temporal, de las condiciones climáticas del oleaje en el interior del puerto. Una de las mayores ventajas del método desarrollado es que es escalable y permite su aplicación a cualquier tipo de puerto en cualquier localización. Dentro del trabajo se presenta además una herramienta de simulación numérica que permite la predicción de los movimientos de la embarcación amarrada en muelle (ver figura 12). La herramienta tiene la capacidad, frente a otras de similares características existentes en el campo, de poder considerar geometrías portuarias complejas además de los entornos costeros donde se encuentran, contribuyendo a mejorar la caracterización climática en los puertos y por tanto ser de gran utilidad para su aplicación en el sector. Actualmente, el método y las herramientas desarrolladas son la pieza angular para el análisis y caracterización de las condiciones climáticas en el interior de los puertos en el sistema portuario nacional español. Las autoridades portuarias participantes han podido mejorar la gestión sus infraestructuras y optimizar las operaciones portuarias.

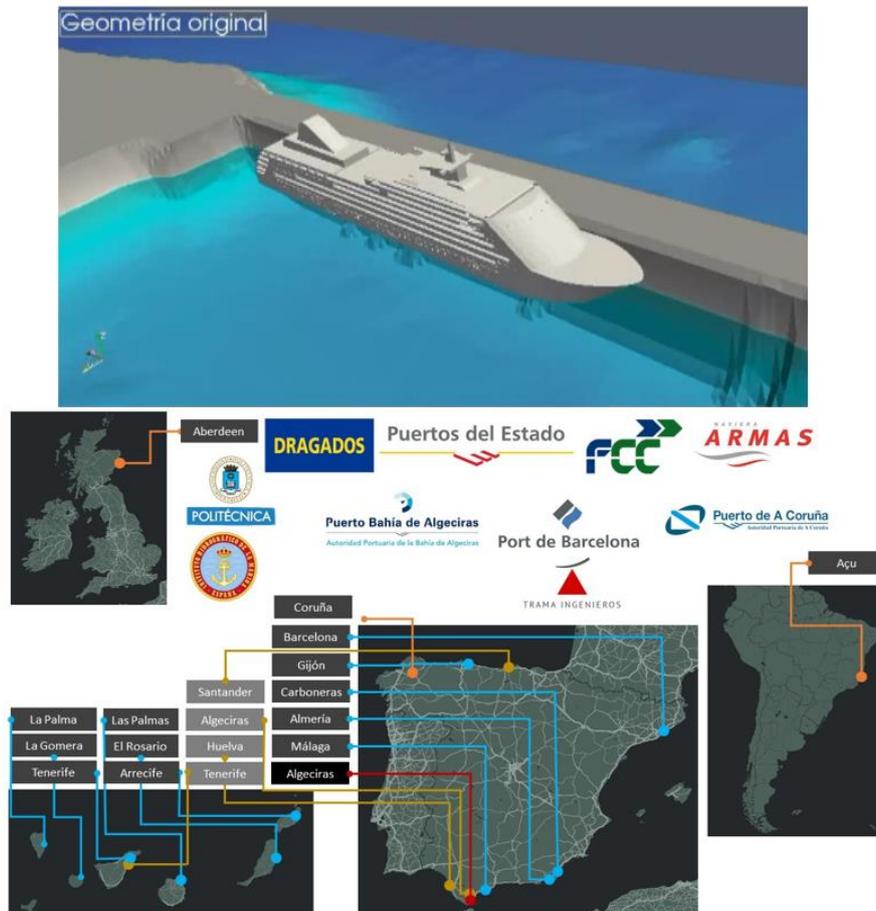


Figura 12.- Ejemplo de la salida del modelo de buque amarrado en muelle, para el puerto de Las Palmas, Gran Canaria, España. Y mapa en donde se han desarrollado estos sistemas predictivos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a DRAGADOS, FCC, Ministerio de Defensa, Instituto Hidrográfico de la Marina y Puertos del Estado por el apoyo recibido en la realización de los proyectos a ser mostrados.

REFERENCIAS

- Camus, P. Mendez, F.J., Medina, R., Tomas, A. Izaguirre, C.** (2013). *High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas*, Coastal Engineering, Volume 72, Pages 56-68, ISSN 0378-3839, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.09.002>.
- EUROTOP, (2016).** *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures*. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. www.overtopping-manual.com
- Losada, I.J., Lara, J.L., Guanche, R., Gonzalez-Ondina, J.M.** (2008). *Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters*. Coastal Engineering, ELSEVIER. Vol. 55(1), pp. 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2007.06.003>.