

## Sistemas operacionales 2.0 de ayuda a la gestión costera y portuaria: arquitectura, métodos, mejoras e historias de éxito

**Díaz-Hernández, Gabriel<sup>a</sup>; Tomás, Antonio<sup>a</sup>; Lara, Javier L.<sup>a</sup>; Rodríguez, Beatriz<sup>a</sup>; Álvarez de Eulate, María F.<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España. [diazg@unican.es](mailto:diazg@unican.es), [antonio.tomas@unican.es](mailto:antonio.tomas@unican.es), [jav.lopez@unican.es](mailto:jav.lopez@unican.es), [beatriz.rodriguez@unican.es](mailto:beatriz.rodriguez@unican.es), [maria.fuentes@unican.es](mailto:maria.fuentes@unican.es)

### 1. Introducción

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, materializadas en sendos sistemas de ayuda a la gestión costera, navegación y apoyo en las labores de construcción de infraestructuras portuarias principalmente.

Adicionalmente, se presenta un listado de los sub-productos innovadores que IHCantabria ha venido generando en los últimos años, mostrando ejemplos de aplicación, localizaciones y aquellas problemáticas singulares que ha logrado resolver para, de esta forma, ejemplificar cómo los sistemas operacionales tradicionales han logrado evolucionar hasta una fase más moderna, denominada 2.0.

### 2. 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. 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-diagnóstico 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.

## 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.