

## Paper CA1125\_Landa\_J.- USO DE TECNOLOGIA EN LA HIDROVÍA PARAGUAY-PARANÁ PARA MEJORAR CONDICIONES DE SEGURIDAD Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

Ing. José M. Landa; Ing. Luis E. Palacios

Email: [jose.landa@landa-in-tec.com.ar](mailto:jose.landa@landa-in-tec.com.ar); [luispalacios@fibertel.com.ar](mailto:luispalacios@fibertel.com.ar)

**ABSTRACT:** La Hidrovía Paraguay-Paraná, por el volumen y variedad de tráfico que moviliza, tiene un potencial de aprovechamiento de las nuevas tecnologías de recopilación de datos, procesamiento de la información y predicciones inteligentes que aportarían un alto valor agregado a todos los actores involucrados.

La referencia a todos los actores es cierta ya que la tecnología actualmente disponible permite recopilar información en forma constante, acceder a ella en tiempo real, procesarla y sistematizarla en forma casi inmediata y utilizar la misma para dar alertas tempranas de situaciones de riesgo o peligro, programar el funcionamiento optimizado de los tráficos de embarcaciones, simular situaciones y un sinfín de otros escenarios hasta no hace mucho inimaginables. Estos aportes no están dirigidos sólo a los navegantes o a las instituciones de control sino también a los observadores ambientales, a los municipios y gobiernos locales, a las terminales y, como se mencionó, a todos los actores involucrados en la vía.

La incorporación de relevamientos periódicos con sistemas de barrido de rangos amplios, la información en tiempo real suministrada por boyas inteligentes (tanto de parámetros meteorológicos, condiciones del agua, información adicional a los navegantes, etc.) junto con nuevas tecnologías de navegación usando navegadores con posicionamientos satelitales e información ampliada en tiempo real, permiten reducir los márgenes de espacios tanto bajo quilla como sobre anchos de canales y curvas sin perder (incluso mejorando) la seguridad náutica.

Los algoritmos predictivos y el uso de inteligencia artificial permiten establecer y evaluar escenarios a 48 o 72 horas vista para tomar las medidas u organizar la operación en forma optimizada.

El factor determinante en todo este panorama es que la tecnología se ha vuelto cada vez más accesible, no sólo en sus valores sino por la incorporación cada día de mayores utilidades, prestaciones y velocidad de respuesta que las hace más versátiles y con usos y funcionalidades nuevos cada día.

Sus usos permiten predecir y alertar sobre situaciones relacionadas con aspectos ambientales, de seguridad náutica, de mejor aprovechamiento de la vía, optimización de cargas, reducciones de tiempos de navegación, espera y otras demoras, predicciones de condiciones meteorológicas, etc.

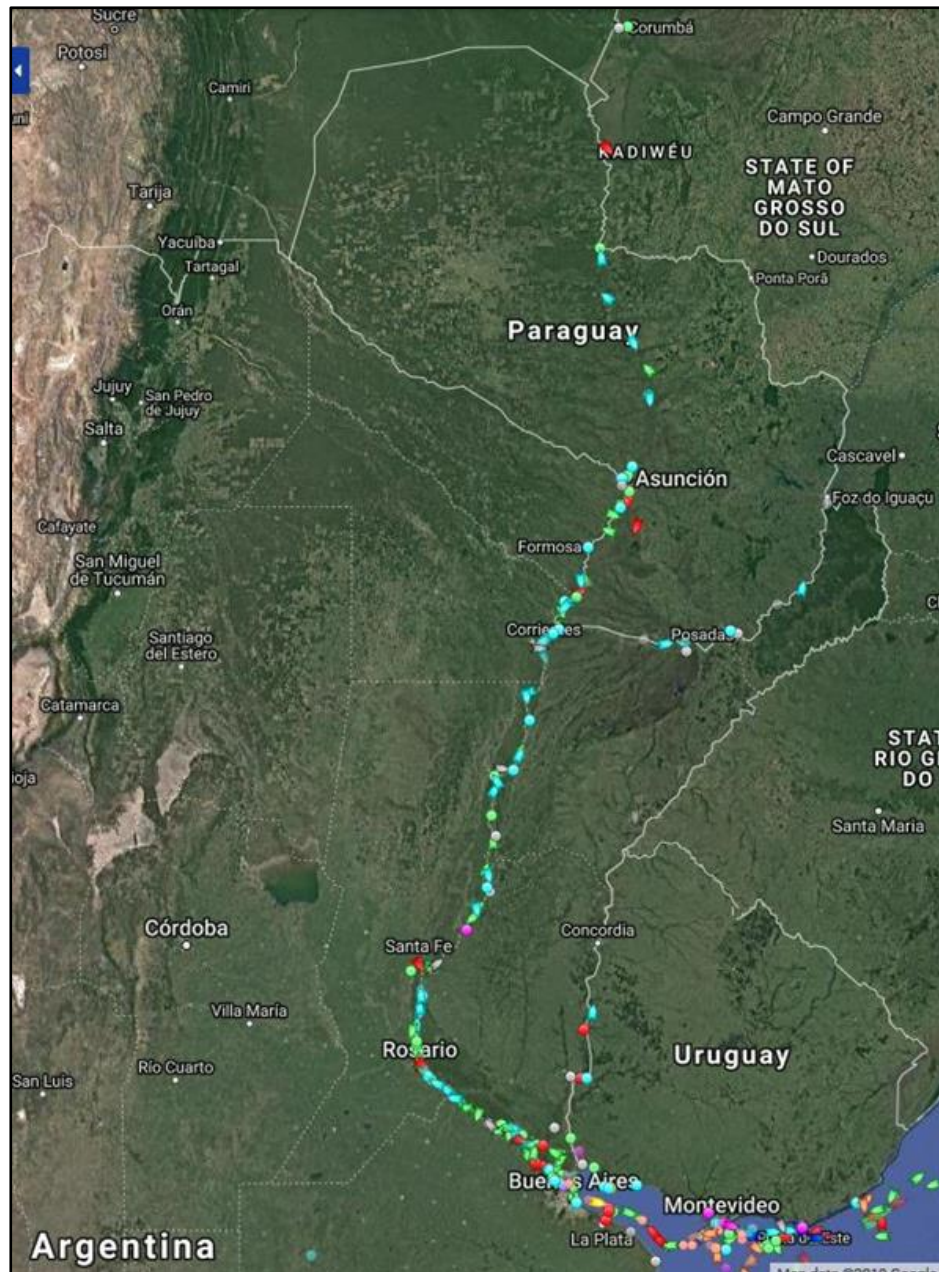
En este trabajo se exponen algunas de las tecnologías hoy disponibles y las funcionalidades para las cuales se están aplicando con éxito en otros lugares del mundo.

Nota importante, hoy en la Hidrovía Paraguay-Paraná se están utilizando algunas de las tecnologías que se presentan en este trabajo. No pretendemos restar valor a estos usos o aplicaciones ni desconocerlos, al contrario la intención es mostrar o remarcar la potencialidad que adquieren este tipo de sistemas cuando están coordinados, unificados y, principalmente, disponibles para los usuarios con información permanentemente actualizada que permite tomar decisiones acertadas, respaldadas y seguras.

### 1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA HIDROVÍA

En la siguiente imagen se puede observar una foto satelital de la Hidrovía. Sobre esta imagen están representados los puntos de ubicación y dirección de los buques que estaban en el sistema

en el momento de la captura de la misma, señalando su posición, su dirección y su rango de velocidad.



La Hidrovía tiene sectores con marcadas diferencias, los cuales varían de acuerdo a qué concepto se esté analizando. Para nuestro análisis podemos indicar, principalmente dos sectores muy diferentes bajo el criterio de cercanía a la costa.

De esta forma se diferencian el sector del Río de la Plata con el del Río Paraná. El sector del Río Paraná, transcurre entre costas que permiten instalaciones en tierra de servicios de señalización virtual y otro tipo de infraestructura. Esta proximidad o presencia continua de costa facilita la logística, mantenimiento y atención de infraestructura a brindar a la vía al permitir su instalación y acceso desde tierra firme reduciendo los tiempos de traslados y atención. Sin embargo, la existencia de los accesos por vía terrestre no es continua u homogénea a lo largo de los distintos brazos o lugares, en algunos casos como la alternativa

Bravo-Guazu-Talavera la infraestructura y acceso terrestres están muy limitados.

Esta característica hace que la instalación en tierra de los sistemas de señalización virtual, en los tramos en que es viable, puede ser aprovechada para mejorar la información a los navegantes alimentando las Cartas Nauticas Virtuales.

## 2 RELEVAMIENTOS BATIMETRICOS

Las técnicas para el desarrollo de relevamientos batimétricos han evolucionado de la mano de la tecnología. Hace muchos años, pero no es historia antigua sino que lo hemos llegado a vivir dentro de nuestra generación como ingenieros, los relevamientos batimétricos se realizaban con las alineaciones desde tierra y el escandallo.

Hace mucho que se cuenta con las sondas ecográficas para determinar, por reflexión del haz

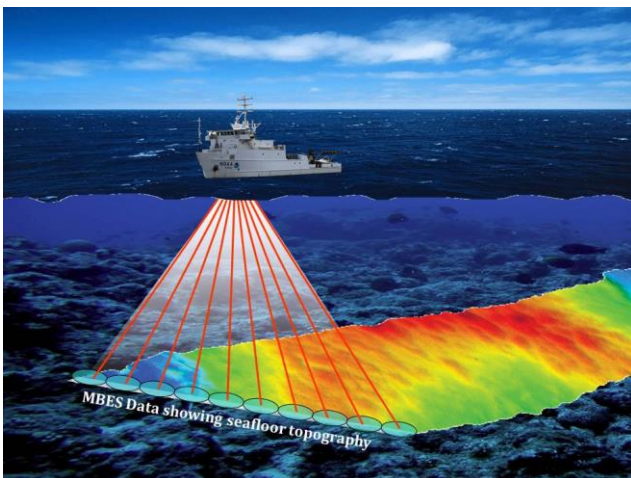
sonoro, la ubicación de objetos, principalmente el fondo pero también otros obstáculos e, incluso, cardúmenes, etc. Esta tecnología se ha completado con los sistemas de posicionamiento satelital lo cual permite tener lecturas de mucha precisión tanto en ubicación como en la profundidad medida.

Los sistemas de sondas han ido evolucionando e incorporando equipos con distintas longitudes de onda, con haz simple o múltiple e incluso embarcaciones autónomas o semi-autónomas que bajan los tiempos y los costos de campañas de relevamiento.

A continuación veremos algunas de estas tecnologías:

El sistema multihaz está compuesto por una ecosonda cuyo transductor es capaz de emitir en forma simultánea un amplio espectro de ondas acústicas, el reflejo de estas ondas en el fondo (o en los objetos que se encuentren en el camino) es detectado por un receptor.

Estos equipos, a diferencia de los de haz simple (una sola frecuencia) permiten realizar las mediciones en un abanico cuyo ancho triplica la profundidad. De esta forma se obtiene mucha más información, más continua y en forma más rápida.



Fuente: NOS/NCCOS/CCMA

(<https://flickr.com/photos/51647007@N08/27555144884>)

Con configuraciones de ecosondas multibeam combinadas con singlebeam, navegando a velocidades de 6 nudos se obtienen relevamientos que cumplen con los estándares fijados por la International Hydrographic Organization (IHO)

A su vez, el desarrollo de la tecnología de comunicaciones y navegación permite navegar 3 embarcaciones juntas, en paralelo, solapando sus imágenes a fin de no dejar puntos ciegos. En esta configuración hay una embarcación principal, de mayor porte y que navega en el centro de las otras y otras dos embarcaciones de menor porte y controlados automáticamente por el software que maneja todo el sistema desde la embarcación principal, contando con detectores de obstáculos y sistemas de navegación inteligente.

De acuerdo a los equipos utilizados los anchos que se pueden cubrir por cada embarcación alcanzan valores entre 5 y 10 veces la profundidad.

Por ejemplo, con el esquema propuesto en la figura siguiente de lancha principal (20 m x 5 m) y 2 botes remotos (8,0m x 2,2 m) dirigidos automáticamente por el sistema de control, se cubren 300 metros de ancho.

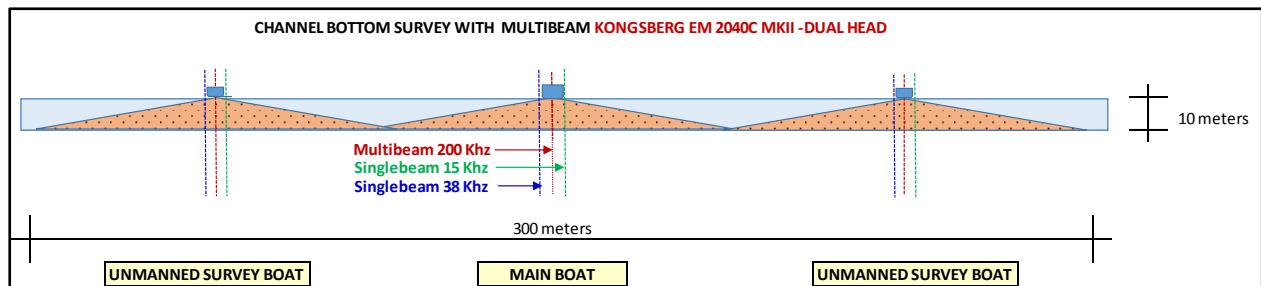
Las ventajas de estas tecnologías tienen muchos aspectos. En primer lugar, obviamente la mayor velocidad de relevamiento. Un equipo como el planteado como ejemplo puede relevar diariamente más de 66 km de vía navegable en un ancho de 300m (asumiendo profundidades mayores a los 10m (33 pies). Esto permite programar campañas de relevamiento y actualización de información con mucha mayor frecuencia.

El segundo aspecto es el de las inversiones tanto iniciales (Capex) como posteriores de operación y mantenimiento (Opex). Las primeras, entre otros factores, por el hecho de que dos de las tres embarcaciones son de menor porte, no requieren transportar los equipos más pesados y requieren menor tripulación, además, por la eficiencia y velocidad de relevamiento se requieren menor cantidad de equipos para la misma prestación. Las segundas (Opex) resultan menores por las mismas razones de menor consumo de las embarcaciones menores, menores requerimientos de tripulación y menor cantidad de equipos para realizar el mismo servicio.

Respecto del procesamiento de la información obtenida, los datos relevados por las sondas son almacenados en la base de datos y un software de procesamiento compone el mapa de fondo y las imágenes automáticamente en 3 D eliminando los solapes de manera precisa. El desarrollo actual de los equipos de procesamiento y el abaratamiento de los mismo hace cada vez más eficiente este tipo de software y más precisos en la medida que pueden procesar mayores paquetes de datos en tiempos cada vez más cortos.

Los sistemas actuales de posicionamiento satelital permiten que todos los relevamientos esten geo referenciados y cumplen especificaciones de la IHO.

Un tema muy importante es la integración y compatibilidad de la información. Vinculando la lancha principal a un sistema RIS (River Information System) y a una base de datos en la nube el mapa relevado, una vez validado on board o en posición remota por el SHN, se carga a la base de datos en la nube y actualiza el tramo de la carta náutica correspondiente.



Fuente: Kongsberg.

Estas últimas ventajas resultan fundamentales por la velocidad de disponibilidad de la información y la reducción de incertidumbres en la vía navegable.

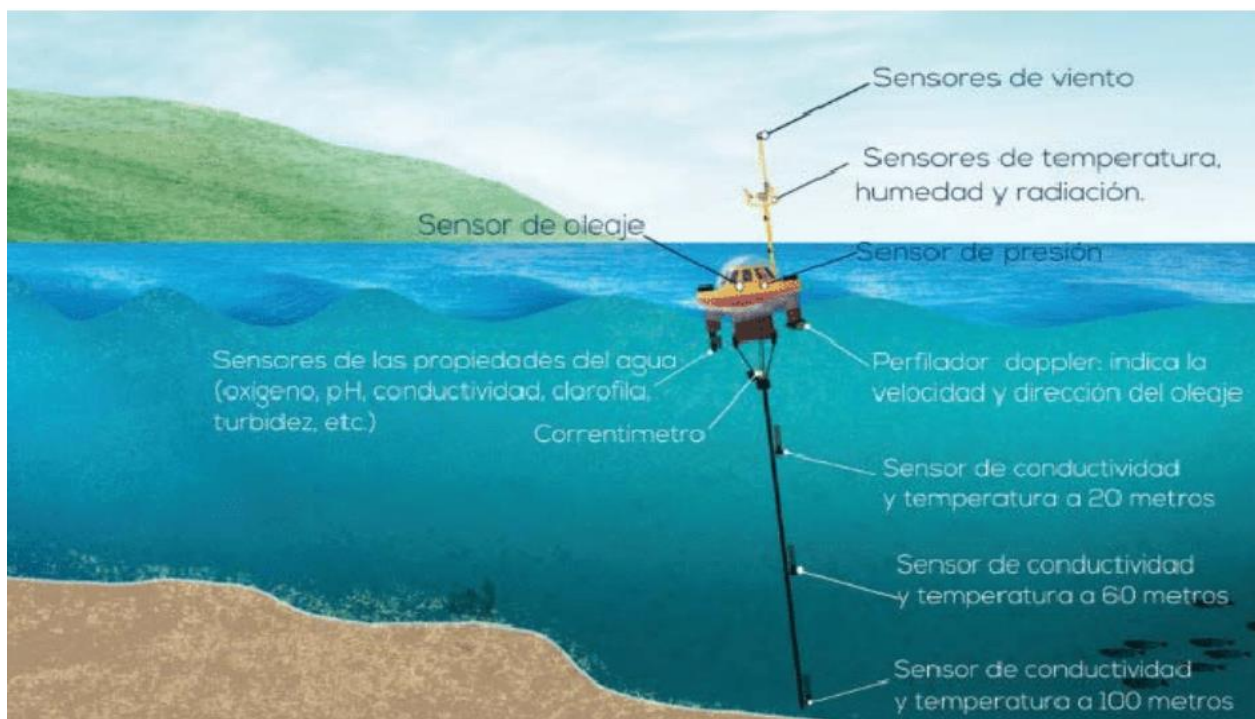
### 3 BOYAS INTELIGENTES

Las boyas inteligentes son dispositivos ubicados en lugares estratégicos, relevantes o de interés de la vía navegable donde resulta importante obtener datos. Las ventajas del desarrollo actual de las técnicas y equipos de medición así como las de transmisión hacen que los datos puedan ser obtenidos por equipos automáticos y transmitidos en forma inmediata a operadores o centros remotos. Esta disponibilidad, inexistente no hace tanto tiempo, abre un universo de posibilidades y

la vía. Puede realizar mediciones de velocidades y dirección de corrientes, altura de olas, condiciones meteorológicas incluyendo dirección y velocidad de viento, precipitaciones, temperatura, humedad, presión atmosférica, etc.

Son equipos autónomos alimentados por pantallas solares, con protección anti vandálica de alta seguridad (a veces igualmente vulnerada).

Su distribución a lo largo de la vía navegable permite recabar la información relevante en cada lugar y, por medio de la transmisión inmediata de los datos, actualizar la información disponible para los navegantes en tiempo real, dar alertas tempranas a los navegantes y habitantes de las ciudades costeras así como alimentar los sistemas predictivos que optimizan la circulación y organización de la vía a través del RIS ya



funcionalidades muy grande.

Este tipo de boyas puede llevar instalados sensores de nivel, informando el nivel del agua y si está creciendo, estable o en bajante. Puede realizar mediciones de calidad del agua detectando presencia de sustancias como hidrocarburos o midiendo turbidez para dar alertas tempranas a las ciudades o instalaciones con tomas de agua sobre

mencionado.

La información generada alimenta la misma base de datos del resto de los sistemas que conforman el RIS en tiempo real.

## 4 SEÑALIZACION VIRTUAL

Un sistema de este tipo deberá contar con software de generación de boyas virtuales con soporte de AIS.

Este tipo de desarrollo permite a través de boyas físicas o instalaciones en tierra emitir señales que son captadas e interpretadas por el sistema AIS de los buques y señalizados en las cartas náuticas digitales. No sólo indican una posición sino que pueden aportar mucha información relevante del punto que señalan.

Estos sistemas permiten señalar rápidamente irregularidades o riesgos en la vía navegable y/o reforzar y complementar las boyas reales. Su mayor ventaja respecto de las reales radica en la facilidad de su "instalación" o "remoción" ya que se puede realizar por software sin tener que trasladarse al lugar.

Este elemento también forma parte del sistema RIS y la integración de la información en tiempo real.

## 5 CARTAS DIGITALES

Con los relevamientos de fondos y los niveles de agua el software alimenta la información de la Carta Náutica Digital sobre la que se muestran todos los demás datos estáticos y dinámicos de la vía navegable.

## AIS de buques:

Sobre la carta náutica se muestra la posición dinámica de todos los buques que operan en la Hidrovía.

## Traza del canal y los veriles:

La Carta Náutica Digital le mostrará al Capitán en el puente de mando y en las pantallas remotas autorizadas la velocidad y trayectoria suya y de cualquier buque que navegue por Hidrovía.

En el puente de mando o en cualquiera pantalla se podrán visualizar las condiciones del Río en el momento y en cualquier punto de la trayectoria con la información suministrada en tiempo real por las boyas inteligentes y las VAtON.

## Realidad ampliada – Realidad virtual:

El desarrollo actual de las comunicaciones, de la localización y posicionamiento de equipos y el procesamiento de la información ha hecho que sean accesibles desarrollos de Realidad Ampliada y Realidad Virtual.

Realidad Ampliada es cuando a través del visor de un aparato (celular o Tablet generalmente) se visualiza la realidad y el sistema al interpretar la ubicación de la imagen que se está observando le superpone una capa con información (layer) que amplía los datos que uno tiene.

La Realidad Virtual reemplaza la realidad por la virtualidad. Genera imágenes que representan en forma nítida y clara la realidad que no se está pudiendo ver por distintos factores, por ejemplo: niebla, oscuridad, obstáculos visuales, etc.





Las Cartas Nauticas Digitales son un ejemplo en el plano de esta Realidad Virtual permitiendo “ver” la posición de obstáculos, distancia a otros buques, dirección y velocidad de los mismos, distancia a los veriles, profundidad y muchos otros datos que ni siquiera pueden ser conocidos por la observación visual.

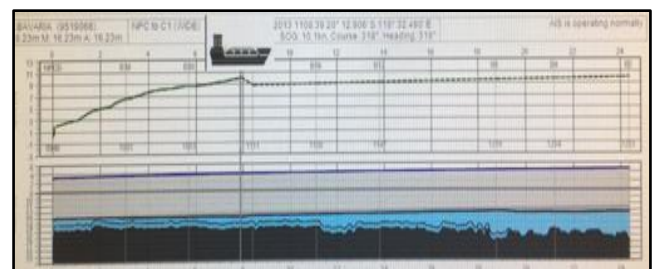
Fuente: Easy Marine

función de cada velocidad (rate of turn). El sistema le avisa y recomienda al Capitán y al Práctico la maniobra óptima teórica, recomendando incrementar o bajar la velocidad según el caso.

### Revancha Bajo Quilla Dinámica (Dynamic Under Keel Clearance):

Disponiendo todos los datos que el sistema pone a disposición de todos los usuarios, otra aplicación o módulo disponible es el predictor de la Revancha de Seguridad Bajo Quilla Dinámica (DUKC por sus siglas en inglés). Estos sistemas alimentados con las condiciones de la vía ya referidas, las características del buque y la información en tiempo real que están midiendo los sensores bajo la quilla del buque permiten estimar la velocidad de navegación en los pasos críticos asegurando las revanchas correspondientes y las condiciones de maniobrabilidad necesarias.

En algunos de los desarrollos disponibles, con solo clicar o tocar las pantallas táctiles sobre la imagen de AIS del buque aparece la imagen del calado bajo quilla, instantáneo y proyectado a toda la trayectoria.



Fuente: Kongsberg

Estos sistemas son cada vez más versátiles y con mayor capacidad de cálculo permitiendo, por

## 6 SISTEMAS PREDICTIVOS – INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Carta Nautica Digital se integra con bases de datos de los buques que alimentan a sistemas inteligentes que corren sobre la misma carta. Estos sistemas inteligentes procesan algoritmos que, en función de los datos de los relevamientos (batimetrías, datos de las boyas inteligentes, etc.), de los datos propios del buque (características físicas, propiedades náuticas), los datos de las condiciones de carga (calado estático) y otros factores que sean relevantes para el análisis que se quiere desarrollar, permiten determinar parámetros que son informados al Capitán o el Práctico en tiempo real guiándolos en la navegación, dando alertas tempranas de situaciones de peligro o ayudando en la toma de decisiones.

A continuación se enumeran algunos ejemplos.

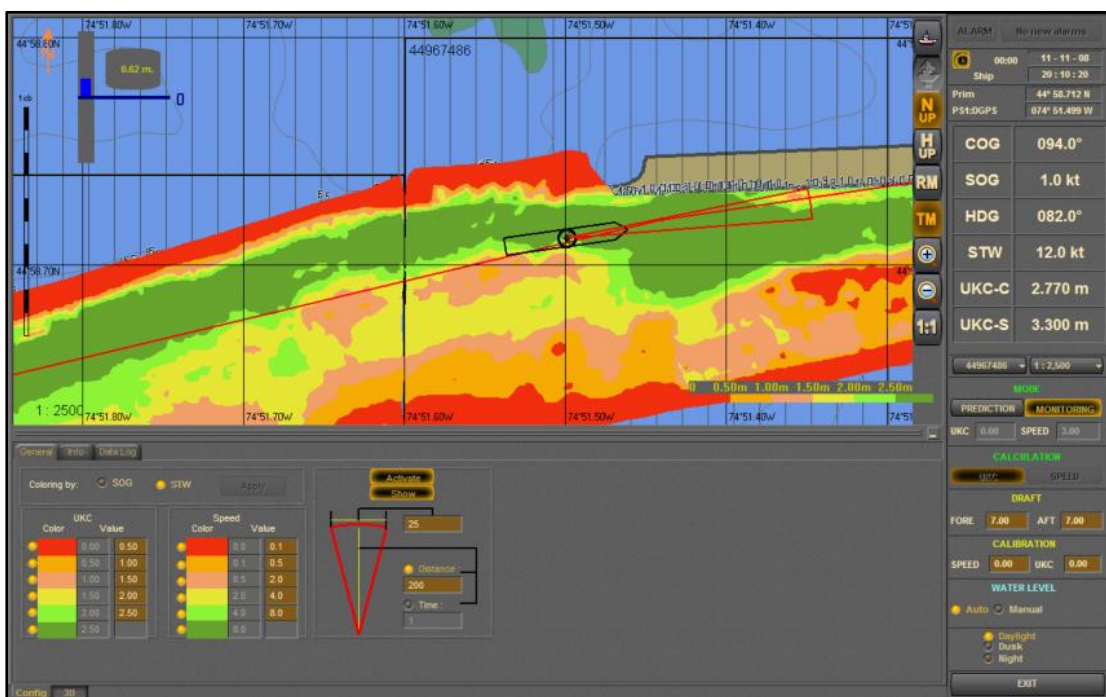
### Radios de giro en curvas para mantener el buque en el eje del canal.

En función del tipo de buque y las condiciones del río (profundidad, velocidad de corriente y dirección, vientos, olas y datos de relevamientos recientes) indicar en el puente de mando la maniobra óptima que debe realizar el buque en cada punto para girar por el centro del canal. Esto lo realiza teniendo en cuenta radio de giro del buque (turning radius) y su tasa de giro (deg/min) en

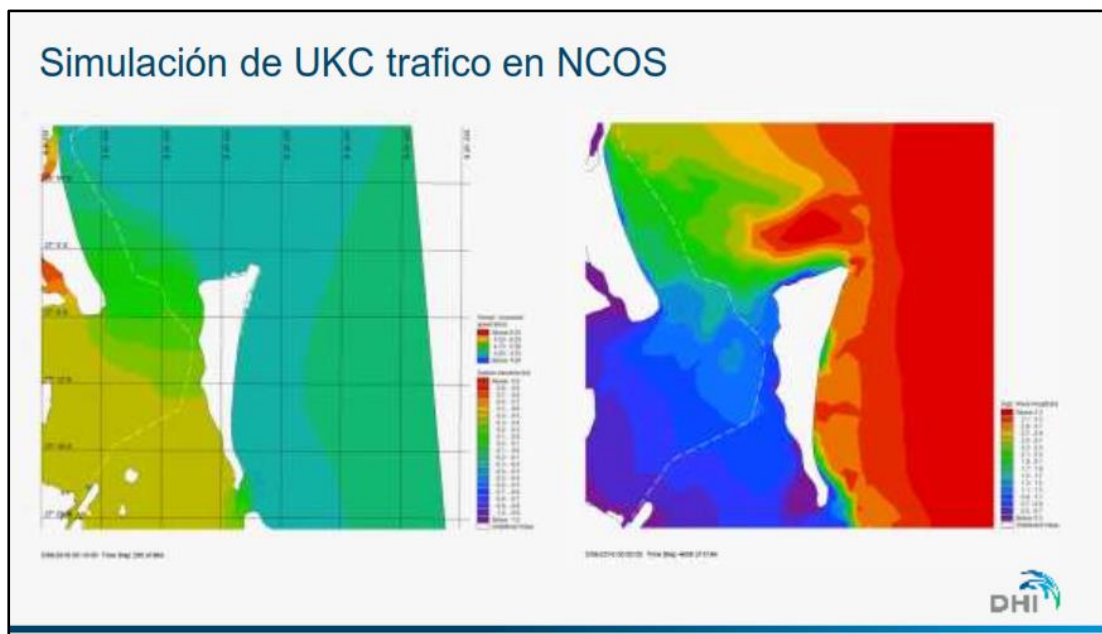
ejemplo que con el buque en el Puerto de carga el Capitán simule el viaje de salida a distintos calados a la velocidad estimada de navegación y el sistema le indicará el espacio disponible bajo quilla. O bien, cargando el squat del buque, la velocidad de navegación y el espacio deseado bajo quilla el sistema le indicará el calado estático de proa y popa que le permite mantener esa condición.

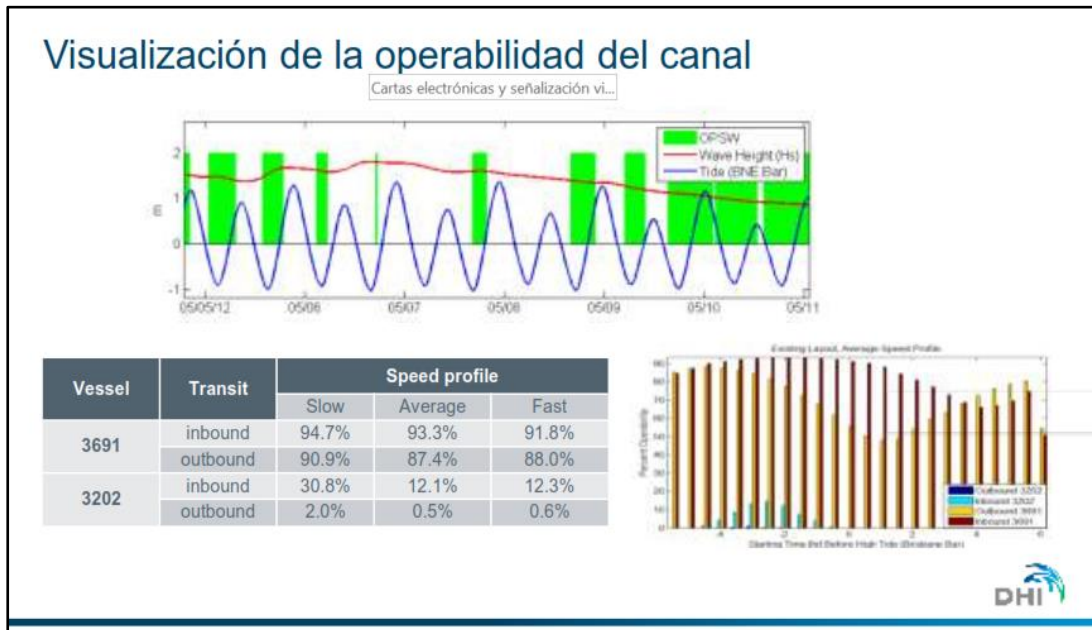
Así mismo el sistema le indicará en cada caso las velocidades a las que puede navegar, limitándolo solo en los pasos críticos a la velocidad que le permita mantener el espacio definido.

Todas estas funcionalidades permiten maximizar la carga para las condiciones reales existentes en cada momento optimizando cada viaje.



Fuente: Wartsila





Fuente: DHI

- asignación de radas y uso de zonas de maniobra,
- reprogramar en función de la actualización de información en tiempo real,

## 7 CONTROL DE TRÁFICO - PROGRAMACION DE OPERACIONES

Hasta ahora hemos visto cómo se pueden recopilar más datos, de mejor calidad y con mayor velocidad de disposición de los mismos, incluso muchos de ellos en tiempo real. Hemos visto también, cómo esos datos pueden estar a disposición del Capitán y del Práctico en el puente de mando y con ellos optimizar la navegación haciéndola más segura, incluso permiten programar con anticipación la navegación a realizar optimizando las velocidades previstas de navegación, las revanchas bajo quilla necesarias y estimar con precisión el tiempo total de navegación entre el punto de partida y el de destino.

Pero, si bien todas estas ventajas ya de por sí son muy valiosas y aportan muy importantes mejoras de eficiencia, seguridad y reducción de costos al sistema, su potencial y uso no se agota en este punto.

La integración de toda esta información, sumada a la información de todos los buques del sistema permite programar el funcionamiento de todo el conjunto optimizando todo el sistema.

Esta integración permite, a través de un Centro de Control:

- monitorear en todo momento el funcionamiento del sistema,
- detectar problemas en tiempo real. Por ejemplo varaduras, accidentes, detenciones de buques o pérdidas de gobierno, etc.
- programar la circulación a varios días vista conociendo los planes de ingreso y egreso de buques al sistema, sus tipos de carga, dimensiones, etc.

Para esto, a la información ya enumerada anteriormente se sumaría la información de los buques previstos a ingresar al sistema donde los usuarios informarán de sus programaciones de operación con los datos del nombre del buque y registro (de ahí surgen todos los datos técnicos del mismo), tiempo de arribo estimado (ETA por sus siglas en inglés), carga (o cantidad de pasajeros) en el arribo, terminales de destino (inicial y posteriores) y fecha estimada de partida.

El procesamiento de esta información con sistemas de inteligencia artificial permitirá programar la secuencia de ingreso, egreso y circulación dentro del sistema de todos los buques respetando las prioridades de uso de canal, reservas de seguridad, tiempos máximos de espera y demás parámetros que se impongan al sistema. A su vez, ante cambios o modificaciones permitirá la reprogramación y análisis de alternativas.

Como ya se vio en puntos anteriores, el conocimiento de las condiciones de carga de cada buque permitirá, en función de las velocidades admisibles por los calados dinámicos de seguridad bajo quilla, estimar los tiempos de navegación requeridos para cada buque.

La combinación de todas estas variables ha resultado siempre en una elevada incertidumbre y dispersión de los tiempos de navegación y otros factores, pero en la actualidad eso se está reduciendo, las líneas marítimas hacen cada vez más precisos y previsibles sus servicios gracias a la incorporación de captura frecuente de datos, disponibilidad inmediata de ellos y procesamiento adecuado de los mismos.





Toda esta optimización redundará finalmente en una reducción de los costos de fletes tanto por reducción de tiempos como por optimización de la capacidad de carga por viaje, reducción de costos por siniestros tanto por pérdida de tiempo de los buques como por la reducción de las primas de seguros y por mejor organización de las terminales y puertos al poder asumir compromisos y organizar sus actividades con menor incertidumbre.

#### **Disponibilidad – Facilidad de acceso a la información:**

La ventaja de la integración de todos estos sistemas hace que hoy en día toda la información pueda estar disponible y accesible en computadoras, celulares, Tablets y cualquier otro dispositivo que se pueda interconectar a una red.

Estos sistemas pueden tener, y en este caso deberán tenerlo, distintos permisos de acceso de acuerdo al usuario y las funciones para las cuales lo requiera o deba acceder.

Una ventaja importante del sistema integrado es que permite almacenar toda la información de las navegaciones realizadas generando y alimentando continuamente una base de datos de la operatoria real de la Hidrovía que permitirá ajustar mejor los proyectos futuros, las correcciones a los algoritmos de programación y comprender mejor el sistema. Además alimentará los simuladores de maniobras para la capacitación de Prácticos y otras funcionalidades.

#### **Calidad de la información:**

Todo sistema es tan bueno como la calidad de la información que lo alimente y el uso que haga de la misma. En este sentido el uso puede ser controlado en cualquier momento revisando los algoritmos de proceso.

Pero la calidad de la información que alimente el sistema debe ser garantizada en todo momento ya que cuando se mezcla información de buena calidad (confiable) con información de baja calidad (no segura) toda pasa a tener la calidad de no segura y no se recupera la confiabilidad hasta que la información original no está totalmente reemplazada por nueva información segura.

En este sentido son fundamentales los protocolos de obtención de información y relevamientos, el aseguramiento de la calidad de los mismos, la certificación por organismos responsables (SHN, PNA y otros organismos intervinientes según la información), etc. Deben en todo momento buscarse procedimientos seguros, confiables, estandarizados y eficientes privilegiando la generación de información en cantidad y su disponibilidad en tiempo real sin perder la calidad y confiabilidad de los mismos.

Los procedimientos a establecer deberán contemplar la participación, validación y auditoría de los organismos responsables. Para los ejemplos dados Prefectura Naval Argentina, Servicio de Hidrografía Naval, Servicio Meteorológico Nacional.

#### **Seguridad de la información:**

Todo proceso virtual y la circulación de la información en “la nube” genera temores de cyber ataques, fallas o vulnerabilidad. Si bien es cierto que existen ciertos riesgos, la realidad es que los sistemas han demostrado altos grados de seguridad y altísimos beneficios. No se puede renunciar a estos beneficios por el temor a los ataques o problemas y los sistemas están pensados para tener redundancias, controles y back-ups.

Igualmente, en general, muchas de estas funcionalidades conviven y convivirán con los sistemas físicos actuales aportando beneficios adicionales pero no reemplazándolos totalmente.

#### **Manejo del Centro de Comando u Organización del Sistema y su Programación:**

En el marco de una organización de este tipo se entiende como óptimo un sistema en el cual convivan y coparticipen el Organismo de Control de la Hidrovía como organizador técnico de la misma, controlador de las acciones del Concesionario y organismo específico y con capacidad técnica para adoptar decisiones en la vía navegable con la Prefectura Naval Argentina, responsable del poder de policía en la vía navegable y de la seguridad de la navegación.

La información en tiempo real, las alertas tempranas, las programaciones y decisiones de organización del sistema que surjan de la operación de este Centro de Comandos deberán estar disponibles en tiempo real para todos los usuarios, obviamente segregados en función de su nivel de acceso al sistema en función del uso del mismo que hagan o requieran.

#### **8 CONCLUSIONES**

**Como se indicó en el inicio del presente trabajo, muchos de los dispositivos o sistemas enunciados ya existen en la Hidrovía, al menos en forma parcial, pero no están integrados en la medida en que podrían estarlo. Un desarrollo completo e integrado de las características del planteado, permitirá un salto incremental muy importante de eficiencia y seguridad de la vía navegable.**

**Resumen del funcionamiento e integración del sistema:**

