

Paper CA1117 - EJEMPLO DE USO DEL MODELO IWRAP EN EL RIO DE LA PLATA: "NAVEGACIÓN EN EL CODILLO".

MANCERE, Antonella; GARCIA, Sebastián
Hidrovia S.A

Email: anmancere@gba-hidrovia.com.ar; sgarcia@gba-hidrovia.com.ar

ABSTRACT

El estuario del Río de La Plata, último eslabón de las Hidrovías del Río Paraná y Río Uruguay, es un sistema fluvial indispensable para el transporte argentino. Radica su importancia en la actividad y el desarrollo socio-económico al canalizar aproximadamente el 80% de las cargas de agrograneles y más del 90% del transporte de contenedores del país, brindando conexión con el océano y a través de él, con el mundo. Se caracteriza por su baja profundidad, corrientes cambiantes, fuertes vientos y un régimen de marea semi-diurna ingresante desde el Océano Atlántico. Otra de sus singularidades es su ancho, variable desde los 40 km próximo al delta del Río Paraná y hasta 220 km en su límite exterior previo a la desembocadura en el Mar Argentino. Esta particular característica ocasiona dificultades en su navegación, principalmente por la pérdida de puntos de referencia visual sumado a la vasta extensión del canal Punta Indio, vía principal de acceso al sistema de canales del Río de La Plata, sector donde se permite la navegación en un solo sentido, excluyendo zonas de cruce y de sobrepaso autorizadas por Prefectura Nacional, Autoridad Marítima Argentina. Esto, junto con reglas de uso para el tráfico de buques especiales y las características hidrodinámicas y geométricas del río previamente mencionadas, plantea restricciones y demoras en la navegación. La empresa Hidrovia S.A, concesionaria de la Vía Navegable Troncal Confluencia-Océano, encargada del mantenimiento del sistema de señalización y tareas de dragado entre otros trabajos, realiza también estudios y monitoreo del tráfico de buques en tiempo real, con el fin de evaluar y desarrollar mejoras para la navegación. Para ello se vale de IWRAP, un avanzado software de procesamiento de datos del Sistema de Identificación Automática de Buques, conocido por sus siglas en inglés como AIS, desarrollado por la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación (IALA). Este programa, permite evaluar la densidad y estudiar el comportamiento del tráfico de las embarcaciones en las zonas deseadas, brindando entre otros parámetros, su distribución transversal y longitudinal. En este marco, el presente documento plantea el seguimiento y análisis de la navegación 10 km aguas arriba y aguas abajo del km 143.9 del Canal Punta Indio, zona conocida como El Codillo, mediante la aplicación del software IWRAP. De este modo, se pretende analizar y estudiar el contexto, la complejidad y las restricciones propias en la navegación del tramo en cuestión, evaluando la posibilidad de desarrollar una zona de cruce del tipo By-Pass.

1 Introducción

El transporte fluvio-marítimo responde a la demanda del comercio internacional, el cual canaliza más del 80% de las cargas transportadas a nivel mundial debido a la eficiencia que presenta para el desplazamiento de grandes volúmenes (mayor capacidad de almacenaje) a grandes distancias.

Para la Argentina, el estuario del Río de la Plata es el sistema fluvial indispensable para el desarrollo socio económico del país, debido a que canaliza más del 80% de cargas de agrograneles y más del 90% del transporte de contenedores del país, brindando conexión con el Océano, y a través de él, con el mundo. Lo compone un sistema de canales de navegación, siendo su principal vía de acceso el Canal Punta Indio.

Las peculiares características del Río de La Plata, sumado a las restricciones que se imponen dentro de este canal, ocasionan aspectos particulares y demoras en la navegación.

La empresa Hidrovía S.A, concesionaria de la Vía Navegable Troncal Confluencia-Océano, entre otras tareas, se encarga de realizar el seguimiento de buques y efectuar diversos estudios con el fin de evaluar y desarrollar mejoras para la navegación. Para ello, se vale de IWRAP MKII (*IALA Waterway Risk Assessment Program*), un avanzado software de procesamiento de datos del Sistema de Identificación Automática de Buques, conocido por sus siglas en inglés AIS, desarrollado por la Asociación Internacional de Ayudas a la Navegación (*IALA*).

IWRAP permite evaluar la densidad y estudiar el comportamiento del tráfico de las embarcaciones en las zonas deseadas, brindando entre otros parámetros, su distribución transversal y longitudinal. Esto presenta ventajas a la hora de evaluar el tráfico para realizar un cambio de traza o reposicionar señales, verificar embestidas, realizar el seguimiento de embarcaciones específicas o incluso analizar el comportamiento del tráfico frente a situaciones extraordinarias como ser la bajante que afectó el Río Paraná en el año en curso.

2 Objetivo

Dentro de este marco, el objetivo principal del presente trabajo consiste en mostrar la potencialidad del software de procesamiento de datos AIS *IWRAP*, para el estudio del comportamiento y composición del tráfico marítimo a lo largo de la vía navegable. Para ello, se propone la utilización del software para el Canal Punta Indio, por su importancia y complejidad, principalmente en su zona crítica de navegación conocida como El Codillo.

Se persigue caracterizar el tráfico que lo compone y la variación del mismo a lo largo y ancho del canal. A su vez, evaluar las demoras producidas tanto por las restricciones propias del canal como por aquellos factores externos, por ejemplo las mareas, y finalmente dar a conocer la posibilidad de una solución frente a las problemáticas que allí se presentan, con el fin de disminuir los tiempos de navegación y optimizar el uso del canal principal de acceso.

3 Metodología

El avanzado software de tratamiento y procesamiento de datos AIS, *IWRAP MKII*, es una herramienta cuantitativa de modelado SIG (Sistema de Información Geográfica) útil para la evaluación del riesgo de navegación de buques. El software permite evaluar la frecuencia de colisiones o varaduras de buques en una vía navegable determinada en función a la información sobre el volumen/composición del tráfico, la geometría de la ruta y la batimetría.

El principal beneficio del procedimiento formulado es que permite la comparación de varios diseños de rutas de navegación mediante la evaluación de las frecuencias relativas de colisiones y varaduras. Debe tenerse en cuenta que el programa no evalúa consecuencias, por lo que las mismas deberán ser valoradas por un profesional. La Figura 1 muestra un diagrama básico de procesamiento de la información AIS.

Por otro lado, la composición del tráfico adquirida a través de los datos AIS permite obtener una imagen tanto estática como dinámica de la distribución del tráfico en la zona de estudio o bien un mapa de calor. Una imagen estática se logra mediante los “*density plots*”, los cuales proporcionan una imagen raster de las derrotas de los buques (las densidades se obtienen por superposición de las mismas), pudiéndose aplicar y combinar diversos filtros según el estudio que se requiera: incluir/excluir tipo de buque, MMSI, IMO, velocidad, dimensiones de buque, dirección, rango horario, entre otros. A su vez, puede obtenerse la distribución lateral de una sección deseada, la cual se ajusta mediante una distribución del tipo Normal, Gumbel, Log Normal, Weibull, Beta o bien, una combinación entre ellas (cualquier número de cualquier distribución). Una imagen dinámica se logra mediante la reproducción de los datos de AIS, con la posibilidad de adelantar o atrasar a la velocidad que uno requiera, aplicar los filtros previamente mencionados y generar videos.

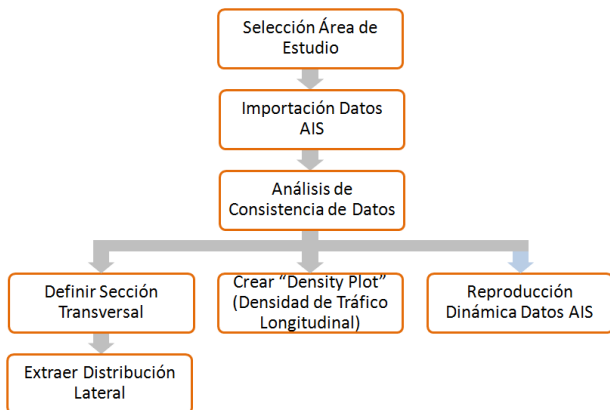


Figura 1: Uso de Datos AIS en IWRAP

Otra herramienta que presenta *IWRAP* es la posibilidad de realizar el análisis de emisiones de los buques. La misma determina las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otros, según el tipo de buque (clasificación por mensaje 5 de AIS).

La interfaz del programa resulta muy dinámica, presentándose el planeta, en una primera instancia, con el fin de elegir la zona a analizar. La visualización se ofrece mediante *Open Street Maps* pero con la posibilidad de adoptar una interfaz distinta como *Blue Marbel*, *Plain Map* o *SRTM Map (Shuttle Radar Topography Mission)*. Por otro lado, existe la opción de cargar una carta raster (la cual debe calibrarse) con la posibilidad de definir la transparencia de la misma que uno desee. Las coordenadas siempre son indicadas tanto en grados y minutos decimales como en grados decimales, en el lugar donde se encuentre el puntero, en la parte inferior del programa.

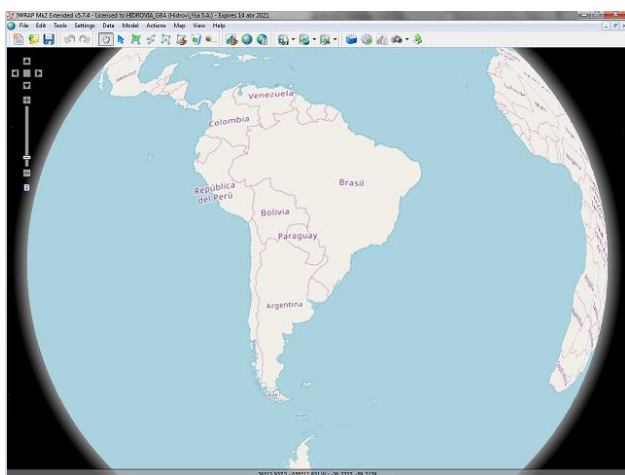


Figura 2: Iniciando IWRAP

4 Caso de Aplicación

4.1. Canal Punta Indio – El Codillo

El Canal Punta Indio resulta la vía principal de acceso al sistema de canales que componen al Río de La Plata, siendo este último el eslabón final de las Hidrovías del Río Paraná y Río Uruguay. Su extensión de unos 118 kilómetros abarca desde km. 239.1 al km. 121.1. Está señalado bajo las normas del sistema IALA región B. Posee un ancho 100 metros, llegando a 160 metros en la zona de cruce. De acuerdo a la normativa de la Prefectura Naval Argentina (PNA) existe una zona contigua de tránsito que se extiende 300 metros a ambos lados del canal (medidos perpendiculares a las líneas de boya), desde el km 118.5 al km 239.1. Si bien está diseñado y mantenido a una profundidad no menor de 10,36 m (34 pies), cuenta con una profundidad máxima de 14.5 metros.

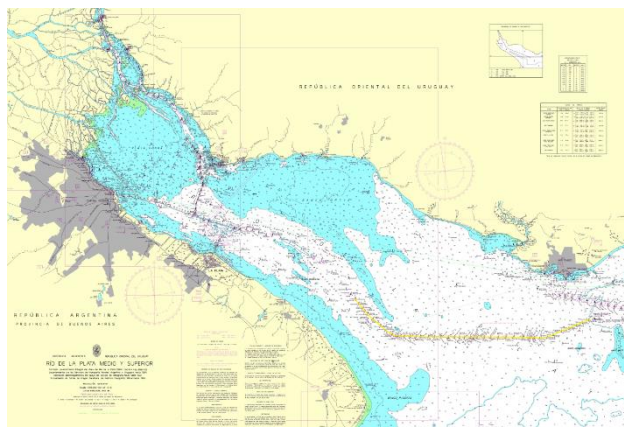


Figura 3: Canal Punta Indio (Carta H-116)

Debido a las características propias del Río de La Plata y por razones de ordenamiento y prevención de situaciones riesgosas en la vía navegable, Prefectura Naval Argentina dispone normas particulares de seguridad de la navegación, zonas de prohibición de cruces o adelantamientos y zonas permitidas para el cruce de buques particulares, dispuestas en la Ordenanza N°4-18 (DPSN).

En lo que respecta a la navegación, se limita que la misma sea por dentro o fuera del canal según clasificación de buques:

Clase A (calados ≥ 29 pies): obligados a utilizar el canal desde/hasta el Km. 239.1

Clase B (calados ≥ 21 y < 29 pies): utilizarán el canal en toda su extensión hasta/desde el Km. 210 continuando la navegación hasta/desde el Km. 239.1 por fuera del canal, a menos que por razones de altura de marea no pudieran liberarlo

Clase C (calados < 21 pies): obligados a utilizar la "Zona Contigua Norte" (ZCN) si navegan de entrada

y la "Zona Contigua Sur" (ZCS) si lo hacen de salida.

Independiente de la clasificación del buque, todos deberán respetar las normas de adelantamiento o prohibición de cruce. Dentro de estas, se destaca la zona comprendida entre los pares de boya 23 y 19 (km. 140.8 y km. 150.0) la cual se muestra en la Figura 4, conocida como El Codillo, en donde queda prohibido el cruce o adelanto para los buques que estén obligados a navegar por dentro del Canal Punta Indio, o que por altura del río se vean obligados a hacerlo por allí.

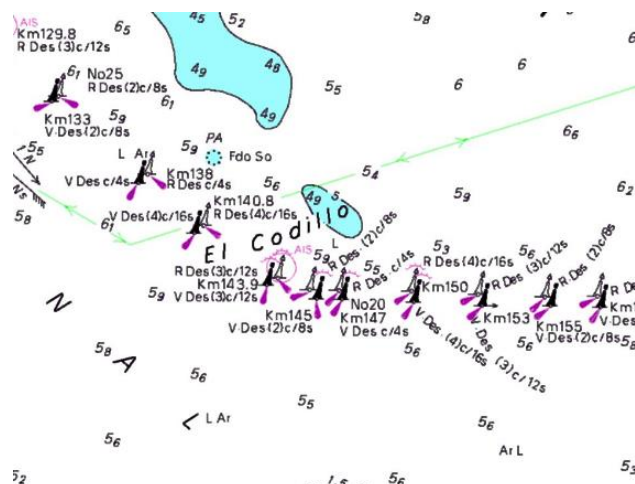


Figura 4: El Codillo (Carta H-116)

A esta prohibición de cruce se agregan otras restricciones a la navegación en ciertas condiciones, según la Ordenanza N°4-18 de la PNA. Esta disposición obliga a que deban generarse reservas de canal para los buques gaseros, mayormente entre los meses de mayo y septiembre, y para los buques de pasajeros/cruceros cuyo arribo se concentra en la temporada entre los meses de noviembre y abril. Esto implica que los buques que naveguen en sentido contrario no entrarán al tramo reservado hasta que el buque que solicitó la reserva lo libere, mientras que aquellos que naveguen en la misma dirección no tendrán permitido el sobrepaso y deberán mantenerse a una distancia prudencial. Todo ello se traduce en demoras dentro del canal.

Otro factor que genera restricciones a la navegación es el fenómeno de las mareas. El estuario del Río de La Plata se ve fuertemente influenciado por las mareas ingresantes desde el Océano Atlántico y, sumado a la baja profundidad que lo caracteriza, estas juegan un rol determinante en la navegación siendo que en ciertas ocasiones los buques deben fondear en zonas especiales hasta tener la profundidad suficiente para continuar hacia su destino. Si a esto se le agrega que existe solo un tramo con sobreebanco para facilitar el cruce entre buques con calados superiores a los 29 pies (entre pares de boya 7 y 13) y la limitación del número de buques que pueden cruzarse en convoy,

las demoras pueden extenderse por grandes periodos.

Es por ello que mediante el software IWRAP se busca realizar el seguimiento del comportamiento del tráfico en la zona de El Codillo y estudiar las demoras ocasionadas en el Canal Punta Indio, tanto por las restricciones de seguridad impuestas, como por fenómenos naturales propios del estuario.

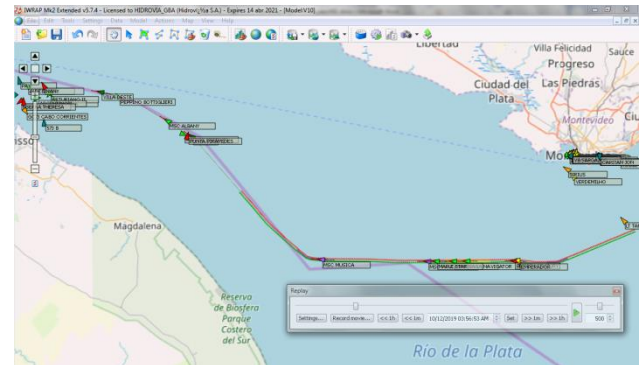


Figura 5: Interfaz IWRAP, Canal Punta Indio

4.2. Período de Estudio

Con el fin de obtener una serie representativa y poder abordar episodios de reserva de canal, el estudio se basó en un período de seis meses comprendido entre noviembre de 2019 a abril de 2020, del cual se analizaron 130 días garantizando en la muestra plena disponibilidad de datos AIS. De este modo, se abarcaron las demoras ocasionadas por la reserva de canal por los buques de pasajeros/cruceros.

Cabe destacar que debido a la emergencia sanitaria que se atraviesa a nivel nacional y mundial en el año en curso, la navegación de buques resultó restringida a mediados del mes de marzo, lo que trajo como consecuencia la cancelación de reservas de canal para buques cruceros.

5 Procesamiento de Datos

5.1. Densidad de Tráfico

En primera medida se busca caracterizar la densidad de tráfico mediante la herramienta "density plot". Esto se traduce en un gráfico semejante a un mapa de calor, donde se representan las derrotas superpuestas de los buques que navegaron por el canal.

La densidad de tráfico se representa por una escala de colores adoptada por el profesional a cargo de la modelación. En este caso, se adoptó el método por porcentajes con la escala indicada en la Figura 6.

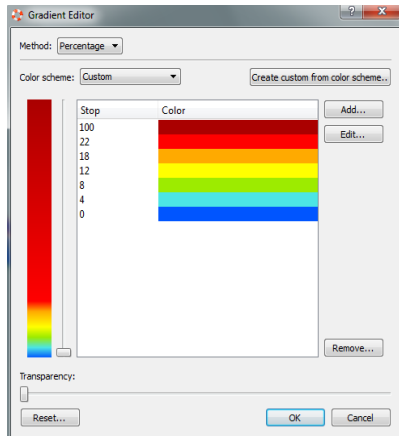


Figura 6: Referencia escala de colores

Para obtener mayor detalle, se optó por diferenciar el tráfico entrante del saliente al canal, mediante la aplicación del filtro de dirección, debido a que la extensión del mismo se desarrolla en gran porcentaje de este a oeste y no posee grandes sinuosidades.

Una vez generada la densidad para ambos casos, se exportó a *Google Earth*, donde se superpuso con la traza de la vía, el boyado y las zonas contiguas de navegación. Los resultados pueden apreciarse de la figura 7 a la figura 10:



Figura 7: Densidad tráfico entrante en El Codillo

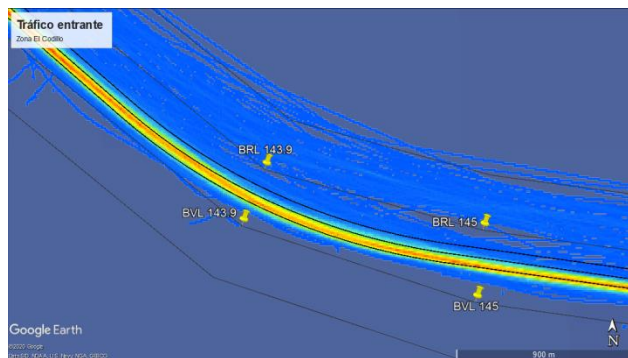


Figura 8: Densidad tráfico entrante en El Codillo (zoom)

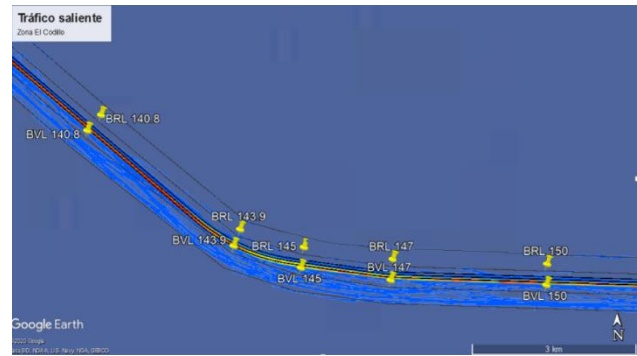


Figura 9: Densidad tráfico saliente en El Codillo

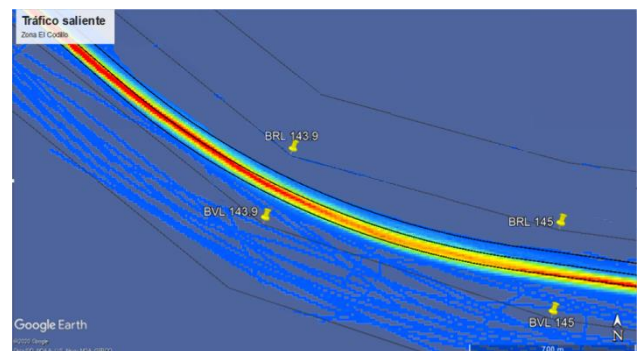


Figura 10: Densidad tráfico saliente en El Codillo (zoom)

Se puede observar claramente como la mayor densidad de tráfico navega por dentro de los límites del canal. Una proporción menor lo hace en las zonas contiguas de tránsito pero diferenciándose la ZCN con mayor densidad. A su vez, esto se debe a las limitaciones propias de la navegación y a los tipos de buques que allí navegan.

Una vez definido el tráfico a lo largo del canal se busca entender cómo este se distribuye y compone en diversas secciones transversales, logrando de esta manera extraer la distribución lateral. Ello se obtiene mediante la adopción de alguna de las siguientes herramientas:

- "Legs" (piernas): se generan trazas que se determinan coincidentes con la traza del canal (tantas cuantas sean necesarias, en función del detalle que uno requiera). Los resultados arrojan el tráfico que atraviesa la sección transversal, pero a lo largo de toda la pierna.
- "Passage lines": Se realiza una traza de ancho deseado transversal al canal, donde se determina el tráfico que pase por allí. El muestreo de datos se vierte tanto de forma gráfica (histograma) como en hojas de cálculo.

En la Figura 11 puede verse, mediante la interfaz de *IWRAP*, la distribución transversal del tráfico para la zona de El Codillo, sobre el canal demarcado y las zonas contiguas de tránsito importadas desde *Google Earth*. El histograma en verde representa el tráfico entrante mientras que el

azul representa el saliente. El eje viene dado por la pierna, la cual coincide con el eje del canal.

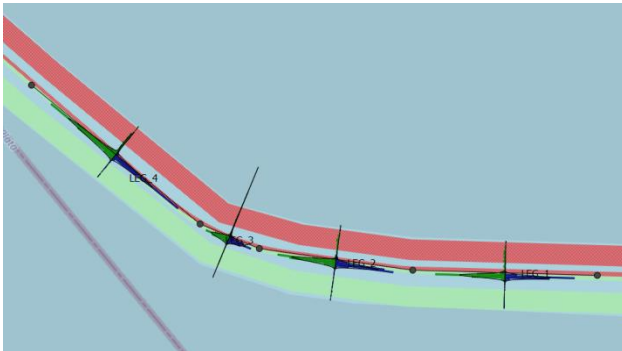


Figura 11: Distribucion transversal de tráfico

Debido a que la densidad del tráfico no varía en la zona de estudio, ya que no hay accesos ni vías alternativas que aumenten o reduzcan el tráfico, se desarrollará para mayor detalle la pierna 1 y la sección transversal correspondiente al km 143.5 analizadas.

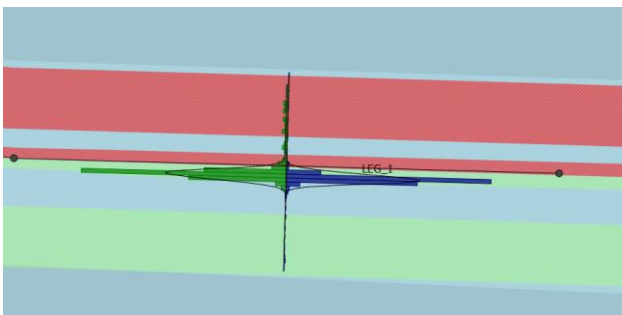


Figura 12: Pierna 1

Se observa que no existe mayor variación en cuanto a la distribución transversal de tráfico según la dirección de navegación, siendo coincidentes respecto al eje, los máximos para cada caso.

La figura 13 representa cómo se distribuye el tráfico entrante tanto en la vía principal como en la ZCN, ajustándose con una combinación de distribución normal y uniforme, mientras que la figura 14 muestra la frecuencia en función de la eslora de los buques que componen dicho tráfico.

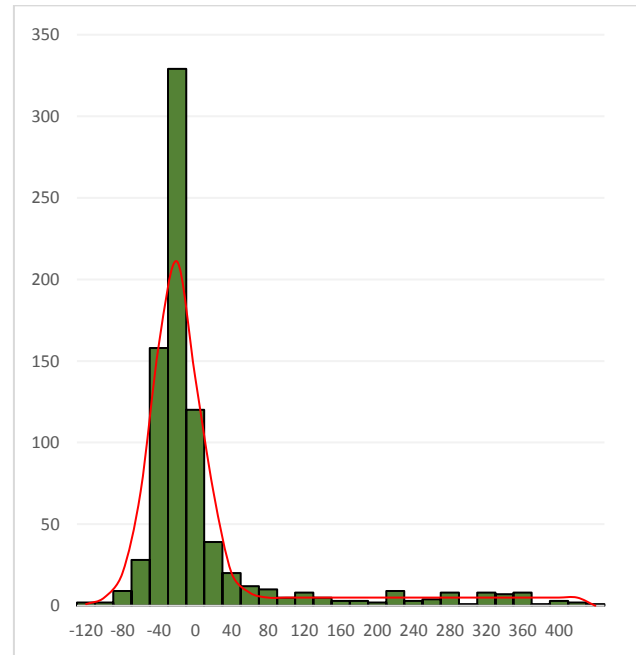


Figura 13: Distribucion transversal, tráfico entrante

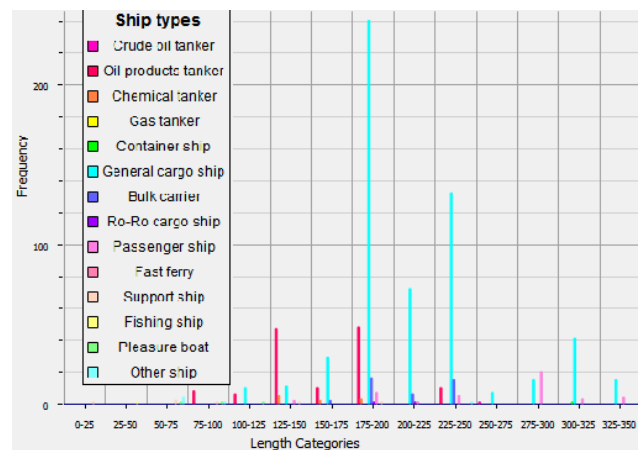


Figura 14: Frecuencia en funcion de la eslora, entrante

Las figuras 15 y 16 representan el tráfico saliente, siendo que la distribución transversal se ajusta con distribución normal.

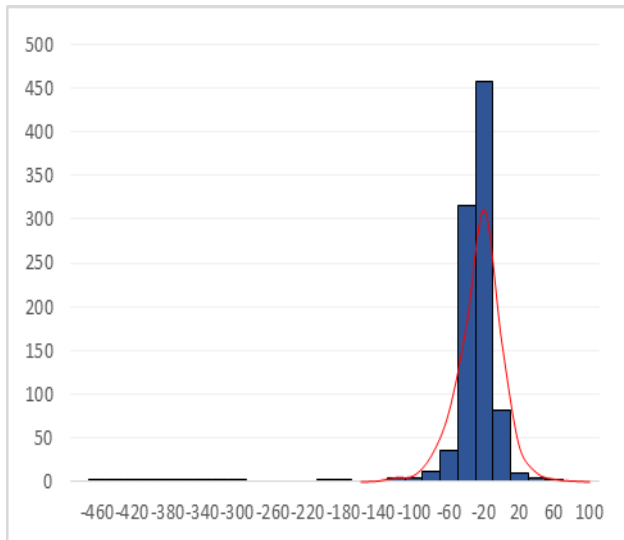


Figura 15: Distribucion transversal, tráfico saliente

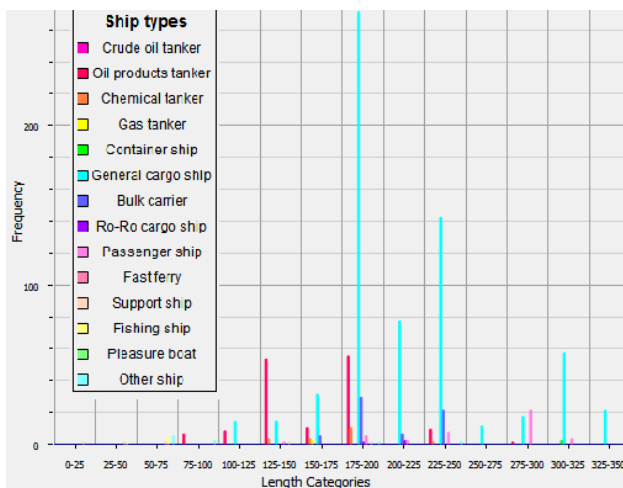


Figura 16: Frecuencia en funcion de la eslora, saliente

En total, se contabilizaron 812 viajes de buques entrantes y 940 viajes de buques salientes en El Codillo. En ambos sentidos, el 70% del tráfico está compuesto por buques de carga general, seguidos por un 15% de buques tanque de productos petroleros y por último 5% de buques de pasajeros y 5% de graneleros. Esta clasificación corresponde al tipo de buque otorgado por el mensaje 5 de AIS.

Las esloras más frecuentes se encuentran entre los 175-200m y 225-250m (un 60% sobre el total), lo cual mantiene relación según los tipos de buque previamente mencionados.

Si se superponen las densidades con la distribución transversal, puede observarse cómo las mayores frecuencias se corresponden a las mayores densidades las cuales se dan por dentro del canal (según escala, en rojo y amarillo) mientras que las menores frecuencias, y por tanto menores densidades (en azul), se dan en la zona contigua de tránsito. Esto se observa en la figura 17 para la densidad de tráfico entrante y en la figura 18 para la densidad de tráfico saliente.

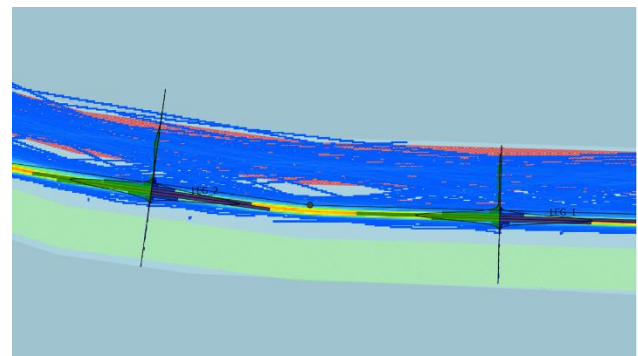


Figura 17: Densidad de tráfico entrante y distribución transversal

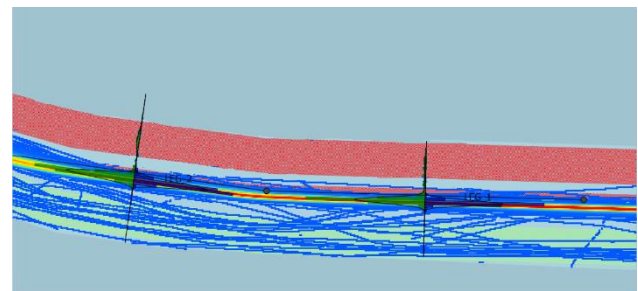


Figura 18: Densidad de tráfico saliente y distribución transversal

Para comprender las magnitudes de estas distribuciones y las normas particulares dispuestas para la navegación en el canal, se analizaron las zonas contiguas obteniéndose:

Zona Contigua Norte

- Abarca solo el 7% de los viajes de entrada
- El 70% de los viajes fueron realizados por buques del tipo carga general, del tipo clase C (calados promedio de 6.1 metros)
- La eslora promedio fue de 160 metros y la manga promedio de 26 metros

Zona Contigua Sur

- Abarca solo el 1,5% de los viajes de salida
- Los viajes se distribuyen entre buques del tipo pesqueros, unos pocos tanque de productos petroleros y otros, todos de clase C
- La eslora promedio fue de 110 metros y la manga promedio de 18 metros

Por otro lado, se comparó la distribución total con el perfil transversal de la vía navegable en la sección más crítica de El Codillo, la curva en el Km. 143.9. Se puede observar en trazos rojos la ubicación de la traza y eje del canal y en trazo punteado el eje teórico del canal:

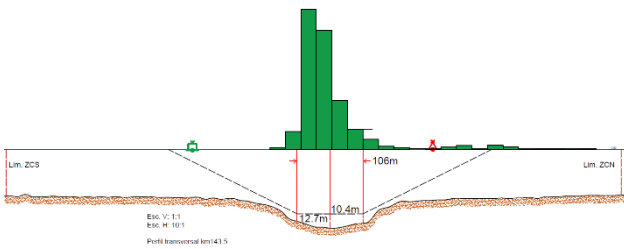


Figura 19: Distribución transversal Trafico entrante – Perfil transversal Km. 143.5

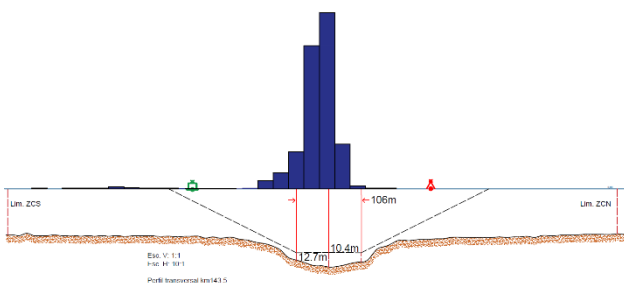


Figura 20: Distribución transversal Trafico saliente – Perfil transversal km 143.5

Se distingue que la mayor navegación, cualquiera sea el sentido, se da en las zonas de mayor profundidad (referidas al cero local), de unos 38.5 pies en promedio en esta zona. A su vez, el tráfico de entrada presenta mayor navegación en la ZCN si se compara con el tráfico de salida, para la ZCS. Esto se debe a que los buques mayormente entran en lastre con poco calado y salen cargados con mayor calado y por tanto tienen la obligación de navegar por dentro del canal y la necesidad de realizarlo en zonas más profundas.

5.2. Demoras

Como se mencionó previamente, las demoras dentro del Canal Punta Indio pueden producirse por diversos factores:

- a) *Restricciones propias de la vía troncal:* Diseñada como ruta de una sola vía, limitando a los buques a regular su navegación. Por reglamentación vigente, se prohíbe el cruce de buques cuyas esloras máximas sean superiores a 340 metros o sus mangas máximas sean superiores a 49 metros. A su vez, queda prohibido el cruce en la zona de El Codillo y entre el km 210.0 y 216.0 para cualquier buque que esté obligado a navegar por dentro del Canal Punta Indio o que por alturas del río se vea obligado a ello, cualquiera sea su categoría,

zonas donde también queda prohibido el adelantamiento para buques que se encuentren en situación de “vuelta encontrada”. Para esto último, existe la “zona de cruce” delimitada por los km 182.7 y 194.4.

- b) *Reserva de canal:* Para buques Gaseros y de Pasajeros la Autoridad Marítima otorga la misma en una hora determinada (solicitada por buque en cuestión). Los buques que naveguen en calado en sentido contrario deberán permanecer a la espera de la liberación del canal en las zonas destinadas a tal fin en el sistema, por lo habitual Recalada, fondeadero km 99 y en Zona Común.
- c) *Mareas:* resulta una restricción natural siendo una variable a considerar para comprender el funcionamiento del sistema. En el caso del Río de La Plata, el régimen de marea es semi-diurno con desigualdad diurna, lo que se traduce en dos pleamares y dos bajamares a lo largo del transcurso de un día lunar (24h 50'), con alturas disimiles. Esto trae como consecuencia que buques de gran calado, mayormente buques cargados, deban esperar al final de la bajamar para poder completar la navegación de salida de la Hidrovía. Pero las ondas oceánicas que arriban al Río de La Plata también poseen origen meteorológico, principalmente de los vientos oceánicos, afectando la forma e intensidad de la onda incidente, pudiendo superar holgadamente en amplitud a las mareas astronómicas y modificar aún más las condiciones para los buques cargados salientes.
- d) *Limitaciones para tráfico:* por causa de tráfico en la vía y razones de seguridad, refiere a que se limita el número de buques que puedan utilizar en forma simultánea la zona de cruce a 6 buques, ya sea por ejemplo 4 salientes x 2 entrantes o 5x1, incrementando la demora especialmente en temporada cosecha y de buques cruceros.
- e) *Causas meteorológicas:* por ejemplo, niebla o mal tiempo provocado por fuertes vientos que tornan inestables y dificultan las maniobras.
- f) *Propios del operador:* ya sea por necesidad del buque (por ejemplo, bunkering) o por decisiones netamente comerciales.

En el presente trabajo se limitó a tratar las demoras ocasionadas por los tres primeros factores. Para ello, se consideraron 25 viajes de buques

cruceros entrantes al canal mediante la herramienta de la imagen dinámica de *IWRAP*, es decir, la reproducción de los archivos AIS. Se determinó tiempo promedio, máximo y mínimo de navegación neta de los mismos, tomando como punto de inicio el km 239.1, el punto final del Canal Punta Indio (km 121.1) y el fondeadero km 99, según se indica en la Tabla 1.

N°	BUQUE	FECHA	t nav. PI	t nav. km99
1	ZAANDAM	13/11/19	04h 50m	06h 00m
2	ZAANDAM	21/11/19	05h 15m	07h 05m
3	VIKING JUPITER	02/12/19	04h 20m	05h 40m
4	COSTA PACIFICA	04/12/19	04h 15m	05h 25m
5	MSC MUSICA	10/12/19	04h 30m	05h 10m
6	MSC FANTASIA	11/12/19	04h 15m	05h 00m
7	COSTA PACIFICA	22/12/19	04h 45m	05h 35m
8	MSC FANTASIA	23/12/19	04h 15m	04h 50m
9	NORWEGIAN STAR	03/01/20	04h 50m	05h 30m
10	COSTA PACIFICA	04/01/20	04h 25m	05h 30m
11	AZAMARA PURSUIT	04/01/20	04h 25m	05h 30m
12	MSC MUSICA	04/01/20	04h 50m	05h 40m
13	MSC SINFONIA	07/01/20	04h 30m	05h 30m
14	MSC POESIA	08/01/20	04h 20m	05h 10m
15	MSC FANTANSIA	08/01/20	04h 55m	05h 35m
16	COSTA FASCINOSA	13/01/20	05h 05m	05h 55m
17	MSC MUSICA	14/01/20	04h 25m	05h 10m
18	AZAMARA PURSUIT	19/01/20	04h 30m	05h 30m
19	COSTA PACIFICA	19/01/20	04h 05m	05h 20m
20	CORAL PRINCESS	20/01/20	04h 00m	05h 00m
21	MSC FANTANSIA	21/01/20	04h 55m	06h 15m
22	MSC SINFONIA	21/01/20	04h 55m	06h 20m
23	MSC MAGNIFICA	24/01/20	03h 55m	05h 00m
24	ISLAND PRINCESS	15/02/20	04h 50m	05h 45m
25	AMAREA	22/02/20	05h 00m	05h 40m
t promedio navegación			04h 35m	05h 30m
t máx. navegación			05h 15m	07h 05m
t mín. navegación			03h 55m	04h 50m

Tabla 1: Tiempos de navegación

La velocidad promedio de navegación para estos viajes fue de 14.0 nudos, con velocidades máximas de 15.8 y mínimas de 12.2 nudos. Más del 90% de los viajes comenzaron entre las 21:45 y 01:30 hora UTC.

Tomando cada caso en particular, se verificaron que 17 de los viajes generaron demoras por la reserva de canal. 75% de las esperas se dieron en Zona Común y el 25% restante en fondeadero km 99. Para el primer caso, los buques con navegación en sentido contrario al buque que solicitó reserva de

canal, iniciaron su viaje 45 minutos más tarde que la hora de inicio del crucero pero su velocidad promedio de navegación fue de 7.5 nudos hasta el momento del cruce, es decir, la mitad que la velocidad promedio de los buques crucero. Por otro lado, aquellos que salieron desde km 99 emprendieron su viaje con una diferencia de cuatro horas pero a una velocidad promedio de 7 nudos. En ambas situaciones, los cruces se realizaron previos a la altura del km 121.0, cumpliendo con las normas vigentes para maniobras del Canal Punta Indio.

Si se analizan las mareas, el caso más desfavorable dentro de condiciones ordinarias, la demora resulta en 12 horas asociadas a la espera de la finalización de la próxima bajamar, debido al régimen preponderantemente semi-diurno que posee el estuario. A continuación en la Figura 21 se pueden observar ciclos de marea, correspondiente a la estación La Plata:

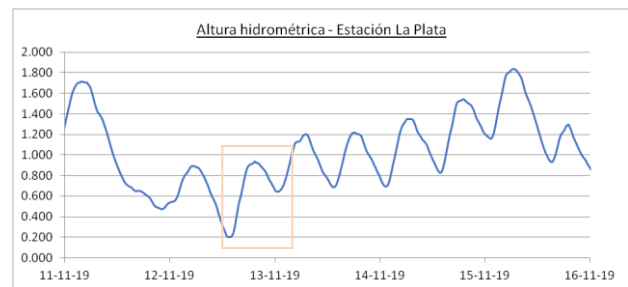


Figura 21: Niveles en estación La Plata

En lo que respecta a las demoras ocasionadas por tráfico, la navegación se verá limitada por la restricción de la cantidad de buques que puedan cruzarse en convoy, por lo que quedará sujeta al tiempo que lleve arrumar a dicho convoy a la zona de cruce permitida.

Por tanto, existen múltiples combinaciones o incluso la combinación total de estos factores que pueden ocasionar demoras.

En el presente trabajo, se aproximan las demoras considerando los siguientes casos:

- No existe demora por marea
- Solo demora por reserva de canal

$$\Delta t_1 = t_E + \Delta t_B$$

$$\Delta t_1 = 0.75hs + 4.3hs - 2.3hs$$

$$\Delta t_1 = 02hs 45m$$

Donde:

- Δt_1 = Demora por reserva de canal
- t_E = tiempo de espera del buque demorado en ZC
- Δt_B = dif. tiempo por navegación a menor vel.

Se toma como hora de inicio la salida del buque crucero desde Km. 239.1

- Demora por marea
- Demora por reserva de canal

$$\Delta t = \Delta t_1 + t_{marea}$$

$$\Delta t = 2.75hs + 12hs$$

$$\Delta t = 14hs \ 45m$$

Si bien la demora bajo las condiciones más beneficiosas, es decir solo por reserva de canal, no resulta tan desfavorable, si lo es aquella a la que por la reserva de canal se le suma la espera por marea en donde la demora podría extenderse por más de 14 horas, sin considerar la existencia de tráfico en el canal.

6 PROPUESTA BY-PASS

Como se ha mencionado, la limitación que impone el Canal Punta Indio, siendo que resulta un canal de única vía, son demoras en el sistema que intensifican aquellas ocasionadas por los restantes factores intervinientes. Es por ello que en este marco, surge la necesidad de proponer como solución la evaluación de un By-Pass en la zona de El Codillo, generando una zona de cruce pero manteniendo su condición de vía única en cada brazo del mismo.

Este se propone como ruta alternativa de única vía entre el km140.8 y el km 150.0, según se muestra en la Figura 22:

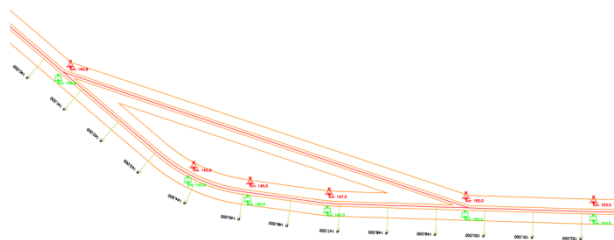


Figura 22: Propuesta By-Pass

Esta ruta alternativa propondría múltiples ventajas en el sistema:

- División del tráfico en única dirección, manteniendo la seguridad en la navegación manteniendo en un porcentaje muy bajo la probabilidad de acaecimientos entre buques (podría decirse que casi nula, debido a que no existiría cruce alguno)
- Disminución de los radio de curvatura para una de las vías, traduciéndose en mayor seguridad a la navegación
- Disminución de demoras por tráfico en la vía
- Disminución de demoras por reserva de canal

- Proporcionar mayor fluidez en la Hidrovía
- Disminución de costos para el usuario.
- Segregación del tráfico, surgiendo la posibilidad de la navegación de buques con mayores restricciones (como cruceros o gaseros) en conjunto, sin cruce entre ellos.

Lo expuesto representa un anteproyecto básico. En la etapa de proyecto definitivo se deberán realizar verificaciones adicionales, siendo que dentro de ellas se recomienda la realización de estudios en un simulador de maniobra marítima.

7 CONCLUSIONES

IWRAP resulta en una potente herramienta para el procesamiento de archivos AIS. Su utilidad radica principalmente en el modelado de los datos pero teniendo la versatilidad para combinar los proyectos con distintas herramientas de uso diario en la ingeniería como *AutoCAD*, *Google Earth* y *QGIS/ArcGIS* convirtiéndolo de este modo, en una poderosa herramienta para múltiples estudios en una vía navegable.

En el caso del presente trabajo, la evaluación del tráfico condujo a analizar las demoras que se ocasionan en la vía principal de acceso al sistema fluvial más importante de Argentina, siendo además su presentación y conexión con el mundo.

En lo que refiere al tráfico, durante los meses de noviembre a abril corresponde mayormente a buques de carga general, seguidos por buques tanque y en menor porcentaje buques cruceros, aunque con gran participación si se lo compara con el resto del año. La navegación se da mayormente por dentro del canal, el cual demuestra poseer un ancho adecuado para satisfacer la demanda, y se realiza principalmente en las zonas de mayor calado. También pudo observarse mayor navegación en la ZCN a diferencia de la ZCS, propia del tipo de buque, sus diferentes condiciones de carga y las normativas vigentes.

Respecto al Canal Punta Indio, este posee restricciones particulares principalmente por razones de seguridad y por las características propias del estuario. Su mayor zona de conflicto es El Codillo ya que allí se prohíbe el cruce de buques lo que se traduce en demoras. Es por ello que se propone la evaluación de una zona de cruce del tipo By-Pass para disminuir estas demoras y eficientizar la navegación en el sistema.

REFERENCIAS

Engberg, P.C, 2018, *IWRAP MKII*

Hidrovia S.A, 2018, *Estudios de demoras en la navegación, Tramo Recalada – Puerto San Martin*

Hidrovia S.A, 2009, *Estudios de zona de cruce en Canal Punta Indio*

Prefectura Naval Argentina, 2018, *Ordenanza N°4-18 (DPSN) “Régimen Operativo del buque”*