

X SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA

ANÁLISIS DE DATOS DE RESTRICCIONES OPERACIONALES Y SUS CAUSAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PORTUARIO Y EL DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES (OPENPORT)

CRISTINA PÉREZ FERNÁNDEZ¹ – PABLO VICENTE GARCÍA²

RESUMEN

La herramienta OpenPort, desarrollada como proyecto piloto, ofrece una solución para la gestión de restricciones a la operación por condiciones hidro-meteorológicas adversas. OpenPort integra datos hidro-meteorológicos, información de planificación portuaria, características de las naves y límites operacionales, y permite visualizar la situación actual y la previsión a corto plazo de las condiciones del puerto, facilitando la toma de decisiones y contribuyendo a mejorar los niveles de seguridad y eficiencia de los puertos de Chile. OpenPort está concebido como un aglutinador de información, e interconectado con otros sistemas como el Sistema de Visualización de Instalaciones Portuarias (SVIP), por lo que depende de la disponibilidad de datos, provenientes de distintas fuentes y con determinadas características. Para asegurar la disponibilidad de datos adecuados, confiables, y accesibles se propone la adopción de un protocolo estandarizado para la adquisición, gestión y uso de datos que comprenda el ciclo de vida completo de los datos. La disponibilidad de datos a través de la herramienta OpenPort u otras similares se une al fomento de estudios de maniobrabilidad más exigentes y orientados, entre otros, y a la incorporación de equipamiento y tecnología adecuadas a la situación de cada puerto, para completar el círculo virtuoso de mejoras en la gestión de restricciones, a través de la aplicación del conocimiento y la innovación en la planificación de acciones, la toma de decisiones basadas en datos, y el aprendizaje a partir del posterior análisis de resultados.

¹Gerente de la empresa 32Puntos S.L. cristina@32puntos.com

²Gerente de la empresa Pelícanos Ltda. pablo@pelicanos.cl

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio de compilación de datos de restricciones operacionales y sus causas para la elaboración de un protocolo portuario ha sido promovido por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, ejecutado bajo la dirección de la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas y supone un esfuerzo de coordinación entre administraciones en la ejecución de un proyecto orientado al bien público.

El Servicio analiza la aplicación de restricciones a la operación en los puertos chilenos, por condiciones hidro-meteorológicas adversas y plantea la conveniencia de utilizar herramientas de visualización de datos que ayuden a mejorar el proceso de toma de decisiones del Capitán de Puerto. El artículo recoge las principales conclusiones obtenidas tras el análisis realizado en tres puertos de Chile: Arica, San Antonio y Ventanas. Se identifican el exceso de oleaje y viento como las principales causas de las restricciones, y se evalúa el impacto de estas restricciones en la disponibilidad de los puertos. Se observa que la incorporación de datos adecuados sobre las condiciones hidro-meteorológicas presentes y futuras contribuyen a mejorar la disponibilidad de los puertos. Para facilitar el uso de datos adecuados, asegurar la confiabilidad de los mismos y facilitar el acceso a todos los actores involucrados en las operaciones portuarias se propone la creación de un protocolo para la adquisición, gestión y uso de datos hidro-meteorológicos. Además, el texto introduce la herramienta OpenPort, desarrollada como un sistema centralizado para la visualización y análisis de información relevante para la toma de decisiones sobre restricciones operacionales. OpenPort integra datos de planificación portuaria, características de las naves, límites operacionales y datos hidro-meteorológicos. Se identifican lecciones aprendidas durante su desarrollo e implementación, destacando la importancia de la colaboración entre los diferentes actores del sistema portuario y la necesidad de estandarizar los formatos y modos de intercambio de datos y la integración con otros sistemas existentes, como el Sistema de Visualización de Instalaciones Portuarias (SVIP).

La conclusión general alcanzada es que la implementación de las recomendaciones aquí presentadas, incluyendo la creación de un protocolo estandarizado y la adopción de herramientas como OpenPort, contribuyen a una toma de decisiones más informada y eficiente por parte del Capitán de Puerto, mejorando la seguridad y eficiencia de las operaciones portuarias.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Las restricciones a las operaciones portuarias, por condiciones hidro-meteorológicas adversas tienen como objetivo preservar la integridad física de las personas y/o de las propias instalaciones. Ahora bien, la aplicación de estas restricciones genera un impacto negativo en la actividad del puerto, provocando situaciones como: congestión tras el levantamiento de la restricción, posible pérdida de recaladas, pérdida de capacidad de recepción de carga, desajustes en la cadena logística, posible congestión y desajustes en algún puerto vecino que asuma las recaladas derivadas, etc. Las situaciones de estrés sobre la operación portuaria, derivadas de la aplicación de restricciones se han ido incrementado en los puertos de Chile por el aumento de la actividad del puerto, por el aumento en el número de eventos extremos y su duración, o por una combinación de ambas situaciones. La optimización del proceso de toma de decisiones respecto a la aplicación de restricciones busca maximizar la operación, preservando la seguridad de las maniobras. Resolver satisfactoriamente esta exigencia y lograr el fin perseguido es un proceso que requiere:

- **Más y mejor información.** Poner a disposición de la Autoridad Marítima en particular y en general de todos los usuarios del puerto más y mejor información que sea adecuada y confiable del tipo:
 - Datos de parámetros característicos de las condiciones meteorológicas y condiciones del mar, tanto de condición de tiempo presente, como pronósticos.
 - Monitorización del tráfico marítimo en el entorno portuario, incluyendo la identificación de naves y sus características.
 - Disponibilidad de información actualizada respecto a las limitaciones objetivas de las naves que operan en el puerto, incluso bajo distintos escenarios de carga, u otras características variables que pueden condicionar la navegación, o las operaciones de carga y descarga.
- **Mejor acceso a la información.** Uso de herramientas que integran la información generada, de manera que en cada momento tanto los responsables de la toma de decisiones, como los usuarios profesionales del Puerto en general, tengan acceso a la información clave.
- **Mejora de la infraestructura.** Detectar los puntos críticos en la imposición de restricciones y plantear soluciones estructurales o incorporar elementos de ayuda a la navegación y/o maniobra. Estas mejoras pueden mitigar los efectos que las condiciones adversas puedan tener sobre la operación, y en algún caso, evitar la imposición de restricciones.
- **Más y mejor conocimiento.** El acceso a datos relevantes y a la información proveniente de estudios específicos tiene un efecto derivado, que resulta fundamental en el éxito del proceso y que es conveniente promover y alentar: La mejora del conocimiento de los actores involucrados.

El Servicio de compilación de datos de restricciones operacionales y sus causas para la elaboración de un protocolo portuario promueve acciones en la línea de los requerimientos indicados para optimizar el proceso de toma de decisiones respecto a la aplicación de restricciones.

3. OBJETIVOS DEL SERVICIO

Objetivo General. OG: Desarrollar un sistema que permita determinar las restricciones operacionales de las instalaciones portuarias, discretizadas a nivel de naves, sitios y actividades.

Objetivos Específicos. OE:

- OE1. Realizar un análisis crítico de las restricciones operacionales históricas de las instalaciones portuarias, contrastando éstas con la información meteorológica y oceanográfica disponible, además de comparar éstos con los límites operacionales establecidos en los estudios de maniobra.
- OE2. Analizar el estado del arte en cuanto al apoyo tecnológico de las operaciones portuarias, proponer un sistema de sensores al interior de la dársena para la entrega de información oportuna a la toma de decisiones por parte de la Autoridad Marítima.
- OE3. Desarrollar una herramienta de visualización y difusión de las condiciones de operatividad portuaria en la página web de la Empresa Portuaria San Antonio.

4. METODOLOGÍA

El Servicio se realizó en dos etapas:

- Etapa 1: Recopilación y análisis de información orientada a los OE1 y OE2 en tres puertos: Puerto de Arica, Puerto de San Antonio y Puerto Ventanas.
- Etapa 2: Desarrollo a nivel de proyecto piloto de una herramienta computacional (OpenPort) para la gestión de restricciones a la operación en el Puerto de San Antonio, así como la formulación de propuestas de tipología de un protocolo de uso de herramientas de apoyo a la toma de decisiones respecto a la aplicación de restricciones a la operación (OE3).

Sin ser exhaustivo se aporta información adicional sobre las actividades consideradas clave para la comprensión de los resultados y conclusiones que presenta este artículo:

Recopilación de información. La etapa 1 del Servicio dependía en gran medida del acceso a información relevante:

- Datos de oleaje para el periodo 2000 – 2019 (20 años) en los tres puertos objeto de estudio. Son datos generados mediante modelación numérica, proporcionados por la Universidad de Valparaíso. Proceden del proyecto: proyecto Fondef-Idea IT13I20006 *Un Atlas de Oleaje para Chile*.
- Datos de viento para el periodo 2000 – 2017 (20 años) en los tres puertos objeto de estudio, Proporcionados por la Dirección de Obras Portuarias. Proceden del *Explorador de Energías Renovables*. Ministerio de Energía – Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.
- Historial disponible de restricciones aplicadas a la operación portuaria. Periodo objetivo: del 2010 al 2019 (10 años) en los tres puertos. Proporcionados por las Autoridades Marítimas correspondientes y los órganos de gestión de cada uno de los puertos.
- Historial de operaciones realizadas en cada uno de los puertos. Periodo objetivo: del 2010 al 2019 (10 años). Proporcionados por los órganos de gestión de cada uno de los puertos.
- Descripción de la infraestructura portuaria. Información pública disponible.
- Listado de instrumentación instalada. Información pública disponible, datos aportados por el propio consultor, confirmación por parte de los órganos de gestión de cada uno de los puertos.

Otros tipos de información solicitados, pero cuya accesibilidad ha sido limitada:

- Fecha y hora de incidencias durante la operación como consecuencia de malas condiciones de viento/oleaje del tipo, corte de espías, interrupción de carga/descarga, otras incidencias relevantes. Información parcial proporcionada por la Autoridad Marítima de San Antonio.
- Últimos estudios de maniobrabilidad y/o estudios de buque atracado.

Adicionalmente se mantuvieron rondas de reuniones con representantes de la Autoridad Marítima y prácticos, en los Puertos de Arica y San Antonio; representantes de las Empresas Portuarias de Arica y San Antonio, representantes de Puerto Ventanas, representantes del terminal TPA en Arica, representantes de distintas secciones de DIRECTEMAR incluyendo el SHOA, DIRSOMAR y TECMAR.

Limitaciones de acceso a los datos. El análisis se vio limitado por las dificultades de acceso a información, por la calidad de los datos obtenidos, y por la falta de completitud de la información. En concreto:

- Carencia de datos registrados de variables hidro-meteorológicas. El estudio se realizó a partir de datos sintéticos obtenidos a través de modelación numérica de variables descriptoras de viento y oleaje.
- Carencia de datos sintéticos de viento de 2018 a 2020.
- Los datos sintéticos de oleaje para el Puerto de Arica no son representativos de las condiciones en el exterior del Puerto.
- La resolución de los datos sintéticos de periodo y dirección del oleaje en los tres puertos no aportan una resolución suficiente para profundizar en los análisis.
- Historial de maniobras de atraque y desatraque en Puerto de Arica y Puerto Ventanas limitado a los años 2018 y 2019.
- Historial de maniobras de atraque y desatraque en Puerto San Antonio de 2012 en adelante. Con referencia a las dimensiones de la nave limitado a 2015 en adelante.
- Acceso muy limitado a registros de incidencias que pudieran estar relacionadas con condiciones hidro-meteorológicas adversas.

Preparación de las series de datos para análisis

- Revisión de las series de datos de viento y oleaje para la identificación de huecos y reconstrucción de la serie en casos concretos; identificación y eliminación de datos claramente erróneos y de duplicidades.
- Revisión de los datos relativos a la aplicación de restricciones para homogeneizar los motivos por los que se aplican restricciones por malas condiciones meteorológicas y de oleaje y asimilarlos a medidas de parámetros hidro-meteorológicos. La colección de motivos para establecer restricciones se agrupó en 8 categorías: exceso de viento, exceso de oleaje, exceso de viento y oleaje, niebla y exceso de oleaje, niebla, terremoto, alerta de tsunami, desconocido.
- Consolidación y homogeneización de datos relativos a la realización de maniobras de atraque y desatraque.

Análisis de información. A partir de la información recopilada se realizaron diversos análisis:

- Análisis de clima marítimo. Datos del 2000 al 2019. El análisis incluye estadística descriptiva de la serie de datos de oleaje y viento y régimen medio de oleaje y viento; Gráficos de dispersión; Distribuciones conjuntas y rosas de viento y oleaje de las series completas de datos y distribuciones estacionales. Probabilidades de No-Excedencia.
- Análisis de las condiciones hidro-meteorológicas registradas durante la aplicación de restricciones a las restricciones a las operaciones. Datos del 2010 al 2019. Identificación de Límites Operacionales (L.O.) cuantitativos; Análisis de disponibilidad del puerto, motivo y duración de las restricciones, distribuciones de las condiciones de viento y oleaje serie completa y durante las restricciones, distribuciones de registros de viento y oleaje por condición de puerto.
- Análisis de las condiciones hidro-meteorológicas registradas durante la realización de maniobras de atraque y desatraque. Datos del 2010 al 2019.
- Análisis del impacto de las restricciones sobre los servicios del puerto.
- Análisis de instrumentación existente y propuesta de estudios adicionales e instrumentación.

Propuesta de protocolo de adquisición y gestión de datos hidro-meteorológicos. Revisión del marco normativo aplicable y una evaluación comparativa con otras tipologías de protocolo

consideradas de interés para generar recomendaciones relativas a la adquisición y gestión de datos hidro-meteorológica, de manera que puedan ser incorporados a herramientas de apoyo a la toma de decisiones orientadas a la aplicación de restricciones a las operaciones portuarias.

Desarrollo de la herramienta de visualización y difusión de las condiciones de operatividad portuaria OpenPort. En base a la información obtenida en el transcurso de las rondas de discusión con distintos actores se desarrolló la herramienta OpenPort, para la gestión de restricciones a la operación en el Puerto de San Antonio, discretizando por actividades, naves, y sitios de atraque, con actualización a nivel de horas.

5. RESULTADOS DESTACADOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS RESTRICCIONES A LA OPERACIÓN PORTUARIA POR CONDICIONES HIDRO-METEOROLÓGICAS ADVERSAS

La imposición de restricciones a la operación es un acto técnico-administrativo de la Autoridad Marítima. Mediante este acto se establecen restricciones y limitaciones a la actividad marítima para minimizar los riesgos asociados con la presencia de condiciones hidro-meteorológicas adversas. El Capitán de Puerto, previo análisis de las condiciones de tiempo presentes y de los pronósticos meteorológicos establecerá la condición de tiempo que corresponda, con las limitaciones de autorizaciones o restricciones. Los límites operacionales (L.O.) referenciales se especifican en las Circulares de Habilitación de cada puerto. Estos L.O. referenciales se establecen en base a los estudios de maniobrabilidad correspondientes.

En los tres puertos objeto de estudio, los límites operacionales (L.O.) que especifican las Circulares de Habilitación se establecen para la realización (según corresponda en cada caso) de maniobras de atraque, desatraque; Estancia en el muelle; Carga y Descarga; Maniobras de reviro. En base a las condiciones de Velocidad del viento; Altura de ola (en el exterior del Puerto o en los sitios de atraque); Visibilidad; Velocidad de la corriente. En algún caso se establecen límites en función de las dimensiones y la tipología de la nave. Otras limitaciones a tener en cuenta pueden derivar de limitaciones al desarrollo seguro de la maniobra de transferencia de los prácticos.

Los L.O. que se consideraron en este análisis corresponden con los especificados por viento y oleaje para las maniobras de atraque y desatraque en las Circulares de Habilitación a fecha 2020:

- Puerto de Arica: vwind hasta 21 kn; Hm0 hasta 0.7 y 1.5 m. (Modificado en 2024 a vwind 14, 18 y 21 kn; Hm0 hasta 1.75 o 1.5 m dependiendo de la dirección del oleaje)
- Puerto de San Antonio: vwind hasta 10, 15 y 20 kn; Hm0 hasta 1.5 y 2 m. (Modificado en 2024 a Hm0 hasta 1.8 y 2 m con periodo ≤ 12 s. Condición de viento sujeta a velocidad y dirección).
- Puerto Ventanas: vwind hasta 20 y 25 kn; Hm0 hasta 1 y 1.4 m.

Disponibilidad motivo y duración de las restricciones. Las Recomendaciones de Obra Marítima españolas (ROM) sugieren niveles de operatividad óptimos del orden del 96.6% a 93.2%. El Puerto de San Antonio presenta desde 2012 datos de disponibilidad en este entorno. Los datos promedio de disponibilidad de los Puertos de Arica y Ventanas se sitúan por debajo del umbral indicado, si bien hay que destacar que el Puerto de Arica sí ha alcanzado ese nivel óptimo en el año 2019.

El mayor número de restricción a la operación se aplican por exceso de viento y/o oleaje, en los tres puertos objeto de estudio. En Arica y San Antonio el exceso de oleaje es la principal causa

que motiva la restricción de operaciones (86% y 35% de los casos respectivamente), mientras que en Puerto Ventanas es el exceso de viento (39% de los casos).

Respecto a la duración de las restricciones, en el puerto de San Antonio la duración media de las restricciones es de 10 horas, frente a la media de 42 horas en Puerto de Arica y la media de 27 horas en Puerto Ventanas. Las restricciones por viento, al igual que las restricciones por niebla suelen tener duraciones de menos de 10 horas en el 85% de los casos en el Puerto de San Antonio, y en el 80% de los casos en Puerto Ventanas. El 50% de las restricciones ha estado por debajo de 6 horas en el caso del viento y por debajo de 4 horas en el caso de la presencia de niebla en ambos puertos. Las restricciones por oleaje suelen ser más prolongadas. En el caso del Puerto de San Antonio, el 81% de las restricciones por oleaje han estado por debajo de 20 horas, mientras que en los puertos de Arica y Ventanas esta circunstancia se da únicamente en el 35% y en el 29% de los casos respectivamente. Las restricciones de mayor duración son las motivadas por la combinación de viento y oleaje, llegando a prolongarse hasta 4 días en el caso de San Antonio y hasta 1 o 2 semanas en el caso de Ventanas y Arica respectivamente.

El aumento en la disponibilidad del Puerto de San Antonio y la reducción de la duración de las restricciones 2013 respectivamente, coincide con la instalación y puesta en marcha del Sistema VCMOV de medición y visualización de datos de parámetros hidro-meteorológicos. El incremento de la disponibilidad del Puerto de Arica hasta alcanzar niveles considerados óptimos coincide con una mejora en la infraestructura, con la instalación de un sistema de amarre dinámico.

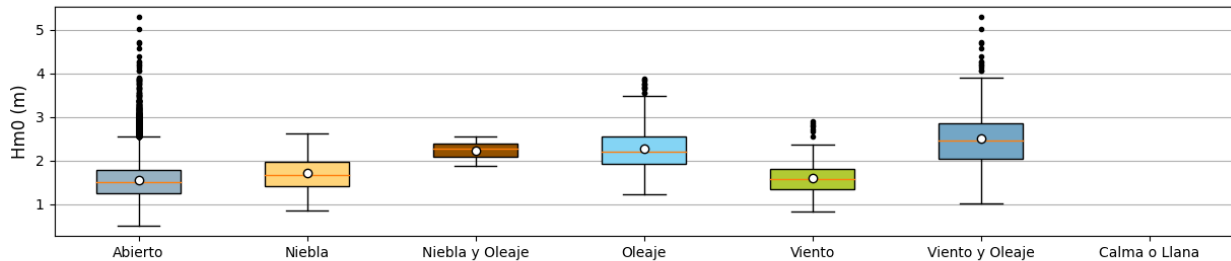
Condiciones de viento y oleaje durante la aplicación de restricciones. La observación de la velocidad y dirección del viento, altura de ola, periodo y dirección del oleaje durante los momentos en los que ha habido alguna restricción evidencia cómo, en general, las restricciones están vinculadas con eventos de condiciones adversas. En ocasiones se observan leves retrasos en la imposición de restricciones, que pueden llevar a situaciones de riesgo, y retrasos en el levantamiento de restricción, perjudicando la continuidad de la operación. El acceso a datos de pronóstico de calidad, y con suficiente resolución contribuiría a mejorar la toma de decisiones respecto al momento adecuado para imponer o retirar una restricción a la operación. En limitadas ocasiones se detectan situaciones en las que se ha registrado una restricción, a pesar de que los datos muestran condiciones supuestamente favorables para la operación. Esta situación puede estar relacionada con la llegada de oleaje con componente Norte, o con la penetración de oleajes u ondas largas en la dársena. Los datos disponibles no permiten alcanzar conclusiones al respecto.

Las distribuciones de datos registrados durante las restricciones por condiciones de viento y oleaje adversas muestran una mayor proporción de valores por encima de los L.O. especificados para cada uno de los puertos, que en el análisis de la serie completa.

Así, en el caso de puerto de San Antonio, los datos de altura de ola registrados durante la imposición de restricciones por exceso de oleaje o exceso de viento y oleaje está por encima de los L.O. en el 96% de las ocasiones, frente al 52% en el total de la serie completa. El 58% de los datos registrados durante la imposición de restricciones por exceso de viento o exceso de viento y oleaje está por encima de los L.O. de viento, frente al 17% en el total de la serie. Las restricciones por condiciones adversas de oleaje se producen con una altura de ola por encima de los L.O. establecidos, un rango de periodo restringido a una banda estrecha (de 13.5 s a 15 s), y una dirección reinante del oeste (277°); las condiciones de viento presente durante estas restricciones son en general de viento suave, por debajo de los 10 nudos de velocidad, condiciones

características de la llegada de oleaje tipo *swell*. Las restricciones por condiciones adversas de viento y oleaje presentan mayor variabilidad en todos los parámetros, alcanzando máximos de altura de ola y velocidad de viento superiores a los máximos que se dan durante las restricciones por oleaje. Esta mayor variabilidad se atribuye al menos a: 1) la presencia de viento de elevada intensidad produce un oleaje local (tipo *sea*) de menor periodo, que se mezcla con el oleaje tipo *swell*. 2) Se ha observado que en condiciones adversas de viento y oleaje aparecen componentes norte en las direcciones. El Puerto de San Antonio está menos protegido ante la llegada de oleaje del NW, por lo que en ese caso podría ser necesario restringir la operación, incluso con alturas de ola en el exterior del Puerto inferiores a las establecidas en los L.O. Las restricciones por exceso de viento suelen estar asociadas a condiciones de viento intenso del S-SSW.

Figura 1. Distribuciones de valores de altura de ola Hm0 registrados durante bajo distintas condiciones de puerto. Puerto de San Antonio. 2010-2019



En Puerto Ventanas, los datos de altura de ola registrados durante la imposición de restricciones por exceso de oleaje o exceso de viento y oleaje están por encima de los L.O. en el 98% de las ocasiones, frente al 85% en el total de la serie completa. En el caso de restricciones por exceso de viento o por exceso del viento y oleaje, los valores son del 12% frente al 2%. Las distribuciones de valores de altura de ola, periodo, velocidad del viento y direcciones de procedencia de viento y oleaje segregados por condición de Puerto muestran gran similitud entre ellas. Esto puede ser debido en parte a lo restrictivo que es el L.O. por altura de ola y en parte a la identificación de restricciones en situaciones hipotéticamente favorables, en número suficiente para influir en el análisis. Las restricciones han sido habituales en condiciones de más de 1.4 m, al margen de la velocidad del viento. Con alturas de ola entre 1 m y 1.4 m se dan situaciones tanto de restricción, como de continuidad de la operación, incluso con velocidades del viento elevadas, de más de 20 nudos.

Condiciones hidro-meteorológicas registradas durante la realización de las maniobras de atraque y desatraque. Se ha realizado el análisis de las condiciones hidro-meteorológicas en las que se han realizado maniobras de atraque y desatraque, en los tres puertos objeto de estudio. El análisis se ha visto limitado por la carencia de datos.

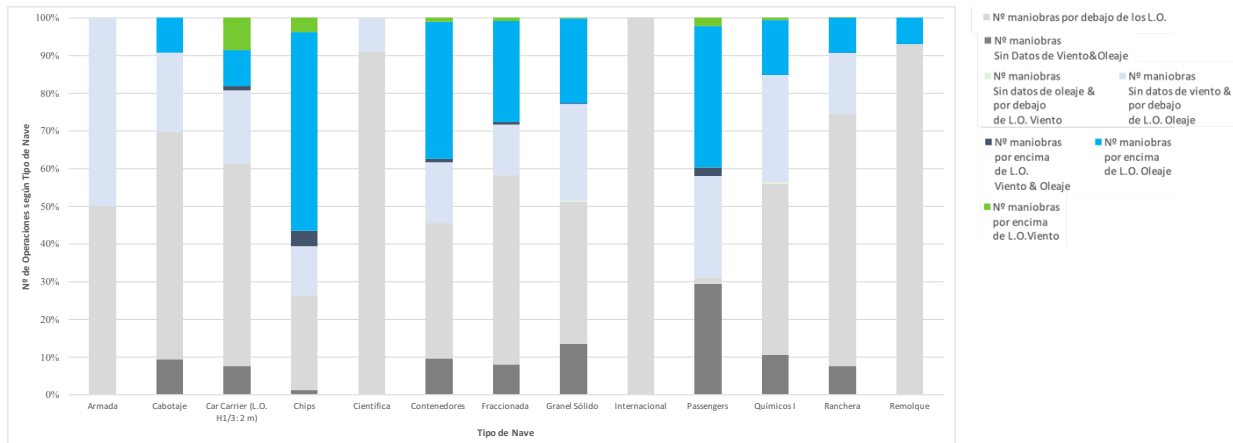
En el puerto de San Antonio, el análisis del total de maniobras, sin discriminar por dimensión o tipo de nave, indica que el 10% se ha realizado por encima de los umbrales más laxos a fecha 2020 (vwind: 20 kn; Hm0: 2 m). Siendo el número de operaciones realizadas por encima de los L.O. establecido para altura de ola significativamente mayor que el número de operaciones realizadas por encima del L.O. establecido para velocidad del viento.

Discriminando por dimensiones de la nave destacan los resultados obtenidos en naves de LOA mayor de 253 m y Manga superior a 32.2 m, ya de las 4,926 maniobras analizadas, el 41% se ha realizado por encima de los L.O. de altura de ola (Hm0: 1.5 m). Sólo el 1% de las maniobras se han realizado en situados de viento por encima de los L.O. para esta condición.

Por tipología, los tres tipos de nave que más operan en San Antonio han realizado maniobras por encima de los L.O. siendo la operación por encima de los L.O. de altura de ola la que se da con mayor frecuencia:

- Naves portacontenedores. 30% de las maniobras por encima de los L.O.
- Naves de granel sólido. 15% de las maniobras por encima de los L.O.
- Car Carrier. 19% o 53% de las maniobras por encima de los L.O., dependiendo del umbral de altura de ola que se considere (2 m o 1.5 m).

Figura 2. Porcentaje de operaciones realizadas dentro y fuera de los L.O. establecidos, por tipo de nave. Puerto de San Antonio. 2012-2020.



El análisis de las condiciones bajo las que se han realizado maniobras de atraque y desatraque en Puerto Ventanas durante los años 2018 y 2019 muestra que de las 716 maniobras analizadas, el 15% se ha realizado por encima del límite de 1.4 m de altura de ola (Hm0); El 59% de las operaciones se han realizado con una altura (Hm0) entre 1 y 1.4 m. La carencia de datos de viento impide completar el análisis.

Condiciones de operación óptima de los servicios del puerto. Otros condicionantes a la operación portuaria a considerar son las posibles limitaciones al desarrollo normal de determinados servicios del puerto como son el servicio de practicaje, el servicio de remolque, o el servicio de amarre por condiciones hidro-meteorológicas adversas.

El servicio de practicaje facilita la realización de maniobras seguras durante la entrada y salida de las naves que operan en el puerto. Desde septiembre de 2020, la circular ordinaria O-80/022 obliga a que las lanchas de práctico estén certificadas para realizar el embarque hasta Bf-5 (2.5 m Hs). Los L.O. establecidos para la realización de maniobras por parte de las naves que arriban a cualquiera de los tres puertos objeto de estudio son más limitantes.

El servicio de remolque tiene como objetivo la ayuda a la maniobra de un buque, mediante el auxilio de otro u otros buques, denominados remolcadores, que proporcionan su fuerza motriz. El

oleaje condiciona el comportamiento de los remolcadores, influyendo en su eficacia y afectando a la seguridad de las operaciones. Los umbrales operativos se desprenden de los estudios de maniobrabilidad. La Circular de Habilitación del puerto incorpora los requerimientos mínimos de remolque necesarios para operar. Los tres puertos objeto de estudio cuentan con remolcadores que superan los requerimientos exigidos, por lo que los L.O. podrían revisarse de acuerdo a las características del equipamiento disponible.

El servicio amarre permite recoger las amarras de un buque, portarlas y afirmarlas a los elementos dispuestos en los atraques con el fin de fijar la posición del buque en el sector de amarre designado, y en el orden y con la disposición conveniente. La Circular de Habilitación regula parcialmente los recursos necesarios para la realización del servicio. Los estudios de agitación y buque amarrado permiten establecer indicadores para cuantificar los L.O. de permanencia en el muelle y proponer mejoras en los procedimientos de amarre.

Mejoras en la instrumentación y disponibilidad de información. A partir del análisis de la disponibilidad de recursos disponibles en los tres (3) puertos objeto de estudio, para la implementación de herramientas de apoyo a la toma de decisiones relativas a la aplicación de restricciones a la operación por condiciones hidro-meteorológicas adversas se propone:

1) Avanzar en la instalación de instrumentación que permita obtener datos de las condiciones hidro-meteorológicas de tiempo presente, complementado con la obtención de datos relevantes de pronóstico, con objeto de aportar información fiable que permita objetivar la toma de decisiones sobre la imposición de restricciones a la operación. De manera general, los datos hidro-meteorológicos tanto de tiempo presente como pronósticos a considerar serán aquellos que estén identificados como limitantes en la Circular de Habilitación de cada puerto. De manera habitual, los parámetros meteorológicos a tener en cuenta son los descriptores de las condiciones de viento, presión atmosférica, visibilidad, hielo; mientras que los parámetros hidrológicos a tener en cuenta, son habitualmente los descriptores de oleaje, corrientes y nivel del mar (relacionado con la sonda bajo quilla). Adicionalmente, las ondas infra-gravitacionales, típicamente de periodos del orden de 100 segundos, pueden generar fenómenos de resonancia en determinadas dársenas o grandes buques. En el caso de vertidos, la temperatura del aire y del agua se suman a los parámetros relevantes. De manera general se recomienda contar con pronósticos de, al menos, las siguientes 24 horas, con actualizaciones entre 1 y 6 horas (PIANC Report no 117). La cobertura geográfica mínima debe estar referenciada en los estudios de maniobrabilidad.

2) Impulsar el **uso combinado de datos sintéticos y datos de observación**. Los datos sintéticos aportan información sobre las condiciones presentes y futuras, y facilitan alcanzar la cobertura espacial necesaria. Los datos de observación informan sobre las condiciones presentes en el momento de la medición y permiten monitorizar la calidad e los datos sintéticos.

3) Promover un **estándar de adquisición, almacenamiento e intercambio de datos** hidro-meteorológicos que facilite el desarrollo de productos para la explotación orientada de los datos disponibles.

4) Fomentar la realización y actualización de estudios específicos como **estudios de agitación** para entender cuáles son las condiciones de oleaje en el interior de la dársena del puerto (agitación) y bajo qué condiciones esa agitación genera movimientos excesivos del buque; Los **estudios de comportamiento de buque amarrado** contribuyen a la optimización de los

procedimientos y configuraciones de amarre, tanto en la fase de atraque del buque, como durante la estancia del buque en el muelle; Los **estudios de onda larga** son de interés en los puertos de Chile por el periodo del oleaje reinante. Permite identificar las ondas infragravitacionales que excitan los modos de oscilación de la dársena. Al igual que ocurre con la agitación, este tipo de eventos pueden producir movimientos excesivos de los buques en los sitios de amarre.

6. PROTOCOLO DE ADQUISICIÓN Y GESTIÓN DE DATOS HIDRO-METEOROLÓGICOS

La disponibilidad de datos descriptores de las condiciones hidro-dinámicas en tiempo presente y pronósticos, que sean confiables y fácilmente accesibles para todos los implicados en las maniobras y operaciones portuarias contribuye a mejorar los niveles de seguridad y eficiencia y reducir el impacto negativo derivado de la aplicación de restricciones. Las experiencias de implementación de sistemas permanentes de medición orientados a este fin han identificado dos (2) necesidades:

- La necesidad de otorgar garantías suficientes al Capitán de Puerto respecto a la confiabilidad de los datos hidro-meteorológicos que se ponen a su disposición.
- La necesidad de reducir la incertidumbre que afrontan las organizaciones cuando desean promover estudios o instalaciones de equipamiento para la adquisición de datos hidro-meteorológicos relevantes para la toma de decisiones por parte del Capitán de Puerto, respecto al alcance de los trabajos a realizar y el procedimiento a seguir.

El desarrollo de un protocolo de adquisición y gestión de datos hidro-meteorológica contribuiría a reducir las incertidumbres; a garantizar la calidad, accesibilidad y conservación de los datos hidro-meteorológicos y; a crear un *data lake* o entorno de datos compartidos que ofrezca la oportunidad de aplicar métodos y tecnologías avanzadas de análisis para la generación de conocimiento.

La propuesta inicial del protocolo incluye cuatro (4) bloques de contenidos a considerar:

- Establecimiento de límites operacionales a partir de estudios de maniobrabilidad más exigentes y orientados.
- Normalizar la adquisición de datos hidro-meteorológicos de observación y pronóstico.
- Normalizar la gestión de datos hidro-meteorológicos.
- Fomentar la toma de decisiones basadas en datos.

Establecimiento de límites operacionales mediante un proceso de mejora continua. Considera una actualización de los requerimientos para la realización de Estudios de Maniobrabilidad orientada a obtener información más precisa y específica sobre los límites operacionales, la identificación de límites asociados a nuevos indicadores cuantitativos y contextualizados (parámetro a medir y dónde medirlos) y que sean acordes con la complejidad de cada instalación portuaria, pudiendo incorporar información para diferentes tipos y tamaños de naves, actividades y ubicaciones dentro del puerto, además de procurar que sean ágilmente revisables.

Normalizar la adquisición de datos hidro-meteorológicos de observación y pronóstico. Los datos hidro-meteorológicos mínimos a incluir en una herramienta de apoyo a la toma de decisiones respecto a la aplicación de restricciones a la operación serán aquellos que estén identificados como limitantes en la Resolución de Habilitación de cada puerto. El uso combinado de datos sintéticos y datos de observación contribuye a incrementar la seguridad y la eficiencia en la aplicación de restricciones a la maniobrabilidad y operación portuaria. Un procedimiento

estandarizado para la incorporación de redes permanentes de medición y de datos sintéticos, incluyendo la definición de normas técnicas para la instalación, criterios de validación y seguimiento, y criterios para la incorporación de un sistema de control de calidad de datos contribuiría a crear un marco de trabajo capaz de aportar confianza sobre la validez de los datos. Este procedimiento se puede completar o no con una certificación emitida por una organización competente. Al considerar la certificación de redes de medición permanentes hay que evaluar previamente los recursos necesarios para que los procedimientos de este tipo de certificaciones sean ágiles y aporten valor.

Normalizar la gestión de datos hidro-meteorológicos y definir los modos de: documentar, transferir, almacenar, preservar y acceder a los datos hidro-meteorológicos obtenidos, de manera que se garantice la calidad, accesibilidad y conservación de los datos. En Chile, la promoción de sistemas de medición orientados a este fin particular es acometida principalmente por empresas dedicadas a la administración o explotación de instalaciones portuarias, ya sea de ámbito estatal o privado. Un plan de gestión de datos hidro-meteorológicos facilitaría la integración de los datos adquiridos por distintas entidades, y garantizaría que todos los usuarios potenciales pudieran localizar los datos que requieran, acceder a ellos mediante un método estandarizado y contar con documentación suficiente para poder realizar análisis y estudios de manera competente, tanto en tiempo real como accediendo al histórico de datos. El desarrollo completo del plan de gestión de datos requiere un trabajo previo de definición de objetivos y principios de gobernanza, normas técnicas, procedimientos para el ciclo de vida de los datos, mecanismos de seguimiento del uso de los datos, e incorporación de un sistema de control de calidad, además de la identificación de recursos necesarios para su implementación y desarrollo.

La implementación de herramientas que combinen datos relevantes para la realización de maniobras, y las limitaciones por condiciones hidro-meteorológicas contribuye a **fomentar la toma de decisiones basadas en datos**. En este sentido, se presenta la herramienta OpenPort desarrollada a nivel de proyecto piloto en el Puerto de San Antonio. Como consideración adicional, indicar la conveniencia de mantener la formación continua de las partes involucradas en la interpretación de los datos que consulta y sus modos de obtención, así como en la aplicación del pensamiento analítico al proceso de toma de decisiones basadas en datos, y destacar la importancia de fomentar el análisis de datos históricos para identificar áreas de mejora en la gestión de la operación portuaria en general y la aplicación de restricciones en particular.

7. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE VISUALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERATIVIDAD PORTUARIA OPENPORT

El principio de diseño de OpenPort se basa en que la disponibilidad de datos descriptores de las condiciones hidro-dinámicas en el momento presente y los pronósticos a corto plazo, combinados con el acceso a la planificación portuaria es información relevante a considerar en el diseño de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones respecto a la aplicación de restricciones a la operación portuaria por condiciones hidro-meteorológicas adversas. El usuario principal identificado es el Capitán de Puerto, como responsable de la aplicación o levantamiento de restricciones en los puertos de Chile. El piloto de la herramienta OpenPort está actualmente disponible en la web del Puerto de San Antonio: <https://www.dop.pelcam.io>. Características a destacar:

- **OpenPort como herramienta centralizada:** OpenPort se concibe como un sistema centralizado que aglutina y presenta información relevante para la toma de decisiones del Capitán de Puerto en relación a las restricciones operacionales.
- **Integración de datos:** La herramienta OpenPort sitúa al usuario en el futuro próximo, aportando información desde el momento actual hasta las próximas 24 horas. Integra información de planificación portuaria, características de las naves, límites operacionales y datos hidro-meteorológicos. Permite visualizar la situación respecto a las restricciones vigentes en cada momento, discriminando por tipo de maniobra u operación, clase de nave y sitio de atraque.
- **Registro de información:** OpenPort incorpora formularios para recopilar y generar un registro histórico de restricciones aplicadas y de ocurrencia de incidencias. El formulario de registro de restricciones incluye fecha, hora, tipo de restricción, naves afectadas, sitios de atraque y motivos. El formulario de incidencias incluye fecha y hora, nave afectada, tipo de maniobra, ubicación en el puerto, medios disponibles, tipo de incidencia, medidas aplicadas, resultado de la incidencia.
- **Diseño modular y escalable:** OpenPort se basa en un diseño modular que permite adaptarlo a las características específicas de cada puerto e incorporar nueva información según sea necesario.
- **Beneficios de la visualización intuitiva:** La presentación de la información de forma clara e intuitiva facilita la toma de decisiones por parte del Capitán de Puerto.
- **Sistema de gestión de usuarios:** OpenPort incorpora un sistema de gestión de usuarios para controlar el acceso a la información y las funcionalidades.
- **Plan de integración con SVIP (Sistema de Visualización de Instalaciones Portuarias):** planteado de manera conjunta con TECMAR, busca evitar duplicidad de funciones y maximizar la eficiencia de ambas herramientas.

8. ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN

Desde la finalización de los trabajos se han actualizado las Circulares de Habilitación de los Puertos de Arica y San Antonio, en fecha junio y septiembre de 2024 respectivamente. En ambos casos se incluyen modificaciones de los L.O. En agosto de 2022 se ha actualizado la circular que Establece las Condiciones de Operación Marítimo-Portuario en la Bahía De Quintero, modificando criterios para la realización de maniobras en la Bahía.

9. CONCLUSIONES

El Servicio de compilación de datos de restricciones operacionales y sus causas para la elaboración de un protocolo portuario llega a varias conclusiones con respecto a la gestión actual de las restricciones a la operación en los puertos chilenos y posibles mejoras. Se destacan a continuación las más relevantes:

Impacto de las restricciones y necesidad de optimización: Las restricciones operacionales, aunque necesarias para la seguridad, tienen un impacto negativo en la actividad portuaria, causando congestión, posibles pérdidas de recaladas, desajustes en la cadena logística, etc. La optimización del proceso de toma de decisiones y la incorporación de herramientas de visualización de datos relevantes para la aplicación de restricciones a la operación contribuye a incrementar la operación del puerto de manera segura. Para esto, se requiere más y mejor información, mejor acceso a la misma, mejoras en la infraestructura, y formación continua de los actores involucrados.

Recomendaciones para mejorar la gestión de restricciones: Las recomendaciones están orientadas a:

- Establecer un protocolo estandarizado para la adquisición, gestión y uso de datos hidro-meteorológicos.
- Invertir en instrumentación para obtener datos en tiempo real y en la obtención de pronósticos de alta calidad y fomentar el uso combinado de datos sintéticos y datos de observación.
- Considerar la documentación de la aplicación de restricciones, y la ocurrencia de incidencias mediante formularios web estandarizados.
- Actualizar regularmente los estudios de maniobrabilidad y por tanto los L.O. para ajustarlos a las condiciones y usos actuales de los puertos.
- Fundamentar la toma de decisiones en un ciclo de mejorar continua que incorpore la realización de estudios específicos como estudios de agitación, estudios de comportamiento de buque amarrado, estudios de onda larga etc.
- Continuar impulsando la colaboración entre los diferentes actores del sistema portuario.

OpenPort como apoyo a la gestión de restricciones: La herramienta OpenPort, desarrollada como proyecto piloto, ofrece una solución para la gestión de restricciones operacionales. OpenPort integra datos hidro-meteorológicos, información de planificación portuaria, características de las naves y límites operacionales, y permite visualizar la situación actual y futura de las condiciones del puerto, facilitando la toma de decisiones sobre la aplicación de restricciones.

La implementación de las recomendaciones presentadas, incluyendo la adopción de OpenPort, contribuiría a una toma de decisiones más informada y eficiente, optimizando la seguridad y la eficiencia de las operaciones portuarias.

10. REFERENCIAS

- C.P.S.A. ORDINARIO N° 12.000/ 697 VRS. - Habilita la operación del Puerto de San Antonio. San Antonio, 2 de septiembre de 2024.
- C.P. ARI ORD. No 12.600/17 VRS. - Resolución de Habilitación del Puerto de Arica. Arica, 04 Feb 2015.
- C.P.S.A. ORDINARIO N° 12.000/ 428 VRS. - Habilita las Instalaciones Portuarias del Puerto de San Antonio. San Antonio, 21 de mayo de 2019.
- C.P. QUI. ORD. N° 12.600/ 161 /VRS. - Habilita la Operación del Muelle Puerto Ventanas S.A., Quintero. Quintero, 12 Sep 2019.
- C.P. QUI. ORD. N° 12.000/ 418 /VRS. - Establece las Condiciones de Operación Marítimo-Portuario en la Bahía De Quintero. Quintero, 11 Ago 2022.
- C.P. QUI. ORD. N° 12.000/ 381 /VRS. - Establece las Condiciones de Operación Marítimo-Portuario en la Bahía De Quintero. Quintero, 9 Ago 2019.
- D.G.T.M. Y M.M. ORDINARIO N° 12.600/ 91 VRS. Aprueba Circular de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, Ordinaria N° O-80/022. Valparaíso, 06 de febrero de 2014.
- DGTM. Y MM. ORDINARIO N° 12.600/449 VRS., Ordinario O-80/011. Valparaíso, 10 de septiembre de 2003.
- Explorador de Energías Renovables. Ministerio de Energía. Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>
- PIANC Report no 117. Use of hydro-meteorological information for port access and operations
- Puertos del Estado. Recomendaciones para obras marítimas.
- Proyecto Fondef-Idea IT13I20006 *Un Atlas de Oleaje para Chile*. <https://oleaje.uv.cl>