



Facultad de Ingeniería

Trabajo Final del proyecto para optar al

Grado de Magíster en Administración y Gestión Portuaria

**METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR OPCIONES DE
CONTROL DEL RIESGO DE COLISIÓN ENTRE UN BUQUE
PORTACONTENEDOR NEO-PANAMAX CON GRÚAS DE
PÓRTICO EN LA TERMINAL MARÍTIMA
“DP WORLD SAN ANTONIO”**

Livan Lazo Porta

Julio 2023

METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR OPCIONES DE CONTROL DEL RIESGO
DE COLISIÓN ENTRE UN BUQUE PORTACONTENEDOR NEO-PANAMAX CON
GRÚAS DE PÓRTICO EN LA TERMINAL MARÍTIMA “DP WORLD SAN
ANTONIO”

Livan Lazo Porta

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
CAP. JOSÉ N. YÁÑEZ MORALES Profesor guía	_____	_____
PROF. FELIPE CASELLI BENAVENTE Revisor	_____	_____
PROF. SERGIO BIDART LOYOLA Revisor	_____	_____

III. DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este trabajo final de graduación es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Grado de Magíster en Administración y Gestión Portuaria, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Livan Lazo Porta
Autor



IV. DEDICATORIA

A mi compañera de vida y amor por su total e incondicional apoyo en este proyecto profesional y personal...sin ti nada hubiese sido posible. Gracias Amor Mío.

A mi amado hijo Mervic Navil, a mi madre querida, por estar siempre ahí observándome con admiración, luz e inmenso amor y a mí tía Victoria que, aunque no se encuentra físicamente entre nosotros me cuida, guía y admira mis éxitos, los cuales se los dedico con sublime agradecimiento y Amor.

Al claustro del Magíster en Administración y Gestión Portuaria, por sus valiosos aportes académicos y éticos; por ampliar mi horizonte hacia otra dimensión asumiendo a Chile, su cultura y su amplia experiencia marítima – portuaria como propia. Una mención especial para mi profesor guía el Capitán Yañez, por su paciencia e invaluable aportes durante todo este proceso de aprendizaje.

A mi eterno tutor y amigo Dr.C. Jesús Salomón Llanes; Presidente de la Cátedra de Seguridad y Riesgo de Cuba, por su invaluable ayuda y disposición permanente para mi crecimiento científico.

A mis familiares, especialmente mis hermanos Cira, Jorge y Pablo y a mis entrañables amigos, MsC Frank Acosta Chipi, Dr.C. Jorge Carlos Morandeira Ricardo y Rolando A. Díaz Gutiérrez por su incondicional apoyo.

V. TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	11
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4. ALCANCE	12
5. LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN	13
6. MARCO TEÓRICO	14
6.1 TERMINAL MARÍTIMA DE CONTENEDORES “DP WORLD SAN ANTONIO S.A.” PUERTO DE SAN ANTONIO, CHILE.....	14
6.2 EVOLUCIÓN DE LOS BUQUES PORTACONTENEDORES	15
6.3 EVOLUCIÓN DE LAS GRÚAS DE PÓRTICO TIPO STS	16
6.4 LAS COLISIONES ENTRE BUQUES PORTACONTENEDORES Y GRÚAS PÓRTICOS TIPO STS	16
6.5 LA GESTIÓN DE RIESGO EN EL ÁMBITO MARÍTIMO	17
7. METODOLOGÍA	19
8. RESULTADOS	27
9. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
10. CONCLUSIONES	31
11. GLOSARIO	32
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
13. ANEXOS	37

VI. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SITIOS COSTANERA No.1, 2. TERMINAL DE CONTENEDORES “DP WORLD SAN ANTONIO”	36
FIGURA 2. BUQUE DE PASAJE Y PORTACONTENEDORES ATRACADOS EN MUELLE COSTANERA DPWORLD SAN ANTONIO	36
FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LOS BUQUES PORTACONTENEDORES	30
FIGURA 4. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS BUQUES PORTACONTENEDORES.....	37
FIGURA 5. GRÚAS STS LIEBHERR INSTALADAS EN LA TERMINAL DE CONTENEDORES DP WORLD SAN ANTONIO	39
FIGURA 6. INTEGRACIÓN CONCEPTUAL DE LA SEGURIDAD Y RIESGO.....	19
FIGURA 7. DIAGRAMA METODOLÓGICO PROPUESTO	20
FIGURA 8. DIAGRAMA METODOLOGÍA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SEGURIDAD	23
FIGURA 9. PRINCIPIOS BÁSICOS DE SEGURIDAD	24
FIGURA 10. METODOLOGÍA BOW TIE.....	24
FIGURA 11. ÁRBOL DE OPERACIONES PARA LAS CONDICIONES LÍMITES DE MANIOBRA SEGURAS (AO-CLMS).....	41
FIGURA 12. ÁRBOL DE OPERACIONES PARA LAS CONDICIONES LÍMITES DE MANIOBRA SEGURAS (AO-CLMS), ASOCIADA AL ESTUDIO CON CUATRO REMOLCADORES, EXPRESANDO EL RIESGO EN VALOR DE PROBABILIDAD.....	43
FIGURA 13. PROCESAMIENTO DE DATOS A TRAVÉS DEL DISEÑO DEL ESTUDIO DE SIMULACIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA INVESTIGACIÓN.....	26
FIGURA 14. MODELO MATEMÁTICO CONTAINER SHHIP 17 (MSC DANIELA)	26

VII. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de accidentes que involucran a buques portacontenedores con grúas pórtico.....	40
--	----

RESUMEN

El presente trabajo basa su eficacia en un estudio de seguridad operacional, desarrollando una propuesta metodológica en el campo de la gestión de riesgos en el ámbito marítimo portuario chileno. Se focaliza en la descripción de etapas lógicamente estructuradas donde se identifican opciones de control de riesgos que contribuyen a disminuir y/o evitar la ocurrencia de colisiones de grandes buques portacontenedores Neo-Panamax con las grúas de pórtico de la terminal marítima DP World San Antonio, Chile y la extrapolación de la base de conocimientos asociados al Proyecto del Gran Puerto Exterior u otras terminales de contenedores a nivel nacional e internacional.

Esta temática ha sido poco abordada, a nivel internacional. Se caracteriza por ser considerados como eventos de baja probabilidad de ocurrencia, pero con catastróficas consecuencias asociadas. El análisis y desarrollo de la metodológica se centra en una visión holística- mixta centrada en la seguridad operacional en el ámbito marítimo portuario. Fusiona de manera sinérgica los aspectos de seguridad asociado con este tipo de accidentes a partir del empleo de metodologías de eficacia comprobada, considerando como elemento estratégico el análisis de accidentes y la gestión de riesgos bajo el principio básico de seguridad: Defensa en Profundidad.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los riesgos y la seguridad operacional asociada a las maniobras de buques en los puertos constituye un pilar fundamental para garantizar la efectividad de la actividad marítimo-portuaria. En tal sentido, el crecimiento vertiginoso experimentado en la construcción naval de los buques portacontenedores, ha significado un factor determinante para el desarrollo del comercio marítimo internacional, sustentado en el concepto de economías de escala. El gigantismo asociado a esta clase de buques ha demandado la constante evolución de las infraestructuras y maquinarias portuarias de las terminales de contenedores. En este contexto, se identifica que en los últimos cinco años han sido recurrentes las colisiones entre naves portacontenedores Neo-Panamax y ultra grandes con grúas de pórtico, en diferentes países. A pesar de que estos accidentes son valorados como eventos con baja probabilidad de ocurrencia, las consecuencias asociadas han sido de grandes proporciones desde el punto de vista económico, operativo y de la gestión portuaria.

En la República de Chile operan varias terminales marítimas de contenedores las cuales se perfeccionan y modernizan permanentemente y se trabaja en el Proyecto del Gran Puerto Exterior (GPE) de San Antonio. En la actualidad algunas de estas terminales tienen capacidad para operar buques portacontenedores de 367 metros de eslora y 52 metros de manga, clasificados como Neo-Panamax y están dotadas con grúas de pórtico Super Post Panamax para facilitar la transferencia de contenedores. Los peligros¹ y amenazas² de las operaciones y maniobras con estos buques constituyen un desafío y son latentes si no se gestionan, evalúan y controlan adecuadamente para evitar secuencias accidentales de gran impacto, más allá de los procedimientos náuticos y reglamentaciones operativas existentes. Se toma como terminal marítima objeto de investigación: DP World San Antonio por las particularidades operativas multivalentes que presentan los sitios de atraque Costanera No. 1 y 2, sus requerimientos y especificaciones técnicas desde la mirada de las maniobras de los buques que operan.

Sobre la base de estos argumentos, la presente investigación se orienta a la gestión de los riesgos³ bajo una óptica innovadora y holística. Se propone una metodológica cuya estructura se sustenta en la eficacia del Principio Básico de Seguridad (PBS)⁴: Defensa en Profundidad y el análisis evolutivo por escenarios de maniobra.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

No se dispone de una metodología para identificar opciones de control del riesgo, lógicamente estructurado bajo el principio básico de seguridad: defensa en profundidad; orientadas a prevenir secuencias operativas accidentales que conduzcan a la colisión de buques portacontenedores Neo-Panamax con grúas de pórtico, en la terminal marítima de contenedores "DP World San Antonio".

3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

El objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo de investigación son:

OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología para identificar opciones de control del riesgo de colisión entre un buque portacontenedor Neo-Panamax con grúas de pórtico en la terminal marítima “DP World San Antonio”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Analizar el desarrollo evolutivo de los buques portacontenedores y su impacto en el desarrollo de las grúas de pórtico.
- ❖ Identificar las causas que provocan la ocurrencia de accidentes entre buques portacontenedores con grúas de pórtico de terminales de contenedores.
- ❖ Identificar las potencialidades de las metodologías de análisis de riesgos empleadas en el ámbito marítimo.
- ❖ Diseñar una metodología, integradora, que permita valorar las opciones de control de riesgo para evitar las colisiones de buques portacontenedores con las grúas de pórtico en DP World San Antonio.

4. ALCANCE

Escenario de maniobras de buques portacontenedores Neo-Panamax (367m x 52m x 14.1m) asistido por esquema de remolcadores ASD de alta potencia. Se analiza para condiciones de aproximación, atraque o desatraque.

5. LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN

- ❖ Según tipo de buque en maniobra: Buque Portacontenedor Clase Neo-Panamax. (Eslora:366 metros; Manga: 52m y Calato: 14.1m).
- ❖ Grúas Pórtico: Modelo “Super Post Panamax”.
- ❖ Terminal Marítima de Contenedores: DP World, Puerto de San Antonio. Chile.
- ❖ Tipo de Remolcadores: Remolcadores ASD de alta potencia de Bollard Pull.
- ❖ Ámbito de Ejecución: Operacional Nivel 1.

6. MARCO TEORICO

El presente capítulo aborda a través de un análisis histórico – lógico, bajo un enfoque holístico (Iprofesional. 2022) el ámbito en el cual se enmarca la investigación que tiene como escenario geográfico el terminal marítimo de contenedores DP World, emplazado en el Puerto de San Antonio, República de Chile. Se contextualiza la evolución de los buques portacontenedores a partir de su crecimiento dimensional y volúmenes de carga que transportan. De igual manera se aborda el proceso de crecimiento experimentado en las grúas de pórtico y su relación intrínseca con el gigantismo de esta clase de buque. Se esboza, desde una óptica genérica, las principales metodologías asociadas a la gestión de riesgos en el ámbito marítimo y su impacto en la prevención de accidentes, asumiendo aquellas que por su versatilidad son más flexibles en cuanto a su aplicación a las exigencias de la investigación.

Para lograr cumplir con el objetivo general enunciado, el análisis crítico de las fuentes consultadas se sustenta en un enfoque holístico - mixto, considerando lo expuesto en (Carhuacho, Nolasco, Monteverde, Guerrero y Casana. 2019). Se parte realizando una revisión operativa de los puertos chilenos donde operan buques portacontenedores de grandes dimensiones. Dicho análisis contribuyó a identificar al terminal de contenedores DP World San Antonio S.A. como indicado para sustentar la propuesta metodológica de la investigación.

6.1 TERMINAL MARÍTIMA DE CONTENEDORES “DP WORLD SAN ANTONIO S.A.” PUERTO DE SAN ANTONIO, CHILE

A partir del análisis de los puertos que operan buques portacontenedores en Chile, se toma como terminal marítima de referencia para la investigación a DP World San Antonio S.A.; en específico los sitios de atraque Costanera No.1 y 2 (Véase Figura 1, Anexo 1).

6.1.1 Ubicación Geográfica.

El terminal marítimo de contenedores DP World San Antonio se localiza en el recinto de la Empresa Portuaria San Antonio, Región de Valparaíso, Provincia y Comuna de San Antonio, en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 33° 35' 18,55" S. Longitud: 071° 36' 56,79" W. Ref.: Carta SHOA N° 5115, 3° Edición, agosto 2018 (D.G.T.M. y M.M. .2023).

La elección de los Sitios Costanera No.1 y 2 de la terminal de contenedores DP World, San Antonio se fundamenta en primer lugar por su ubicación geográfica y la orientación del muelle “Costanera” (000° - 180°), en correspondencia con las exigencias para las maniobras de entrada y salida de los buques portacontenedores en función de las condiciones de clima marítimo normado. Otros elementos que inducen a esta elección se vinculan con las condiciones límites de las naves y específicas de operación en las instalaciones, así como las características de maniobrabilidad de los buques portacontenedores Neo-Panamax limitados a operar en este recinto, cuya eslora operativa reglamentada es de 367 metros, una manga de 52 metros y un calado de 14,1 metros con una distancia mínima bajo la quilla (Under Keel Clearance; U.K.C.) de 0,9 metros según (D.G.T.M. y M.M. .2023).

De igual manera a partir del análisis de (MTT/EPSA/DIRECTEMAR. 2021), (DPWorld SA. 2022) y (EPSA. 2023), donde se abordan las especificaciones técnicas relativas a las condiciones de maniobrabilidad para el atraque, desatraque, amarre, largada y fondeo; se constata por método lógico de inducción, la complejidad de las maniobras de estos buques, especialmente cuando con dimensiones operativas máximas atracan en el Sitio Costanera No. 2 y se combina con uno de menores dimensiones en el sitio Costanera No. 1. El riesgo se incrementa cuando existe otro buque atracado en los sitios 4 y 5 del terminal portuario, véase Anexo 1. Estas condiciones se complejizan aun más cuando se dispone en el muelle Costanera de un espacio para el atraque de un buque de pasaje, lo cual demanda que se implementen medidas operativas adicionales para garantizar la seguridad de ambos buques (Véase Figura 2, Anexo 2).

Al considerar estos elementos se evidencia, el nivel de complejidad y dificultad de las maniobras, incluso considerando las medidas operativas y limitaciones reglamentadas. Uno de los elementos que determinan la complejidad del escenario está dado por el área de maniobra restringida donde los buques portacontenedores Neo-Panamax deben de realizar la parada activa del buque asistido por un esquema de cuatro remolcadores, según exigencias de (D.G.T.M. y M.M. .2023). Además, la aproximación a los sitios de atraque del Muelle Costanera se caracteriza por presentar tres cambios de rumbo apoyado por enfilaciones y una aproximación directa a los sitios de atraque cuando se realice por la banda de babor. Mucho más complejo se torna cuando se requiere de un giro para el atraque por la banda de estribor, lo cual incrementa exponencialmente los riesgos, con independencia a las exigencias operativas existentes.

6.2 EVOLUCIÓN DE LOS BUQUES PORTACONTENEDORES

Abordar la clasificación de buques portacontenedores, induce a su análisis evolutivo. En las figuras 3 y 4 del Anexo 3 se expone dicha evolución según (The Geography and Transport Systems. 2023) y (Allyn International. 2023). De este análisis comparativo se arriba a la conclusión que los buques de máximas dimensiones autorizados a operar en la Terminal Marítima DP World San Antonio pertenecen a la clase Neo-Panamax (5ta. Generación), de acuerdo con su eslora y capacidad. Aspecto contrastado con lo expuesto en el Anexo “A” de (D.G.T.M. y M.M. .2023). Estos buques fueron particularmente diseñados para transitar a través de las esclusas de Aguas Clara y Cocolí (Tercer Juego de Esclusas) del Canal de Panamá, según (ACP. 2016). Diseñados con una capacidad de carga de 12.500 TEU, existen varias configuraciones de Portacontenedores Neo-Panamax en cuanto a eslora (17 a 22 bay) y manga (19 o 20 contenedores de bay). Uno de los principales aportes de los buques portacontenedores Neo-Panamax ha sido el contribuir a un nuevo estándar para el diseño de infraestructura portuaria, corroborando el desarrollo de las grúas de pórtico Super Post Panamax introducidos desde la 4ta Generación de buques portacontenedores denominada (Very Large Container Ship; VLCS). El gigantismo en la construcción de estos buques se contrasta al analizar lo expuesto en (Peral Moyano, A. 2020) y (Rodríguez Rapaport, C.; Alegre Fuentes, M. 2022). De este análisis se concluye que resulta inobjetable que el crecimiento de los buques portacontenedores ha conducido al desarrollo de las terminales de contenedores, teniendo su mayor impacto en la modernización y crecimiento de las grúas de pórtico encargadas de la transferencia de contenedores desde el buque hacia la terminal y viceversa.

6.3 EVOLUCIÓN DE LAS GRÚAS DE PÓRTICO TIPO STS

La evolución de las grúas de pórtico en las terminales de contenedores, como se abordó en el epígrafe anterior, constituye un resultado directo de la globalización y la economía de escala en el ámbito marítimo. Ello viene de conjunto con el gigantismo experimentado por los buques portacontenedores lo cual ha estresado la operativa y dinámica de las instalaciones portuaria, contribuyendo al desarrollo de las grúas portacontenedores denominada STS (Ship To Shore).

Luego de analizar el estudio técnico (Fernández Pérez, D. 2009) y en el artículo (Fawcett, J.A. 2021) se evidencia que las grúas que operan los buques Neo-Panamax se clasifican como STS Super Post Panamax, siendo en la actualidad las de mayor capacidad de operación en las terminales de contenedores. En el caso específico de las grúas STS que operan en la terminal de contenedores DP World San Antonio S.A. fueron construidas en el año 2015 por la firma "LIEBHERR" (Véase Figura 5, Anexo 4).

A los efectos de la presente investigación los aspectos más significativos vinculados a estas grúas son el largo del boom que supera los 60 metros de longitud y la distancia de 4.86 metros que dista entre la línea de riel de desplazamiento de las patas delanteras de la grúa y la línea de defensas del muelle, lo cual evidencia la cercanía al frente de atraque (Véase figura 5 del Anexo 4, dimensión D).

6.4 LAS COLISIONES ENTRE BUQUES PORTACONTENDEORES Y GRÚAS PÓRTICOS TIPO STS

La entrada del buque portacontenedores Enma Maersk (año 2006) marcó el inicio de la 4ta. Generación de esta clase de buques. Su línea de buques "Triple E" concepto derivado de sus tres principios de diseño: "economía de escala, eficiencia energética y la mejora de medio ambiente" en inglés (Economy of scale, Energy efficient and Environmentally improved), ello constituyó una revolución en el mundo del transporte marítimo de contenedores. A partir de entonces las dimensiones superan los 360 metros de eslora hasta llegar a los 400 metros y las mangas oscilan entre los 49 – 61 metros, por su parte el calado aumentó en un rango entre 14 a 16 metros. A estos aspectos se suman las altas potencias de los sistemas propulsores lo cual constituye un problema desde el punto de vista de la maniobrabilidad y los espacios de parada del buque para maniobrar en las confinadas aguas de las dársenas de maniobra. En este contexto en los últimos años han acaecido varias colisiones entre grandes buques portacontenedores con grandes grúas de pórtico en diferentes terminales de contenedores a nivel mundial.

En la tabla 1 del Anexo 5 se resumen los seis accidentes de este tipo que han acaecido en los últimos cinco años. Del análisis de los informes asociados a los accidentes referenciados se identifican como las causas más comunes las siguientes:

- Errores durante la ejecución de las maniobras.
- Fallos mecánicos del buque.
- Condiciones meteorológicas adversas (Fuertes Vientos).

El factor humano constituye el mayor causante de estos accidentes dados por la negligencia al no apreciar los riesgos durante las maniobras y el exceso de velocidad.

Como se puede inducir tras cada accidente donde se ven involucrados a buques portacontenedores y grúas de pórtico trae como consecuencias enormes gastos financieros, máxime los asociados a los costos de penalización por concepto de afectación a la gestión portuaria. Es por ello que el presente informe se enfoca en diseñar una metodología para identificar Opciones de Control del Riesgo en función de evitar la ocurrencia de estos eventos, sustentadas en las mejores experiencias de las metodologías existentes.

6.5 LA GESTIÓN DE RIESGO EN EL ÁMBITO MARÍTIMO

La Gestión de Riesgos constituye un instrumento de probado valor para el diseño y validación de vías navegables, así como para el análisis de accidentes en áreas de aproximación a puertos y dársenas de maniobras. Actualmente, en el ámbito marítimo se emplean diversas herramientas que basan su eficacia en una efectiva gestión del riesgo. La Organización Marítima Internacional (OMI) (IMO, siglas en idioma inglés) en el año 2002, aprueba las directrices relativas a la aplicación de la Evaluación Formal de la Seguridad (EFS) en el proceso normativo de la OMI a través de la Circular del Comité de Seguridad Marítima MSC/Circ.1023. (IMO, 2002), (IMO, 2008). Esta metodología se basa en un proceso racional y sistemático para evaluar los riesgos relacionados con la seguridad marítima, la protección del medio marino, los costes y beneficios de las opciones de la OMI para reducir dichos riesgos. El análisis de la literatura especializada permitió identificar los avances de la Asociación Internacional de Señalización Marítima (AISM) en materia de gestión de riesgos. La evolución de la gestión de riesgo en la AISM ha estado marcada por dos procesos paralelos el primero es el desarrollo de una herramienta para calcular el riesgo asociado a las vías navegables restringidas y el otro, se vincula con los aspectos documentales para su asimilación.

En este ámbito destacan las investigaciones científicas propuestas en (Macduff, 1974), Fujii (Fujii, 1974), transitando por (Pedersen, 1998) y (Cowi, 2008) donde se desarrollan diversos modelos para gestionar los riesgos en vías navegables y más recientemente la AISM desarrolló tres herramientas para la valoración y evaluación de los riesgos en las vías navegables. Las últimas actualizaciones de estas herramientas fueron expuestas en el Seminario de la AISM-IALA en Cartagena de Indias, Colombia (AISM-IALA, 2019). El Programa de Evaluación de Riesgos de las Vías Navegables de la AISM (IWRAP Mk II, por sus siglas en inglés) AISM (2017) es una metodología probabilística para estimar las probabilidades de varadas y colisiones, inspirada en el trabajo de Fujii y MacDuff en la década de 1970. Es una herramienta bajo un enfoque post mortem y basando su eficacia en el trabajo con el Sistema de Información Automática (SIA) de los buques. A pesar de la efectividad demostrada por este programa el mismo no es viable para nuestra investigación.

En este contexto se precisa de la utilización de métodos proactivos, que sean capaces desde etapas de diseño conceptual valorar los riesgos asociados con las maniobras de buques y en específico de buques portacontenedores. En tal sentido la introducción de la simulación computacional a proyectos de desarrollo portuarios ha significado un paso de avance trascendental con la ejecución de estudios de maniobrabilidad. No obstante, se identifica que los estudios de maniobrabilidad, a nivel internacional, no incluyen la dinámica

de evaluar los riesgos asociados a la colisión entre los buques y las grúas de pórtico en los puertos.

Independientemente de los aspectos abordados para dar solución a la presente investigación se fusionan varias metodologías para la gestión de los riesgos asociados con las maniobras de los buques portacontenedores.

Se aplica de manera parcial la metodología Evaluación Formal de la Seguridad (EFS) (IMO, 2002), (IMO, 2008) se implementarán los Principios Básicos de Seguridad (PBS)⁷ (GDA/APS, 2010) y los Análisis Probabilista de Seguridad (APS) orientado al sector marítimo-portuario. De igual manera se emplearán las Recomendaciones ROM (Puerto del Estado, 1999) y las Normas del PIANC (PIANC, 2014). La experiencia de estudios anteriores deriva que la combinación de las diferentes metodologías permite evaluar con un mayor espectro las dinámicas asociadas con el escenario a evaluar.

Sobre la base de los aspectos abordados en los epígrafes anteriores, se analiza a través de un análisis sistémico el sustento teórico prospectivo de la investigación. El estudio del estado del arte de los modelos cuantitativos y cualitativos empleados por la Asociación Internacional de Señalización Marítima, evidencia que a pesar de existir una base teórica, científicamente estructurada y avalada por varias investigaciones y proyectos científicos; se identifican limitaciones y brechas de seguridad que conducen a la ocurrencia de accidentes marítimos, sobre todo en lo referente a las colisiones entre los buques portacontenedores y las grúas pórtico.

Como se ha evidenciado la AISM a pesar de contar con importantes herramientas para la gestión de riesgos, su modo de actuación es Post Mortem, se implementan una vez que ocurren los accidentes, respondiendo a un enfoque reactivo. A pesar de que las investigaciones se realicen para determinar puntos comprometidos con efectos críticos sobre la maniobra de los buques el enfoque, aunque se orienta con un nivel de previsión, descansa sobre un lecho reactivo.

7. METODOLOGÍA

La metodología para identificar opciones de control del riesgo de colisión entre un buque portacontenedor Neo-Panamax con grúas de pórtico en la terminal marítima “DP World San Antonio”, es una herramienta estructurada bajo el Principio Básico de Seguridad: Defensa en Profundidad, cuya finalidad es identificar y describir los riesgos de colisión entre buques portacontenedores con grúas STS desde sus causas hasta sus consecuencias en forma de diagrama, sobre la base de la integración conceptual de la seguridad⁸ y riesgos que se expone en la figura 6.



Figura 6. Integración Conceptual de la Seguridad y Riesgo.
Fuente: Elaboración Propia.

El proceso de integración conceptual de la Seguridad y Riesgo diseñado cuenta de cinco elementos:

- A: Buque Tipo: Buque Portacontenedor Neo-Panamax
- B: Escenario Marítimo de Maniobras: Puerto de San Antonio. Terminal de Contenedores “DP World San Antonio”
- C: Normas y Recomendaciones Internacionales: PIANC, ROM y Resoluciones Operacionales del Puerto de San Antonio etc.
- D: Factores Humanos: Prácticos, tripulaciones del buque, remolcadores, personal del terminal marítimo, Autoridad Portuaria, etc.
- E: Remolcadores: Tipo ASD que operan en el Puerto de San Antonio.

A partir de esta integración se diseña una metodología cuyo alcance abarca desde las ideas conceptuales de los estudios de maniobra hasta las operaciones propiamente dichas.

La metodología constituye un instrumento para evaluar las normativas operacionales existentes o para comparar las medidas existentes con otras que impliquen mejoras, con el propósito de establecer un equilibrio entre elementos técnicos y funcionales, incluido el factor humano y los costes.

La concepción metodológica fusiona elementos de las siguientes metodologías y principios:

- Metodología Evaluación Formal de la Seguridad (EFS)
- Metodología Análisis Probabilista de Seguridad (APS)
- Metodología ALARP⁹
- Metodología sobre la Evaluación de los Niveles de Seguridad (ENS)
- Metodología Bow Tie

En la figura 7 se presenta el diagrama de la metodología que se propone.

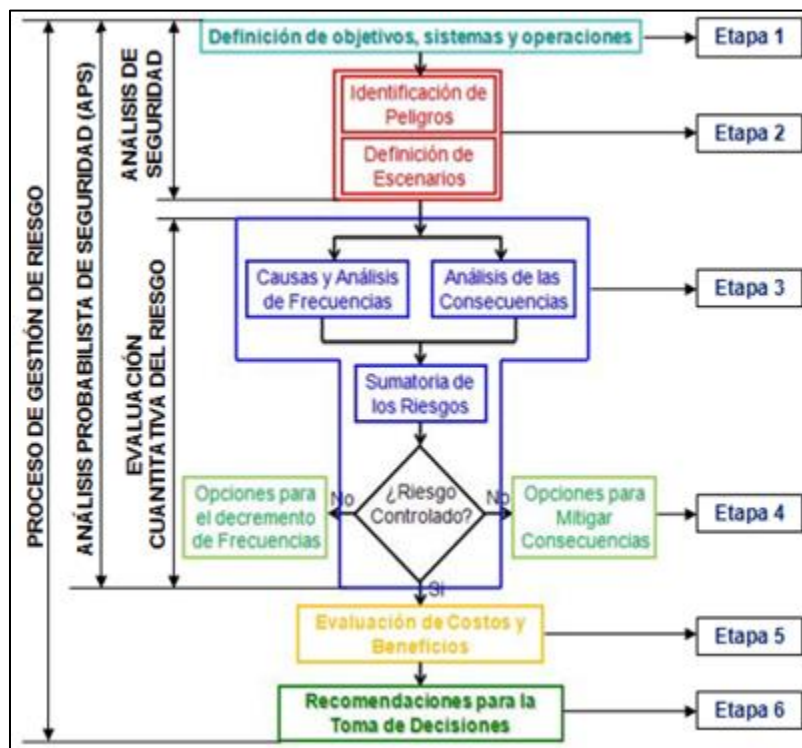


Figura 7. Diagrama Metodológico Propuesto.
Fuente: Elaboración Propia

El Proceso de Gestión de Riesgo dentro de los que se enmarca la Propuesta podrá incluir de acuerdo con su alcance un Análisis Probabilista de Seguridad (APS) que conjuga los métodos de árbol de fallos¹⁰, con el de árbol de eventos¹¹; que a su vez deriva en un Análisis de Seguridad (AS) y en una Evaluación Cuantitativa del Riesgo (ECR).

A continuación se desglosan las etapas insertadas en el diagrama metodológico.

1. ANÁLISIS DE SEGURIDAD

- 1.1. ETAPA 1: Definición de objetivos, sistemas y operaciones;
- 1.2. ETAPA 2: Identificación de Peligros e Identificación de Escenarios

2. EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL RIESGO

- 2.1. ETAPA 3: Evaluación de Riesgo;
- 2.2. ETAPA 4: Opciones de Control del Riesgo

3. EVALUACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS

- 3.1. ETAPA 5: Evaluación de Costes y Beneficios (Excluido del Estudio)

4. RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES

- 4.1. ETAPA 6: Recomendaciones para la Toma de Decisiones (Excluido del Estudio)

Se presentan, de forma panorámica, los principales aspectos incluidos en cada etapa.

ANÁLISIS DE SEGURIDAD

ETAPA 1: Definición de objetivos, sistemas y operaciones;

Objetivo:

- Identificar las Opciones de Control del Riesgo (OCR) para evitar, bajo un enfoque proactivo, la colisión de un buque portacontenedor Neo-Panamax con las grúas pórtico de la terminal DP World San Antonio.

Sistemas que se modelan:

- Buque Portacontenedor Neo-Panamax
- Esquema de Remolcadores
- Diseño en Planta y Alzado
- Procedimientos Náuticos (Estudios de Maniobrabilidad)
- Documentos regulatorios

Operaciones:

- Maniobras de atraque y desatraque de las naves

ETAPA 2: Identificación de Peligros e Identificación de Escenarios Identificación de Peligros

Para la identificación de peligros se analizaron los siguientes métodos:

Métodos Cualitativos

- WHAT IF? – ¿Qué pasa sí?
- HAZID (Hazard Identification Analysis) - Análisis de Identificación de Peligros
- HAZOP (Hazard and Operability Analysis) - Análisis de Peligros y Operabilidad

Otros Métodos de Apoyo

- Análisis Histórico de Accidentes
- FMEA – Análisis de Modo y Efecto de Fallos
- Auditorías de Seguridad

Los métodos que más se utilizaron durante la investigación fueron: What if ? y el HAZOP.

Identificación de Escenarios

- Escenario de Maniobra (Integral) del buque asistido por esquema de remolcadores (Atraque/Desatraque/Giro)

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL RIESGO

ETAPA 3: Evaluación de Riesgo

Para desarrollar el proceso de Evaluación de Riesgo se propone realizar un estudio empleando la combinación de las tres metodologías siguientes:

- Metodología sobre la Evaluación de los Niveles de Seguridad (ENS)
- Metodología Bow Tie (Metodología ALARP incluida)
- Principios Básicos de Seguridad (PBS)

Metodología sobre la Evaluación de los Niveles de Seguridad (ENS)

Para la Evaluación del Nivel de Seguridad del escenario de maniobras, el cual demanda altos requisitos de seguridad y disponibilidad¹², se emplean las Listas de Verificación (Checklist), de acuerdo con los peligros identificados. Para cada tipo de peligro, se elaboran las listas de verificación de acuerdo con los requisitos impuestos a la defensa en profundidad por estos. En caso de necesidad pueden agruparse los ítems y/o listas que sean comunes para diferentes focos de peligro.

Este paso es fundamental, pues es aquel que determina el nivel de integralidad del análisis, y donde se modelan las dependencias de la Defensa en Profundidad respecto al resto de los principios que se utilicen.

Evaluar Lista de Verificación

La evaluación de la seguridad de las maniobras mediante ENS se realiza en tres niveles o nodos sucesivos (Aspectos de Seguridad; Escalones de Defensa; Nivel de Seguridad del Escenario), como se observa en la figura 8.

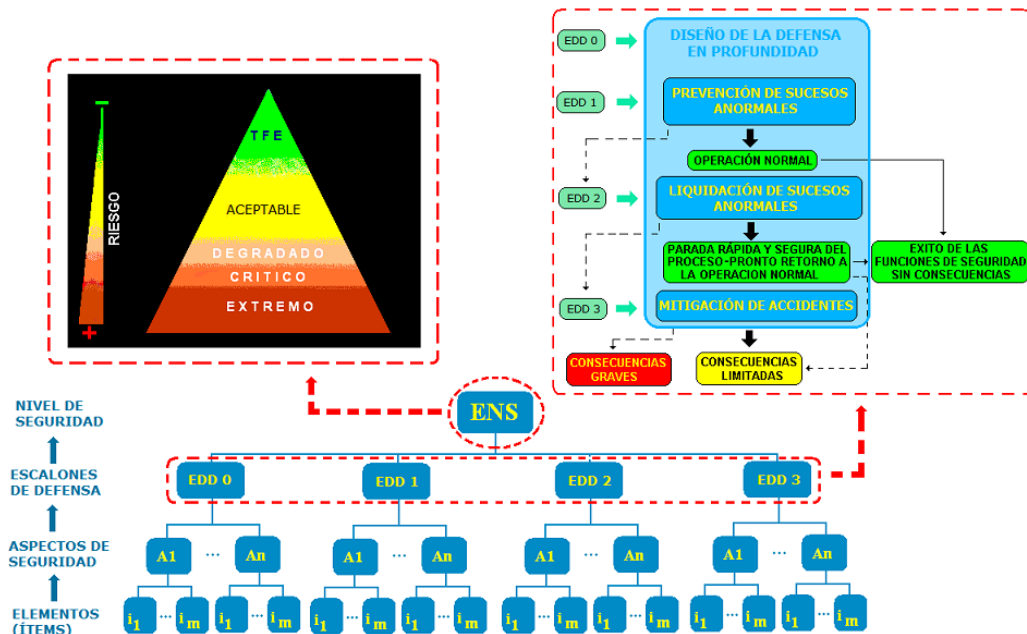


Figura 8. Diagrama de la Metodología Evaluación del Nivel de Seguridad.
Fuente: (Perdomo Ojeda. 2014)

A su vez, de manera paralela, se analizan los aspectos de mayor significación empleando para ello los Principios Básicos de Seguridad (PBS), en combinación con la metodología Bow Tie. (Véase la figura 9 y 10). En el caso de la implementación de los PBS el estudio se centró en el análisis de los ocho principios resaltados en color verde.

- Cultura de seguridad
- Defensa en profundidad
- Prácticas de Ingeniería de Eficacia Comprobada
- Factores Humanos
- Diseño
- Puesta en Servicio
- Explotación
- Experiencia de Explotación e Investigación en Materia de Seguridad

Al abordar estos principios de conjunto con la Evaluación de los Niveles de Seguridad se logra un nivel de aceptabilidad superior en cuanto al alcance del estudio, dado a que permite abarcar todos los aspectos descritos en la Integración Conceptual de la Seguridad y Riesgo al valorar de manera eficaz los cinco elementos enunciados en la figura 6.

Objetivos	Principios Fundamentales de Gestión	Principios de Defensa en Profundidad	Principios Técnicos Generales	Principios Específicos
Objetivo General de Seguridad	Cultura de la Seguridad	Defensa en Profundidad	Prácticas de Ingeniería de Eficacia Comprobada	Emplazamiento
Objetivo de Protección contra Derrame	Responsabilidad de la entidad explotadora	Prevención de Accidentes	Garantía de Calidad	Diseño
Objetivo de Seguridad Técnica	Control y Verificación Reglamentarios	Mitigación de Accidentes	Factores Humanos	Fabricación y Construcción
			Evaluación y Verificación de la seguridad	Puesta en Servicio
			Protección Contra Derrame de Hidrocarburo	Explotación
			Experiencia de explotación e investigación en materia de seguridad	Gestión de Accidentes
				Preparación para Casos de Emergencia

Figura 9. Principios Básicos de Seguridad (PBS).

Fuente: Elaboración Propia

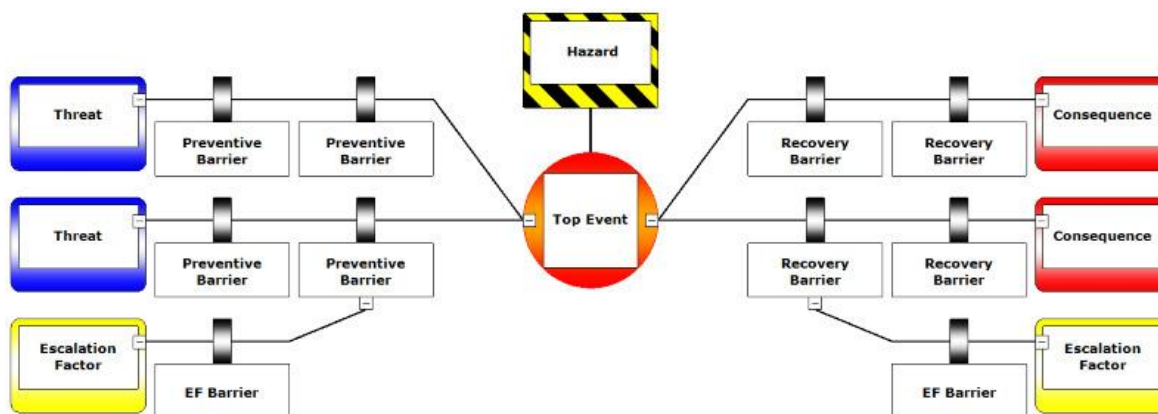


Figura 10. Metodología Bow Tie

Fuente: <https://www.wolterskluwer.com/en/solutions/enablon/bowtie/>

Se elige la metodología Bow Tie, a diferencia de otras por ser la que más potencialidades ofrece, según el alcance del estudio, destacándose por los siguientes aspectos:

- Eficaz para el análisis de dependencia operacionales por su versatilidad y gráfica implícita.
- La metodología se centra en el estudio de las medidas de prevención (barreras¹³) y mitigación (controles¹⁴) del riesgo, concibiéndose como un análisis de riesgos

simplificado y lineal: no se contemplan combinaciones de causas ni combinaciones de consecuencias)

- Es una metodología “muy visual”, adecuada para la comunicación de los riesgos a todos los niveles de una organización.
- Facilita la canalización de la experiencia personal, el conocimiento de aspectos específicos de las instalaciones, de los cuasi accidentes, etc., en una mejor comprensión de los riesgos y de las posibles mejoras.
- No solo permite identificar las barreras o controles existentes, sino también los mecanismos de falla de dichas barreras o controles (factores de escalación¹⁵), y a su vez cómo éstos son manejados (controles de factores de escalación¹⁶).
- Permite descubrir dependencias, por ejemplo: todos los aspectos críticos para la seguridad de un proceso recaen sobre una única persona.
- Su versatilidad le permite adaptarse a cualquier nivel de especificidad que se requiera (Bow Tie más genérico a nivel corporativo o más específico a nivel operacional).

Como resultado de la implementación de la metodología propuesta se identifican aquellas Opciones de Control de Riesgo que contribuyen a prevenir la colisión de los buques con las grúas de pórtico.

ETAPA 4: Opciones de Control del Riesgo

El propósito de la ETAPA 4 es proponer Opciones de Control de Riesgos (OCR) eficaces y prácticas

Esta etapa comprende las fases siguientes:

1. Fase 1: Centrar la atención en los aspectos del riesgo que hay que controlar;
2. Fase 3: Determinar las posibles medidas de control del riesgo (MCR)¹⁷;

El propósito de esta ETAPA 4 es establecer Opciones de Control del Riesgo dirigidas a los riesgos existentes y a los riesgos introducidos por las nuevas tecnologías o los nuevos métodos de explotación y gestión. Se examinan los riesgos tradicionales y los recientemente determinados (en las etapas 2 y 3). Se utilizan técnicas destinadas a abordar tanto los riesgos específicos como sus causas determinantes.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para el procesamiento de los datos se procedió con la realización de un estudio de simulación en tiempo real en un Simulador Marítimo Avanzado, en tiempo real, NTPro-4000 versión 4.62. (Véase figura 12). Para llevar a cabo el mismo se realizó la integración de los siguientes datos de entrada:

- Proceso de Virtualización de los escenarios
- Diseño Determinista de la Vía Navegable (Validado en el Simulador en Tiempo Rápido SHIPMA)
- Buque Tipo Seleccionado (Estudio de Correlación)
- Remolcadores Seleccionados (Estudio de Correlación)

- Procedimientos náuticos
- Factor Humano (Prácticos, Instructores de Simulador, Timonel)
- Clima Marítimo

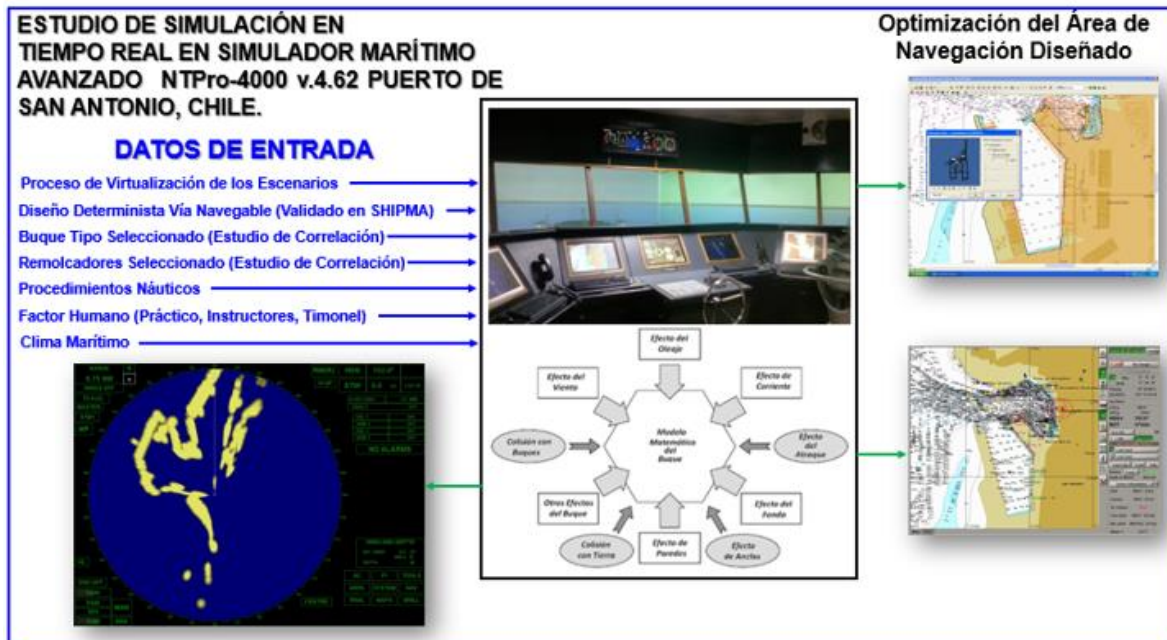


Figura 12. Procesamiento de Datos a través del Diseño del Estudio de Simulación en Tiempo Real para la investigación
Fuente: Elaboración Propia

Todo y cada uno de estos datos fueron integrados y de conjunto con las características del modelo matemático del buque MSC Daniela (Véase figura 13), de igual dimensiones del buque máximo admitido para los sitios Costanera 1 y 2.

TG 10 Info : Container ship 17 (Dis.201700t)	
View	
Type of engine	Slow Speed Diesel (1 x 72240 kW)
Type of propeller	FPP
Thruster bow	Yes
Thruster stern	None
General information	
Vessel type	Container ship 17 (Dis.20170)
Displacement	201700.0 t
Max speed	23.1 knt
Dimensions	
Length	366.0 m
Breadth	51.2 m
Bow draft	15.6 m
Stern draft	15.6 m
Height of eye	42 m

Figura 13. Modelo matemático Container ship17 (Buque MSC Daniela)
Fuente: Transas Marine LTD

8. RESULTADOS

- Se desarrolló un ANÁLISIS DE SEGURIDAD personalizado sobre la base de un modelo genérico¹⁸, donde los principales elementos a considerar fueron modelados como atributos de funciones vitales dentro del propio modelo:
 - Condiciones del navegación y maniobrabilidad.
 - Condiciones límites de maniobras.
 - Tipo de buque que se emplea en la maniobra (buque portacontenedores).
 - Asistencia de remolcadores y cantidad disponible.
 - Introducción de fallos operacionales.
 - Respuesta ante emergencias.
 - Condiciones de maniobrabilidad.
- Se identificaron como sistemas vitales para la seguridad de las operaciones las siguientes Funciones de Seguridad (FS), las cuales fueron modeladas en un árbol de eventos (Véase Anexo 6) utilizando la teoría de confiabilidad¹⁹ de sistemas:

Funciones de Seguridad:

- Función de Comunicaciones (FCOM)
 - Función Sistema de Ayuda a la Navegación (FSAN)
 - Función de Controlabilidad (FCONT)
- Durante el proceso de Evaluación Cuantitativa del Riesgo (ECR) y el Análisis de confiabilidad y riesgos de las maniobras del buque se corrobora la efectividad de emplear cuatro remolcadores como escalón de defensa óptimo.

Como resultados de la aplicación de los Principios Básicos de Seguridad al estudio tenemos que:

- Se identifica como última barrera de seguridad, ante casos de emergencia, la necesidad de una configuración óptima de remolcadores, bajo criterios de confiabilidad y riesgos, que garantice la seguridad del buque (Cuatro remolcadores).
- No se debe operar ninguno de los componentes del sistema integral asociado a las maniobras con este tipo de buque, con sistemas y componentes degradados e indisponibles, entiéndase: remolcadores, sistemas vitales de abordó (Comunicaciones) y de aseguramiento a las maniobras en puerto (Sistema de Tráfico de Buques).
- Se identificó que las fallas múltiples cuando están combinadas con la presencia de errores humanos constituyen el mayor contribuyente al riesgo de accidentes de colisión del buque con las grúas durante las maniobras; al evidenciarse el debilitamiento de la redundancia y diversidad de los sistemas vitales.
- La aplicación del APS, en el estudio permitió identificar las vías hacia donde se deben dirigir los esfuerzos fundamentales y que se realicen hacia los focos vitales de mayor importancia dentro de la propia actividad de explotación del canal de aproximación.

Como resultados de la metodología Bow Tie tenemos que:

- Se identificó como evento tope (Principal)²¹: la Colisión del buque Neo-Panamax con las Grúas de Pórtico Terminal Marítima DP World San Antonio.
- Se identificaron como peligros, en función de los escenarios los siguientes:
 - Fallo en la máquina principal del buque.
 - Fallo en los remolcadores (Según esquema empleado).
 - Fallo por ruptura del cabo de remolque.
 - Fallo del Sistema de Gobierno del Buque.
 - Fallo de las hélices horizontales de maniobras de proa (Bow Thrusters).
 - Error humano (Capitán/Práctico Actuante/Capitanes de remolcadores).
 - Cantidad y disponibilidad operativa de remolcadores.
 - Estado de Capacidad de Trabajo²⁰ de los sistemas tecnológicos, tanto del buque como de los remolcadores.
 - Configuración de los remolcadores para la asistencia al Buque para las condiciones de carga modeladas, según las condiciones hidrometeorológicas imperantes.

Como resultados de la ETAPA 4 Opciones de Control de Riesgo para evitar la colisión entre un buque portacontenedor con las grúas de pórtico de la terminal DP World San Antonio, tenemos las siguientes:

- Las maniobras de atraque y desatraque se deben realizar con el buque parado y paralelo al muelle. Se debe evitar aproximaciones con ángulos al muelle.
- Las grúas de pórtico con booms de 68 metros deberán ser izadas antes del inicio de la maniobra de atraque / desatraque y no podrán ser bajadas hasta que el Práctico de Servicio lo autorice.
- El práctico debe utilizar una Unidad Portátil de Pilotaje (PPU) asistido con sistema GPS diferencial, independiente al que utiliza el buque.
- Debe de existir un sistema que controle el tráfico de buques, en tiempo real dentro del puerto para evitar situaciones de aproximaciones excesivas entre buques.
- Los sistemas de gobierno, de propulsión y hélices horizontales de proa (Bow Thrusters) deben estar en correcto Estado de Capacidad de Trabajo con un umbral nominal ante emergencia superior al 85% de efectividad.
- La estrategia de uso de remolcadores debe enfocar su eficacia en hacer el mínimo uso posible de los mismos que permita el control del barco.
- Las maniobras se realizarán de manera controlada utilizando regímenes de máquina bajos, y un nivel de uso de medios auxiliares razonable.
- El remolcador timón deberá mantener el control de la velocidad del buque durante la aproximación, incluso cuando el buque lleve evolución, dígame velocidad mínima (Dead Slow Ahead) Muy Despacio Avante.
- La formación de cuatro remolcadores de propulsión especial (ASD) superior a 60 t de tiro a punto fijo se considera adecuada para las maniobras para las condiciones límite definidas, siempre y cuando la sumatoria total satisfaga la demanda que exige el buque en cuanto a tonelaje.
- Para las maniobras se deberá disponer de la combinación global de la configuración de remolcadores adicionando como reserva el uso de los Bow Thrusters.

- Respecto al nivel de uso de remolque, ninguno de los remolcadores se debe de operar por encima del 50% de su potencia nominal en las maniobras normales. Esto permite disponer un margen adicional de fuerza de remolque en caso de incidencia, Y se tiene en cuenta la antigüedad del remolcador y subsiguiente pérdida de potencia, la habilidad del patrón, y elementos degradados.
- El remolcador que opere en popa fungirá como remolcador timón (debe ser el de mayor potencia dentro de la configuración de asistencia de remolque), papel importante en el tránsito por el canal ya que ayuda a controlar la velocidad y posición del buque actuando como timón. En caso de pérdida de máquina del buque, el remolcador permitiría además una rápida respuesta a dicha emergencia.
- En ningún caso la formación de remolque deberá ser inferior a 4 unidades. Esto permite equilibrar las fuerzas en proa y popa y mejorar el control del buque.
- La viabilidad de las maniobras está ligada a la disponibilidad de hélices horizontales de maniobra de proa. Así, esta deberá estar plenamente operativa y en buen estado durante las maniobras (Su uso resulta fundamental para mantener el control, y ayudar en la fase de giro. En el caso de que no se disponga de hélice de proa, puede sustituirse por un remolcador adicional, de tipología y potencia similar a la utilizada: remolcador de propulsión especial (ASD) con potencia mínima de 60 t.).
- El práctico actuante deberá estar familiarizado y entrenado en situaciones de emergencia en Simulador Marítimo Avanzado (Simulador en Tiempo Real).
- Evitar el tránsito de personas debajo de las grúas cuando se estén realizando maniobras de atraque o desatraque del buque.
- Aumentar el calado aéreo de las grúas durante las maniobras de atraque y desatraque, evitando que nada de los efectivos flotantes impacten sobre ella.

9. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Implementar la metodología, a cabalidad, en la Terminal de Contenedores DP World San Antonio S.A. u otra terminal de contenedores.
- Se recomienda disponer a bordo de una unidad portátil de práctico (Portable Pilot Unit (PPU)). Este dispositivo permite disponer de información precisa adicional de ayuda al posicionamiento del buque durante las maniobras.
- Se recomienda instalar en el muelle un sistema de ayuda al atraque o BAS (Berthing Aid System), sistema de información en tiempo real que ayuda a la navegación segura y la eficiencia en el transporte.
- Se recomienda que los Pilotos establezcan un protocolo de comunicación con los Capitanes de los buques para informarles de la maniobra antes de llevarse a cabo. Esto debe incluir la descripción de la estrategia en sus diferentes fases (inicio del giro, distancias de referencia, ...) con el objetivo de aumentar el grado de confianza y la tranquilidad con la maniobra del buque.
- Es imprescindible que los Prácticos a cargo de las maniobras tengan un detallado conocimiento de la geometría del escenario, así como de las condiciones hidrometeorológicas previstas para el momento (Evitar Falsas Complacencias).
- La hipótesis de partida que ha permitido obtener los resultados presentados considera que las maniobras se realizarán por un Práctico familiarizado con la configuración del escenario y las características del buque. Además, debe conocer las medidas y acciones a ejecutar en caso de una situación de emergencia (Entrenadas en Simulador Marítimo Avanzado).
- Llevar a cabo sesiones de entrenamiento mediante Simulador de Maniobras en tiempo real con el mayor número posible de los Prácticos locales y Capitanes de remolcadores, al objeto de familiarizarse con el comportamiento de estos buques y su estrategia durante la aproximación/atraque y desatraque. Entrenar situaciones de emergencia.
- Se recomienda disponer en el puerto de los medios adecuados para que los Prácticos puedan abordar al buque de forma segura en las condiciones límite propuestas. Además, se recomienda aprovecharse del abrigo que el propio portacontenedores puede ofrecer respecto al oleaje exterior, realizando el embarque por la banda contraria de la que proviene el oleaje.
- Elaborar un procedimiento para las maniobras con buques Neo-Panamax o superiores de forma que se consideren o prevean todos los riesgos razonables, así como instruir a los participantes en tareas de vigilancia, información, comunicación, etc. Estas tareas deben ser asignadas tanto a los integrantes de los servicios portuarios, como a las tripulaciones de los buques.

10. CONCLUSIONES

- Se identifica que la configuración de asistencia de los remolcadores (4) constituyen el de mayor nivel de importancia por su contribución al riesgo, máxime bajo probables situaciones de emergencia.
- Se diseña una metodología diseñada, bajo un enfoque proactivo, destinado a la identificación de Opciones de Control de Riesgos (OCR) para prevenir la colisión entre buques portacontenedores Neo-Panamax con Grúas Pórtico en la Terminal de Contenedores DP World San Antonio S.A.
- El análisis histórico – lógico desarrollado permitió identificar la secuencia evolutiva de los buques portacontenedores y su impacto en el crecimiento de las grúas pórtico.
- Se identificaron los peligros que provocan la ocurrencia de accidentes que involucran a buques portacontenedores y grúas pórticos de terminales de contenedores.
- Se diseña una metodología en correspondencia a la Metodología Evaluación Formal de Seguridad (EFS) y Análisis Probabilista de Seguridad (APS)

11. GLOSARIO

¹ **Peligro:** Situación que presenta una amenaza para la vida humana, la salud, los bienes o el medio ambiente.

² **Amenaza / Causa:** Aquella que da lugar a la liberación del peligro. Cada amenaza debe ser causa necesaria y suficiente para provocar por si mi misma el evento principal.

³ **Riesgo:** La probabilidad de que un hecho peligroso se produzca y la gravedad de sus consecuencias (Combinación de la frecuencia y gravedad de las consecuencias).

⁴ **Principios Básicos de Seguridad:** Conjunto de principios de seguridad implementados en el sector nuclear, como industria de excelencia, que ha sido extrapolado al sector convencional. Por su nivel de implementación contribuye a identificar fallas de seguridad en actividades donde se realicen análisis de riesgo.

⁵ **Opciones de Control de Riesgos:** Aquellas acciones que se tomen en el sentido de contener o reducir los riesgos asociados a un evento dado. Combinación de medidas de control del riesgo.

⁶ **Accidente:** Suceso no previsto que ocasiona fallecimientos, lesiones, la pérdida o avería de un buque, la pérdida o avería de otros bienes o un daño ambiental.

⁷ **Análisis Probabilista de Seguridad (APS):** Metodología surgida en la década del 60 y desarrollada por industrias de alto riesgo potencial como la nuclear, que conjuga los métodos de árbol de fallos, con el de árbol de eventos.

⁸ **Seguridad:** Concepto relativo al conjunto de medidas técnicos-organizativas que garantizan, con elevado nivel de confianza, la protección de las tecnologías, el hombre y el medio ambiente.

⁹ **ALARP:** Acrónimo a la metodología conocida por el propio nombre **ALARP** (*As Low As Reasonably Practicable*) que se emplea para describir un riesgo que se ha reducido a un nivel que es ***“el más bajo prácticamente posible”***.

¹⁰ **Árbol de Fallo:** Modelo lógico deductivo, que parte del suceso tope para el cual se produce el fallo del sistema. De una forma sistemática se va desarrollando el suceso tope en sucesos intermedios que conducen a éste, y a su vez los sucesos intermedios en otros de menor jerarquía hasta llegar a los sucesos primarios, determinados por el nivel de resolución de análisis posible o deseable.

¹¹ **Árbol de Eventos:** Es un diagrama lógico inductivo, que modela la evolución de un suceso iniciador hasta los estados finales de daño. El camino hacia cada estado final se denomina secuencia accidental y las bifurcaciones en el árbol indican las dos vías posibles de desarrollo de la avería, dependiendo del éxito ó el fallo del sistema indicado en el encabezamiento. La línea superior es el camino del éxito y la inferir el de fallo.

¹² **Disponibilidad:** Probabilidad que un sistema, subsistema o equipo esté disponible para su uso durante un tiempo dado.

¹³ **Barrera:** Medida de protección cuyo objetivo es prevenir que las amenazas puedan liberar un peligro y producir el evento principal.

¹⁴ **Controles:** (Medidas de mitigación) Medidas que previenen la ocurrencia de la consecuencia o reducen el efecto de esta.

¹⁵ **Factores de Escalación:** Condiciones que debilitan o reducen la eficacia de una barrera o control.

¹⁶ **Controles de los Factores de Escalación:** Controles puestos para manejar las condiciones.

¹⁷ **Medida de control del riesgo (MCR):** Medio para controlar un solo elemento de riesgo.

¹⁸ **Modelo genérico:** Conjunto de funciones comunes a todos los buques o aspectos sometidos a examen.

¹⁹ **Confiabilidad:** Es la propiedad de un sistema (elemento, componente o pieza) de cumplir las funciones para él previstas, manteniendo su capacidad de trabajo bajo los regímenes y condiciones de explotación prescritos y durante el intervalo de tiempo requerido. Dicho de otra forma, la confiabilidad es la propiedad del sistema de mantenerse sin experimentar un suceso de falla durante el tiempo y las condiciones de explotación establecidos.

²⁰ **Estado de Capacidad de Trabajo:** Estado que presenta un sistema, determinado, que establece la capacidad y eficiencia de este.

²¹ **Evento Principal o Primer Acontecimiento (Top Event):** Es la materialización o “liberación” del peligro, en una localización y escenario específico. Primer momento donde se pierde el control sobre el peligro.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Iprofesional. (2022). Qué significa holismo y qué es el enfoque holístico. *Iprofesional.com*. Recuperado de <https://www.google.com/amp/s/www.iprofesional.com/actualidad/342084-que-significa-holismo-y-que-es-el-enfoque-holistico.amp>
- Carhuancho, I.M., Nolazco, F.A., Monteverde, L.S., Guerrero M.A. y Casana, K.M. (2019). *Metodología para la investigación holística*. Guayaquil, Ecuador: Editorial UIDE. Primera Edición.
- D.G.T.M. y M.M. (2023). Resolución Operacional C.P. S.A. ORD. N° 12.000/ 90/ VRS que Habilita la Operación del Puerto de San Antonio. Dirección General del Territorio de Marítimo y de Marina Mercante. 07 de marzo de 2023.
- MTT/EPSA/DIRECTEMAR. (2021). Mesa SAM - Análisis de las oportunidades de mejora a las normativas o procedimientos aplicados actualmente en el puerto respecto de los servicios de apoyo a las maniobras. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones/Empresa Portuaria San Antonio/DIRECTEMAR. 21 de abril de 2021.
- DP World San Antonio S.A. (2022). Manual de servicios. Frente de atraque Costanera Espigón del Puerto de San Antonio. DP World Ports & Terminals. Agosto 2022.
- EPSA. (2023). Plan Maestro 2023. Empresa Portuaria San Antonio. Marzo 2023.
- The Geography and Transport Systems. (2023). (<https://transportgeography.org/contents/chapter5/maritime-transportation/evolution-containerships-classes/>).
- Allyn International. (2023). The evolution of container ships and their sizes. (<https://logisticselearning.com/largest-container-ships/>).
- ACP. (2016). Registro del Canal de Panamá. Acuerdo 294. Volumen 18, Número 7. Publicación Oficial de la Autoridad del Canal de Panamá. 21 de julio de 2016. <https://pancanal.com/wp-content/uploads/2021/12/reg-pub-vol18-07.pdf>
- Peral Moyano, A. (2020). El impacto de los megabuques en las terminales de contenedores: un estudio de caso. [Tesis de Maestría, Universidad de Cádiz de España]. <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/23666/TFM%20ALVARO%20PERAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez Rapaport, C.; Alegre Fuentes, M. (2022). El impacto de los megabuques. [Tesis de Maestría, Universidad Europea Valencia de España]. <https://titula.universidadeuropea.com/handle/20.500.12880/3580>
- Fernández Pérez, D. (2009). Estudio técnico y mantenimiento de una grúa portacontenedores. [Tesis de Ingeniería, Facultad de Náutica de Barcelona de España]. <https://core.ac.uk/download/pdf/41794661.pdf>

- Fowcett, J.A. (2021). Container Cranes: Linking Ship to Shore. USC University of Southern California. Published July 30, 2021. <https://dornsife.usc.edu/uscseagrant/14-container-cranes-linking-ship-to-shore/>
- Canal empresaocéano. (2018). *Accidente del portacontenedores Tolten de CSAV en Pakistán*. [Archivo de Video]. Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=fGeggYts6pw>. 20 de marzo de 2018
- Canal mascontainer. (2019). *Nave de APL derrumba grúa en el puerto de Amberes*. [Archivo de Video]. Youtube <https://youtu.be/6uz9SEou3lq> 16 de diciembre de 2019
- Canal empresaocéano. (2020). *El aparatoso accidente de un buque portacontenedores en Busan, Corea del Sur*. [Archivo de Video]. Youtube. <https://youtu.be/ijZPjz03mBY> 6 de abril de 2020
- CIAIM. (2022). Informe CIAIM-17/2022. Colisión del buque MSC MIA contra una grúa pórtico del Puerto de Valencia provocando desplome de la grúa y resultando herido grave su operador, el 13 de septiembre de 2020. https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/ic_17-2022_msc-mia_web.pdf
- Canal empresaocéano. (3 de junio de 2021). *Portacontenedores provoca derrumbe de dos grúas pórtico en principal puerto de Taiwán*. [Archivo de Video]. Youtube. https://youtu.be/6Q79_Ocn9qc
- IMO. (2002). *Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process*. International Maritime Organization (IMO). London. Great Britain.
- IMO. (2008). *Formal Safety Assessment FSA-Crude Oil Tankers*. International Maritime Organization (IMO). London. Great Britain.
- Macduff, T. (1974). Probability of Vessel Collisions. *Ocean Industry*, 9(9): 144-148.
- Fujii, Y., Yamanouchi, H. and Mizuki, N. (1974). Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic. II: The probability of stranding, III: The effect of darkness on the probability of stranding. *Journal of Navigation*, 27: 239-252.
- Friis-Hansen, P., Pedersen, P.T. (1998). Risk Analysis of Conventional and Solo Watch Keeping. Submitted to International Maritime Organization (IMO). Maritime Safety Committee by Denmark at the 69th Session., London, Great Britain.
- COWI. (2008). *Risk analysis of sea traffic in the area around Bornholm*. Kongens Lyngby, Denmark: COWI A/S, Report No.: P-65775-002, January 25.
- IALA-AISM. (2019). Training Seminar on the use of the IALA Risk Management Toolbox. Cartagena, Colombia.

- IALA-AISM (2017). Directriz AISM. G1123 El uso del programa de valoración del riesgo en las vías navegables (IWRAP MKII). IALA-AISM. Edición 1.0. Saint Germain en Laye. France.
- GDA/APS. (1997) *Principios Básicos de la Seguridad Orientado a la Industria*. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (ISCTN). Ciudad de La Habana. Cuba. 1997.
- Puerto del Estado. (1999). *ROM 3.1-99 Proyecto de configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación*. Editorial Obras Marítimas Tecnología. Puerto del Estado. España.
- PIANC. (2014). *Harbour Approach Channels Design Guidelines*. Report No. 121-2014. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. ISBN 978-2-87223-210-9. VAT BE 408-287-945. Brussels. Belgium.
- Perdomo Ojeda, M. (2014). Métodos semicuantitativos avanzados de evaluación de la seguridad y confiabilidad de prácticas con riesgos asociados. [Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería Nuclear. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (InSTEC) de La Habana, Cuba].

13. ANEXOS

13.1 ANEXO 1. SITIOS DE ATRAQUE COSTANERA No.1, 2. “DP WORLD SAN ANTONIO”.

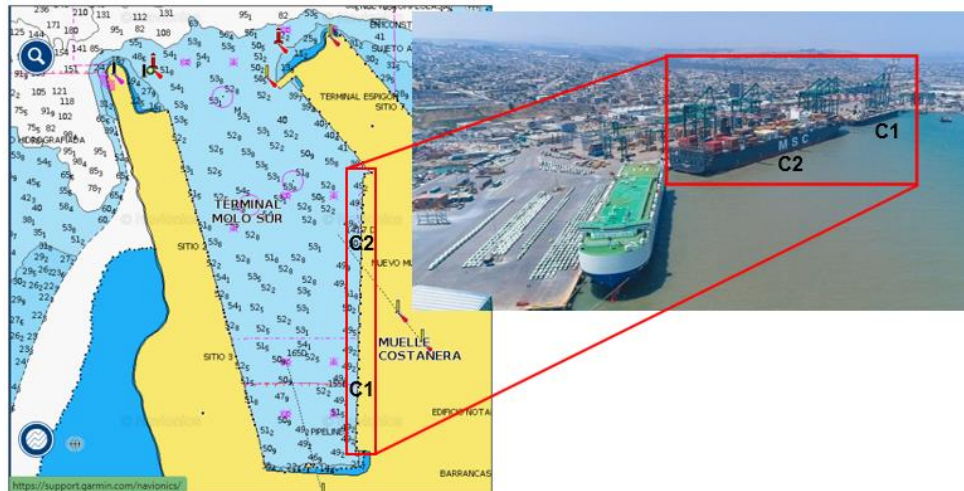


Figura 1. Sitios Costanera No.1, 2. Terminal de Contenedores “DP World San Antonio”.
Fuente: Elaboración Propia.

13.2 ANEXO 2. MUELLE COSTANERA CON BUQUE DE PASAJE Y PORTACONTENEDORES ATRACADOS.



Figura 2. Buque de Pasaje y Portacontenedores compartiendo el Muelle Costanera.
“DP World San Antonio”.

Nota. Adaptado de Marca Chile [Fotografía], Autor: Guy Wenborne. Temas: Negocios y Exportación Turismo y Deporte Vida y cultura. (<https://marcachile.cl/toolkit/puerto-de-san-antonio-2/>).

13.3 ANEXO 3. EVOLUCIÓN BUQUES PORTACONTENEDORES.

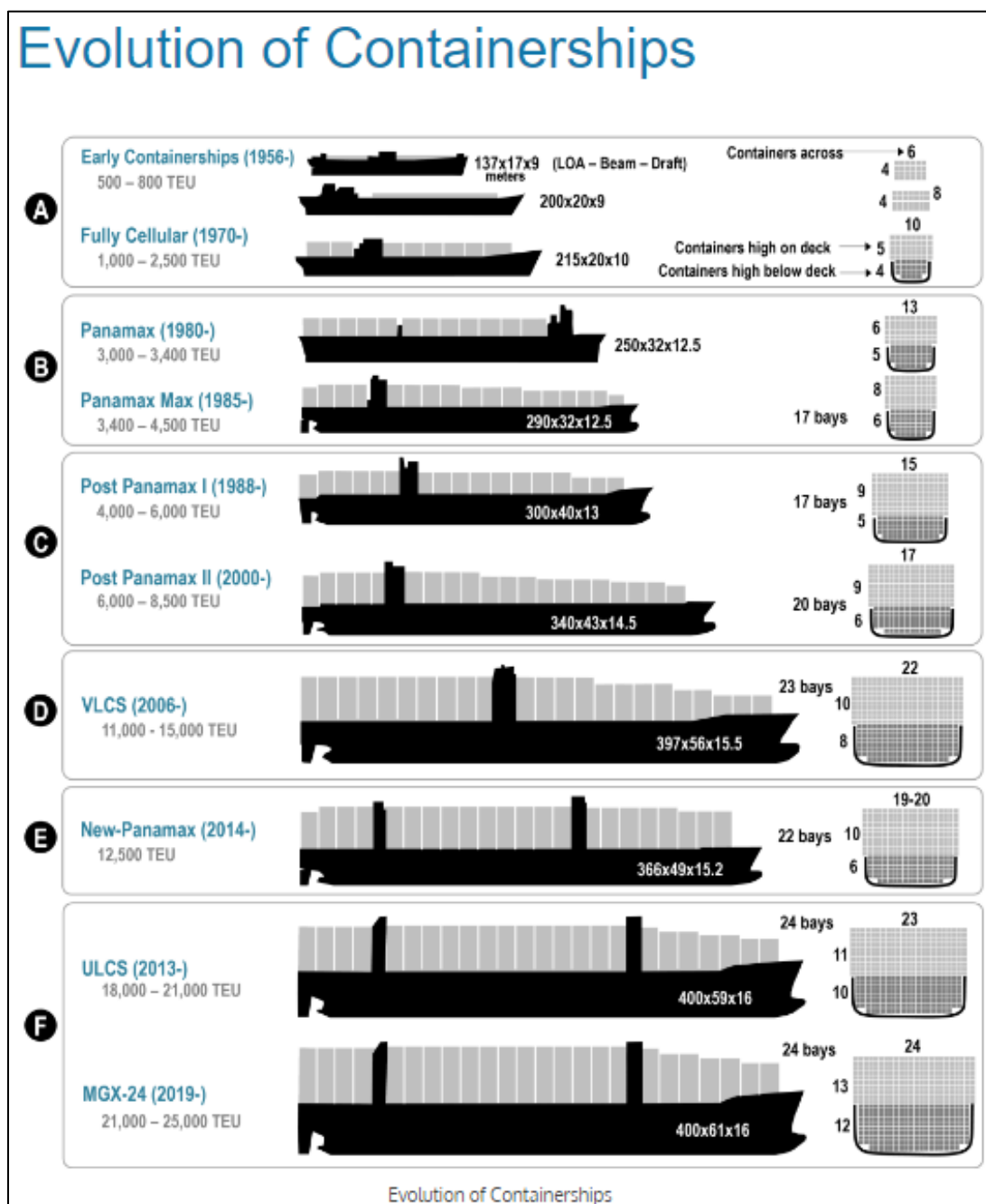


Figura 3. Evolución de los Buques Portacontenedores.

Nota. Adaptado de The Geography and Transport Systems [Fotografía],

(<https://transportgeography.org/contents/chapter5/maritime-transportation/evolution-containerships-classes/>).

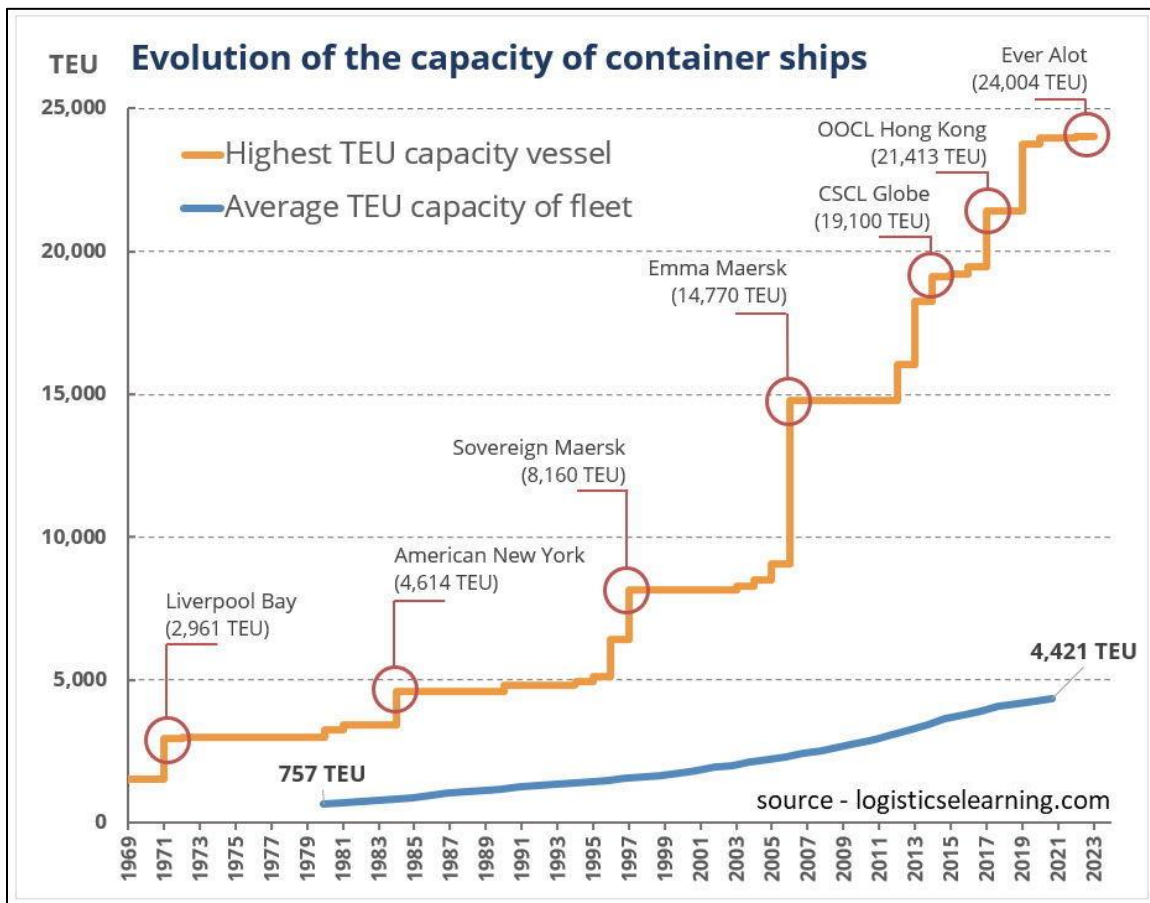


Figura 4. Evolución de la capacidad de los Buques Portacontenedores.

Nota. Adaptado de Allyn International [Fotografía]. The evolution of container ships and their sizes. (<https://logisticselearning.com/largest-container-ships/>).

13.4 ANEXO 4. GRÚAS STS LIEBHERR INSTALADAS EN LA TERMINAL DP WORLD SAN ANTONIO S.A.

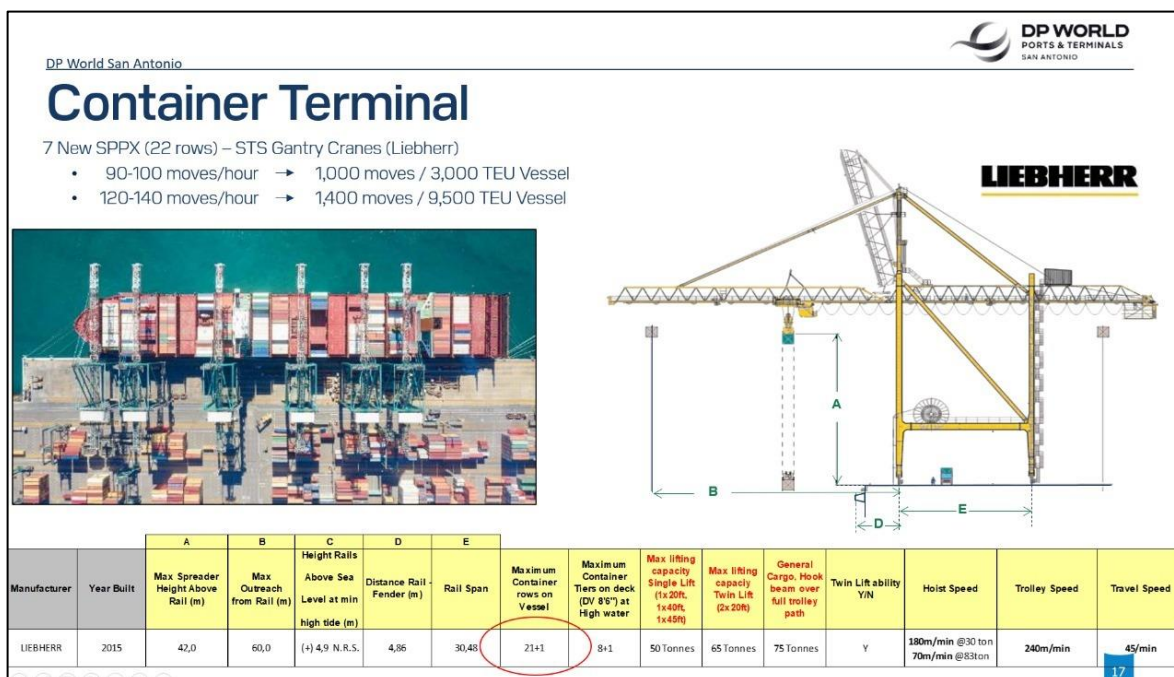


Figura 5. Grúas STS LIEBHERR instaladas en la Terminal de Contenedores DP World San Antonio S.A.

Fuente: <https://www.dpworld.com/en/san-antonio>

13.5 ANEXO 5. RESUMEN DE ACCIDENTES QUE INVOLUCRAN A BUQUES PORTACONTENEDORES CON GRÚAS PÓRTICO.

Tabla 1. Resumen de accidentes que involucran a buques portacontenedores con grúas pórtico.

NO.	FECHA DEL ACCIDENTE	BREVE DESCRIPCIÓN	REFERENCIA
1.	20.03.2018	Colisión entre los dos buques portacontenedores “Tolten” y “Hamburg Bay” en la Terminal Hutchison Port en el Puerto de Karachi, Pakistán. “Tolten” perdió el control de la maniobra.	(empresaoceano.2018)
2.	16.12.2019	Nave de APL “Mexico City” derrumba grúa STS en <u>DP World’s Antwerp Gateway</u> Puerto de Amberes. Causa malas condiciones climáticas (Fuentes Vientos).	(mascontainer.2019)
3.	04.06.2020	Portacontenedores “Milano Bridge” pierde el control de la maniobra por exceso de velocidad cuando intentaba atracar en la nueva terminal de Busan. Korea del Sur. Colisión con una grúa y posterior con el buque portacontenedores “Seaspan Ganges”. Descarrila otras dos grúas.	(empresaoceano.2020)
4.	13.09.2020	Colisión “MSC Mia” con Grúa de Pórtico en Puerto de Valencia, España. Causa error de maniobra.	(CIAIM.2022)
5.	03.06.2021	Error de maniobra del buque portacontenedor “OOCL Durban”, de propiedad japonesa Nissen Kaiun, rozó a un buque más pequeño y colisiona provocando el desplome de dos grúas pórtico (STS) en el principal puerto de Taiwan.	(empresaoceano.2021)
6.	23.03.2023	Buque portacontenedores “Mona Lisa” contactó y dañó tres grúas pórtico en Athabaskakai, Terminal de contenedores Burchardkai (CTB), Hamburgo. Causa error de maniobrabilidad.	(fleetmon.2023)

Fuente: Elaboración Propia.

13.6 ANEXO 6. ÁRBOL DE OPERACIONES PARA LAS CONDICIONES LÍMITES DE MANIOBRAS SEGURAS (AO-CLMS).

Se presenta el Árbol de Operaciones para las Condiciones Límites de Maniobras Seguras (AO-CLMS), resultado de la implementación de la teoría de la confiabilidad y riesgo, empleando para ello el método de árbol de eventos, combinado con el árbol de fallos, por tanto, la implementación de un Análisis Probabilista de Seguridad Nivel 1.

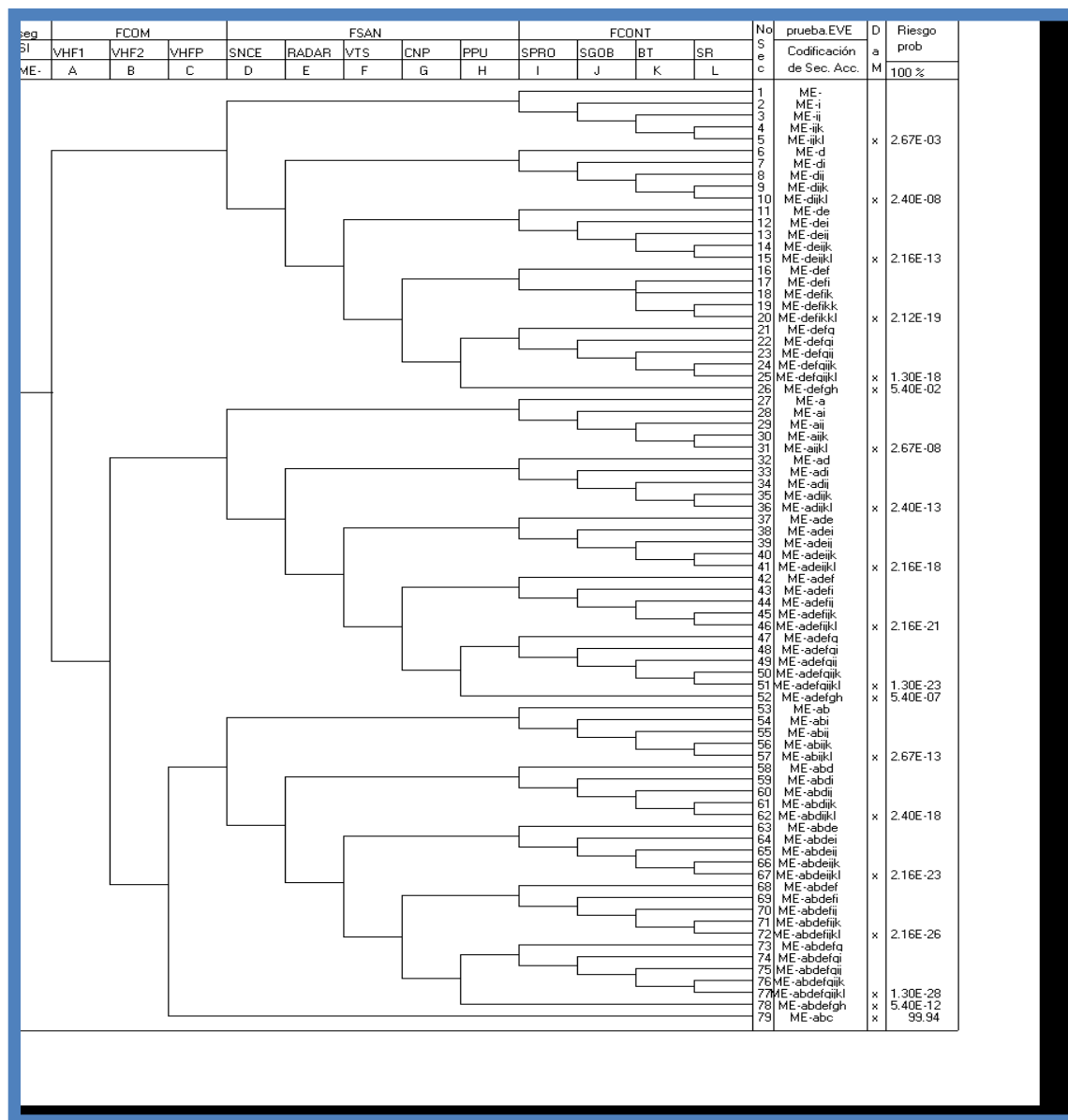


Figura 11. Árbol de Operaciones para las Condiciones Límites de Maniobras Seguras (AO-CLMS), asociada al estudio con cuatro remolcadores, expresado por ciento.

Fuente: Elaboración Propia.

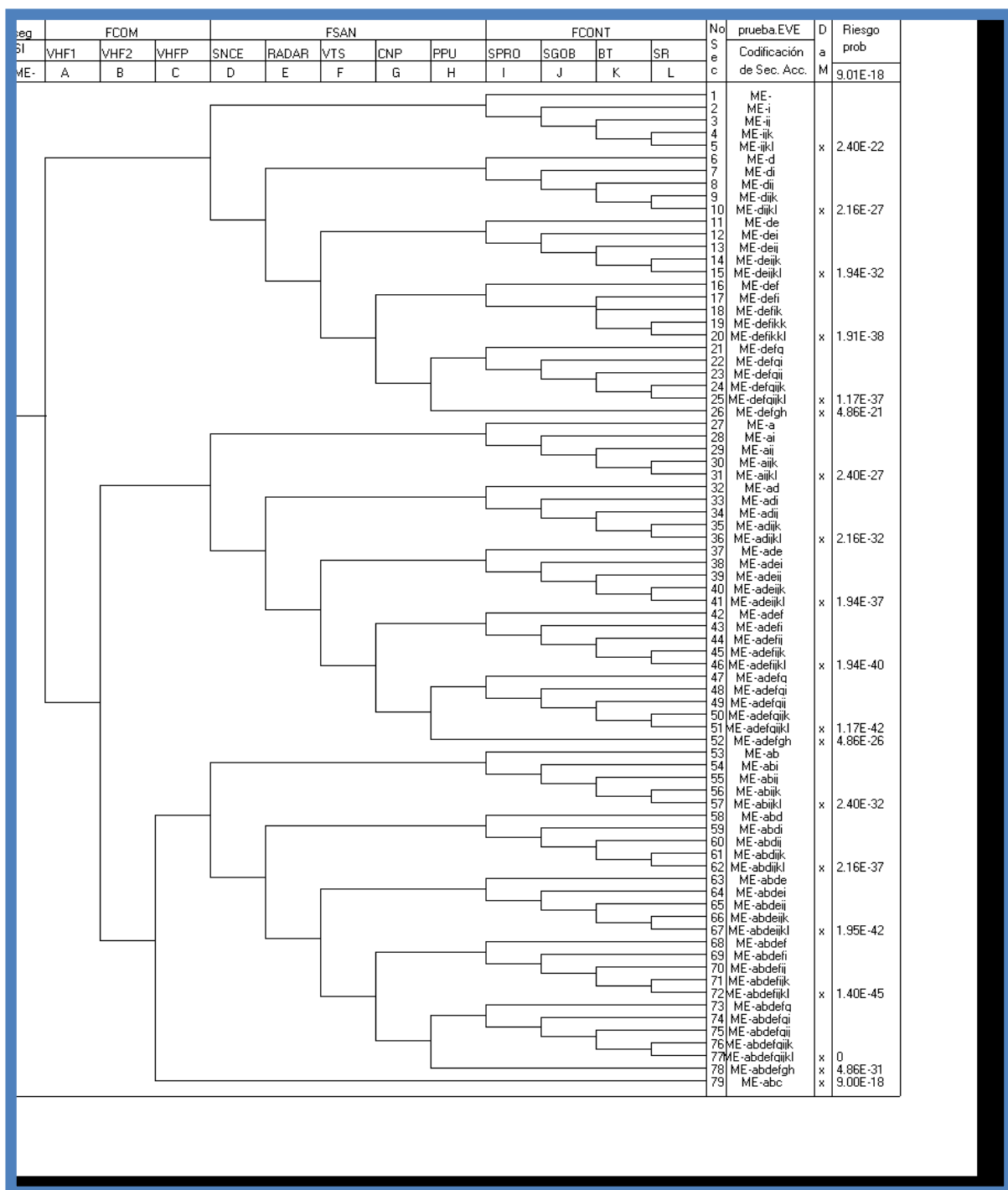


Figura 12. Árbol de Operaciones para las Condiciones Límites de Maniobras Seguras (AO-CLMS), asociada al estudio con cuatro remolcadores, expresando el riesgo en valor de probabilidad.

Fuente: Elaboración Propia.