



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

Evaluación de escenarios de mejora para la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.

Programa de Maestría en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Industrial

Autor

Héctor Raúl Sánchez Arcos

Director

Jair Fernel Cuero Angulo

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

2024

## Tabla de Contenido

Introducción .....	12
Posible título de trabajo de grado.....	13
1. Definición del problema de investigación .....	14
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Pregunta de investigación.....	18
1.3 Hipótesis.....	18
1.4 Alcance del trabajo de grado.....	19
2. Objetivos.....	20
2.1 Objetivo general .....	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
2.3 Resultados esperados.....	20
3. Justificación .....	22
4. Marco De Referencia .....	23
4.1 Estado del arte .....	23
4.1.1 Estudios Internacionales.....	23
4.1.2 Estudios Nacionales.....	27
4.2 Marco contextual.....	31
4.2.1 Historia de Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.....	32
4.3 Marco teórico .....	34
4.3.1 Teorías relevantes en la logística portuaria.....	35
4.3.1 Proceso marítimo operativo de contenedores.....	38
4.3.2 Indicador de eficiencia portuaria.....	40

4.3.3	Logística portuaria.....	43
4.3.4	La eficiencia en la cadena de suministro .....	44
4.3.5	La optimización de operaciones portuarias .....	44
4.3.6	El papel crucial de la tecnología en la toma de decisiones informadas.....	45
4.4	Marco legal.....	46
5.	Metodología .....	48
5.1	Enfoque del estudio.....	48
5.2	Tipo de estudio.....	49
5.2.1	Diseño.....	49
5.2.2	Método.....	49
5.2.3	Fases de la investigación .....	50
6	Recursos a emplear.....	51
6.1.1	Humanos.....	51
6.1.2	Director .....	51
6.1.3	Físicos.....	51
6.1.4	Bibliográficos .....	51
Capítulo I	.....	52
7	Caracterización de cada una de las etapas que conforman el proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. ....	52
7.1	Proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A (Exportación) .....	52
7.2	Proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A (Importación) .....	61
7.3	Caracterización del proceso marítimo.....	72
7.3.1	Etapa I: Anuncio de Motonaves y Carga.....	72

7.3.2	Etapa II: Creación de la Motonave y Generación de la Visita.....	72
7.3.3	Etapa III: Generación de Órdenes de Ingreso de Contenedores .....	72
7.3.4	Etapa IV: Planificación Operativa .....	72
7.3.5	Etapa V: Descargue y Control Aduanero.....	73
7.3.6	Etapa VI: Almacenamiento y Monitoreo de la Carga.....	73
	Capítulo II.....	75
	8. Analizar los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., evaluando aspectos como el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión. ....	75
8.1	Análisis y Cálculo de los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores para el año 2021 y 2023.....	76
8.1	Comparativo de indicadores entre los años 2021 y 2023.....	78
	Capítulo III.....	82
	9. Evaluación de alternativas del proceso operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., empleando el software portuario Navis N4 con el módulo XPS, generando diversos escenarios que posibiliten la visualización y optimización de la asignación de recursos, con el propósito de proponer estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto .....	82
9.1	Evaluación de alternativa#1 .....	85
9.2	Evaluación de alternativa#2 .....	87
9.3	Evaluación de alternativa#3 .....	88
9.4	Evaluación de alternativa4 .....	90
9.5	Evaluación de alternativa#5 .....	92
9.6	Operación real .....	97
9.7	Escenario que posibilita la visualización y optimización de la asignación de recursos en la SPRB .....	101

9.8	Estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto .....	103
9.8.1	Optimización de la Programación de Grúas y TTs Basada en Datos .....	103
9.8.2	Mejora Continua en la Capacitación y Eficiencia del Personal Operativo..	103
10.	Glosario de Términos Especiales.....	106
	Conclusiones.....	107
	Recomendaciones .....	109
	Referencias Bibliográficas .....	112
	Anexos .....	118

## **Lista de Tablas**

Tabla 1. Estudios Internacionales .....	24
Tabla 2. Estudios Nacionales .....	27
Tabla 3. Volumen de contenedores de los primeros diez puertos marítimos del mundo.	41
Tabla 4. Indicadores de productividad portuaria. ....	42
Tabla 5. Indicadores de Productividad.....	76
Tabla 6. Costos Servicios de Operación de Contenedores .....	83
Tabla 7. Escenarios simulados .....	85
Tabla 8. Evaluación de anternativas optimas.....	101
Tabla 9. Implementación de estrategias.....	104

## Lista de figuras

Figura. 1. Ubicación geográfica de Colombia en el mapa mundo.....	31
Figura. 2. Planos Puerto de Buenaventura.....	33
Figura. 3. Puerto de Buenaventura.....	34
Figura. 4. Teoría de la administración de la cadena logística.....	36
Figura. 5. Teoría del Impacto de COVID 19 en las operaciones y el rendimiento portuario .....	36
Figura. 6. Teoría del papel de las autoridades portuarias en el desarrollo de instalaciones de suministro de gas natural licuado como combustible marítimo.....	37
Figura. 7. La teoría de la conectividad portuaria en una red logística.....	37
Figura. 8. La teoría de los efectos de las características de las rutas comerciales y los patrones de demanda sobre las inversiones en infraestructura portuaria.....	38
Figura. 9. Etapa I (Exportación).....	53
Figura. 10. Etapa II (Exportación).....	56
Figura. 11. Etapa III (Exportación).....	58
Figura. 12. Etapa IV (Exportación).....	60
Figura. 13. Etapa I (Importación).....	62
Figura. 14. Etapa II (Importación).....	64
Figura. 15. Etapa III (Importación).....	67
Figura. 16. Etapa IV (Importación).....	69
Figura. 17. Estructura de los Buques.....	84
Figura. 18. Evaluación de alternativa#1- MV con Baplie de arribo cargado, con Instrucciones de embarque y reestibas. (1659 movimientos) 6 grúas con 7 TT.....	86

Figura. 19. Evaluación de alternativa# 2-Central planner planifica 4 grúas, seteadas a 32 mph con una operación de 13.0 hrs. Con 7 TTs.....	87
Figura. 20. Evaluación de alternativa# 3- Programa con 5 grúas seteadas a 32 mph con una operación de 10.2 hrs. Con 6 TTs. ....	89
Figura. 21. Evaluación de alternativa#4 - Programa con 6 grúas, saeteadas a 28 mph con una operación de 10.08 hrs. Con 6 TT .....	90
Figura. 22. Evaluación de alternativa# 5-Programa con 5 grúas, saeteadas a 28 mph con una operación de 11.66 hrs. Con 6 TTs. ....	92

## Lista de gráficas

Gráfica. 1. Porcentaje de Participación en el Movimiento de Contenedores en la Bahía de Buenaventura.....	16
Gráfica. 2. Tráfico Marítimo de Contenedores en TEU (Unidad equivalente a 20 pies) Año 2.000 a 2020.....	17
Gráfica. 3. Tendencia de productividad por indicador 2021 - 2023 .....	78
Gráfica. 4. Productividad promedio en las 5 Evaluaciones de Alternativas .....	94
Gráfica. 5. Movimientos totales, 5 Evaluaciones de alternativas .....	95
Gráfica. 6. Costo Total Operativo en Dólares de las 5 Evaluaciones de Alternativas.....	96
Gráfica. 7. Productividad Promedio en relación de las Evaluaciones de Alternativas con la operación real.....	98
Gráfica. 8. Movimientos totales en relación de las Evaluaciones de Alternativas con la operación real.....	99
Gráfica. 9. Costo Total Operativo En Dólares en relación de las Evaluaciones de Alternativas con la operación real.....	100
Gráfica. 10. Alternativas óptimas para la asignación de recursos .....	102

## **Resumen**

La actividad portuaria es vital para el comercio internacional, pero enfrenta desafíos que afectan su eficiencia y competitividad. Este proyecto se centra en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB), el puerto más importante del Pacífico colombiano, que busca optimizar sus operaciones de carga y descarga de contenedores. El objetivo general del trabajo es evaluar escenarios de mejora para identificar áreas de optimización que aumenten la eficiencia, seguridad y competitividad del puerto. Para ello, se caracterizaron las etapas del proceso operativo, se analizaron indicadores de productividad y se realizaron evaluaciones de alternativas para realizar la operación utilizando el software Navis N4 con el módulo XPS. La investigación se basa en un estudio descriptivo con enfoque mixto, utilizando información cualitativa y cuantitativa para abordar las problemáticas del puerto. La metodología incluyó el análisis detallado de etapas operativas, el cálculo de indicadores de productividad (como movimientos por hora y costos operativos) y la evaluación de alternativa de cinco escenarios diferentes. Se consideraron variables como la cantidad de grúas, tractores de terminal (TT), costos operativos y productividad. Los resultados indicaron que las evaluaciones de alternativas para realizar la operación 2 y 4 fueron las más eficientes, con altas productividades (34.5 y 34.4 movimientos por hora, respectivamente) y costos operativos razonables. La Evaluación de alternativa2 utilizó 4 grúas y 7 TT, mientras que la Evaluación de alternativa4 utilizó 6 grúas y 6 TT. Se concluye que la adopción de tecnologías avanzadas y la mejora en la capacitación del personal son cruciales para optimizar las operaciones portuarias. Implementar un sistema de programación dinámica basado en datos y desarrollar programas de capacitación continua puede aumentar significativamente la eficiencia y competitividad del puerto.

**Palabras Clave:** Operación portuaria, Contenedores, Evaluación de alternativas, Productividad

## **Abstract**

Port activity is vital for international trade, but it faces challenges that affect its efficiency and competitiveness. This project focuses on the Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB), the most important port on the Colombian Pacific, which seeks to optimize its container loading and unloading operations. The general objective of the work is to evaluate improvement scenarios to identify optimization areas that increase the port's efficiency, safety, and competitiveness. To achieve this, the operational process stages were characterized, productivity indicators were analyzed, and simulations were conducted using the Navis N4 software with the XPS module. The research is based on a descriptive study with a mixed approach, using qualitative and quantitative information to address the port's issues. The methodology included a detailed analysis of operational stages, calculation of productivity indicators (such as movements per hour and operational costs), and simulation of five different scenarios. Variables such as the number of cranes, terminal tractors (TT), operational costs, and productivity were considered. The results indicated that simulations 2 and 4 were the most efficient, with high productivities (34.5 and 34.4 movements per hour, respectively) and reasonable operational costs. Simulation 2 used 4 cranes and 7 TT, while simulation 4 used 6 cranes and 6 TT. It is concluded that adopting advanced technologies and improving personnel training are crucial to optimizing port operations. Implementing a data-based dynamic scheduling system and developing continuous training programs can significantly increase the port's efficiency and competitiveness.

**Keywords:** Port operation, Containers, Evaluation of alternatives, Productivity

## **Introducción**

La importancia de los puertos en el comercio internacional no puede ser subestimada, ya que actúan como nodos cruciales en las cadenas de suministro globales. En particular, la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) juega un papel vital en la economía colombiana, al ser el principal puerto del Pacífico colombiano. Sin embargo, para mantenerse competitiva y eficiente, la SPRB enfrenta el desafío constante de mejorar sus procesos operativos de carga y descarga de contenedores.

Este proyecto se centra en Evaluar los escenarios de mejora para la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., a través de la identificación de áreas críticas que pueden beneficiarse de mejoras significativas. Con una estructura meticulosa, el proyecto se divide en varias secciones clave que abordan distintos aspectos del problema.

En primer lugar, se ofrece una caracterización detallada de cada etapa del proceso marítimo operativo de contenedores en la SPRB. Esta sección proporciona una comprensión profunda del funcionamiento actual del puerto, destacando los puntos fuertes y las áreas que requieren atención.

A continuación, se analiza una serie de indicadores de productividad. Estos indicadores incluyen el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión, ofreciendo una visión cuantitativa del desempeño del puerto. Este análisis es fundamental para identificar las métricas específicas que influyen la eficiencia operativa y dónde se pueden aplicar mejoras.

Posteriormente, se realiza una Evaluación de alternativa detallada del proceso operativo utilizando el software portuario Navis N4 con el módulo XPS, esta herramienta permite modelar diversos escenarios de operación, proporcionando una visualización clara de cómo diferentes configuraciones de recursos pueden impactar la productividad y los costos operativos. La Evaluación de alternativa abarca cinco escenarios distintos, cada uno evaluado en términos de eficiencia y costo-beneficio.

El proyecto justifica su desarrollo en la necesidad de mantener y mejorar la competitividad de la SPRB en un entorno global cada vez más exigente. La optimización de las operaciones portuarias no solo mejora la eficiencia y reduce costos, sino que también incrementa la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones. Además, al implementar tecnologías avanzadas y estrategias

de capacitación continua, se espera proporcionar un marco robusto para el crecimiento y la mejora continua del puerto.

Este estudio aporta a la SPRB un punto de partida, para implementar mejoras significativas en sus operaciones. Al utilizar un enfoque basado en datos y las evaluaciones de alternativas para realizar la operación del buque, se garantiza que las recomendaciones sean prácticas y aplicables. En última instancia, este proyecto beneficia a la SPRB, al dar un escenario mejorado para manejar sus procesos de importación y exportación de manera más eficiente y competitiva.

La introducción de este proyecto, por tanto, prepara al lector para un análisis exhaustivo de las operaciones portuarias, seguido de recomendaciones prácticas basadas en datos empíricos y las evaluaciones de alternativas para realizar la operación del buque detalladas. A lo largo del proyecto, se enfatiza la importancia de la optimización y la innovación en el contexto de la gestión portuaria moderna.

### **Posible título de trabajo de grado**

Escenarios de mejora para la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.

## **1. Definición del problema de investigación**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La actividad portuaria es un factor clave para el comercio internacional, especialmente en un contexto de creciente demanda de productos primarios y manufacturados entre países. Según el informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2021b), el comercio marítimo mundial se contrajo un 3.8% en 2020 debido a la pandemia, pero se espera que se recupere un 4.8% en 2021. El transporte de contenedores fue el segmento más resiliente, con una caída de solo el 1.2% en 2020 y un aumento del 5.8% en 2021. Estos bienes requieren de una logística portuaria eficiente y competitiva, que se basa en diferentes procesos y procedimientos que involucran el almacenamiento, la seguridad, el movimiento, la recepción y el despacho de la carga (Quintero et al., 2018b).

El índice de conectividad marítima de la UNCTAD muestra que los países con mayor conectividad son China, Singapur, Corea del Sur, Hong Kong y los Países Bajos, mientras que los países con menor conectividad son las islas del Pacífico, África Central y Oriental, y América Central y del Sur. Este índice refleja la disponibilidad y la frecuencia de los servicios de transporte marítimo entre los países, así como el tamaño y la capacidad de los buques que los atienden (UNCTAD, 2021b).

Entre los puertos más importantes del mundo se encuentran Shanghái, Singapur, Ningbo-Zhoushan, Shenzhen y Guangzhou, que movilizaron más de 20 millones de TEU (unidad equivalente a un contenedor de 20 pies) cada uno en 2020. Estos puertos se caracterizan por su alta productividad, su infraestructura moderna, su tecnología avanzada y su integración con otros modos de transporte (World Shipping Council, 2021).

Colombia, como país que ha firmado varios Tratados de Libre Comercio (TLC), se enfrenta al reto de mejorar su infraestructura y sus procesos portuarios para facilitar la movilización de mercancías y aumentar su competitividad. Según el índice de desempeño logístico del Banco Mundial, Colombia ocupó el puesto 58 entre 160 países en 2021, con una puntuación de 2.93 sobre 5. Este índice mide aspectos como la eficiencia de los procesos aduaneros, la calidad de la infraestructura, la facilidad para rastrear los envíos y la puntualidad en las entregas (World Bank, 2021).

Uno de los principales puertos colombianos es el de Buenaventura, ubicado en el Pacífico. Este puerto movilizó 1.082.746 TEU en 2021, lo que representa el 22% del total nacional (CEIC Data, 2021). Sin embargo, este puerto también enfrenta diversos problemas que afectan su eficiencia y rendimiento, como la falta de espacio en el patio de contenedores, las demoras en el despacho aduanero, los conflictos sociales y la inseguridad en la zona.

El Puerto de Buenaventura está reconocido como uno de los más importantes del continente, dada su ubicación geográfica y su cercanía a rutas marítimas internacionales, que permite una gran movilización de carga internacional. Es así como movilizar mercancía a gran escala y a nivel internacional faculta a las compañías a que se realicen negociaciones con diversos países y con tiempos estipulados para la entrega de mercancía. Por lo tanto, se deben realizar mejoras continuas que permitan mantener la imagen que maneja el puerto en el contexto internacional.

La Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) es el terminal multipropósito más antiguo y grande de la bahía de Buenaventura, que se encuentra en el Pacífico colombiano. Este terminal ofrece servicios de carga general, contenedores, graneles sólidos y líquidos, vehículos y pasajeros. La SPRB ha sido un actor clave en el comercio exterior de Colombia, al conectar al país con más de 360 puertos en el mundo (SPRB, 2021).

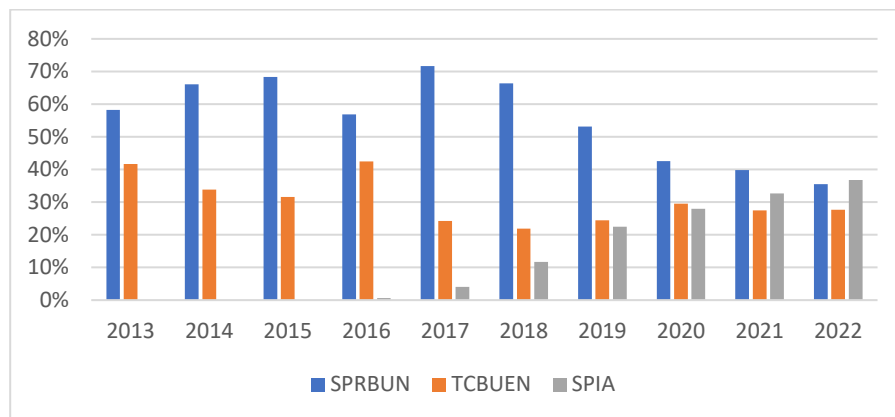
Sin embargo, en los últimos años, la SPRB ha enfrentado una mayor competencia por parte de otros terminales que operan en la bahía de Buenaventura, como Terminal de Contenedores de Buenaventura (TCBUEN), Sociedad Puerto Industrial Aguadulce (SPIA) y Compas. Estos terminales han invertido en infraestructura, tecnología y seguridad para ofrecer servicios especializados y diferenciados a sus clientes.

Por ejemplo, TCBUEN es el primer terminal especializado en contenedores de Colombia, con una capacidad de 660.000 TEU al año y una productividad promedio de 35 movimientos por hora por grúa (TCBUEN, 2021). SPIA es un terminal multipropósito que cuenta con un muelle de 600 metros de longitud y una profundidad de 14.5 metros, lo que le permite atender buques de gran calado (Aguadulce, 2021). Compas es un terminal que ofrece servicios integrados de logística portuaria, con énfasis en carga general y graneles sólidos (Compas, 2022).

Estos terminales han logrado captar una parte importante del mercado de la bahía de Buenaventura, lo cual se refleja en el movimiento de contenedores. Según los datos de CEIC Data (2021), el movimiento total de contenedores en la bahía fue de 625.944 cajas en 2021, de los cuales la SPRB participó con un 40%, TCBUEN con un 37%, SPIA con un 16% y Compas con un 7%.

La gráfica 1 muestra el porcentaje de participación en el movimiento de contenedores en la bahía de Buenaventura, y estos datos indican que la SPRB sigue siendo el líder en el mercado de contenedores de la bahía, pero que su ventaja se ha reducido frente a sus competidores. Por lo tanto, el terminal debe establecer entre sus prioridades el desarrollo de estrategias comerciales y procesos de mejoras continuas que le permitan conservar y fortalecer su liderazgo en el mercado de la bahía y el comercio exterior.

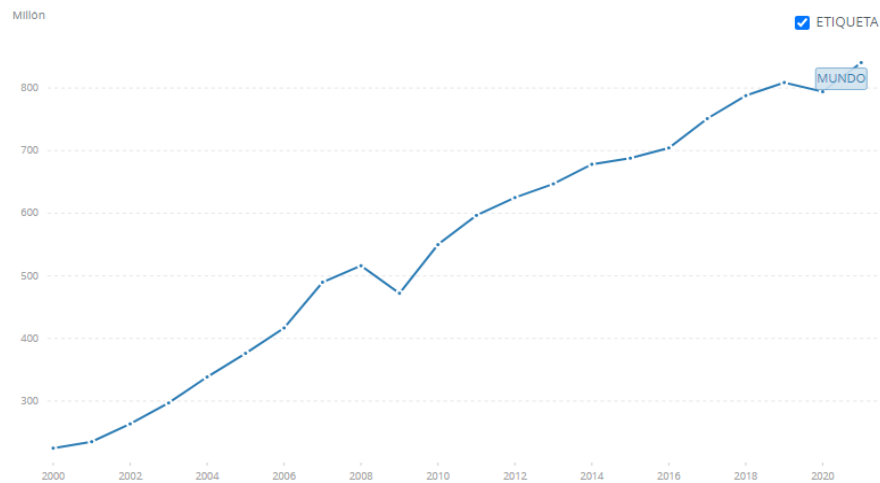
Gráfica. 1. Porcentaje de Participación en el Movimiento de Contenedores en la Bahía de Buenaventura.



Nota. Fuente: Tomado de (Compas, 2022).

Es indudable que la industria del transporte marítimo seguirá creciendo en la medida que el comercio internacional demande, como se muestra en la gráfica 2, de manera que esa expansión conllevará a nuevos desafíos que deberán enfrentar y solventar para así continuar satisfaciendo la demanda de servicios marítimos (Silva, 2020).

Gráfica. 2. Tráfico Marítimo de Contenedores en TEU (Unidad equivalente a 20 pies) Año 2.000 a 2020.



Nota. Fuente: Tomado de estadísticas de (World Bank, 2021).

La Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) es la entidad encargada de administrar el puerto más importante del Pacífico colombiano, que ofrece servicios de carga general, contenedores, graneles sólidos y líquidos, vehículos y pasajeros. La SPRB busca constantemente mejorar sus operaciones y su competitividad en el mercado internacional, mediante la implementación de estrategias que optimicen la logística portuaria. Uno de los aspectos clave de la logística portuaria es la operación de carga y descarga de buques portacontenedores, que tiene un impacto directo en la fluidez del comercio y la satisfacción de los clientes (Quintero et al., 2018b).

Sin embargo, esta operación implica una serie de problemas complejos e interrelacionados, que requieren de métodos eficientes y efectivos para su solución. Estos problemas son considerados como NP-duros, es decir, que no se conoce un algoritmo que pueda resolverlos en un tiempo polinomial (Said et al., 2014).

Entre los problemas que afectan la operación portuaria se encuentran la asignación óptima de recursos (como grúas, camiones, espacios en el patio), la coordinación entre los agentes involucrados (como navieras, operadores portuarios, autoridades aduaneras), la gestión de la demanda y la oferta de servicios, la seguridad de la carga y el cumplimiento de las normas ambientales. Estos problemas pueden generar retrasos, congestiones, costos adicionales y pérdida de competitividad para el puerto y sus clientes.

En este contexto, la falta de espacio en el patio de contenedores, las demoras en el despacho aduanero, los conflictos sociales y la inseguridad en la zona son los problemas principales que afectan la eficiencia y competitividad del puerto de Buenaventura. Estos problemas impactan directamente en la capacidad del puerto para manejar el creciente volumen de comercio y cumplir con los tiempos estipulados para la entrega de mercancía, afectando así su competitividad y la satisfacción de sus clientes.

Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar exhaustivamente los escenarios de mejora en la operación de carga y descarga de los buques portacontenedores atendidos en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., con el propósito de identificar áreas de optimización que contribuyan a una mayor eficiencia, seguridad y competitividad del puerto. Es esencial abordar estos desafíos mediante la implementación de estrategias adecuadas que respondan a las demandas cambiantes del comercio internacional y alienten el desarrollo económico sostenible de la región.

## **1.2 Pregunta de investigación**

En esta investigación, se busca responder a la siguiente pregunta: ¿Qué escenarios de mejora se pueden plantear para la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., teniendo en cuenta los factores técnicos, operativos, logísticos y ambientales que influyen en el proceso, y cómo se pueden evaluar estos escenarios mediante indicadores de productividad, calidad, seguridad y sostenibilidad?

Esta investigación busca brindar recomendaciones concretas que contribuyan a la optimización y modernización de la operación de cargue y descargue en el puerto, promoviendo la eficiencia, la competitividad y el desarrollo sostenible en la región y a nivel nacional.

## **1.3 Hipótesis**

Evaluar 5 escenarios de mejora en la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., identificando áreas específicas de optimización en el uso del espacio del patio de contenedores, la asignación de recursos, y la coordinación entre los agentes involucrados, mejorará significativamente la eficiencia operativa, aumentará la seguridad y reforzará la competitividad del puerto.

Además, se propone que la utilización de herramientas tecnológicas como el software portuario Navis N4 con el módulo XPS facilitará la Evaluación de alternativas y evaluación precisa

de diferentes escenarios operativos, brindando información valiosa, estrategias y su posible implementación para la toma de decisiones informadas en la optimización de las operaciones portuarias.

#### **1.4 Alcance del trabajo de grado**

En el presente trabajo está enfocado específicamente en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., en donde busca evaluar los escenarios de mejora en la operación de cargue y descargue de los buques portacontenedores atendidos en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., con el propósito de identificar áreas de optimización que contribuyan a una mayor eficiencia, seguridad y competitividad del puerto. Adicionalmente, el proyecto se enfoca y busca:

- El proyecto se enfoca en la operación de cargue y descargue de buques portacontenedores atendidos en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB), que es el puerto más importante del Pacífico colombiano.
- El proyecto busca evaluar escenarios de mejora en dicha operación, con el fin de optimizar la eficiencia, seguridad y competitividad del puerto.
- El proyecto se divide en tres fases: caracterización, análisis y Evaluación de alternativa del proceso marítimo operativo de contenedores en la SPRB.
- El proyecto emplea el software portuario Navis N4 con el módulo XPS para realizar evaluaciones de alternativas detalladas del proceso operativo, generando diversos escenarios que permitan visualizar y optimizar la asignación de recursos.
- El proyecto propone estrategias para incrementar la productividad del puerto, basadas en aspectos como la optimización del espacio en el patio de contenedores, la coordinación entre los agentes involucrados y el uso de tecnologías de la información y la comunicación.
- El proyecto contribuye al desarrollo del sector portuario colombiano, al ofrecer una herramienta para mejorar la calidad del servicio y la satisfacción de los clientes. El proyecto también aporta al conocimiento científico sobre la evaluación y optimización del proceso marítimo operativo de contenedores en los puertos.

## **2. Objetivos**

A continuación, se describen los objetivos que se pretenden desarrollar con la presente propuesta.

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar los escenarios de mejora para la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., con el propósito de identificar áreas de optimización que contribuyan a una mayor eficiencia, seguridad y competitividad del puerto.

### **2.2 Objetivos específicos**

El objetivo general se pretende alcanzar a partir de los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar cada una de las etapas que conforman el proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., mediante un análisis detallado que permita obtener una comprensión integral de su funcionamiento.
- Analizar los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., evaluando aspectos como el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión.
  - Realizar una evaluación de alternativa del proceso operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., empleando el software portuario Navis N4 con el módulo XPS, generando diversos escenarios que posibiliten la visualización y optimización de la asignación de recursos, con el propósito de proponer estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto.

### **2.3 Resultados esperados**

En esta investigación se espera evaluar posibles escenarios de mejora en la operación de cargue y descargue de los buques portacontenedores atendidos en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., a partir de los siguientes aspectos: asignación y secuenciación de los equipos,

reducción de tiempos operativos y disminución de costos operativos. Así mismo, se espera que contribuya a la planeación de las futuras operaciones marítimas y a su vez pueda ser tenido en cuenta en las negociaciones de los servicios con las líneas marítimas. Con relación a lo anterior, este trabajo pretende obtener:

- La caracterización de manera detallada todo el proceso marítimo operativo de contenedores para lograr determinar si este se ajusta con la rapidez suficiente a los requerimientos de recursos adicionales que solicitan los clientes.
- Un análisis cualitativo y cuantitativo de los indicadores de productividad asociados al proceso marítimo de contenedores permitiendo identificar oportunidades competitivas.
- Una evaluación de alternativa a partir del software portuario Navis N4 con el módulo XPS para realizar evaluaciones de alternativas detalladas del proceso operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., mejorar el proceso realizando una Evaluación de alternativa de operación que permita visualizar una reducción de los costos operativos marítimos de contenedores conservando las productividades comprometidas con los clientes.

### **3. Justificación**

El mercado marítimo internacional es la actividad económica más importante del Distrito de Buenaventura, y es una fuente crucial de ingresos, empleo y desarrollo para el suroccidente colombiano. La operación portuaria de Buenaventura no solo influye en la economía local y regional, sino que también tiene un impacto significativo en el comercio internacional de Colombia. Realizar estudios que faciliten la identificación de ventajas y áreas de mejora en esta actividad económica es de suma importancia, ya que permite implementar mejoras que contribuyen directamente a la productividad y bienestar de los empleados, además de generar nuevas fuentes de empleo.

El impacto de la actividad portuaria se extiende a nivel regional, nacional e internacional, lo que hace imprescindible garantizar una operación basada en la eficiencia, eficacia y efectividad. Esto no solo asegura el cumplimiento de las necesidades del mercado, sino que también optimiza el uso de los recursos disponibles, potenciando la competitividad del puerto en un entorno global.

En este contexto, la importancia de este trabajo radica en que la actividad portuaria es una de las más influyentes en el comercio mundial. A través de ella, se consolidan numerosas operaciones de compra y venta de bienes, generando ganancias significativas que benefician a compradores, vendedores y países involucrados. Estas transacciones contribuyen al desarrollo económico y social de las naciones, fortaleciendo su posición en el mercado global.

Este proyecto pretende evaluar los escenarios de mejora en la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. proponer estrategias de optimización no solo mejorará la eficiencia y seguridad del puerto, sino que también reforzará su competitividad, promoviendo el desarrollo sostenible de la región y del país.

## **4. Marco De Referencia**

En el contexto de la creciente interconexión de las economías y el comercio internacional, la actividad portuaria desempeña un papel central en la facilitación del flujo de bienes y productos entre naciones. La eficiencia y la optimización de las operaciones portuarias, especialmente en lo que respecta al cargue y descargue de buques portacontenedores, se han convertido en elementos cruciales para garantizar la competitividad en un entorno globalizado.

El marco de referencia del presente estudio se sumerge en el análisis de diversos aspectos que rodean a esta temática, abarcando el estado del arte, el contexto nacional e internacional, seguido del marco contextual, posteriormente el marco teórico que sustenta las estrategias de optimización y las regulaciones legales que enmarcan estas operaciones en Colombia y finalizando con el marco legal. Este marco de referencia proporciona una estructura sólida y coherente para abordar la evaluación de escenarios de mejora en la operación de cargue y descargue de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.

### **4.1 Estado del arte**

En el contexto de la evolución constante de la logística portuaria y la optimización de sus operaciones, el presente estudio se enmarca en la búsqueda y análisis de la literatura académica y científica. Con el propósito de comprender los desafíos y oportunidades en la gestión de contenedores y la operación portuaria, se llevó a cabo un rastreo de estudios relacionados.

Esta revisión bibliográfica se llevó a cabo a través de reconocidas bases de datos como Science Direct, Proquest y Scielo, seleccionando 10 estudios que cumplieron con criterios planteados para la misma como: que sean publicados entre los años 2018 a 2022, que abordan cuestiones fundamentales en la logística portuaria y los problemas asociados con la gestión de contenedores. De esos estudios cinco son estudios internacionales y cinco nacionales.

#### **4.1.1 Estudios Internacionales**

Los estudios internacionales que arrojó el rastreo bibliográfico se presentan en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Estudios Internacionales

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>País</b>	<b>Revista</b>
Modelación y Evaluación de alternativa de un puerto marítimo de contenedores basado en las características de operación de la Sociedad Portuaria de Cartagena	Juan Camilo Gómez, Juan David Sánchez, Andrés Felipe Gómez, Juan Carlos Vergara	Colombia	Ingeniería e Investigación
Demuestran aplicaciones de la Evaluación de alternativa computacional portuaria a estudiantes	Universidad de Los Andes	Chile	Noticias Uandes
La gestión portuaria	Diversos autores	Latinoamerica	UNCTAD/TrainForTrade
The impact of COVID-19 on container port operations and performance: A case study of Busan Port in South Korea	Lee, J., & Song, D. W.	Corea del Sur	Transportation Research Interdisciplinary Perspectives
The role of port authorities in the development of LNG bunkering facilities in North European ports	Wang, Y., & Notteboom, T.	Bélgica	Research in Transportation Business & Management
Port connectivity in a logistic network: the case of Bohai Bay, China	Zhang, Y., Lam, J. S. L., & Fu, X.	China	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review

Nota. Fuente: elaboración propia

Según lo que muestra la tabla 1, el estudio de Gómez et al. (2021) tiene como objetivo modelar y simular el proceso operativo de un puerto marítimo de contenedores, basado en las características de operación de la Sociedad Portuaria de Cartagena. Los autores usan el software Flexsim para crear un modelo dinámico y detallado del puerto, y evaluar diferentes escenarios de mejora. El estudio concluye que la evaluación de alternativa es una herramienta útil y eficaz para optimizar la operación portuaria y aumentar la productividad y la competitividad del puerto.

Este estudio es relevante para este estudio puesto que muestra cómo se puede usar la evaluación de alternativa para analizar el proceso operativo de un puerto marítimo de contenedores, considerando los factores técnicos, logísticos y ambientales que influyen en el

rendimiento portuario. Además, el estudio usa un software similar al que se empleará en este trabajo, por lo que puede servir de referencia para crear un modelo propio y analizar escenarios propios.

En seguida, el artículo de la Universidad de Los Andes (2021) describe una experiencia de capacitación sobre el uso de la evaluación de alternativa computacional portuaria a estudiantes de ingeniería civil industrial. El expositor fue un representante de la empresa Moffatt & Nichol, que es propietaria del software FlexTerm, una herramienta especializada para simular complejos escenarios y movimientos en la cadena logística portuaria. El artículo destaca que este tipo de Evaluación de alternativa es un aporte en los esfuerzos por desarrollar comunidades logísticas y portuarias inteligentes, al permitir una mejor colaboración entre todos los actores a partir de una herramienta para tomar decisiones estratégicas y de planificación.

Este artículo muestra cómo la Evaluación de alternativa computacional portuaria es una herramienta que tiene aplicaciones prácticas y educativas, y que contribuye al desarrollo del sector portuario. Además, el artículo menciona el software FlexTerm, que es similar al software Navis N4 con el módulo XPS que se va a usar, por lo que puede servir de referencia para conocer las ventajas y limitaciones de este tipo de software.

En este mismo sentido, el documento de la UNCTAD/TrainForTrade (2019) recopila varias tesis finales seleccionadas del Programa de Gestión Portuaria de la UNCTAD/TrainForTrade Red de habla hispana. Entre ellas, hay varias que usan la evaluación de alternativa como método para abordar problemas relacionados con la gestión portuaria, como el análisis del impacto ambiental, la evaluación del nivel de servicio, la optimización del flujo vehicular, y la mejora de la seguridad.

El documento muestra que la evaluación de alternativa es una herramienta versátil y aplicable a diversos aspectos de la operación portuaria. Este documento es relevante para tu investigación porque muestra que la evaluación de alternativa es un método que ha sido usado por varios investigadores en el campo de la gestión portuaria, y que ha dado resultados positivos y significativos. Además, el documento sirve de referencia para conocer otros problemas y soluciones relacionados con la operación portuaria, y para comparar tu trabajo con otros trabajos similares o complementarios.

Por su parte, el estudio de Lee y Song (2020) analiza el impacto de COVID-19 en las operaciones y el rendimiento del puerto de Busan en Corea del Sur, uno de los puertos más importantes del mundo. El estudio utiliza datos de seguimiento automático de buques (AIS) para medir indicadores como el tiempo de espera, el tiempo de atraque, la productividad y la eficiencia del puerto. El estudio encuentra que COVID-19 afectó negativamente al puerto de Busan, reduciendo su capacidad operativa y generando retrasos y congestiones. Sin embargo, también destaca las medidas adoptadas por el puerto para mitigar el impacto de la pandemia, como la digitalización, la automatización y la coordinación entre los actores portuarios. Este estudio ilustra cómo un puerto puede enfrentar una crisis sanitaria global y adaptarse a las nuevas condiciones del mercado.

Posteriormente, el estudio de Wang y Notteboom (2019) examina el papel de las autoridades portuarias en el desarrollo de instalaciones de suministro de gas natural licuado (GNL) como combustible marítimo en los puertos del norte de Europa. El estudio se basa en una encuesta realizada a 24 autoridades portuarias y entrevistas a expertos del sector. El estudio identifica los factores que influyen en la decisión de las autoridades portuarias de invertir o no en instalaciones de GNL, así como los beneficios y los desafíos que implica esta opción.

El estudio concluye que las autoridades portuarias juegan un papel clave en la promoción del GNL como una alternativa más limpia y sostenible al combustible tradicional, pero también enfrentan barreras regulatorias, financieras y técnicas. Mostrando cómo las autoridades portuarias pueden contribuir a la innovación y la transición energética en el sector marítimo.

Ahora bien, los autores, Zhang, Lam y Fu (2018) evalúa la conectividad portuaria en una red logística, utilizando el caso de la bahía de Bohai en China. El estudio propone un índice compuesto de conectividad portuaria que considera tanto la dimensión física como la funcional de la conectividad. El estudio aplica este índice a los cuatro principales puertos de la bahía de Bohai: Tianjin, Qinhuangdao, Tangshan y Dalian.

El estudio revela que estos puertos tienen diferentes niveles y patrones de conectividad, dependiendo de su ubicación geográfica, su infraestructura, su oferta de servicios y su integración con otros modos de transporte. El estudio sugiere que los puertos deben mejorar su conectividad para aumentar su competitividad y su papel en la cadena logística. Ofreciendo así, una metodología

para medir y comparar la conectividad portuaria, un factor clave para la eficiencia y el rendimiento portuario.

A partir de estos estudios, se puede argumentar que el uso de la evaluación de alternativa para la problemática planteada está avalado por varios trabajos previos que han demostrado su utilidad y eficiencia para resolver problemas similares o relacionados con la operación portuaria. También se afirma que el método establecido es el más adecuado para el problema, porque permite crear un modelo fiel y detallado del proceso operativo de contenedores en el puerto de Buenaventura, y evaluar diferentes escenarios de mejora mediante indicadores relevantes. Además, se puede señalar que el problema tiene las características necesarias para que la evaluación de alternativas a la herramienta apropiada, como, por ejemplo:

- La problemática es compleja y dinámica, involucra muchos elementos interrelacionados y variables aleatorias que afectan el comportamiento del sistema.
- El problema requiere una solución óptima o al menos satisfactoria, que maximice o minimice una función objetivo o un conjunto de objetivos.
- El problema implica un alto costo o riesgo si se experimenta directamente con el sistema real, por lo que se necesita una forma segura y económica de probar diferentes alternativas.

#### 4.1.2 Estudios Nacionales

Los estudios nacionales que arrojó el rastreo de información son los expuestos en la tabla 2 que se presenta a continuación:

Tabla 2. Estudios Nacionales

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Revista</b>
Análisis de la eficiencia técnica de los puertos colombianos mediante un modelo DEA con variables no deseables y no controlables: una aplicación al periodo 2010-2019	Gómez-Rojas, J., & Sánchez-Soriano, J.	Bogotá	Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión
Evaluación del impacto de la infraestructura portuaria sobre el comercio exterior colombiano mediante un modelo	Gómez-Rojas, J., & Sánchez-Soriano, J.	Bogotá	Revista EAN

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Revista</b>
gravitacional: una aplicación al periodo 2000-2018			
Análisis del desempeño logístico de los puertos colombianos desde la perspectiva de la cadena de suministro: un estudio comparativo con países líderes en América Latina y el mundo	Rodríguez-Molina, M., & Gutiérrez-Gutiérrez, L. J.	Cali	Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)
Análisis del impacto económico del puerto de Buenaventura sobre el departamento del Valle del Cauca mediante un modelo insumo-producto: una aplicación al año 2015	Gómez-Rojas, J., & Sánchez-Soriano, J.	Cali	Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión
Análisis comparativo del desempeño logístico portuario entre Colombia y los países miembros de la Alianza del Pacífico mediante indicadores sintéticos: una aplicación al periodo 2007-2016	Gómez-Rojas, J., & Sánchez-Soriano, J.	Cali	Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)

Nota. Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la información de la tabla 2, el estudio de Gómez-Rojas y Sánchez-Soriano (2021) evalúan la eficiencia técnica de los puertos colombianos mediante un modelo DEA con variables no deseables y no controlables, considerando el periodo 2010-2019. El estudio utiliza datos de 13 puertos colombianos y cuatro indicadores: toneladas movilizadas, número de grúas, área operativa y emisiones de CO<sub>2</sub>. El estudio halla que los puertos colombianos presentan una eficiencia técnica promedio del 86%, pero también una gran heterogeneidad entre ellos.

El estudio propone medidas para mejorar la eficiencia técnica de los puertos colombianos, como la modernización de la infraestructura, la diversificación de la oferta portuaria y la reducción del impacto ambiental. Este estudio aporta una metodología para medir y comparar la eficiencia técnica de los puertos colombianos, así como un diagnóstico de su situación actual.

Por otro lado, los autores Gómez-Rojas y Sánchez-Soriano (2020) estiman el impacto de la infraestructura portuaria sobre el comercio exterior colombiano mediante un modelo gravitacional, considerando el periodo 2000-2018. El estudio utiliza datos de 156 países socios

comerciales de Colombia y cuatro variables: exportaciones e importaciones totales, producto interno bruto, distancia geográfica e infraestructura portuaria.

El estudio encuentra que la infraestructura portuaria tiene un efecto positivo y significativo sobre el comercio exterior colombiano, tanto en el lado de las exportaciones como en el de las importaciones. El estudio sugiere que Colombia debe seguir invirtiendo en su infraestructura portuaria para aumentar su competitividad y su integración comercial con el mundo. Este estudio aporta una evidencia empírica del vínculo entre la infraestructura portuaria y el comercio exterior colombiano, así como una herramienta para evaluar el impacto económico de las políticas portuarias.

Por su parte, Rodríguez-Molina y Gutiérrez-Gutiérrez (2019) analizan el desempeño logístico de los puertos colombianos desde la perspectiva de la cadena de suministro, realizando un estudio comparativo con países líderes en América Latina y el mundo. El estudio se basa en una encuesta aplicada a 120 empresas usuarias de los puertos colombianos y en datos secundarios del Banco Mundial y la CEPAL.

El estudio mide el desempeño logístico de los puertos colombianos mediante cuatro dimensiones: infraestructura, servicios, gestión y resultados. El estudio revela que los puertos colombianos tienen un desempeño logístico inferior al de los países líderes, especialmente en aspectos como la infraestructura, la seguridad y la calidad de los servicios. El estudio recomienda que los puertos colombianos mejoren su coordinación con los demás actores de la cadena de suministro, así como su adaptación a las nuevas tendencias del mercado. Este estudio aporta una visión integral del desempeño logístico de los puertos colombianos, así como un marco de referencia para su mejora continua.

Mientras que los autores Gómez-Rojas y Sánchez-Soriano (2019) calculan el impacto económico del puerto de Buenaventura sobre el departamento del Valle del Cauca mediante un modelo insumo-producto, utilizando datos del año 2015. El estudio estima los efectos directos, indirectos e inducidos del puerto de Buenaventura sobre el valor agregado, el empleo y los ingresos del departamento. El estudio concluye que el puerto de Buenaventura tiene un impacto económico significativo sobre el Valle del Cauca, generando el 9,8% del valor agregado, el 7,6% del empleo y el 8,4% de los ingresos del departamento. El estudio también analiza la sensibilidad del impacto económico ante cambios en la demanda y la oferta portuaria. Este estudio aporta una cuantificación

del impacto económico del puerto de Buenaventura sobre el Valle del Cauca, así como una identificación de los sectores más beneficiados y vulnerables ante las fluctuaciones portuarias.

Y en última instancia se encuentran Gómez-Rojas y Sánchez-Soriano (2018) quienes realizan un análisis comparativo del desempeño logístico portuario entre Colombia y los países miembros de la Alianza del Pacífico (Chile, México y Perú) mediante indicadores sintéticos, considerando el periodo 2007-2016. El estudio utiliza datos de 20 puertos de los cuatro países y cinco indicadores: toneladas movilizadas, número de buques atendidos, tiempo promedio de estadía, productividad portuaria y participación en el comercio exterior.

El estudio construye un índice sintético de desempeño logístico portuario para cada país y lo compara con el promedio regional. El estudio muestra que Colombia tiene el menor desempeño logístico portuario entre los países de la Alianza del Pacífico, con un índice sintético de 0,42 frente al promedio regional de 0,62. El estudio señala las debilidades y fortalezas de cada país en los diferentes indicadores y propone acciones para mejorar el desempeño logístico portuario. Este estudio aporta una metodología para medir y comparar el desempeño logístico portuario entre países, así como un diagnóstico de la situación de Colombia frente a sus socios comerciales.

Los estudios nacionales relacionados con la logística portuaria y la gestión de contenedores en el contexto colombiano resaltan la importancia de comprender las dinámicas específicas y los desafíos propios de la operación portuaria en el país. Estas investigaciones, que abarcan desde análisis de eficiencia técnica hasta evaluaciones de impacto económico y comparativos de desempeño, ofrecen una visión integral de los factores que influyen en la optimización de las operaciones portuarias en Colombia.

Los estudios analizados proporcionan una base sólida de conocimientos sobre aspectos cruciales, como la relación entre la infraestructura portuaria y el comercio exterior colombiano, la eficiencia logística en los puertos y su comparación con países líderes en América Latina y el mundo, así como la identificación de la contribución económica del puerto de Buenaventura al desarrollo regional. Estos análisis, basados en modelos cuantitativos y cualitativos, aportan una comprensión profunda y localizada de los desafíos y oportunidades que enfrentan los puertos colombianos en su búsqueda de eficiencia, competitividad y desarrollo sostenible.

Los estudios revisados abordan la logística portuaria y los problemas de gestión en los contenedores desde diferentes perspectivas. Los estudios internacionales analizados se enfocan en

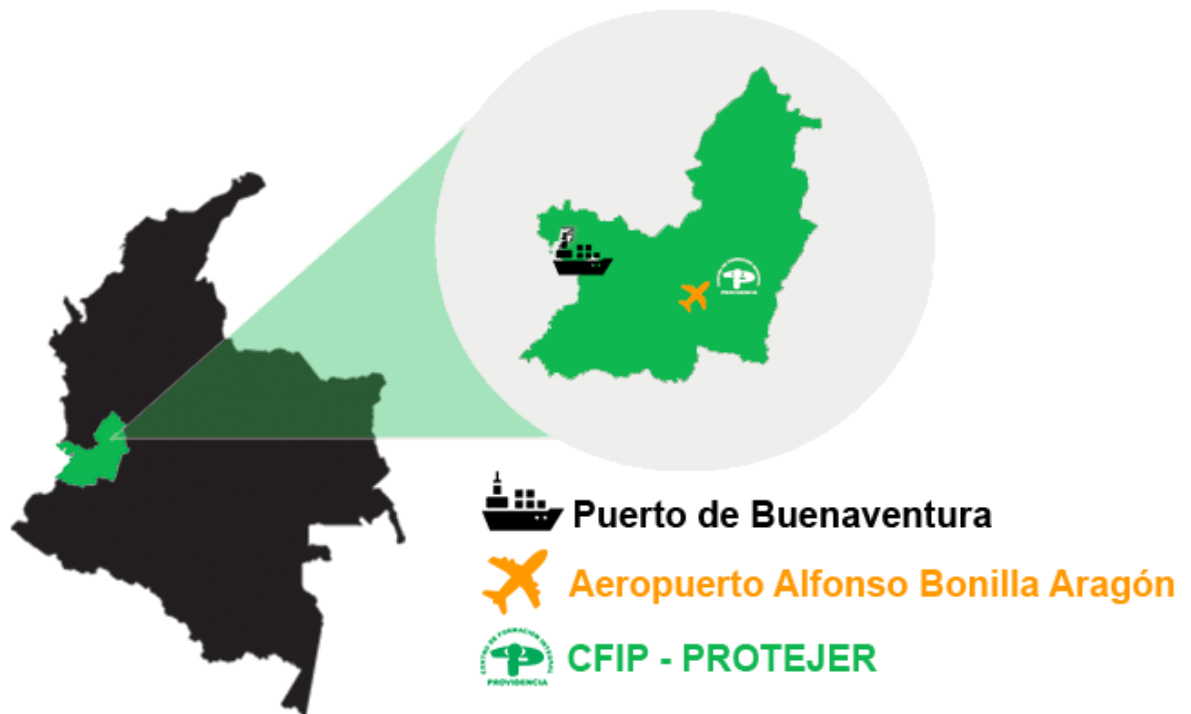
el impacto de la pandemia de COVID-19, el desarrollo del gas natural licuado como combustible marítimo, la conectividad portuaria en una red logística y las inversiones en infraestructura portuaria según las características de las rutas comerciales. Estos estudios pueden servir de ejemplo, referencia o comparación para el caso colombiano, así como para identificar tendencias y oportunidades en el sector marítimo.

Mientras que los estudios nacionales se centran en la eficiencia técnica, el impacto económico y el desempeño logístico de los puertos colombianos, especialmente del puerto de Buenaventura. Estos estudios pueden aportar metodologías, diagnósticos y recomendaciones para el trabajo propuesto, así como para evaluar la situación actual y las posibles mejoras de los puertos colombianos.

#### 4.2 Marco contextual

Buenaventura se encuentra ubicado en la zona suroccidental de la República de Colombia, en las coordenadas 3° 53" de latitud norte, 77° 05" de longitud al oeste del meridiano de Greenwich.

Figura. 1. Ubicación geográfica de Colombia en el mapa mundo



Nota. Fuente: Galería de fotos Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.

El Distrito Especial de Buenaventura, por su localización geoestratégica, es la puerta de Colombia hacia la cuenca del Pacífico, zona geoeconómica y comercial de mayor dinamismo y potencial en el mundo.

#### **4.2.1 Historia de Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.**

Con el fin de la adecuación la infraestructura de los terminales marítimos de Colombia a las nuevas necesidades del comercio internacional, mediante la expedición de la Ley 1ra de enero 10 de 1991, el Estado propició la conformación de empresas privadas para administrar y operar las instalaciones portuarias del país, anteriormente operadas por la entidad estatal "Puertos de Colombia". En este contexto de privatización de la actividad portuaria, el 21 de diciembre de 1993 se estableció la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., que recibió de manos del presidente de la República César Gaviria Trujillo, el 17 de marzo de 1994, la concesión para la administración del Terminal Marítimo de Buenaventura durante 20 años, en el período comprendido entre 1994- 2014.

En cuanto a la Logística Portuaria, actualmente el mercado marítimo internacional está progresando de manera considerable en virtud de los diversos tratados que entran en vigencia; transformándose el transporte de mercancías en parte esencial para el desarrollo de la economía nacional, dado a que impulsa al progreso de la productividad y competitividad del país en el entorno del comercio internacional. Ello se consigue mediante una infraestructura portuaria apropiada que logre optimizar los distintos servicios que presta conjuntamente con una disminución significativa de los costos logísticos ligados a dichas actividades.

El panorama portuario en Buenaventura se ha reformado considerablemente en las últimas dos décadas, puesto que la ciudad solo disponía de un solo terminal marítimo, manejado por el Estado (Puertos de Colombia) que posteriormente pasó a ser administrado por una empresa privada Sociedad Portuaria Regional Buenaventura S.A. (SPRBUN), la que empezó actividades mediante la figura de contrato de concesión a partir del año 1993; actualmente existen otras empresas con similar objeto social, el Terminal de Contenedores de Buenaventura TCBUEN, Sociedad Portuaria de Cementeras Asociadas S.A (COMPAS), Sociedad Puerto Industrial Aguadulce S.A. (SPIA), (SPRBUN, 2010).

En octubre del año 2015 se realiza un convenio de fusión entre la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A (SPRBUN) y el terminal especializado de contenedores de

Buenaventura S.A.S (TECSA), constituyéndose así el Grupo Empresarial SPB; en abril de 2016 se logró su aprobación por parte de la Superintendencia de Puertos y Transporte, que tenía por finalidad enfocarse en “reforzar los servicios de operador portuario y soluciones de logística para los clientes”, y así transformarse en un terminal portuario con procesos integrales, mejorando su operación y productividad con nueva maquinaria que ayuda en la disminución de tiempos para la embarcación de los contenedores del puerto (Chala, 2020). De manera que la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. es en sí una empresa que proporciona servicios logísticos y que actúa como administrador del terminal marítimo de Buenaventura. Las sociedades de este sector determinan su mercado meta conforme a los siguientes tipos de actividad:

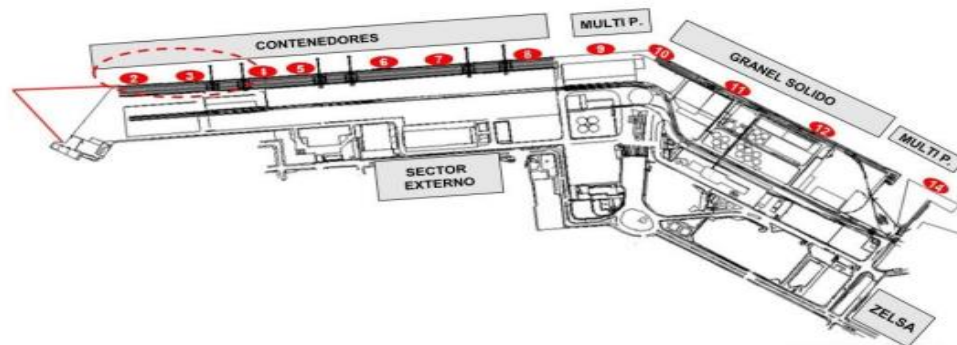
**Clientes:**

- Importadores y Exportadores

**Usuarios:**

- Líneas marítimas o navieras
- Agencias aduaneras
- Operador de Transporte Multimodal (OTM)
- Agentes de Carga Internacional (ACI)
- Operadores Logísticos

Figura. 2. Planos Puerto de Buenaventura.



Nota. Fuente: Galería de fotos Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura.

En la figura 2 y 3 se logra visualizar los 14 muelles del Puerto de Buenaventura, de los cuales 12 atraques son operados por la Sociedad de Buenaventura y 1 se encuentra bajo otra concesión.

Figura. 3. Puerto de Buenaventura.



Nota. Fuente: Tomado de Ministerio de Transporte.

Conforme al informe de la administración del SPRBUN, en el primer semestre del 2018 el puerto de Buenaventura registró una inversión aproximadamente de 156 millones de dólares, apostándole a la modernización tecnológica con el fin de un mejoramiento en sus operaciones, es así como el director de la DIAN de este periodo en Buenaventura, declara que se instalaron escáneres de doble visión que “funcionan con rayos x, penetran el contenedor y permiten ver material orgánico o inorgánico sin necesidad de hacer una inspección física” Citado por (Noticias Caracol, 2018). Igualmente, se encuentran detectores que registran las embarcaciones en menor tiempo, en el sentido que tienen una capacidad de registro de 100 vehículos por hora. Esto accede que el proceso que se efectuaba en 22 horas sea realizado en tan solamente 15 minutos, siendo de gran importancia este tipo de tecnología, en el sentido que en el puerto ingresan un poco más de 2.500 vehículos a diario; asimismo el gobierno apuesta en convertir el puerto de Buenaventura “como uno de los más modernos de Latinoamérica, permitiendo mantener un vínculo con las ciudades productoras más importantes del país” (Martínez, 2016).

#### **4.3 Marco teórico**

El marco teórico de esta investigación proporciona el fundamento conceptual y las perspectivas teóricas que respaldan el análisis y la comprensión de los procesos y desafíos en la gestión de contenedores y la operación portuaria.

Es preciso mencionar que, los puertos marítimos de mayor importancia deben tener una infraestructura apta para movilizar una considerable capacidad de toneladas de productos por día, para esto se requiere un número importante de plataformas logísticas, maquinaria moderna para cargue y descargue de productos y/o mercancías; igualmente contar con suficientes canales marítimos para el acceso de las embarcaciones, entre otras condiciones.

En los más importantes puertos del mundo la competitividad se distingue conforme a su proceso logístico y a su capacidad de infraestructura y conectividad. A nivel mundial los más importantes puertos marítimos se encuentran ubicados en Asia, por estos Singapur se considera un Centro Logístico de talla internacional debido a su ubicación, asimismo es reverenciado como el corazón del sudeste asiático y dispone de conectividad de las rutas más importantes de comercio del mundo.

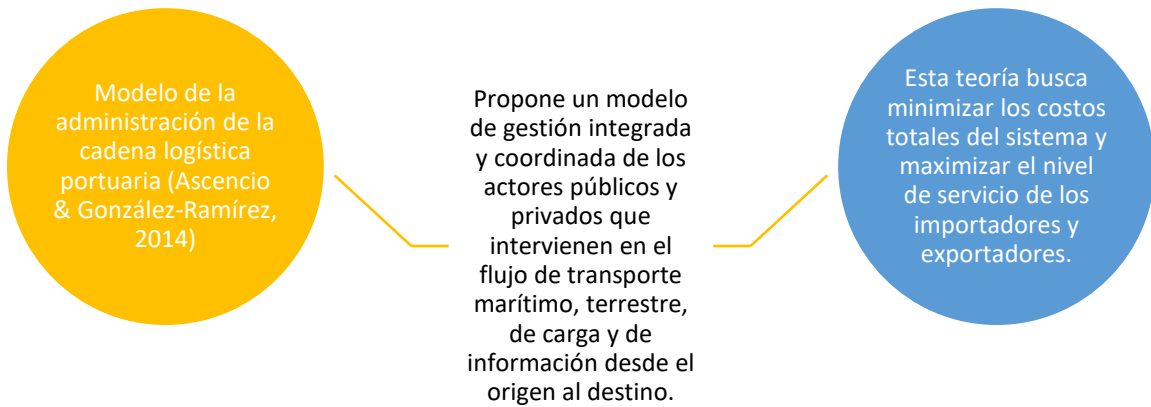
Fundamentado en estudios e índices globales de competitividad elaborados por el Foro Económico Mundial, Singapur se considera uno de los primeros lugares en logística portuaria, infraestructura en transporte internacional y calidad en sus instalaciones. Aunque se trata de una isla con un tamaño mediano, Singapur dispone con dos puertos marítimos que permite desarrollar las operaciones de comercio internacional, además, uno de ellos es el segundo puerto más grande del mundo en carga general y en movimiento de contenedores (Legiscomex, 2015).

#### **4.3.1 Teorías relevantes en la logística portuaria**

La logística portuaria es el conjunto de actividades, procesos y recursos que se realizan en los puertos para facilitar el flujo de mercancías y personas entre el transporte marítimo y los otros modos de transporte (terrestre, aéreo o ferroviario) (Rodríguez-Molina & Gutiérrez-Gutiérrez, 2019). La logística portuaria es una parte esencial de la cadena de suministro global, ya que los puertos son los principales nodos de conexión entre el comercio internacional y los mercados locales (Zhang, Lam & Fu, 2018). La logística portuaria tiene como objetivo optimizar la eficiencia, la seguridad, la calidad y la sostenibilidad de las operaciones portuarias, así como satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes (Barleta & Sánchez, 2021).

La logística portuaria se puede abordar desde diferentes perspectivas teóricas, según el enfoque, el nivel o el ámbito de análisis que se adopte. Algunas de las teorías en la logística portuaria son las señaladas en las figuras 4, 5, 6, 7, y 8, a continuación:

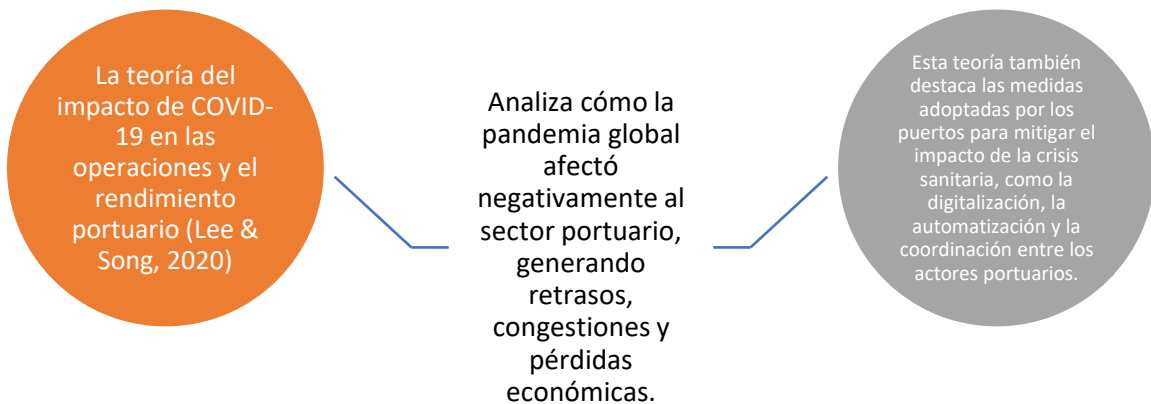
Figura. 4. Teoría de la administración de la cadena logística



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de (Ascencio & González-Ramírez, 2014)

De acuerdo con la figura 4, la teoría de la administración de la cadena logística portuaria resalta la importancia de una gestión integrada y coordinada entre actores públicos y privados para lograr un flujo eficiente de transporte marítimo, terrestre, de carga e información desde el origen hasta el destino. Esta perspectiva subraya la necesidad de colaboración y sinergia para garantizar la eficiencia en todas las etapas de la cadena logística.

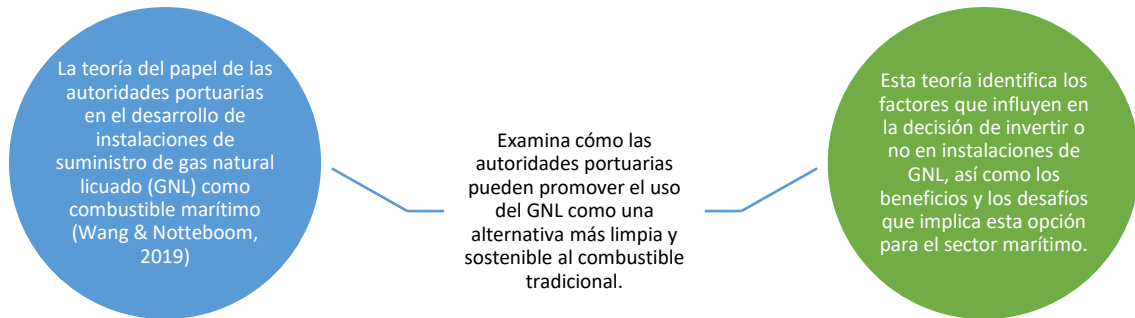
Figura. 5. Teoría del Impacto de COVID 19 en las operaciones y el rendimiento portuario



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de (Lee & Song, 2020)

Como se muestra en la figura 5, la teoría del impacto de COVID-19 en las operaciones y el rendimiento portuario ilustra cómo las crisis globales pueden generar disrupciones significativas en las operaciones portuarias, evidenciando la importancia de la resiliencia y la adaptabilidad en el sector.

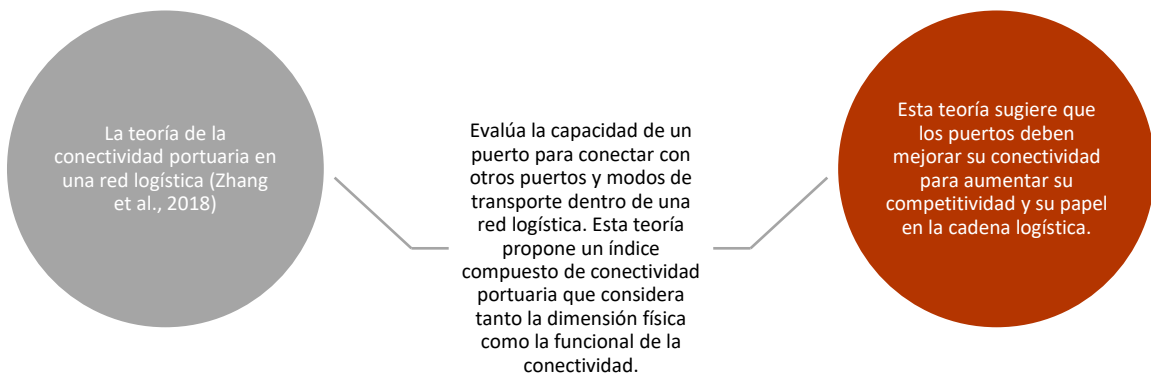
Figura. 6. Teoría del papel de las autoridades portuarias en el desarrollo de instalaciones de suministro de gas natural licuado como combustible marítimo



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de (Wang & Notteboom, 2019)

En la figura 6, La teoría del papel de las autoridades portuarias en el desarrollo de instalaciones de GNL como combustible marítimo subraya la necesidad de considerar opciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en el transporte marítimo, y cómo las autoridades portuarias pueden fomentar el cambio hacia alternativas más limpias.

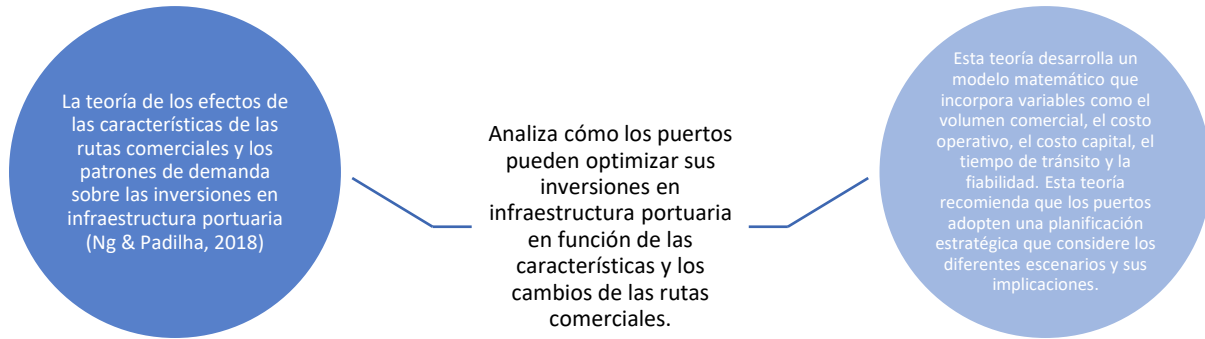
Figura. 7. La teoría de la conectividad portuaria en una red logística



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de (Zhang et al., 2018)

En la figura 7, la teoría de la conectividad portuaria en una red logística resalta la relevancia de la interconexión de los puertos con otros modos de transporte y destinos, promoviendo la competitividad y la eficiencia en la cadena logística.

Figura. 8. La teoría de los efectos de las características de las rutas comerciales y los patrones de demanda sobre las inversiones en infraestructura portuaria



Nota. Fuente: elaboración propia a partir de (Ng & Padilha, 2018)

Por último, en la figura 8, la teoría de los efectos de las características de las rutas comerciales y los patrones de demanda sobre las inversiones en infraestructura portuaria destaca la necesidad de una planificación estratégica que considere las dinámicas cambiantes de la demanda y las rutas comerciales para optimizar las inversiones en infraestructura y mantener la competitividad.

De este modo, la exploración de diversas teorías fundamentales en el ámbito de la logística portuaria proporciona una base conceptual sólida para comprender los factores críticos que influyen en la operación de carga y descarga de buques portacontenedores.

En conjunto, estas teorías proporcionan un marco conceptual diverso y enriquecedor para abordar los desafíos y oportunidades en la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. al considerar aspectos de gestión, adaptación a crisis, sostenibilidad, interconexión y toma de decisiones informadas.

#### **4.3.1 Proceso marítimo operativo de contenedores.**

El proceso marítimo operativo de contenedores es un conjunto complejo de actividades que involucran múltiples fases y recursos para garantizar la eficiente manipulación de la carga. Este proceso es esencial para mantener la fluidez del comercio marítimo y se divide en varias

etapas críticas que incluyen la llegada del buque, la descarga de contenedores, el almacenamiento temporal, y la posterior carga de nuevos contenedores para su envío.

#### 1. Llegada del Buque:

La operación comienza con la llegada del buque al puerto. En esta fase, es crucial la coordinación entre el capitán del buque, la autoridad portuaria y los operadores de terminales para asegurar un atraque seguro y eficiente (Rodríguez, 2020). Las actividades iniciales incluyen el amarre del buque y la preparación de la infraestructura portuaria para la descarga.

#### 2. Descarga de Contenedores:

Una vez que el buque está atracado, se inicia la descarga de los contenedores utilizando grúas especializadas. Estas grúas deben ser operadas con precisión para minimizar el tiempo de descarga y evitar daños a la carga. Este proceso requiere una cuidadosa planificación para optimizar el uso de los recursos y garantizar la seguridad de los trabajadores y la mercancía (Quintero et al., 2018).

#### 3. Almacenamiento Temporal:

Después de la descarga, los contenedores se trasladan al patio de almacenamiento. En esta etapa, es fundamental la gestión eficiente del espacio para maximizar la capacidad de almacenamiento y facilitar el acceso rápido a los contenedores cuando sea necesario. Los sistemas de gestión de patio y las tecnologías de información juegan un papel crucial en la organización y seguimiento de los contenedores (Notteboom & Rodríguez, 2005).

#### 4. Carga de Nuevos Contenedores:

Simultáneamente, se preparan los contenedores que serán cargados en el buque para su próximo destino. Este proceso implica la verificación de documentos, la inspección de la carga, y la coordinación con los transportistas terrestres para asegurar que los contenedores lleguen a tiempo para su embarque (Bichou & Gray, 2005).

- Elementos Clave del Proceso:

- Infraestructura Portuaria: Incluye muelles, grúas, patios de almacenamiento y sistemas de transporte interno que facilitan el movimiento eficiente de los contenedores (UNCTAD, 2021).
- Tecnología de Información: Sistemas como el software Navis N4 que ayudan en la planificación, monitoreo y gestión de las operaciones portuarias, mejorando la visibilidad y el control del flujo de contenedores (Navis, 2019).
- Recursos Humanos: Personal capacitado en la operación de grúas, gestión de patios y coordinación logística, cuya eficiencia y seguridad son esenciales para el éxito del proceso operativo (Sánchez & Wilmsmeier, 2017).

Este proceso es continuo y cíclico, con cada etapa influenciada por la eficiencia de la anterior y la planificación para la siguiente. Las mejoras en cualquiera de estas fases pueden tener un impacto significativo en la productividad general del puerto y en su capacidad para competir en el mercado global.

#### **4.3.2 Indicador de eficiencia portuaria.**

La Cuenca del Pacífico es contexto de diversos estudios por la importancia que tiene para el mundo. Se logra evidenciar que muchas de las grandes economías están ubicadas en esta región, como lo son la china, la japonesa y la estadounidense. De modo singular, la región del Foro de Cooperación Económica de Asia-Pacífico (APEC, por sus siglas en inglés) contiene las economías de mayor influencia de la zona.

En esta región se pueden encontrar numerosos puertos de los más importantes a nivel global, así como importadores y exportadores de carga en contenedores, igualmente algunas de las principales rutas marítimas con mayor movimiento de contenedores. Con respecto a lo anterior se puede mencionar que en el año 2018 (datos del World Shipping Council, 2020) comunican que el puerto de Shanghái movió un volumen de 42.01 millones de contenedores, en tanto que Singapur y Shenzhen desplazaron 36.6 y 27.74 millones, respectivamente, considerando estos tres puertos los principales en el mundo, lo anterior se relaciona en la tabla 3.

Tabla 3. Volumen de contenedores de los primeros diez puertos marítimos del mundo.

#	Volumen de contenedores (Millones de TEU por año)	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
		1	Shangai	42,0	40,2	37,1	36,5	35,3	33,6	32,5	31,7	29,1
2	Singapur	36,6	33,7	30,9	30,9	33,9	32,6	31,7	29,9	28,4	25,9	29,9
3	Shenzhen	27,7	25,2	24,0	24,2	24,0	23,3	22,9	22,6	22,5	18,3	21,4
4	Ningbo-Zhoushan	26,4	24,6	21,6	20,6	19,4	17,3	16,8	14,7	13,1	10,5	11,2
5	Guangzhou Harbor	21,9	20,4	18,9	17,6	16,6	15,3	14,7	14,4	12,6	11,2	11,0
6	Busan	21,7	20,5	19,9	19,5	18,7	17,7	17,0	16,2	14,2	12,0	13,4
7	Hong Kong	19,6	20,8	19,8	20,1	22,3	22,4	23,1	24,4	23,5	21,0	24,2
8	Qingdao	18,3	18,3	18,0	17,5	16,6	15,5	14,5	13,0	11,6	11,1	11,8
9	Tianjin	16,0	15,1	14,5	14,1	14,1	13,0	12,3	11,6	10,1	8,7	8,5
10	Jebel Ali	15,0	15,4	15,7	15,6	15,3	13,6	13,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Nota. Fuente: Información basada en datos de World Shipping Council (2019).

La medición de la productividad es significativa para el desarrollo progresivo de cualquier actividad económica. Los indicadores de eficiencia son determinantes en la evaluación de la producción, puesto que posibilitan la medición del nivel de ejecución de los procesos productivos, plantear estrategias, tomar decisiones acertadas y generar acciones de mejora (Supertransporte, 2022).

En las terminales portuarias, los indicadores de eficiencia facilitan evaluar el desarrollo de las actividades propias del negocio, de igual modo, desarrollar la actividad portuaria en condiciones de calidad, eficiencia y costos competitivos. Estos indicadores tienden a ser variables considerando la participación de distintos actores comprendidos en la operación portuaria (terminal portuaria, operador portuario, línea naviera, autoridad portuaria). Por otro lado, los indicadores que se muestran en este informe pertenecen a interfaces operativas: Buque –Puerto y operación portuaria.

En la tabla 4, se presentan 12 indicadores que permiten visualizar la productividad portuaria para cada una de las instalaciones portuarias que prestan servicio público y privado.

Tabla 4. Indicadores de productividad portuaria.

<b>Nro</b>	<b>Nombre del indicador</b>
1	Utilización de muelles
2	Toneladas metro lineal muelle
3	Teus metro lineal muelle
4	Aprovechamientos de bodegas
5	Aprovechamiento de patios
6	Eficiencia operacional
7	Distribución por tipo de tráfico (importación, exportación y transbordo) para contenedores en toneladas
8	Distribución por tipo de tráfico (importación, exportación y transbordo) para contenedores en TEUS
9	Distribución por tipo de carga
10	Distribución por tipo de tráfico (Importación y Exportación) para TEUS llenos y vacíos
11	Distribución de la carga modo férreo vs terrestre
12	Tiempo promedio de permanencia de los vehículos en la terminal portuaria

Nota. Fuente: (Supertransporte, 2022).

Según la organización Volcá (2020), uno de los principales indicadores de crecimiento para un país es su participación activa en operaciones de comercio internacional, para lo que, es preciso se cuente con la infraestructura apropiada para satisfacer las necesidades de intercambio comercial. Teniendo en cuenta que alrededor del 90% de los bienes transportados en operaciones de comercio internacional se han realizado por medio de buques de carga, la actividad portuaria resulta entonces de gran importancia para el desarrollo efectivo de las operaciones de logística internacional.

Los indicadores de productividad portuaria son esenciales para medir la eficiencia operativa y para identificar áreas de mejora en la gestión portuaria. Permiten evaluar aspectos clave como la utilización de muelles, el aprovechamiento de bodegas y patios, y la eficiencia operativa general entre los indicadores mencionados, la "Eficiencia Operacional" es posiblemente el más relevante, ya que abarca múltiples aspectos de la operación portuaria y proporciona una visión holística del desempeño del puerto. Este indicador evalúa la capacidad del puerto para manejar la carga de manera efectiva y eficiente, lo cual es crucial para mantener la competitividad.

Además, de los indicadores presentados, la literatura menciona otros importantes, como:

- Tiempo de Espera de los Buques: Mide el tiempo que los buques deben esperar antes de ser atendidos, lo cual impacta directamente en los costos operativos y la satisfacción de los clientes (Notteboom & Rodrigue, 2005).

- Productividad de las Grúas: Evalúa la cantidad de movimientos de contenedores por hora de cada grúa, proporcionando una medida de la eficiencia del equipo (Bichou & Gray, 2005).
- Costo por Unidad de Carga: Analiza el costo operativo por TEU (Twenty-foot Equivalent Unit), permitiendo comparar la eficiencia económica entre diferentes puertos (Sánchez & Wilmsmeier, 2017).

De modo que, los indicadores de productividad portuaria son herramientas fundamentales para evaluar y mejorar la eficiencia de las operaciones portuarias. Al utilizar una combinación de estos indicadores, los gestores portuarios pueden obtener una visión integral del desempeño de sus instalaciones y tomar decisiones informadas para optimizar sus operaciones y mantener su competitividad en el mercado global.

#### **4.3.3 Logística portuaria.**

La globalización como indicador de desarrollo en materia de transporte, compromete el traslado progresivo de productos a mayores distancias, por lo tanto, en cada país el manejo óptimo de todos los recursos implicados puede significar mejores resultados financieros, posibilitando el crecimiento de la industria (Velasco y Molins, 2013). En tal efecto, la logística portuaria se logra definir como la estrategia de funcionamiento de un puerto, con la infraestructura necesaria para la llegada y atraque de buques, descargue, cargue, almacenamiento, transporte y distribución de mercancías (Yan-liang, 2013). De manera que la logística portuaria se reconoce como una ciencia integrada con el fin de resolver los problemas de la gestión de flujos de mercancías (Sujeta y Navickas, 2014).

Dentro del proceso de movilización de las cargas, estas solo pueden permanecer de manera transitoria en almacenes, los cuales deben tener una sincronización perfecta con el proceso de traslado de cargas y medios de transporte para su distribución, previniendo de retrasos o “tiempos muertos”, atendiendo que en estos almacenes y durante todo el proceso de traslado de las cargas se asegure su correcta conservación, calidad y seguridad (González, 2015). Al respecto, los puertos se especializan en el manejo de las cargas de modo que los hay multipropósito, para el manejo de toda clase de carga, estos tienen diferente clasificación dentro de los cuales se encuentran los terminales de contenedores que manejan carga contenedorizada, carga y descarga mediante grúas.

Los servicios portuarios se refieren a las actividades que se realizan en la zona portuaria, siendo necesarias para la adecuada explotación de los mismos, tratando que se presten en las mejores condiciones de seguridad, eficacia, eficiencia, calidad, regularidad, continuidad y sin discriminación. Los servicios portuarios a la vez se encaminan por los siguientes principios: la actividad portuaria se desarrollará en un marco de libre y leal competencia entre los operadores de servicios, con la finalidad de incentivar el aumento del tráfico portuario y el mejoramiento de la competitividad; se aprueba la libertad de acceso a la prestación de servicios y al desarrollo de actividades económicas en los puertos (Servicios portuarios, 2013).

#### **4.3.4 La eficiencia en la cadena de suministro**

Se refiere a la capacidad de una organización para optimizar el flujo de materiales, información y dinero desde el proveedor hasta el cliente, minimizando los costos y maximizando el valor (Chopra & Meindl, 2016). La eficiencia en la cadena de suministro implica la coordinación y la colaboración entre los diferentes actores que participan en las actividades logísticas, tales como el transporte, el almacenamiento, el inventario, la producción y la distribución (Rodríguez-Molina & Gutiérrez-Gutiérrez, 2019). La eficiencia en la cadena de suministro se puede medir mediante indicadores como el nivel de servicio al cliente, el tiempo de ciclo, la rotación de inventario, la productividad y la rentabilidad (Barleta & Sánchez, 2021).

#### **4.3.5 La optimización de operaciones portuarias**

Consiste en aplicar técnicas matemáticas y computacionales para mejorar el rendimiento y la productividad de los procesos portuarios, tales como la asignación de buques a muelles, la asignación de grúas, la planificación de movimientos de grúas y la optimización del almacenamiento en patio (Decide, 2021). La optimización de operaciones portuarias busca reducir el tiempo de espera de los buques, aumentar la utilización de los recursos portuarios, disminuir los costos operativos y ambientales y satisfacer las demandas y restricciones del mercado (Wang & Notteboom, 2019). La optimización de operaciones portuarias se puede realizar mediante modelos de programación lineal, programación entera, programación dinámica, evaluación de alternativa inteligencia artificial (Zhang et al., 2018).

#### **4.3.6 El papel crucial de la tecnología en la toma de decisiones informadas**

Se basa en el uso de herramientas digitales que permiten recopilar, analizar y visualizar datos relevantes para resolver problemas y aprovechar oportunidades en el ámbito empresarial (Tableau, 2021). La tecnología facilita la toma de decisiones informadas al proporcionar información precisa, oportuna y accesible a los tomadores de decisiones, así como al generar conocimiento e inteligencia a partir de los datos (Forbes México, 2017). La tecnología también contribuye a la toma de decisiones informadas al mejorar la comunicación y la colaboración entre los diferentes niveles y áreas de la organización, así como al fomentar una cultura basada en los datos (Naciones Unidas, 2020).

En este sentido, La eficiencia en la cadena de suministro, otro pilar teórico explorado, destaca la optimización de los flujos de materiales, información y dinero, así como la colaboración entre actores logísticos para minimizar costos y maximizar el valor. Esta eficiencia se traduce en la mejora de aspectos clave como el nivel de servicio al cliente, el tiempo de ciclo, la rotación de inventario y la rentabilidad.

La optimización de operaciones portuarias, respaldada por técnicas matemáticas y tecnológicas, busca mejorar la productividad y el rendimiento en los procesos portuarios. Esta teoría subraya la importancia de la asignación eficiente de recursos, la planificación precisa y la toma de decisiones informadas para reducir tiempos de espera, costos operativos y ambientales, así como para satisfacer las demandas del mercado.

Finalmente, el papel crucial de la tecnología en la toma de decisiones informadas emerge como un factor determinante en la gestión portuaria moderna. Mediante herramientas digitales, se recopilan y analizan datos relevantes, generando conocimiento e inteligencia que respaldan decisiones precisas y oportunas. Además, la tecnología fomenta la comunicación, colaboración y una cultura basada en los datos, permitiendo una toma de decisiones más informada y estratégica en el ámbito empresarial.

En conjunto, estas teorías proporcionan una base sólida y diversa para comprender y abordar los desafíos y oportunidades en la operación de cargue y descargue de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., al tiempo que establecen el contexto conceptual necesario para proponer estrategias de mejora que optimicen la eficiencia, la competitividad y la sostenibilidad de la operación portuaria.

#### 4.4 Marco legal

En el contexto de la operación portuaria y la gestión de contenedores, el marco legal juega un papel esencial al establecer las regulaciones, normativas y directrices que rigen las actividades y responsabilidades de los actores involucrados en la cadena logística portuaria. La legislación pertinente abarca desde regulaciones internacionales y regionales hasta leyes nacionales y locales que definen los parámetros para la operación eficiente, segura y sostenible de los puertos.

Este apartado del estudio examina los principales aspectos legales que impactan la operación de cargue y descargue de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., destacando los marcos internacionales, nacionales y específicos que influyen en la toma de decisiones y la implementación de estrategias de mejora en el ámbito portuario. A través de esta revisión, se busca comprender cómo las regulaciones legales enriquecen y modelan la operación portuaria, asegurando el cumplimiento normativo y promoviendo prácticas que respalden el desarrollo sostenible y la competitividad en el sector.

- Ley 1 de enero 10 de 1991 por medio de la cual se dictan normas sobre la actividad portuaria, concesión portuaria, eficiencia en el uso de instalaciones, embarcadero y otras disposiciones (Ley 1, 1991).
- **Operación portuaria. Ley 1 de 1991, enero 10.** Diario Oficial No. 39.626 de 11 de enero de 1991: Por la cual se expide el Estatuto de Puertos Marítimos y se dictan otras disposiciones:

**Artículo 3o.** Condiciones técnicas de operación: Corresponde al Superintendente General de Puertos y de conformidad con esta Ley, definir las condiciones técnicas de operación de los puertos, en materias tales como nomenclatura; procedimientos para la inspección de instalaciones portuarias y de naves en cuanto a bodegas, carga y estiba; manejo de carga; facturación; recibo, almacenamiento y entrega de la carga; servicios a las naves; prelación y reglas sobre turnos, atraque y desatraque de naves; períodos de permanencia; tiempo de uso de servicios; documentación; seguridad industrial, y las demás que han estado sujetas a la Empresa Puertos de Colombia, en cuanto no se oponga a lo dispuesto en la presente Ley. (Superintendencia de puertos y transporte, 2014)

**CONPES 2839 de 1996.** Plan de expansión portuaria 1996 – 1997. Busca el incremento de la productividad del sector, de manera eficiente, por medio de inversión de infraestructura logística y vial (CONPES 2839, 1996).

**CONPES 2992 de 1998.** Plan de expansión portuaria 1998 – 1999. Busca implementar la actividad aeroportuaria estimulando la inversión pública y privada (CONPES 2992, 1998).

**Decreto 4735 de 2009.** Reglamentó el trámite de solicitud de concesiones para el desarrollo de las actividades portuarias previstas en la Ley 1ª de 1991 (Decreto 4735, 2009).

**Resolución 850 de 2017.** Por medio de la cual se establece el contenido del Reglamento de condiciones técnicas de operación de los puertos marítimos y se dictan otras disposiciones (Resolución 850, 2017).

**Resolución 341 de 2022.** En el marco de una de las mayores crisis logísticas que ha afrontado el pacífico colombiano, la Superintendencia de Transporte expidió esta Resolución mediante la cual:

Advirtió a los puertos de Buenaventura (Aguadulce, Sociedad Portuaria de Buenaventura, y Terminal de Contenedores de Buenaventura) que debían dar cumplimiento a los compromisos para el recibo y almacenamiento de contenedores vacíos. Ordenó a los puertos que debían informar a las navieras diariamente sobre el porcentaje de ocupación de la terminal. Advirtió a los puertos que debían garantizar la prestación de los servicios públicos. Ordenó a diferentes navieras que remitieran información a la Superintendencia de Transporte, y que garantizaran la prestación del servicio público y la eficiencia de la cadena logística. Ordenó a las navieras dar explicaciones sobre las razones que justifican cobros o penalidades que se generan por la demora en la entrega de contenedores vacíos. Ordenó a diferentes operadores de patios de contenedores garantizar la operación logística y portuaria. Solicitó a la Superintendencia de Industria y Comercio para que, de considerarlo, investigue a las terminales portuarias, navieras, y patios de contenedores si sus acciones se enmarcan de conductas anticompetitivas. Solicitó a la Agencia Nacional de Infraestructura revisar el cumplimiento de los puertos de las obligaciones incorporadas en los correspondientes contratos de concesión. (Resolución 341, 2022)

## **5. Metodología**

La metodología utilizada en esta investigación desempeña un papel fundamental al proporcionar el enfoque sistemático y las herramientas necesarias para alcanzar los objetivos planteados. En esta sección, se detallará el enfoque general que guiará la identificación y evaluación de escenarios de mejora en la operación de cargue y descargue de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. Además, se describirán los métodos específicos utilizados para recopilar, analizar y procesar los datos relevantes, así como para desarrollar las evaluaciones de alternativas y estrategias propuestas. La selección rigurosa de la metodología adecuada permitirá obtener resultados confiables y pertinentes que contribuyan a optimizar la eficiencia, la seguridad y la competitividad del puerto.

### **5.1 Enfoque del estudio**

El enfoque del estudio es mixto, ya que combina el uso de información cualitativa y cuantitativa para abordar las problemáticas del puerto de Buenaventura. El enfoque mixto permite integrar diferentes perspectivas y métodos para obtener una comprensión más completa y profunda del fenómeno estudiado (Creswell & Plano Clark, 2018).

Para el caso de este estudio, el enfoque que se usaría en cada objetivo específico sería el siguiente:

- En el primer objetivo específico, se usaría el enfoque cualitativo, ya que se trata de caracterizar cada una de las etapas que conforman el proceso marítimo operativo de contenedores en el puerto de Buenaventura, mediante un análisis detallado que permita obtener una comprensión integral de su funcionamiento. Para lograr este objetivo, se usó información cualitativa como documentos, normas, procedimientos, observaciones, etc., que describan y expliquen cómo se realiza el proceso operativo de contenedores en el puerto.
- En el segundo objetivo específico, se usaría el enfoque cuantitativo, ya que se trata de analizar los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., evaluando aspectos como el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión. Para lograr este objetivo, se usó información cuantitativa como datos históricos

y estadísticos del puerto, que permitan medir y analizar el desempeño del proceso operativo de contenedores mediante técnicas matemáticas y estadísticas.

- En el tercer objetivo específico, se usaría el enfoque mixto, ya que se trata de Realizar una evaluación de alternativa del proceso operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., empleando el software portuario Navis N4 con el módulo XPS, generando diversos escenarios que posibiliten la visualización y optimización de la asignación de recursos, con el propósito de proponer estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto. Para lograr este objetivo, se hizo uso de información cualitativa y cuantitativa como parámetros, variables, supuestos y restricciones del proceso operativo de contenedores, que permitan crear un modelo computacional del puerto y simular diferentes escenarios mediante el software portuario.

## **5.2 Tipo de estudio**

El tipo de estudio es descriptivo, ya que busca describir las características, las condiciones y las situaciones actuales del puerto de Buenaventura, así como identificar los factores que influyen en su funcionamiento y rendimiento. El estudio descriptivo no pretende establecer relaciones causales, sino observar y documentar la realidad (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

### **5.2.1 Diseño**

El diseño del estudio es mixto, ya que combina elementos de los diseños experimental y no experimental. Por un lado, se usa un diseño no experimental para recolectar y analizar los datos históricos y estadísticos del puerto de Buenaventura, tal como se presentan en el contexto natural. Por otro lado, se usa un diseño experimental para crear y simular diferentes escenarios de mejora del proceso operativo de contenedores en el puerto de Buenaventura, manipulando o controlando algunas variables de interés. El diseño mixto permite integrar diferentes tipos de datos y métodos para obtener una visión más completa y profunda del problema y las posibles soluciones (Creswell & Plano Clark, 2018).

### **5.2.2 Método**

El método es documental, ya que se utiliza la revisión documental como técnica para la recolección de datos, acudiendo a fuentes secundarias como estudios académicos e informes de

entidades oficiales. El método documental implica la selección, el análisis y la síntesis de la información relevante para el tema de investigación, encontrando entre ellas documentos, textos e informes de entidades portuarias, comercio exterior y datos estadísticos (Arias, 2006).

### **5.2.3 Fases de la investigación**

A continuación, se describen las fases de la investigación: caracterización, análisis y evaluación de alternativa del proceso marítimo operativo de contenedores en la SPRB.

- En la primera fase, se describirán cada una de las etapas que conforman el proceso y los recursos involucrados. Esta fase tiene como objetivo identificar y documentar los elementos clave del proceso operativo, tales como los tipos de contenedores, los modos de transporte, las actividades de carga y descarga, los equipos y el personal. Esta fase también implica el levantamiento de información sobre los volúmenes, las frecuencias, las capacidades y las restricciones de cada etapa y recurso. Esta fase es importante para tener una visión clara y detallada del proceso actual y sus características.
- En la segunda fase, se analizarán los indicadores de productividad relacionados con el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión. Esta fase tiene como objetivo medir y evaluar el desempeño del proceso operativo, utilizando datos históricos o actuales. Algunos de los indicadores que se pueden utilizar son: el tiempo promedio de estadía de los buques, el tiempo promedio de espera de los camiones, el número promedio de movimientos por hora, la utilización promedio de los equipos y el personal, el costo promedio por movimiento y el nivel de servicio al cliente. Esta fase es importante para identificar las fortalezas y las debilidades del proceso actual y sus oportunidades de mejora.
- En la tercera fase, se empleará el software portuario Navis N4 con el módulo XPS para realizar evaluaciones de alternativas detalladas del proceso operativo, generando diversos escenarios que permitan visualizar y optimizar la asignación de recursos. Esta fase tiene como objetivo probar y comparar diferentes alternativas de solución, utilizando un modelo matemático que reproduzca el comportamiento del proceso real. El software Navis N4 con el módulo XPS es una herramienta especializada en la planificación y la optimización de las operaciones portuarias, que permite simular el flujo de contenedores, los movimientos de grúas, la asignación de muelles y patios, y el impacto de las variables externas. Esta fase es importante para seleccionar la mejor solución posible, basada en criterios técnicos y económicos.

## **6 Recursos a emplear**

A continuación, se resumen los recursos necesarios para llevar a cabo la propuesta del presente proyecto.

### **6.1.1 Humanos**

#### **6.1.2 Director**

Jair Fernel Cuero, Ingeniero industrial de la Universidad del Valle año 1999, Magister en Administracion de Empresas (MBA) de la Universidad ICESI año 2012. Sector Marítimo y Logístico Portuario.

#### **6.1.3 Físicos**

Biblioteca Pontificia Universidade Javeriana Cali.

Laboratorio Pontificia Universidad Javeriana Cali.

#### **6.1.4 Bibliográficos**

Bases de datos, tales como:

- Science Direct
- Springer
- Proquest
- ASTM
- Scielo

## **Capítulo I**

### **7 Caracterización de cada una de las etapas que conforman el proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.**

La Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) es una empresa que presta servicios de operación portuaria y logística en el puerto de Buenaventura, el más importante del Pacífico colombiano. La SPRB maneja diversos tipos de carga, entre ellos los contenedores, que son unidades de transporte estandarizadas que facilitan el comercio internacional. El proceso marítimo operativo de contenedores en la SPRB se compone de varias etapas, tanto para la exportación como para la importación, que se describen a continuación.

El transporte marítimo de contenedores es una modalidad de transporte de carga que utiliza unidades estandarizadas y modulares para facilitar el intercambio y la manipulación de la mercancía. Este tipo de transporte implica una serie de operaciones portuarias que se realizan tanto en el puerto de origen como en el puerto de destino, y que requieren una adecuada planificación, coordinación y control para garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad de los servicios portuarios.

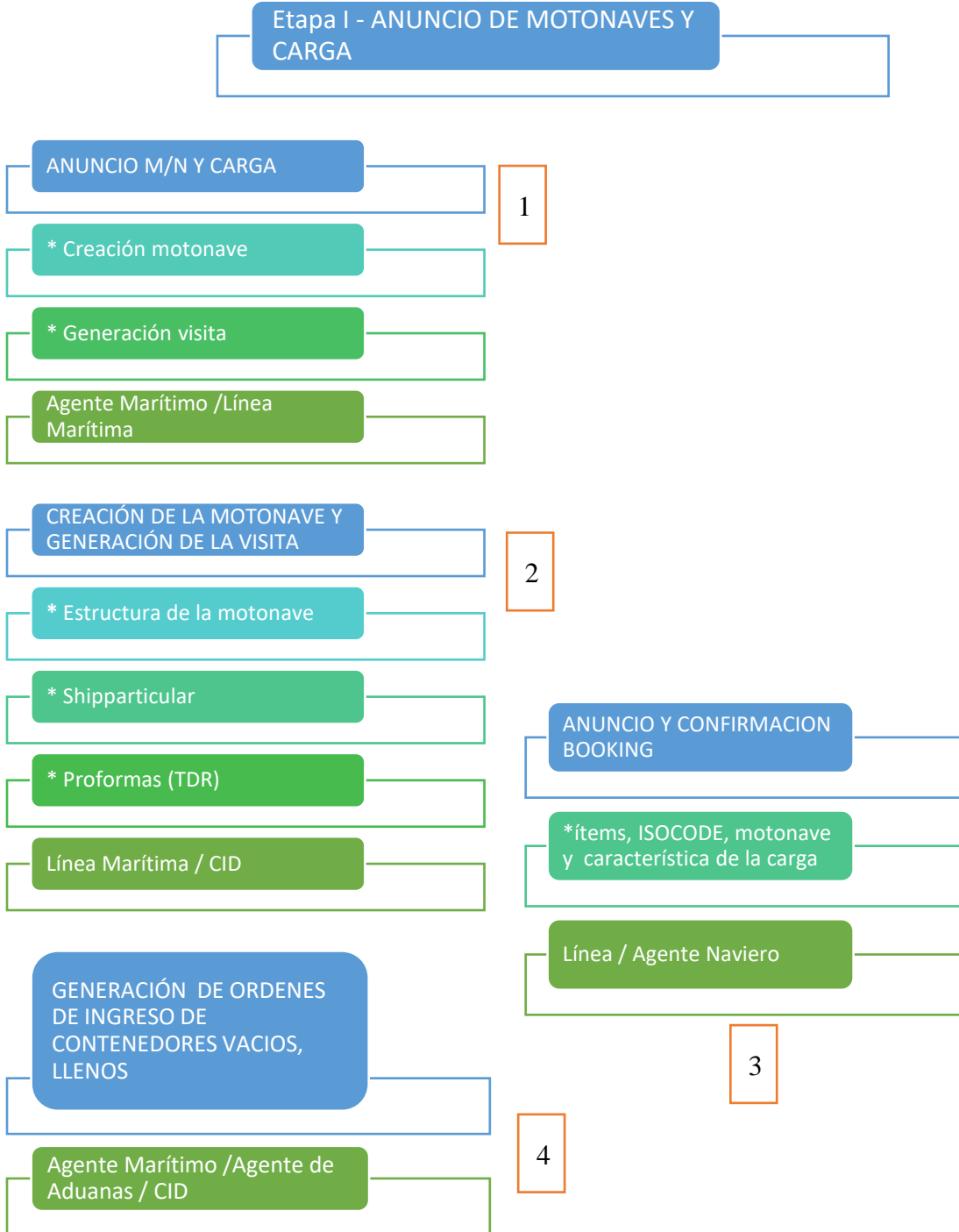
#### **7.1 Proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A (Exportación)**

La SPRB es la principal terminal portuaria de Colombia, ubicada en el Pacífico, que ofrece servicios de recepción, almacenamiento y entrega de carga general, contenerizada y a granel. Según la Cámara Colombiana de la Infraestructura (2021), la SPRB movilizó el 51,3% del total de la carga contenerizada del país en 2020, lo que evidencia su importancia estratégica para el comercio exterior colombiano (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2021). Además, la SPRB logró un récord histórico de 5.522.312 toneladas movilizadas en 2021, a pesar de los impactos negativos de la pandemia por Covid-19 (SPRB, 2021). También ha realizado inversiones en infraestructura, tecnología y sostenibilidad, con el fin de mejorar su competitividad y eficiencia (Martínez et al., 2019).

A continuación, se presentará la caracterización de cada una de las etapas que conforman el proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB), teniendo en cuenta que el proyecto que se está realizando se enfoca únicamente hasta

el almacenamiento, además se muestran las etapas en doble vía tanto por la carga de exportación como de importación junto a sus responsables, así:

Figura. 9. Etapa I (Exportación)



Fuente: elaboración propia

## 1. Anuncio de motonaves y carga (figura 9)

Esta etapa consiste en la creación de la motonave y la generación de la visita, que es el proceso mediante el cual se registra la información de la nave, la carga y los servicios que se van a prestar. Esta etapa es gestionada por el agente o la línea marítimos, que son los encargados de representar los intereses del armador o propietario de la nave. Esta etapa marca el inicio formal del tránsito de contenedores, tanto de exportación como de importación, y se realiza a través de un portal de autogestión que tiene la SPBR en su página web el cual facilita el proceso y la interacción con los clientes y autoridades.

El anuncio de motonaves y carga es una etapa clave para la planificación y coordinación de las operaciones portuarias, ya que permite anticipar la demanda de servicios, asignar los recursos necesarios y optimizar el uso de la infraestructura portuaria. Además, esta etapa facilita el intercambio de información entre los diferentes actores involucrados en la cadena logística, como el agente marítimo, la línea marítima, el agente de aduanas, el operador portuario y la autoridad portuaria. Según Rodríguez et al. (2017), el anuncio de motonaves y carga es un factor determinante para la competitividad de los puertos, ya que influye en la eficiencia, la seguridad y la calidad de los servicios portuarios.

## 2. Creación de la motonave y generación de la visita (figura 9)

Esta etapa consiste en la estructuración de la motonave, que es el proceso de asignar un código único a cada nave que arriba al puerto, y la generación de un ship particular, que es el documento que contiene la información detallada de la nave, la carga y los servicios solicitados. Además, en esta etapa se desarrollan las proformas, que son los documentos que estiman el costo de los servicios portuarios a prestar. Esta etapa es crítica para asegurar que los contenedores sean adecuadamente preparados para su tránsito y es supervisada por la línea marítima y también el Centro de Información y Documentación (CID), que es la dependencia de la SPRB encargada de gestionar la documentación relacionada con las operaciones portuarias.

La creación de la motonave y la generación de la visita son procesos que requieren de un alto nivel de precisión y verificación, ya que de ellos depende la correcta identificación y clasificación de la carga, así como la determinación de los requisitos y condiciones para su manipulación y almacenamiento. Asimismo, estos procesos permiten establecer los términos y condiciones comerciales entre la línea marítima y la SPRB, así como el cálculo de los ingresos y

los costos asociados a los servicios portuarios. Según Gutiérrez et al. (2018), la creación de la motonave y la generación de la visita son procesos que pueden beneficiarse de la aplicación de tecnologías de la información y la comunicación, como el uso de sistemas integrados, el intercambio electrónico de datos y la automatización de procesos.

### 3. Anuncio y confirmación de booking (figura 9)

Esta etapa consiste en el anuncio y la confirmación de booking, que es el proceso de registrar y validar la información de los ítems, el ISOCODE, la motonave y las características de la carga que se va a exportar o importar. Esta etapa asegura que todos los elementos estén correctamente catalogados antes del almacenamiento y es realizada por la línea marítima o el agente naviero, que son los responsables de coordinar el transporte marítimo de la carga.

El anuncio y la confirmación de booking es una etapa que tiene una gran relevancia para la planificación y la ejecución de las operaciones portuarias, ya que permite definir la capacidad y la disponibilidad de los contenedores, así como la distribución y el acomodo de la carga dentro de la nave. Además, esta etapa facilita el seguimiento y la gestión de la carga durante todo el proceso marítimo operativo, desde el origen hasta el destino. Según Pérez et al. (2020), el anuncio y la confirmación de booking es una etapa que puede aprovechar las ventajas de la digitalización y la inteligencia artificial, como el uso de plataformas virtuales, el análisis de datos y la optimización de algoritmos.

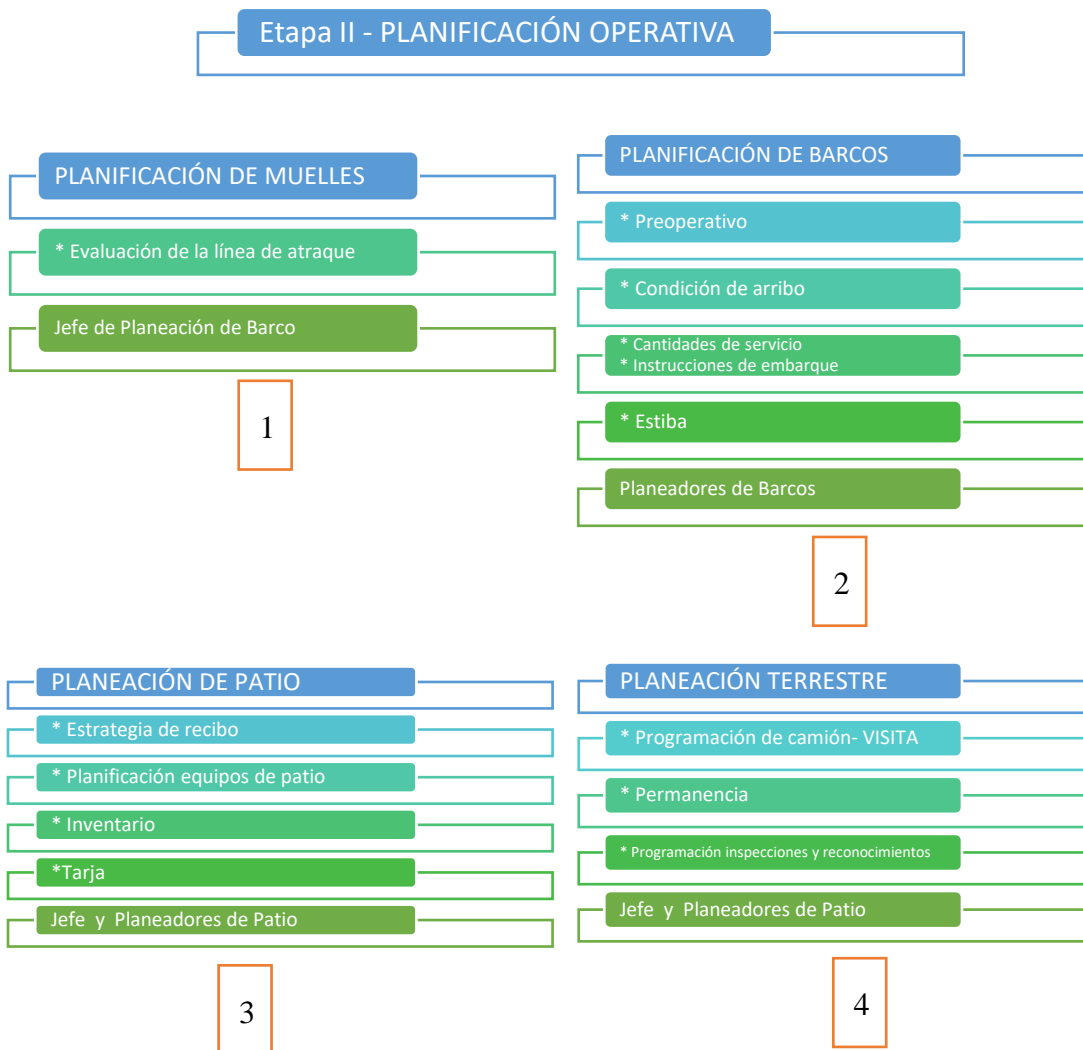
Cada una de estas etapas (Figura 9) está meticulosamente diseñada para optimizar tanto las operaciones de exportación como de importación. La caracterización realizada permite una evaluación profunda para futuras mejoras e innovaciones dentro del marco operativo existente.

### 4. Generación de órdenes de ingreso de contenedores vacíos y llenos (figura 9)

Esta etapa consiste en la generación de las órdenes de ingreso de contenedores vacíos y llenos, que son los documentos que autorizan el ingreso de los contenedores al puerto, ya sea para ser cargados en la nave (exportación) o para ser entregados al cliente (importación). Esta etapa es vital para garantizar que los contenedores sean procesados eficientemente para su ingreso y es gestionada por el agente marítimo, el agente de aduanas o el CID, según el tipo de carga y el modo de transporte.

La generación de órdenes de ingreso de contenedores vacíos y llenos es una etapa que implica el cumplimiento de una serie de normas y procedimientos legales, administrativos y operativos, que tienen como objetivo facilitar el control y la trazabilidad de la carga, así como prevenir el fraude y el contrabando. Además, esta etapa contribuye a la optimización del flujo de contenedores dentro del puerto, ya que permite asignar los espacios de almacenamiento, programar las operaciones de carga y descarga y coordinar el transporte terrestre o ferroviario. Según Martínez et al. (2019), la generación de órdenes de ingreso de contenedores vacíos y llenos es una etapa que puede mejorar su eficacia y eficiencia mediante la implementación de sistemas de gestión de la calidad, la seguridad y el medio ambiente.

Figura. 10. Etapa II (Exportación)



Nota. Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la figura 10, la planificación operativa es la etapa que consiste en definir y coordinar las actividades, los recursos y los tiempos necesarios para realizar las operaciones portuarias de manera eficiente y efectiva. Esta etapa abarca cuatro aspectos principales: la planificación de muelles, la planificación de barcos, la planificación de patio y la planificación terrestre. Cada uno de estos aspectos tiene sus propios objetivos, responsables y procesos, que se describen a continuación.

#### 1. Planificación de muelles (Figura 10)

La planificación de muelles es el proceso que incluye la evaluación de la línea de atraque y la asignación de los espacios para el amarre de las naves que llegan al puerto. Esta planificación está dirigida por el Jefe de Planeación del Barco, que es el encargado de supervisar y controlar las operaciones de carga y descarga de los buques. La planificación de muelles tiene como objetivo optimizar el uso de la infraestructura portuaria, minimizar los tiempos de espera y maximizar la productividad y la seguridad de las operaciones.

#### 2. Planificación de barcos (Figura 10)

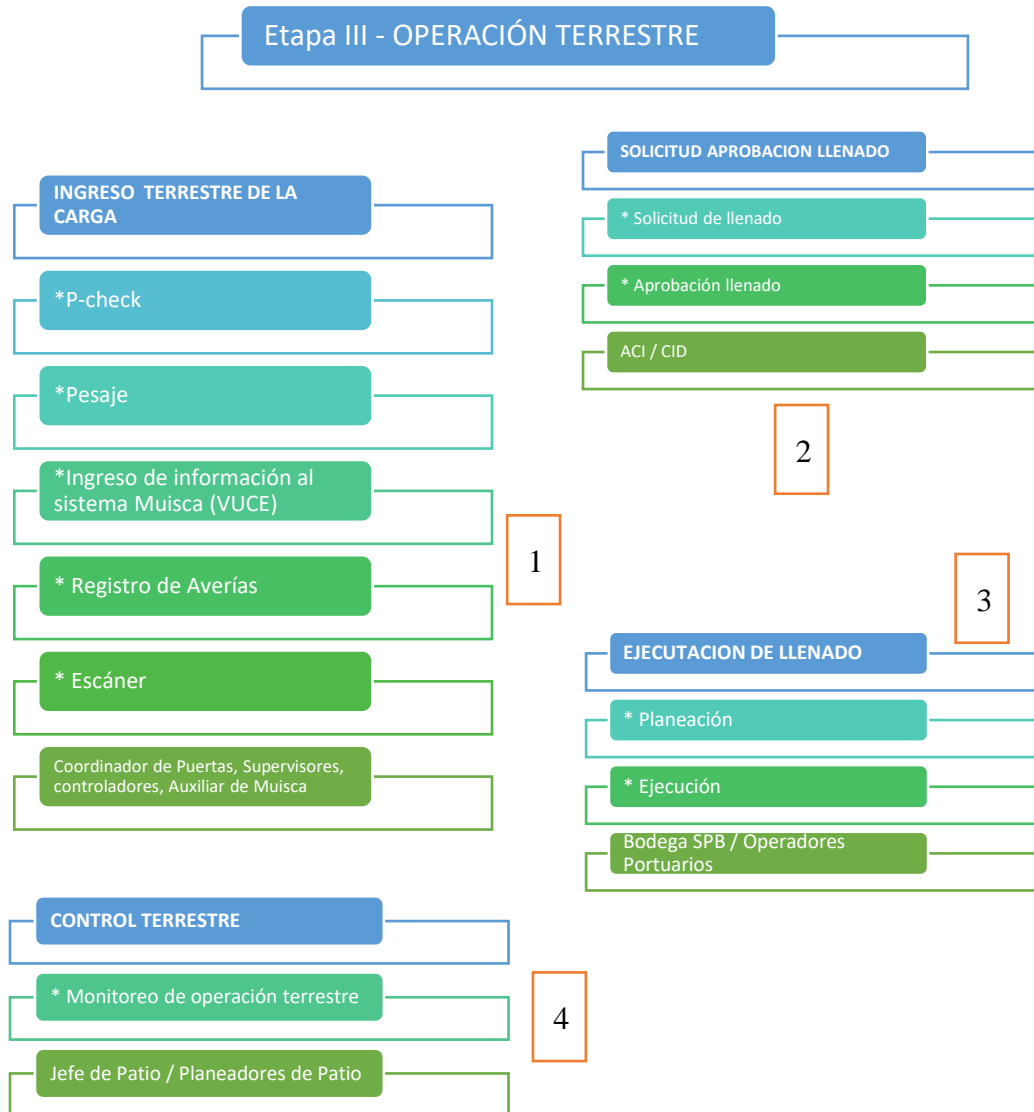
La planificación de barcos es el proceso que se enfoca en el preoperativo, la condición de arribo, las cantidades de servicio, las instrucciones de embarque y la estiba de los contenedores que se van a transportar por vía marítima. Esta planificación es realizada por los Planeadores de Barcos, que son los responsables de diseñar y ejecutar la estrategia de carga y descarga de los buques, teniendo en cuenta las características de la nave, la carga y el puerto. La planificación de barcos tiene como objetivo garantizar la calidad y la eficiencia de las operaciones marítimas, así como la satisfacción de los clientes.

#### 3. Planificación de patio (Figura 10)

La planificación de patio es el proceso que involucra la estrategia de recibo, la planificación de equipos de patio, el inventario, la tarja, los traslados y el housekeeping de los contenedores que se almacenan en el puerto. Esta planificación está dirigida por el Jefe y los Planeadores de Patio, quien es el encargado de gestionar y coordinar las operaciones de manipulación y almacenamiento de los contenedores en el patio. La planificación de patio tiene como objetivo mejorar el flujo y la trazabilidad de los contenedores, así como reducir los costos y los riesgos operativos.

La planificación operativa representada en la figura 10 es una etapa fundamental para el éxito de las operaciones portuarias, ya que permite alinear los objetivos estratégicos de la SPRB con las necesidades y expectativas de los clientes y los proveedores. La planificación operativa también contribuye a la competitividad y la sostenibilidad del puerto, ya que permite mejorar el rendimiento, la calidad y la innovación de los servicios portuarios.

Figura. 11. Etapa III (Exportación)



Nota. Fuente: elaboración propia

En la figura 11, la Operación Terrestre es la etapa que consiste en gestionar y coordinar las actividades relacionadas con el transporte terrestre o ferroviario de los contenedores que ingresan

o salen del puerto. Esta etapa abarca cuatro aspectos principales: el ingreso terrestre de la carga, el control terrestre, la solicitud aprobación llenado y la ejecución de llenado. Cada uno de estos aspectos tiene sus propios objetivos, responsables y procesos, que se describen a continuación.

#### 1. Ingreso terrestre de la carga (Figura 11)

El ingreso terrestre de la carga es el proceso que incluye el P-check, el pesaje, el ingreso de información al sistema Muisca (VUCE), el registro de averías, el escáner y la asignación de la visita. Este proceso es realizado por el Coordinador de Puertas, los Supervisores, los Controladores y el Auxiliar de Muisca. El ingreso terrestre de la carga tiene como objetivo verificar y registrar la información y el estado de los contenedores que llegan al puerto por vía terrestre o ferroviaria, así como autorizar su ingreso al patio.

#### 2. Solicitud aprobación llenado (Figura 11)

La solicitud aprobación llenado es el proceso que incluye la solicitud del llenado y la aprobación llenado, que consiste en solicitar y obtener la autorización para realizar el llenado de los contenedores vacíos que se van a exportar. Este proceso es realizado por el CID, que es la dependencia de la SPRB encargada de gestionar la documentación relacionada con las operaciones portuarias. La solicitud aprobación llenado tiene como objetivo asegurar que los contenedores cumplan con las normas y especificaciones para su transporte marítimo.

#### 3. Ejecución de llenado (Figura 11)

La ejecución de llenado es el proceso que incluye la planeación y la ejecución, que consiste en diseñar y realizar el llenado de los contenedores vacíos con la carga que se va a exportar. Este proceso es realizado por la Bodega SPB / Operadores Portuarios, que son los responsables de manipular y almacenar la carga en el puerto. La ejecución de llenado tiene como objetivo optimizar el uso de los contenedores, así como proteger y acondicionar la carga para su transporte marítimo.

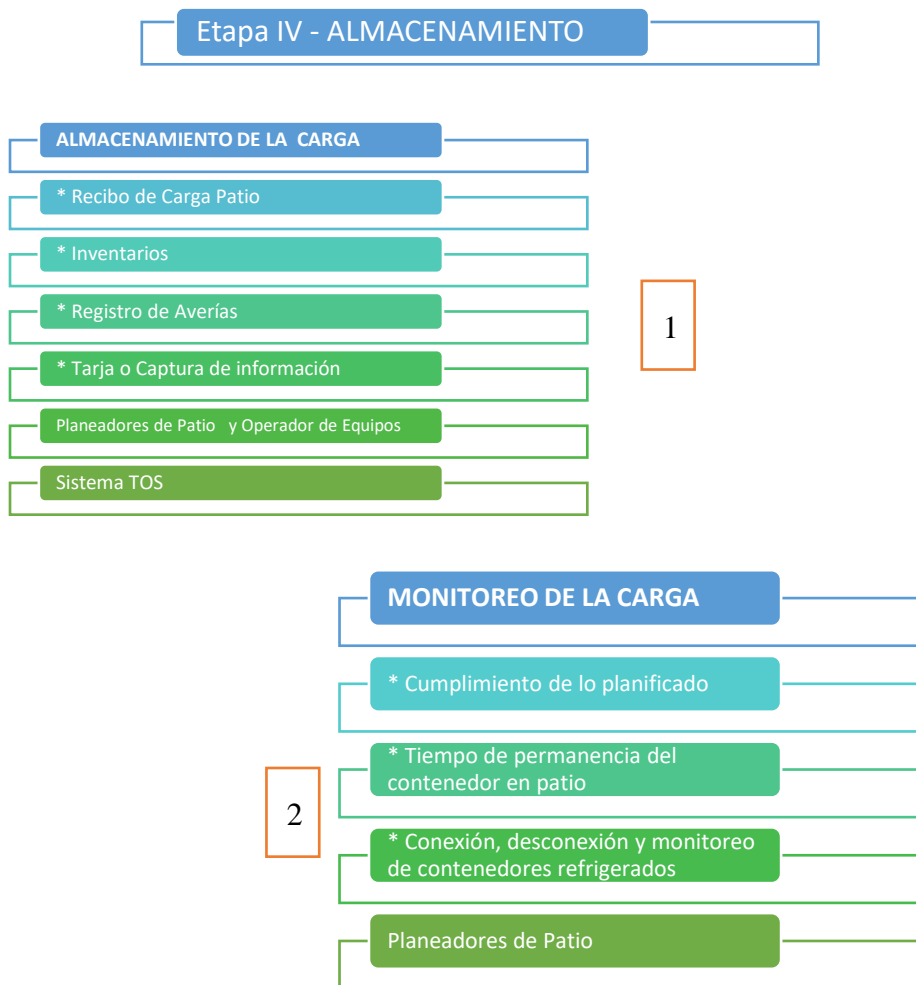
#### 4. Control terrestre (Figura 11)

El control terrestre es el proceso que incluye el monitoreo de la operación terrestre, que consiste en supervisar y controlar el flujo de los contenedores desde su ingreso hasta su salida del puerto. Este proceso es realizado por el Jefe de Patio y los Planeadores de Patio, que son los encargados de integrar y sincronizar las operaciones de patio con las operaciones terrestres. El

control terrestre tiene como objetivo garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad de la operación terrestre, así como cumplir con los requisitos legales y aduaneros.

La Operación Terrestre como se deja ver en la figura 11, es una etapa esencial para el éxito de las operaciones portuarias, ya que permite facilitar y agilizar el ingreso y la salida de los contenedores del puerto, así como cumplir con los requisitos legales y aduaneros. La Operación Terrestre también contribuye a la competitividad y la sostenibilidad del puerto, ya que permite mejorar el rendimiento, la calidad y la innovación de los servicios portuarios.

Figura. 12. Etapa IV (Exportación)



Nota. Fuente: elaboración propia

El almacenamiento (figura 12) es la etapa que consiste en guardar y proteger los contenedores que se van a exportar hasta que sean embarcados en la nave. Esta etapa abarca dos

aspectos principales: el almacenamiento de la carga y el monitoreo de la carga. Cada uno de estos aspectos tiene sus propios objetivos, responsables y procesos, que se describen a continuación.

#### 1. Almacenamiento de la carga

El almacenamiento de la carga es el proceso que incluye el recibo de carga patio, los inventarios, el registro de averías y la tarja o captura de información. Este proceso es realizado por los Planeadores de Patio y los Operadores de Equipos. El almacenamiento de la carga tiene como objetivo asegurar que los contenedores se encuentren en el lugar adecuado, en las condiciones óptimas y con la información actualizada con el fin de garantizar siempre la trazabilidad de la carga.

#### 2. Monitoreo de la carga

El monitoreo de la carga es el proceso que incluye el cumplimiento de lo planificado, el tiempo de permanencia del contenedor en patio, la conexión, desconexión y monitoreo de contenedores refrigerados. Este proceso es realizado por los Planeadores del Patio. El monitoreo de la carga tiene como objetivo garantizar la calidad y la seguridad de la carga, así como optimizar el uso de los recursos y el espacio.

Como se ve en la figura 12, el almacenamiento es una etapa clave para el éxito de las operaciones de exportación, ya que permite conservar y cuidar los contenedores que se van a exportar, así como facilitar su embarque en la nave. El almacenamiento también contribuye a la competitividad y la sostenibilidad del puerto, ya que permite mejorar el rendimiento, la calidad y la innovación de los servicios portuarios.

### **7.2 Proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A (Importación)**

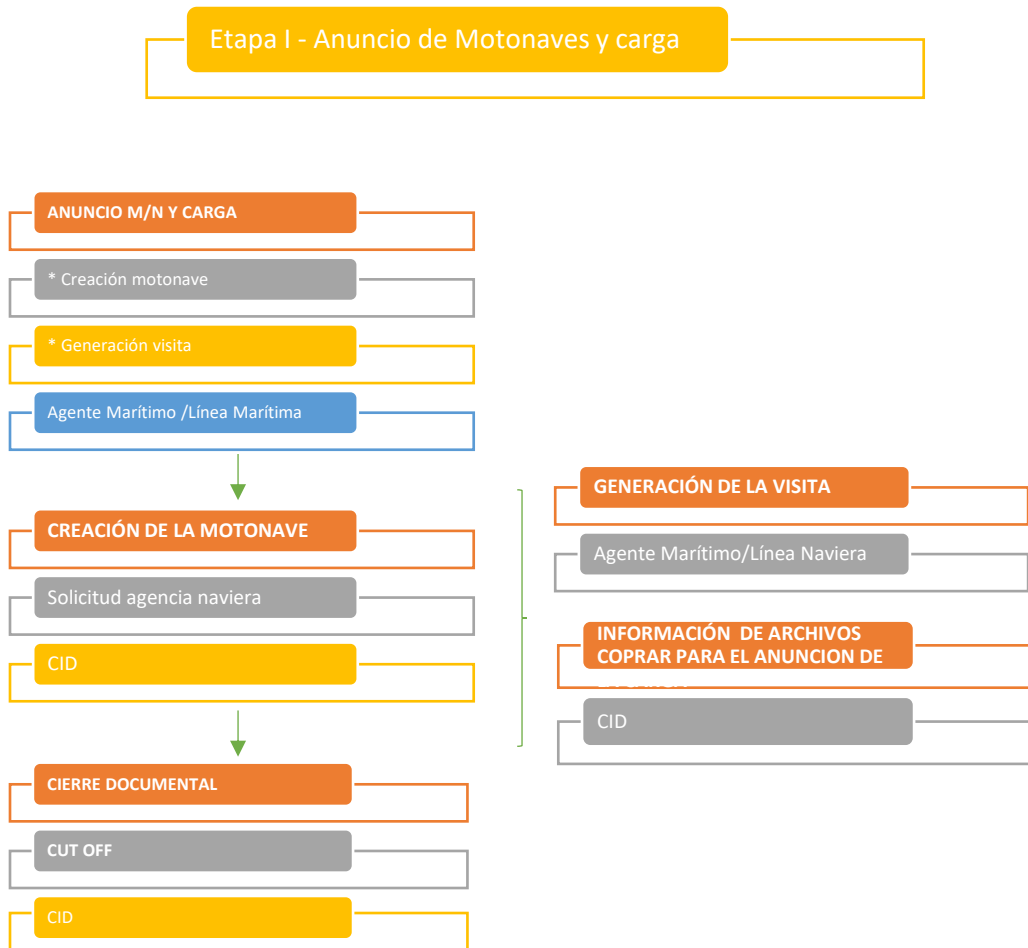
La primera etapa del proceso de importación (figura 13) es el anuncio de motonaves y carga, que consiste en registrar la información de la nave, la carga y los servicios que se van a prestar en el puerto. Esta etapa se divide en tres objetivos y comprende sus respectivos responsables:

1. Anuncio M/N y carga: Involucra la creación de motonave y generación de visita por parte del Agente Marítimo/Línea Marítima.
2. Creación de la motonave: Se realiza a través de una solicitud de la agencia naviera al CID.

3. Cierre documental (cut off): Es la finalización documental del anuncio, en esta etapa del proceso toda la carga relacionada para embarque, descargue y trasbordo del buque, debe quedar plenamente identificada y documentada.

Esta etapa es gestionada por el agente marítimo o la línea marítima, que son los encargados de representar los intereses del armador o propietario de la nave con el terminal portuario. Esta etapa marca el inicio formal del tránsito de contenedores de importación y exportación.

Figura. 13. Etapa I (Importación)



Nota. Fuente: elaboración propia

El proceso de anuncio de motonaves y carga es una fase crítica en las operaciones portuarias, esencial para coordinar la llegada y manipulación de buques y sus respectivas cargas. La Figura 13, titulada "Etapa I (Importación)", detalla este proceso, desglosándolo en varias subetapas clave.

- Subetapa 1: Anuncio de Motonave y Carga

El proceso inicia con el anuncio de la motonave y la carga a través de la creación de la motonave y la generación de la visita. Esta tarea es realizada por el agente marítimo o la línea naviera. La creación de la motonave implica registrar los detalles del buque y su carga prevista, mientras que la generación de la visita establece los horarios y condiciones para la llegada y operación del buque en el puerto.

- Subetapa 2: Generación de la Visita

Una vez que la motonave y la carga han sido anunciadas, se procede a la generación de la visita, nuevamente coordinada por el agente marítimo o la línea naviera. Este paso incluye la preparación y organización de todos los recursos necesarios para recibir y manipular la carga de manera eficiente.

- Subetapa 3: Creación de la Motonave

Paralelamente, se realiza la creación formal de la motonave, que incluye la solicitud de agencia naviera y la consolidación de toda la documentación pertinente. En este contexto, la solicitud de agencia naviera se refiere a coordinar con las autoridades portuarias para asegurar un espacio de atraque y programar la llegada del buque.

- Subetapa 4: Información de Archivos COPRAR

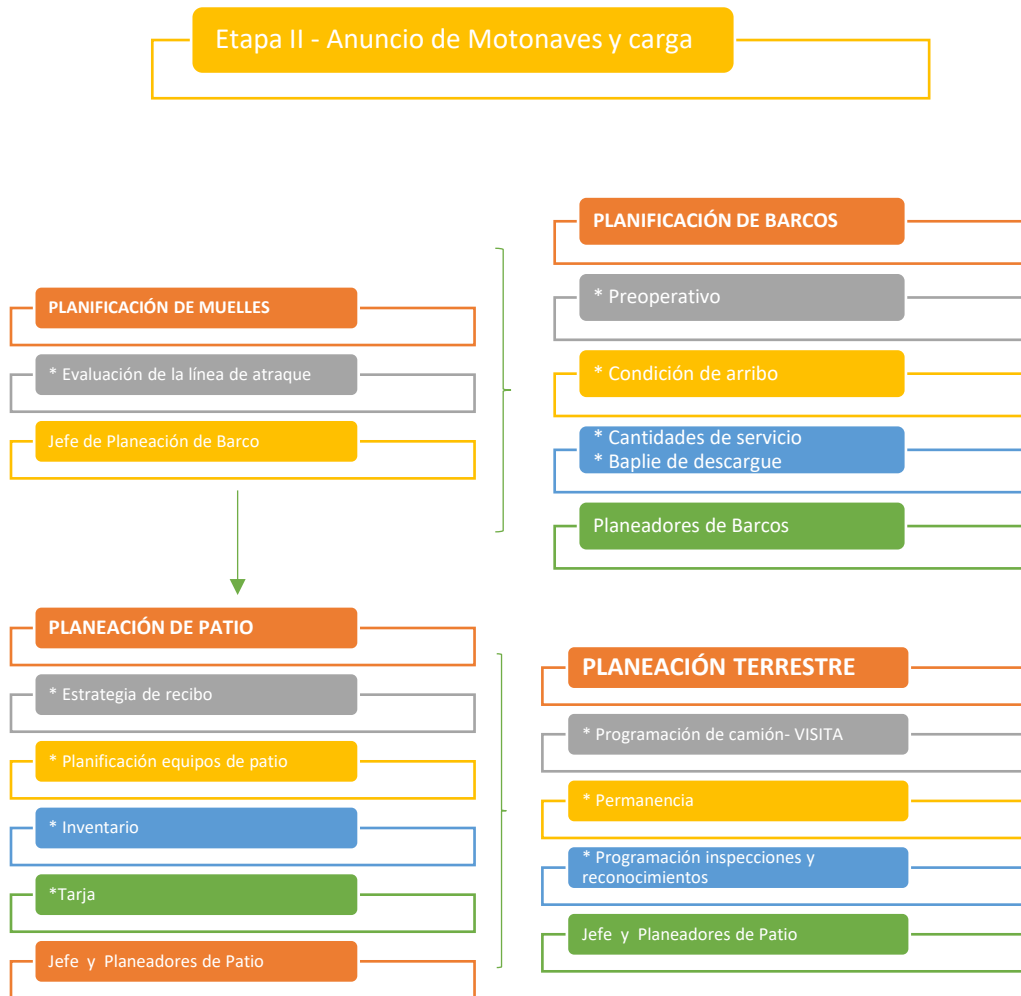
En este punto, la información de los archivos COPRAR (Container Pre-Advice Report) se recopila y verifica para garantizar que todos los datos relacionados con la carga sean precisos y estén disponibles para su manipulación eficiente. El CID (Central Information Database) juega un papel crucial en esta etapa, almacenando y gestionando la información necesaria para la operación.

- Subetapa 5: Cierre Documental

El proceso concluye con el cierre documental, que incluye el 'CUT OFF' y la consolidación de la información en el CID. El 'CUT OFF' es el momento límite para la entrega de la documentación necesaria antes de la llegada del buque, asegurando que todos los permisos y trámites estén completados a tiempo.

El anuncio de motonaves y carga es un proceso estructurado y meticuloso que requiere una estrecha coordinación entre el agente marítimo, la línea naviera y las autoridades portuarias. Cada subetapa está diseñada para asegurar que el buque y su carga sean manejados de manera eficiente y segura, minimizando retrasos y optimizando el uso de los recursos portuarios.

Figura. 14. Etapa II (Importación)



Nota. Fuente: elaboración propia

La Figura 14, titulada "Etapa II (Importación)", detalla el proceso de planificación y coordinación para la operación de motonaves y carga en un puerto. Esta etapa es crucial para asegurar que todas las actividades se realicen de manera eficiente y sin contratiempos. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada subetapa involucrada.

- Subetapa 1: Planificación de Muelles

La planificación de muelles es el primer paso en esta etapa, donde se evalúa la línea de atraque para asegurar que esté disponible y adecuada para el buque que llegará. Esta evaluación incluye la inspección de las condiciones físicas del muelle y la verificación de la disponibilidad de espacio. El jefe de planificación de barco es el responsable de esta actividad, asegurando que todo esté listo para la llegada del buque.

- Subetapa 2: Planificación de Barcos

La planificación de barcos se divide en varias actividades:

- Preoperativo: Involucra la preparación de todos los recursos y personal necesarios para la operación del buque.
- Condición de Arribo: Verificación de las condiciones de llegada del buque, incluyendo el estado del barco y la carga.
- Cantidades de Servicio y Baplie de Descarga: Planificación de los servicios necesarios y el Baplie, que es el plan de descarga de contenedores. Los planeadores de barcos son los responsables de coordinar estas actividades, asegurando que todos los detalles estén correctamente gestionados para una operación fluida.

- Subetapa 3: Planeación de Patio

La planeación de patio es esencial para la organización y gestión de los contenedores una vez que han sido descargados del buque:

- Estrategia de Recibo: Planificación de cómo y dónde se recibirán los contenedores en el patio.
- Planificación de Equipos de Patio: Asignación y organización de equipos necesarios para manejar los contenedores.
- Inventario y Tarja: Gestión del inventario de contenedores y el proceso de tarja, que implica la inspección y registro de cada contenedor. Los jefes y planeadores de patio son responsables de estas actividades, asegurando una gestión eficiente del espacio y los recursos.

- Subetapa 4: Planeación Terrestre

La planeación terrestre coordina todas las actividades relacionadas con el transporte de los contenedores fuera del puerto:

- Programación de Camión - Visita: Coordinación de la llegada y salida de camiones para recoger y entregar contenedores.
- Permanencia: Gestión del tiempo que los camiones y contenedores permanecen en el puerto.
- Programación de Inspecciones y Reconocimientos: Planificación de las inspecciones necesarias para asegurar la integridad de la carga. Los jefes y planeadores de patio trabajan juntos para asegurar que estas actividades se realicen de manera eficiente y sin demoras.

La Etapa II del proceso de importación en el anuncio de motonaves y carga (figura 14) es una fase integral que asegura una planificación y coordinación meticulosa de todas las actividades necesarias para la operación portuaria. Cada subetapa está diseñada para optimizar el uso de los recursos y garantizar que las operaciones se realicen de manera eficiente y segura.

Figura. 15. Etapa III (Importación)



Nota. Fuente: elaboración propia

La Figura 15, titulada "Etapa III (Importación)", describe el proceso de operación marítima, enfocándose en la descarga de contenedores y las actividades relacionadas que garantizan una operación eficiente y conforme a las regulaciones. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada subetapa involucrada en esta fase crítica.

- Subetapa 1: Descargue

La descarga de contenedores es la primera actividad en esta etapa y se desglosa en varias acciones clave:

- Destrinca: Involucra la remoción de las sujeciones y aseguramientos de los contenedores para prepararlos para la descarga.
- Tarja: Proceso de inspección y registro de los contenedores descargados.
- Traslado de Carga: Movilización de los contenedores desde el buque hasta el patio de almacenamiento.

- Control: Supervisión y verificación de que los contenedores se manipulen de acuerdo con los procedimientos establecidos.
- Reportes Operativos: Elaboración de informes operativos que documentan el progreso y cualquier incidencia durante la descarga. Los planeadores de patio y barco, junto con el supervisor marítimo y terrestre, son responsables de estas actividades para asegurar una operación eficiente y segura.
- Subetapa 2: Control Aduanero

El control aduanero es una actividad esencial que garantiza el cumplimiento de las normativas y regulaciones aduaneras:

- Informe Finalización Descargue: Elaboración de un informe detallado al finalizar la descarga, el cual es revisado por las autoridades aduaneras.
- Muisca: Sistema informático utilizado por la autoridad aduanera para gestionar y controlar el proceso aduanero. Este sistema facilita la inspección y autorización de la carga, asegurando que todo se realice conforme a la normativa vigente.
- Subetapa 3: Control Marítimo

El control marítimo asegura que todas las operaciones se realicen según lo planificado:

Cumplimiento de lo Planificado: Supervisión y verificación de que todas las actividades de descarga y manipulación de contenedores se realicen conforme al plan establecido. Los planeadores de patio y barco son los responsables de esta tarea, asegurando la eficiencia y el cumplimiento de los procedimientos.

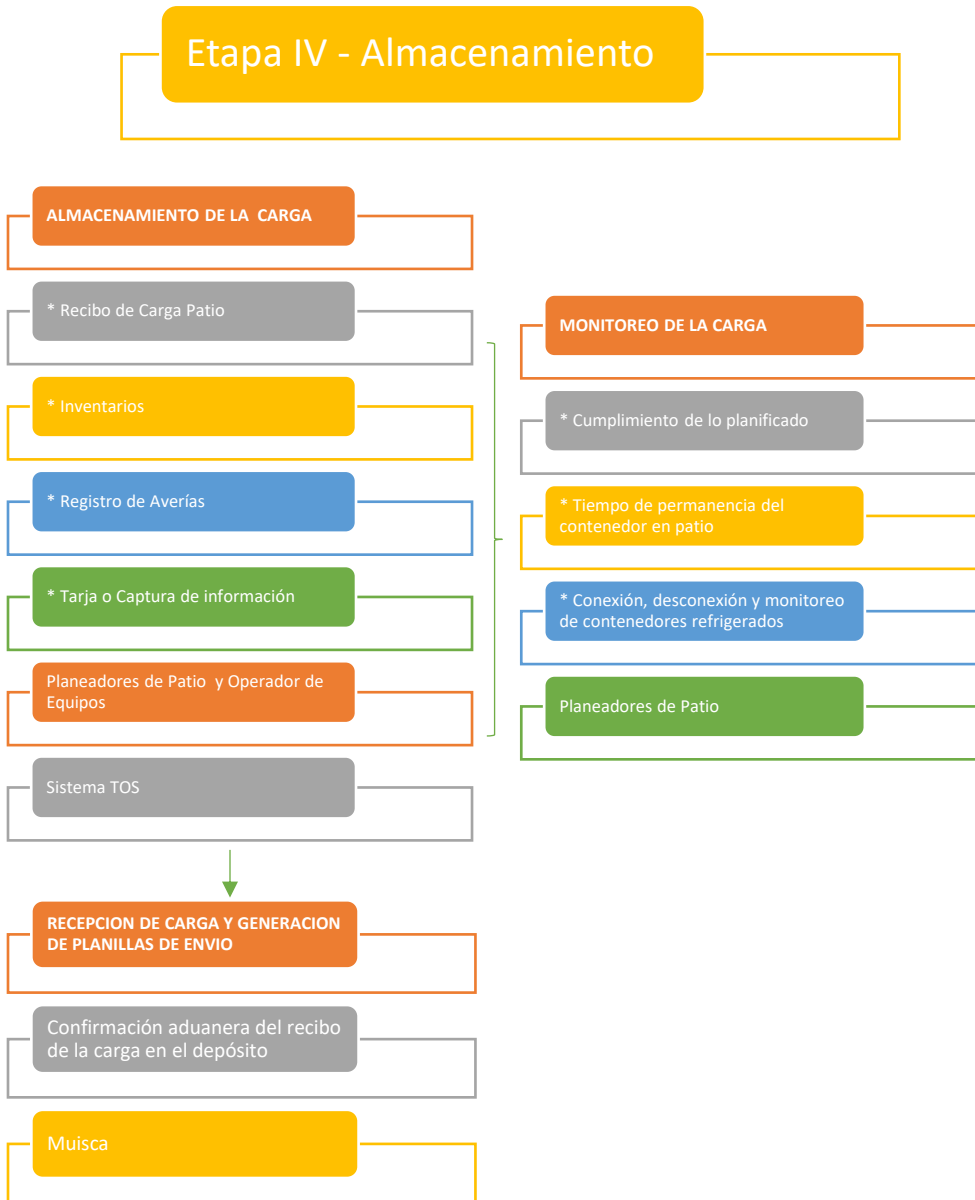
- Subetapa 4: Reporte Final

El reporte final es la última actividad de esta etapa y tiene como objetivo consolidar toda la información relevante de la operación:

- Para las Líneas Marítimas y para Facturación: Elaboración de informes finales que se envían tanto a las líneas marítimas como al departamento de facturación. Estos informes incluyen detalles sobre la operación y cualquier incidencia que haya ocurrido.
- Auxiliar de Captura de Información/Recursos: Personal encargado de recopilar y registrar toda la información necesaria para la elaboración de los informes finales.

La Etapa III del proceso de importación en la operación marítima es fundamental para asegurar que los contenedores sean descargados de manera eficiente y conforme a las normativas aduaneras. Cada subetapa está diseñada para optimizar el manejo de la carga y garantizar la transparencia y cumplimiento de todos los procedimientos establecidos.

Figura. 16. Etapa IV (Importación)



Nota. Fuente: elaboración propia

La Figura 16, titulada "Etapa IV (Importación)", detalla el proceso de almacenamiento de la carga en un puerto, desde la recepción de los contenedores hasta su monitoreo y generación de planillas de envío. A continuación, se presenta un análisis detallado de cada subetapa involucrada en esta fase crítica.

- Subetapa 1: Almacenamiento de la Carga

El almacenamiento de la carga es el primer paso en esta etapa y se desglosa en varias acciones clave:

- Recibo de Carga Patio: Implica la recepción formal de los contenedores en el patio de almacenamiento. Esta actividad es gestionada por los planeadores de patio y el operador de equipos.
- Inventarios: Gestión y actualización de los inventarios para llevar un control preciso de los contenedores almacenados.
- Registro de Averías: Inspección y documentación de cualquier daño o avería que presenten los contenedores.
- Tarja o Captura de Información: Proceso de registro de todos los detalles relevantes de los contenedores y su contenido. El sistema TOS (Terminal Operating System) se utiliza para gestionar y almacenar esta información de manera eficiente.

- Subetapa 2: Recepción de Carga y Generación de Planillas de Envío

Una vez que la carga ha sido almacenada y registrada, se procede a la generación de planillas de envío y la confirmación aduanera:

- Confirmación Aduanera del Recibo de la Carga en el Depósito: Validación y confirmación por parte de la autoridad aduanera de que la carga ha sido recibida y almacenada correctamente.
- Generación de Planillas de Envío: Creación de documentos necesarios para la futura distribución y envío de los contenedores.

- Subetapa 3: Monitoreo de la Carga

El monitoreo de la carga es esencial para asegurar que los contenedores se mantengan en condiciones óptimas durante su almacenamiento:

- Cumplimiento de lo Planificado: Verificación continua de que todas las actividades de almacenamiento y monitoreo se realicen conforme al plan establecido.
- Tiempo de Permanencia del Contenedor en Patio: Monitoreo del tiempo que cada contenedor permanece en el patio, optimizando su estancia para reducir costos y mejorar la eficiencia.
- Conexión, Desconexión y Monitoreo de Contenedores Refrigerados: Gestión específica de los contenedores refrigerados, asegurando que se mantengan a las temperaturas adecuadas y supervisando su conexión y desconexión de las fuentes de energía.

Etapas IV del proceso de importación en el almacenamiento de carga es crucial para asegurar que los contenedores sean gestionados de manera eficiente y segura. Cada subetapa está diseñada para optimizar el uso del espacio, mantener la integridad de la carga y asegurar el cumplimiento de todas las normativas aduaneras y operativas.

En este sentido, las etapas del proceso de importación (figura 13 a la 16) y exportación (Figura 9 a la 12) en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) revela similitudes, tanto en el proceso de importación como en el de exportación, se evidencia una clara secuencia de etapas que abarcan desde la planificación inicial hasta el almacenamiento de la carga, pasando por la coordinación de actividades, recursos y documentación necesarios para el tránsito eficiente de los contenedores. Ambos procesos involucran la participación de diversos actores, como agentes marítimos, líneas marítimas, agencias de aduanas y operadores portuarios, con el objetivo de garantizar el flujo adecuado de la carga y el cumplimiento de los requisitos legales y operativos.

En cuanto a las diferencias, se destacan algunos aspectos específicos en cada proceso. Por ejemplo, en el proceso de exportación, se hace énfasis en la creación de la motonave y la generación de la visita, la planificación operativa y la operación terrestre, mientras que, en el proceso de importación, se destaca el control aduanero y el descargue de la carga como etapas fundamentales. Además, se observa una mayor complejidad en el proceso de importación debido a la necesidad de cumplir con los requisitos aduaneros y de control fronterizo para el ingreso de la carga al territorio nacional.

En términos generales, ambos procesos comparten el objetivo común de facilitar el intercambio de mercancías a través del puerto, aunque con enfoques y procedimientos específicos adaptados a las características de la carga y las regulaciones comerciales. La caracterización detallada de cada etapa permite identificar áreas de mejora y optimización en la gestión portuaria, con el fin de incrementar la eficiencia, la seguridad y la competitividad en el comercio exterior colombiano.

### **7.3 Caracterización del proceso marítimo**

Para realizar una caracterización precisa del proceso marítimo operativo de contenedores en la SPRB, se han analizado varios datos clave obtenidos de las operaciones diarias y los reportes oficiales de la entidad. A continuación, se presentan los principales datos analizados, desglosados por cada etapa del proceso.

#### **7.3.1 Etapa I: Anuncio de Motonaves y Carga**

- **Número de Motonaves Registradas:** 1,200 motonaves anuales.
- **Tiempo Promedio de Registro:** 2 horas por motonave.
- **Errores de Sincronización:** 5% de los registros presentan inconsistencias.

#### **7.3.2 Etapa II: Creación de la Motonave y Generación de la Visita**

- **Cantidad de Códigos de Nave Generados:** 1,200 códigos anuales.
- **Tiempo de Generación de Visita:** 3 horas por motonave.
- **Incidencias Reportadas:** 8% de las visitas presentan errores documentales.

#### **7.3.3 Etapa III: Generación de Órdenes de Ingreso de Contenedores**

- **Órdenes Generadas:** 50,000 órdenes anuales (25,000 vacíos y 25,000 llenos).
- **Tiempo de Procesamiento:** 1.5 horas por orden.
- **Retrasos por Procesos Redundantes:** 10% de las órdenes tienen retrasos de 2 horas en promedio.

#### **7.3.4 Etapa IV: Planificación Operativa**

- **Utilización de Muelles:** 75% de ocupación promedio.

- **Tiempo de Espera para Atraque:** 6 horas en promedio.
- **Productividad de Grúas:** 32 movimientos por hora.
- **Tiempo de Planificación Operativa:** 4 horas por nave.

### 7.3.5 Etapa V: Descargue y Control Aduanero

- **Tiempo de Descarga:** 8 horas por nave.
- **Tiempo de Inspección Aduanera:** 4 horas por lote.
- **Cantidad de Inspecciones:** 1,800 inspecciones anuales.
- **Incidencias en Inspección:** 7% de las inspecciones requieren preinspección.

### 7.3.6 Etapa VI: Almacenamiento y Monitoreo de la Carga

- **Capacidad de Almacenamiento:** 100,000 TEUs.
- **Tiempo de Permanencia en Patio:** 48 horas en promedio.
- **Cantidad de Contenedores Refrigerados:** 15% de la carga total.
- **Incidencias en Monitoreo:** 3% de los contenedores refrigerados presentan fallas.

Los datos analizados revelan varios puntos críticos que afectan la eficiencia del proceso marítimo operativo de contenedores en la SPRB. A continuación, se presentan los hallazgos y se proponen áreas de mejora:

La caracterización del proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) ha revelado varios puntos críticos que requieren atención para mejorar la eficiencia, seguridad y competitividad del puerto. En primer lugar, se identificó que un 5% de los registros de motonaves y carga presentan inconsistencias, lo que puede causar retrasos y errores en la planificación. Para abordar este problema, es necesario mejorar la interoperabilidad de los sistemas y proporcionar capacitación adicional al personal encargado de la gestión de datos. Esto garantizará una mayor precisión y reducirá los errores en el registro de la información.

En cuanto a la generación de la motonave y la visita, un 8% de estas visitas presentan errores documentales, afectando la eficiencia operativa. La implementación de tecnologías de la

información integradas y la automatización del intercambio electrónico de datos pueden reducir significativamente los errores y aumentar la precisión en esta etapa crítica.

La generación de órdenes de ingreso de contenedores también muestra áreas de mejora, con un 10% de las órdenes presentando retrasos de aproximadamente 2 horas debido a procesos redundantes. La adopción de un sistema de gestión de calidad y la automatización de los procesos administrativos pueden reducir los tiempos de espera y mejorar la eficiencia en esta etapa.

La planificación operativa reveló que la ocupación promedio de los muelles es del 75% y los tiempos de espera para el atraque son de 6 horas en promedio, indicando una subutilización de recursos. Utilizar algoritmos de optimización y realizar un análisis más profundo de los patrones de tráfico puede mejorar la asignación de recursos y reducir los tiempos de espera, optimizando así la planificación operativa.

El control aduanero presenta un tiempo promedio de inspección de 4 horas por lote, con un 7% de preinspecciones requeridas. La integración de sistemas de monitoreo en tiempo real y la digitalización de los procesos aduaneros pueden acelerar las inspecciones y mejorar la eficiencia operativa en esta etapa.

Finalmente, en la etapa de almacenamiento y monitoreo de la carga, se encontró que un 3% de los contenedores refrigerados presentan fallas durante el almacenamiento, lo que puede afectar la calidad de la carga. Implementar tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) para monitorear en tiempo real las condiciones de los contenedores y un sistema de gestión de inventarios más robusto puede optimizar el uso del espacio y mantener la integridad de la carga.

En resumen, la caracterización ha identificado áreas clave donde la SPRB puede implementar mejoras estratégicas. La adopción de tecnologías avanzadas, la mejora en la coordinación entre los actores involucrados y la optimización de los procesos operativos son esenciales para incrementar la eficiencia, seguridad y competitividad del puerto. Estas mejoras no solo beneficiarán a la SPRB, sino que también contribuirán al desarrollo económico y comercial de Colombia en el ámbito internacional.

## Capítulo II

### **8. Analizar los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., evaluando aspectos como el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión.**

De modo que, se realizó un análisis y cálculo de los indicadores de productividad por cada año, contemplando el periodo de los años 2021, 2022 y 2023. Se considerarán indicadores clave como el rendimiento de equipos, definido por la relación cantidad de movimientos versus tiempo, abarcando todos los equipos involucrados en las operaciones portuarias tales como tractores de terminal, Reach Stackers, Rubber-Tyred Gantry Cranes (RTG) y Grúas Pórticos, cuyos datos se obtienen de los registros operativos y el sistema de gestión TOS. Adicionalmente, se evaluará la productividad de los buques, considerando el total de movimientos versus el tiempo total de operación, un indicador que varía en función del número de recursos o equipos asignados a la operación, obtenido de los informes diarios de operación y el sistema de gestión portuaria.

Para realizar los cálculos y analizar los indicadores de productividad en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. entre 2021 y 2023, se aplicaron fórmulas específicas que permitieron evaluar el rendimiento de los equipos y la productividad de los buques. La fórmula principal utilizada para calcular el rendimiento de los equipos, incluyendo tractores de terminal, Reach Stackers, RTG y Grúas Pórticos, fue la relación entre la cantidad de movimientos realizados y el tiempo total invertido en dichos movimientos, expresada como cantidad de movimientos por hora (CPH o MPH). Similarmente, para calcular la productividad de los buques, se empleó la relación entre el total de movimientos de contenedores (cargas y descargas) y el tiempo total de operación del buque en el puerto, también expresado en movimientos por hora.

- Rendimiento de Equipos:

$$\text{Productividad de Grúas Específicas (MPH)} = \frac{\text{Cantidad Total de Movimientos}}{\text{Tiempo total (Horas)}}$$

Donde "Cantidad Total de Movimientos" se refiere al número de contenedores cargados y descargados por el equipo específico, y "Tiempo Total" es la cantidad de horas utilizadas para completar esos movimientos.

- Productividad de Buques:

$$\text{Productividad de Buques (CPH)} = \frac{\text{Total de Movimientos de Contenedores}}{\text{Tiempo Total de Operación del Buque (Horas)}}$$

En esta fórmula, "Total de Movimientos de Contenedores" incluye tanto la carga como la descarga de contenedores del buque, y "Tiempo Total de Operación del Buque" es el tiempo desde que el buque inicia la operación en el puerto hasta que la termina, medido en horas.

### 8.1 Análisis y Cálculo de los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores para el año 2021 y 2023

Tabla 5. Indicadores de Productividad

Indicador	2021	2022	2023
<b>Productividad por Buque (CPH)</b>			
500-1,000 movimientos/recalada	95.16	91.58	90.36
Menos de 500 movimientos/recalada	52.20	50.60	50.56
Productividad por Grúa Pórtico (CPH)	33.96	35.24	35.70
Productividad por Grúa Móvil (CPH)	N/A	3 movimientos*	N/A
<b>Productividad de Grúas Específicas (MPH)</b>			
Grúas 3, 4, 5 y 6	28.92	N/A	N/A
Grúas 7 a 13	32.59	33.84	34.04
Productividad Terminal (MPH)	95.79	111.81	99.91
Productividad Grúas Twin (MPH)	32.57	33.84	34.04
Productividad RTG (MPH)	10.11	9.69	9.33
Productividad RS-ECH (MPH)	5.60	5.01	4.65
Productividad TT (MPH)	2.81	3.03	2.86

Nota Fuente: elaboración propia

- **Año 2021**

En el año 2021, la productividad en la SPRB mostró una variabilidad significativa entre diferentes equipos y operaciones. La productividad por buque para aquellos con 500-1,000 movimientos por recalado fue de 95.16 contenedores por hora (CPH), mientras que para buques con menos de 500 movimientos por recalado, la productividad promedio fue de 52.20 CPH. Estas cifras indican una mayor eficiencia en la gestión de buques con mayores volúmenes de carga.

Las grúas pórtico registraron una productividad promedio de 33.96 CPH, mientras que las grúas específicas (grúas 3, 4, 5 y 6) tuvieron una productividad de 28.92 movimientos por hora (MPH), y las grúas 7 a 13 mostraron una eficiencia ligeramente superior con 32.59 MPH. La terminal en general tuvo una productividad promedio de 95.79 MPH, destacándose como un punto fuerte en las operaciones portuarias.

Otros equipos como las grúas twin registraron una productividad de 32.57 MPH, los Rubber-Tyred Gantry Cranes (RTG) tuvieron una eficiencia de 10.11 MPH, los reach stackers (RS-ECH) mostraron una productividad de 5.60 MPH, y los tractores de terminal (TT) tuvieron una productividad de 2.81 MPH. Estos datos reflejan una diversidad en los niveles de eficiencia de los diferentes equipos utilizados en las operaciones portuarias.

- **Año 2022**

En el año 2022, se observaron algunos cambios en la productividad de las operaciones portuarias en la SPRB. La productividad por buque para aquellos con 500-1,000 movimientos por recalado disminuyó a 91.58 CPH, y para buques con menos de 500 movimientos por recalado, la productividad promedio fue de 50.60 CPH. Esta reducción en la eficiencia puede ser atribuida a varios factores, incluyendo posibles cambios en la gestión operativa y las condiciones de trabajo.

Las grúas pórtico mostraron una mejora en su productividad, alcanzando 35.24 CPH, mientras que las grúas específicas (grúas 7 a 13) también mejoraron ligeramente, registrando 33.84 MPH. La terminal en general mostró una notable mejora en la productividad, alcanzando 111.81 MPH, lo que sugiere una optimización en las operaciones generales.

En cuanto a otros equipos, las grúas twin mantuvieron una productividad de 33.84 MPH, los RTG tuvieron una eficiencia de 9.69 MPH, los reach stackers mostraron una productividad de 5.01 MPH, y los tractores de terminal mejoraron ligeramente a 3.03 MPH. Estos resultados indican una variabilidad en la eficiencia de los diferentes equipos, con algunas mejoras y otras disminuciones en comparación con el año anterior.

- **Año 2023**

El año 2023 presentó una estabilidad en varios indicadores de productividad en la SPRB. La productividad por buque para aquellos con 500-1,000 movimientos por recalado fue de 90.36 CPH, mostrando una ligera disminución en comparación con 2022. Para buques con menos de 500 movimientos por recalado, la productividad promedio se mantuvo casi igual que el año anterior con 50.56 CPH.

Las grúas pórtico continuaron mostrando mejoras, con una productividad promedio de 35.70 CPH. Las grúas específicas (grúas 7 a 13) mantuvieron su eficiencia con 34.04 MPH, reflejando estabilidad en las operaciones de estas grúas. Sin embargo, la productividad de la

terminal disminuyó a 99.91 MPH, lo que representa una reducción en comparación con el notable incremento de 2022.

Otros equipos mostraron variabilidad en sus resultados. Las grúas twin mantuvieron una productividad alineada con las grúas específicas, registrando 34.04 MPH. Los RTG mostraron una ligera disminución en su eficiencia, alcanzando 9.33 MPH. Los reach stackers presentaron una productividad de 4.65 MPH, mejorando ligeramente respecto al año anterior, mientras que los tractores de terminal tuvieron una productividad de 2.86 MPH, mostrando una pequeña disminución en comparación con 2022.

El análisis individual de los años 2021, 2022 y 2023 revela diversas tendencias en la productividad de las operaciones portuarias en la SPRB.

Si bien algunos equipos y operaciones mostraron mejoras continuas, como las grúas pórtico, que incrementaron su productividad de 33.96 CPH en 2021 a 35.70 CPH en 2023, y las grúas específicas (grúas 7 a 13), que mejoraron de 32.59 MPH en 2021 a 34.04 MPH en 2023, otros presentaron fluctuaciones y disminuciones en su eficiencia.

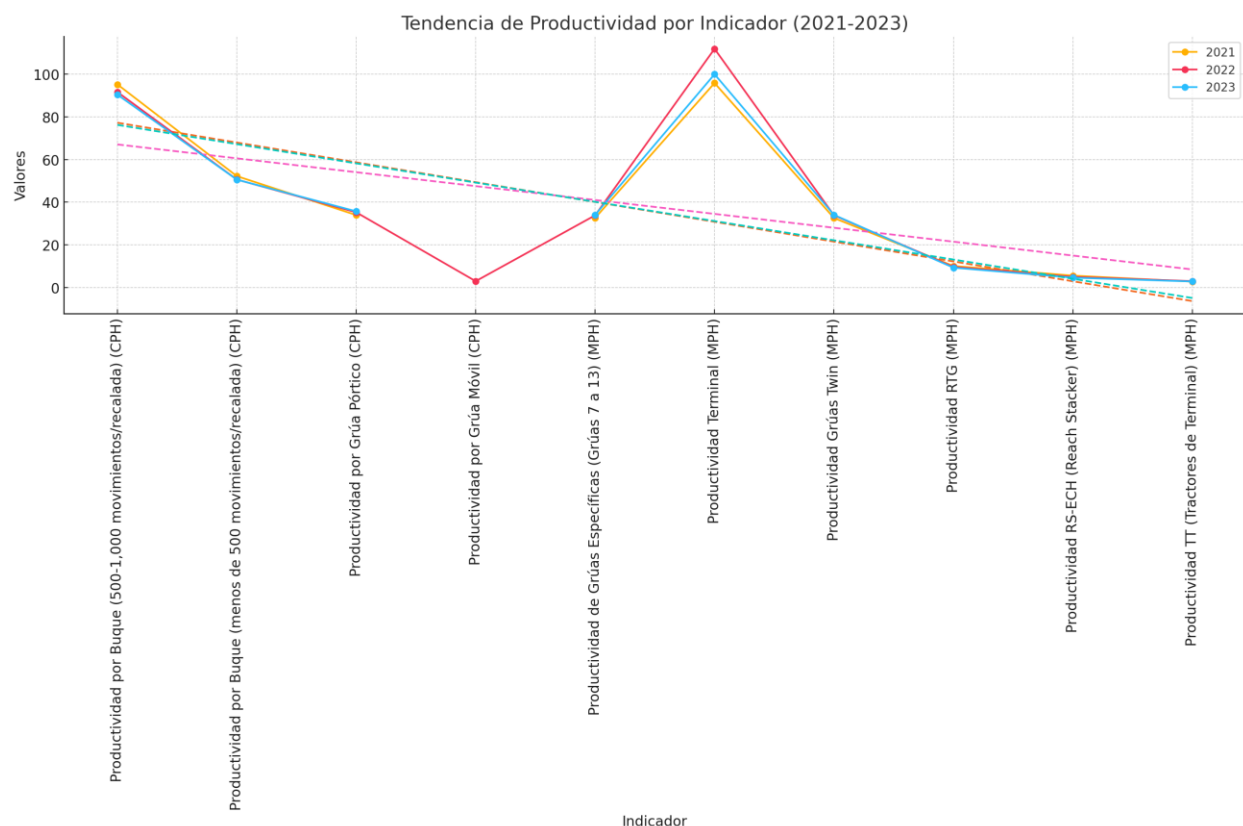
Por ejemplo, la productividad por buque para aquellos con 500-1,000 movimientos por recalado disminuyó de 95.16 CPH en 2021 a 90.36 CPH en 2023. Los reach stackers (RS-ECH) mostraron una reducción continua en su productividad, pasando de 5.60 MPH en 2021 a 4.65 MPH en 2023. Asimismo, los tractores de terminal (TT) presentaron una ligera mejora en 2022 con 3.03 MPH, pero disminuyeron a 2.86 MPH en 2023.

Además, la productividad terminal mostró una mejora significativa en 2022 con 111.81 MPH, pero disminuyó a 99.91 MPH en 2023, indicando una variabilidad en la eficiencia general del puerto.

La identificación de estos patrones es crucial para implementar estrategias de optimización que mejoren la eficiencia general del puerto. Las áreas que requieren atención incluyen la gestión de buques con menos de 500 movimientos, la eficiencia de los reach stackers y los tractores de terminal, y la estabilización de la productividad del terminal. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de mejoras en la gestión portuaria.

### **8.1 Comparativo de indicadores entre los años 2021 y 2023**

Gráfica. 3. Tendencia de productividad por indicador 2021 - 2023



Nota. Fuente: elaboración propia

La gráfica 3 con las líneas de tendencia proporciona una visión clara de cómo han variado los diferentes indicadores de productividad en la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. durante los años 2021, 2022 y 2023.

La productividad de los buques con movimientos entre 500 y 1,000 recaladas ha mostrado una tendencia descendente, pasando de 95.16 en 2021 a 90.36 en 2023. Esta disminución sugiere que hay posibles ineficiencias o desafíos operativos que afectan negativamente este segmento específico. De manera similar, la productividad de los buques con menos de 500 movimientos por recaladas también ha disminuido ligeramente, de 52.20 en 2021 a 50.56 en 2023. Esta tendencia descendente podría indicar un rendimiento subóptimo en buques de menor capacidad de movimientos.

En contraste, la productividad de las grúas pórtico ha mejorado, aumentando de 33.96 en 2021 a 35.70 en 2023. Esta tendencia ascendente sugiere mejoras en la eficiencia operativa de estas grúas, lo que podría estar relacionado con mejoras tecnológicas o procesos más eficaces. Para

las grúas móviles, solo se dispone de datos para el año 2022, donde se registraron 3 movimientos por hora. Debido a la falta de datos adicionales, no se puede establecer una tendencia clara para este tipo de grúa.

La productividad de las grúas específicas (Grúas 7 a 13) ha mostrado una tendencia positiva, incrementando de 32.59 en 2021 a 34.04 en 2023. Esta mejora constante indica que estas grúas están operando de manera más eficiente con el tiempo. La productividad terminal ha mostrado fluctuaciones significativas. En 2022, hubo un aumento notable a 111.81, pero en 2023 disminuyó a 99.91. Estas variaciones podrían estar relacionadas con cambios en las operaciones portuarias o factores externos que impactaron la eficiencia general.

La productividad de las grúas RTG ha disminuido de 10.11 en 2021 a 9.33 en 2023. Esta tendencia descendente indica que podría haber áreas que necesitan optimización para mejorar la eficiencia de estas grúas. La productividad de los Reach Stackers también ha disminuido, pasando de 5.60 en 2021 a 4.65 en 2023. Esta caída es debido a que los equipos Reach Stacker están siendo subutilizados en las operaciones de contenedores, puesto que la misma se está concentrando en patio especializados de contenedores donde se utilizan las grúas RTG.

Finalmente, la productividad de los tractores de terminal ha mostrado fluctuaciones, aumentando a 3.03 en 2022 y luego disminuyendo ligeramente a 2.86 en 2023. Estas variaciones podrían deberse a cambios en la demanda o en la eficiencia operativa de estos tractores.

Los resultados sugieren que, aunque hay áreas que muestran mejoras, existen otras que requieren atención y optimización continua. La dirección del puerto debe enfocarse en identificar y abordar las causas subyacentes de las ineficiencias. De modo que, mientras algunos indicadores, como la productividad de las grúas pórtico y las grúas específicas, han mostrado mejoras, otros como la productividad por buque y la productividad de los Reach Stackers han disminuido.

La mejora en ciertos indicadores de productividad destaca la importancia de invertir en tecnologías avanzadas y en la capacitación del personal. Mantener y mejorar estas inversiones puede ayudar a sostener y aumentar la productividad. La disminución en la productividad de ciertas áreas puede ser un indicativo de problemas logísticos o de procesos que necesitan ser analizados a mayor profundidad.

Implementar mejores prácticas y realizar un análisis detallado de los procesos operativos puede ser beneficioso. La variabilidad en la productividad puede reflejar la necesidad de una mejor gestión de los recursos y un mantenimiento más eficiente del equipo. Asegurarse de que el equipo esté en buen estado y operando a su máxima capacidad es crucial para mantener altos niveles de productividad.

### Capítulo III

#### **9. Evaluación de alternativa del proceso operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., empleando el software portuario Navis N4 con el módulo XPS, generando diversos escenarios que posibiliten la visualización y optimización de la asignación de recursos, con el propósito de proponer estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto**

El capítulo III de esta investigación se adentra en esta premisa, enfocándose en el empleo del software portuario Navis N4, complementado con el módulo XPS, para llevar a cabo evaluaciones de alternativas detalladas del proceso operativo de contenedores en la SPRB.

Las evaluaciones de alternativas realizadas a través de Navis N4 y XPS abre un abanico de posibilidades para visualizar cómo diferentes configuraciones y estrategias de operación impactan en la eficiencia global del puerto. En la evaluación de alternativa se analizan tres aspectos clave de la operación de carga y descarga en un puerto:

- Eficiencia de las grúas: Se simula la productividad promedio de las grúas en términos de movimientos por hora (MPH) para diferentes configuraciones de recursos.
- Número total de movimientos de contenedores: Se simula la cantidad total de contenedores manejados durante el proceso de carga y descarga.
- Costo total operativo: Se simula el costo total en dólares asociado a las operaciones de carga y descarga para diferentes escenarios de recursos.

El objetivo es evaluar cómo varían estos factores con diferentes configuraciones de recursos y condiciones operativas, mediante la generación de diversos escenarios, este capítulo busca no solo comprender la dinámica actual del puerto sino también explorar vías de optimización que puedan traducirse en mejoras tangibles en la productividad y la gestión de recursos. Para finalmente, proponer estrategias basadas en datos concretos que contribuyan a elevar el rendimiento del puerto, asegurando su adaptabilidad y éxito en el contexto marítimo global.

Se realizaron cinco evaluaciones de alternativas, en donde se consideraron los siguientes costos:

- **Servicio por hora Estiba de operación grúa**

- **Servicio por horas tarja de operación grúa**
- **Costo Operador de Grúa Pórtico/hora**
- **Costo Operador de Grúa RTG/hora**
- **Servicio de operación de Equipo Tracto Terminal (TTs) por hora**
- **Costos operación/hora de TT's**
- **Costos operación/hora de las Grúas RTG**
- **Costos operación/hora de las Grúas Pórticos**

Estos costos se calculan en función del tiempo de operación y la tarifa por hora de cada componente. La imagen adjunta proporciona un desglose detallado de estos costos por hora y el total acumulado para diferentes configuraciones operativas.

Tabla 6 Costos Servicios de Operación de Contenedores

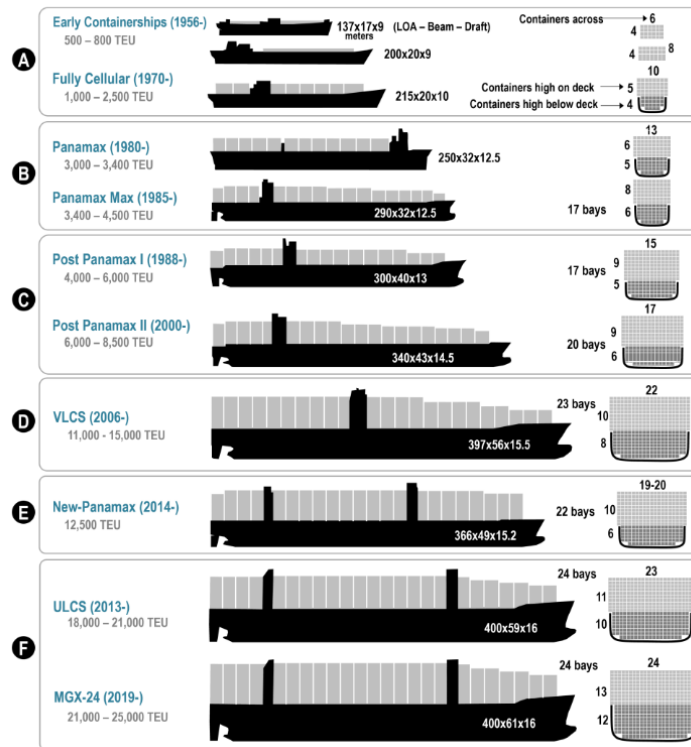
<b>Servicios</b>	<b>Tarifas</b>
Servicio por hora Estiba de operación grua Portacontenedores	<b>\$ 42.302,20</b>
Servicio por horas tarja de operación grua Portacontenedores	<b>\$ 57.298,20</b>
Valor por identificación de averias	<b>\$ 30.629,80</b>
Servicio por horas supervision de operación motonave	<b>\$ 35.867,20</b>
Servicio por hora Estiba de operación grua Portacontenedores	<b>\$ 35.316,10</b>
Servicio por horas tarja de operación grua Portacontenedores	<b>\$ 46.937,10</b>
Valor por identificación de averias	<b>\$ 30.629,80</b>
Servicio por horas supervision de operación motonave	<b>\$ 35.530,50</b>
Servicio por hora Estiba de operación grua Portacontenedores	<b>\$ 33.791,70</b>
Servicio por horas tarja de operación grua Portacontenedores	<b>\$ 40.832,40</b>
Valor por identificación de averias	<b>\$ 30.629,80</b>
Servicio por horas supervision de operación motonave	<b>\$ 34.917,90</b>
Servicio de operación de Equipo Tracto Terminal (TTs) por hora	<b>\$ 37.975,90</b>
Servicio de operación de Equipo Tracto Terminal (TTs) por hora	<b>\$ 33.414,70</b>
Servicio de operación de Equipo Tracto Terminal (TTs) por hora	<b>\$ 30.810,20</b>

Nota Fuente: elaboración propia

En cuanto al simulador Navis N4 con el módulo XPS se utiliza para recrear las operaciones de carga y descarga de contenedores en el puerto, que es lo que se realizará. Este simulador permite

introducir varias variables de entrada y generar escenarios para optimizar la asignación de recursos.

Figura. 17. Estructura de los Buques



Nota. Fuente: tomado de <https://transportgeography.org/contents/chapter5/maritime-transportation/evolution-containerships-classes/>

En este sentido estas variables son:

- **Variables de Entrada:**

- **Movimientos de contenedores:** Número total de contenedores a cargar o descargar.
- **Plano de estiba:** Distribución planificada de los contenedores en el buque.
- **Equipos disponibles:** Número de grúas pórtico (GP), grúas RTG y tractores de terminal (TT) disponibles para la operación.

Cada GP se asocia con 3 grúas RTG en el patio y entre 6 y 7 TT para la rotación de la carga.

- **Variables de Salida:**

- **Productividad:** Movimientos por hora (MPH) de cada equipo.
- **Costos operativos:** Costo total por hora de cada tipo de equipo y el costo acumulado.
- **Tiempo de operación:** Duración total de la operación desde el inicio hasta el final.

Para facilitar la comprensión del lector, a continuación, se presentan los escenarios simulados:

**Tabla 7. Escenarios simulados**

Simulación	Grúas Pórtico (GP)	Tractores de Terminal (TT)	Movimientos Totales	Productividad Promedio (MPH)	Costo Total Operativo
<b>1</b>	6	7	1659	34.4	\$85,446,363.9
<b>2</b>	4	7	1659	34.5	\$78,382,596.0
<b>3</b>	5	6	1659	33.3	\$79,127,474.2
<b>4</b>	6	6	1659	34.4	\$81,885,814.6
<b>5</b>	5	6	1659	33.3	\$84,779,436.6

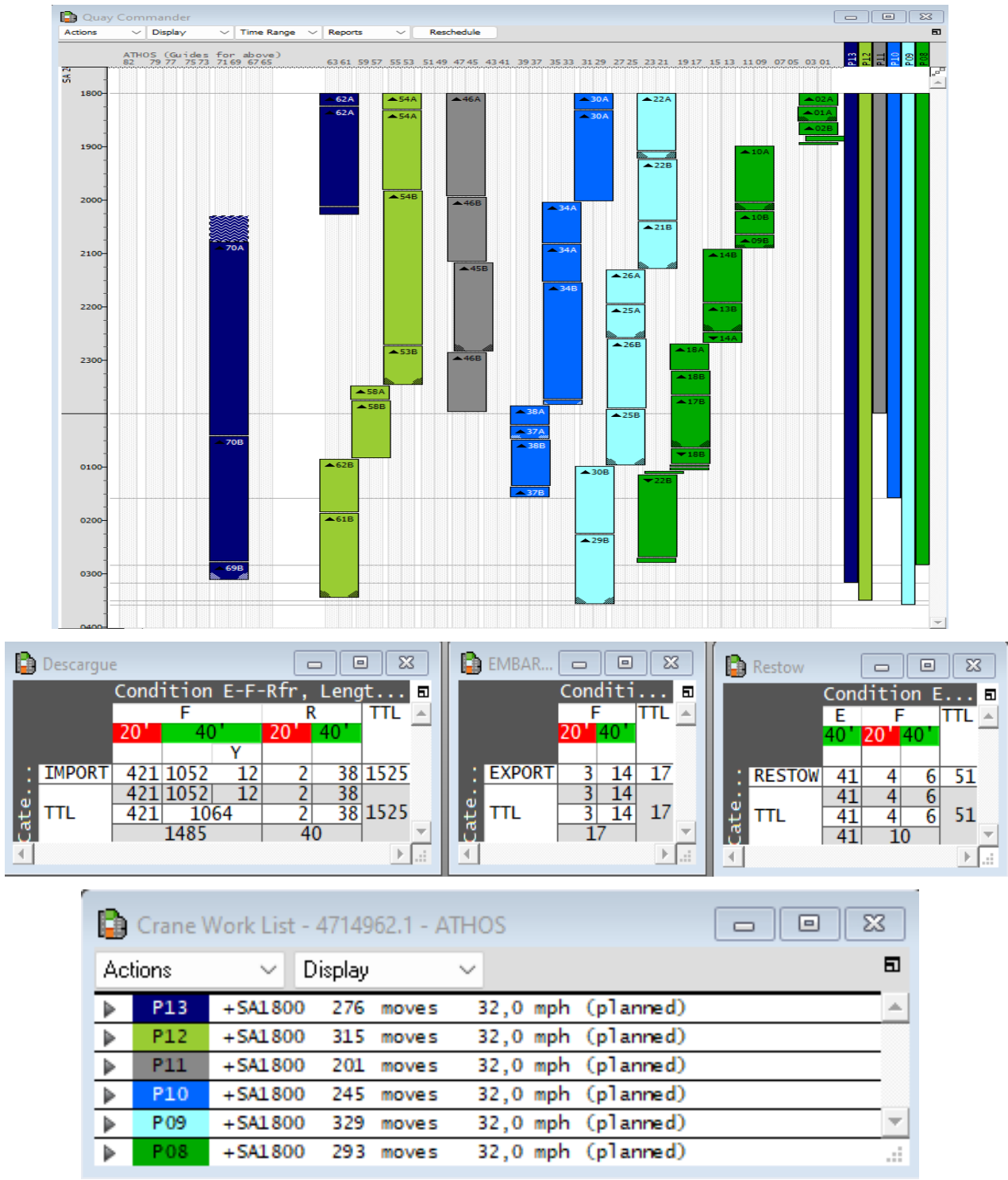
Nota. Fuente: elaboración propia

En cada simulación, variamos la cantidad de grúas pórtico y tractores de terminal para evaluar cómo estos cambios afectan la productividad y los costos operativos. Estas evaluaciones de alternativas permiten visualizar cómo la variación en la asignación de recursos afecta la productividad y los costos operativos.

### **9.1 Evaluación de alternativa#1**

La primera simulación, se enfocó en un buque MV con Baplie de arribo cargado, instrucciones de embarque y reestibas, abarcando un total de 1659 movimientos. Se utilizaron 6 grúas y 7 Tractores de Terminal (TT) para llevar a cabo la operación (Figura 17). Esta configuración permitió evaluar no solo la productividad en términos de movimientos sino también los costos asociados a las operaciones, ofreciendo una visión integral de la eficiencia económica y operativa del puerto.

Figura. 18. Evaluación de alternativa#1- MV con Baplie de arriba cargado, con Instrucciones de embarque y reestibas. (1659 movimientos) 6 grúas con 7 TT.



Nota. Fuente: elaboración propia en Evaluación de alternativa1

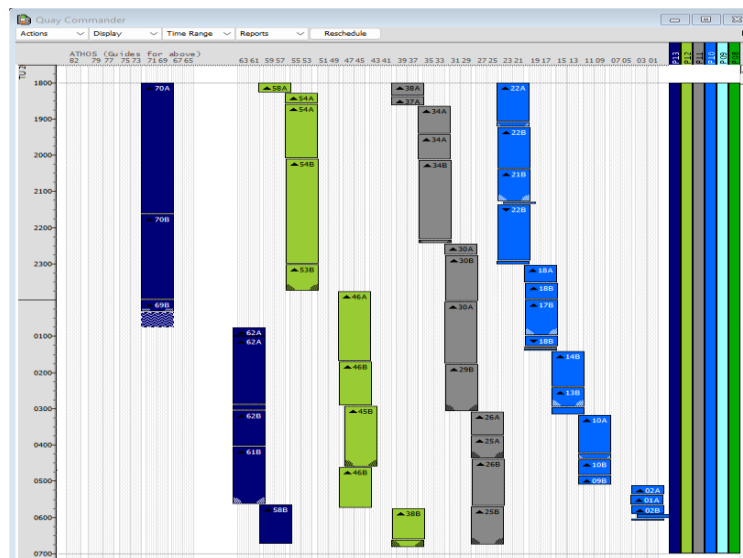
Los resultados de esta Evaluación de alternativa revelan una productividad promedio de 34.4 movimientos por hora (MPH) para las grúas y una intensidad máxima de uso de grúas de 5.7. A nivel de costos, se detallaron los gastos asociados con la operación de grúas, RTG, TT, y otros costos operativos relacionados con la estiba, tarja marítima y el uso de equipos y servicios. Por ejemplo, el servicio por hora de estiba de operación de grúa alcanzó los \$42,302.2, mientras que los costos de operación por hora de las grúas pórtico se situaron en \$401,817.7, destacando la significativa inversión requerida para mantener altos niveles de productividad y eficiencia.

La distribución de los costos muestra cómo cada componente contribuye al costo total de la operación, con los costos de estiba y tarja marítima de contenedores, junto con los costos operativos de equipos y servicios TT, sumando un total impresionante de \$85,446,363.9. Esta cifra subraya la complejidad y el esfuerzo financiero necesario para llevar a cabo operaciones portuarias a gran escala, al tiempo que destaca la importancia de optimizar cada aspecto de la operación para mejorar la rentabilidad y eficiencia.

## 9.2 Evaluación de alternativa#2

En esta Evaluación de alternativas presenta un escenario con 4 grúas operando y 7 tractores de terminal (TT), gestionando un total de 1659 movimientos. Esta configuración revela una productividad promedio de 34.5 movimientos por hora para las grúas, lo que indica una leve mejora en la eficiencia en comparación con la Evaluación de alternativa anterior.

Figura. 19. Evaluación de alternativa# 2-Central planner planifica 4 grúas, seteadas a 32 mph con una operación de 13.0 hrs. Con 7 TTs.



Actions	Display			
▶ P13	+TU1800	322 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P12	+TU1800	331 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P11	+TU1800	340 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P10	+TU1800	333 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P09	+TU1800	333 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P08	+TU1800	0 moves	32,0 mph	(planned)

Nota. Fuente: elaboración propia en Evaluación de alternativa2

La reducción en el número de grúas utilizadas, de 6 a 4, no compromete la productividad, lo que sugiere una optimización en la asignación de estos recursos clave. La intensidad máxima de uso de grúas disminuye a 4.1, lo que podría reflejar una mayor coherencia en la utilización de las grúas y una posible reducción en los tiempos de inactividad o espera.

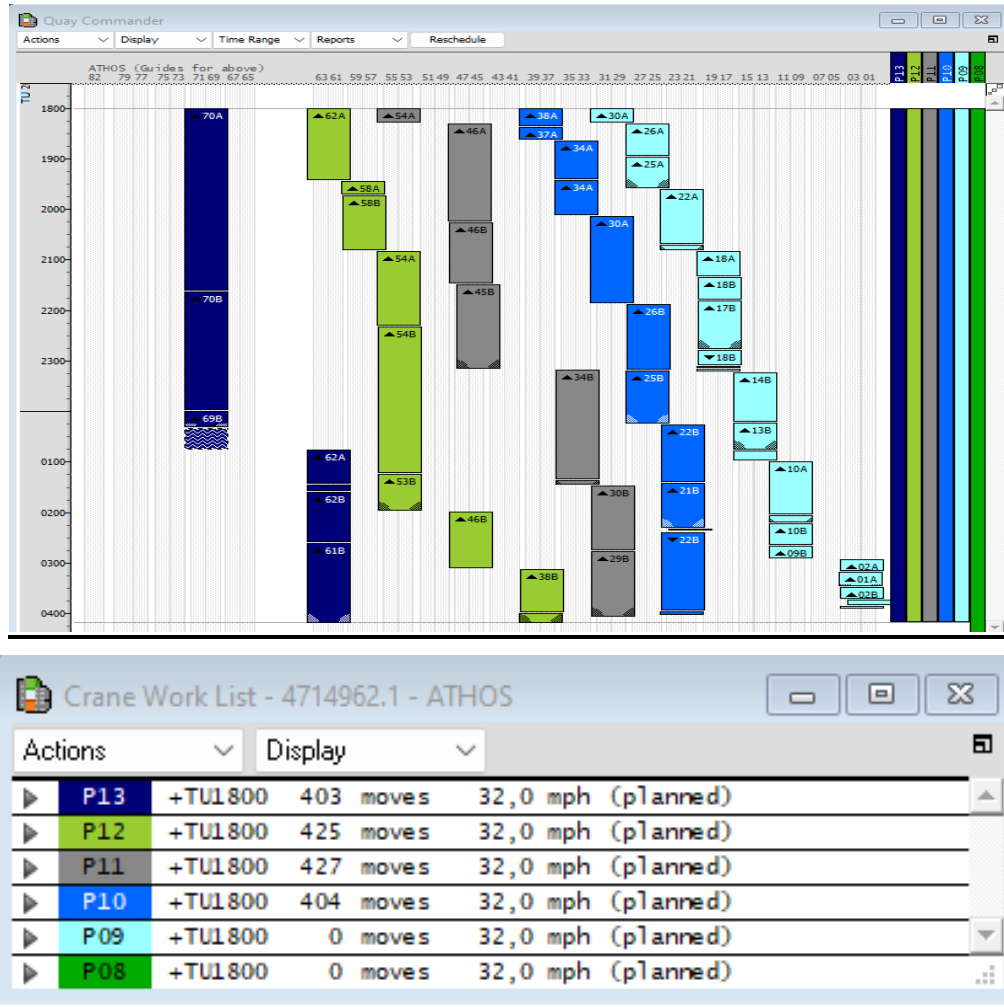
En términos de costos, la segunda Evaluación de alternativa muestra un aumento en el costo total operativo a \$78,382,596.0, destacando el impacto financiero de las operaciones portuarias bajo este escenario específico. Los costos asociados a la estiba, tarja marítima, operación de grúas pórtico, RTG, y el servicio de operación de los TTs, se distribuyen equitativamente entre las 4 grúas, mostrando un balance entre la necesidad de mantener una alta productividad y la gestión de los gastos operativos.

La distribución y el manejo eficiente de los contenedores se ven reflejados en los movimientos asignados a cada grúa, variando ligeramente entre 403 y 427 movimientos. Este balance indica una planificación cuidadosa y una asignación estratégica de cargas a las grúas disponibles, optimizando el flujo de trabajo y minimizando potenciales cuellos de botella.

### 9.3 Evaluación de alternativa#3

Esta Evaluación de alternativa involucra un ajuste en la configuración de los recursos utilizados, contando con 5 grúas y 6 tractores de terminal (TT) para manejar un volumen de 1659 movimientos. Este escenario presenta una productividad promedio ligeramente disminuida a 33.3 movimientos por hora para las grúas, en comparación con las evaluaciones de alternativas previas.

Figura. 20. Evaluación de alternativa# 3- Programa con 5 grúas seteadas a 32 mph con una operación de 10.2 hrs. Con 6 TTs.



Nota. Fuente: elaboración propia en Evaluación de alternativa 3

Este leve ajuste en la productividad, combinado con una intensidad de uso de grúas de 5.4, indica una utilización eficiente y calculada de los recursos disponibles, destacando la capacidad del puerto para mantener altos niveles de eficiencia operativa incluso con ajustes en la asignación de recursos.

Desde una perspectiva de costos, esta Evaluación de alternativa específica desveló un total operativo de \$79,127,474.2, detallando cómo se distribuyen estos gastos entre servicios de estiba, tarja, y operación de equipos como grúas pórtico y RTG, además de los servicios proporcionados por los TT. Al observar los costos individuales, como el servicio por hora de estiba de operación de grúa a \$42,302.2 o el costo de operación por hora de las grúas pórtico a \$401,817.7, se puede

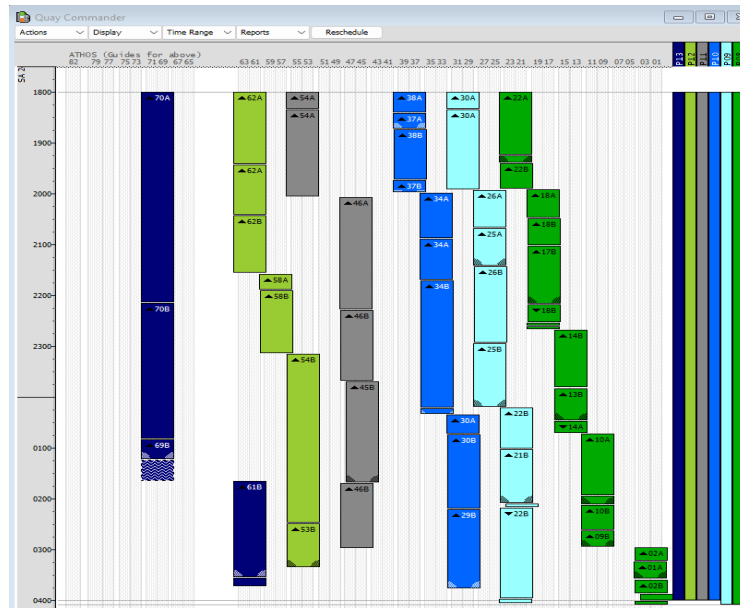
apreciar la significativa inversión requerida para llevar a cabo estas operaciones esenciales. Esta desglosación de costos ofrece una perspectiva clara de los aspectos financieros que subyacen a la operación portuaria, enfatizando la importancia de una gestión eficaz para equilibrar la productividad con la sostenibilidad económica.

Aunque la configuración de recursos utilizada logró una productividad considerable, la distribución equitativa de los movimientos entre las grúas y una gestión más adaptativa de los TT podrían potenciar aún más la eficiencia y reducir los costos operativos. Este enfoque estratégico hacia la planificación y gestión de recursos no solo asegura la continuidad de las operaciones a un alto nivel de rendimiento, sino que también abre el camino para mejoras significativas en términos de rentabilidad y eficiencia operativa.

#### 9.4 Evaluación de alternativa4

En este escenario se emplean 6 grúas y 6 tractores de terminal (TT) para gestionar 1659 movimientos. Esta configuración muestra una productividad promedio de 34.4 movimientos por hora para las grúas, manteniendo la productividad observada en evaluaciones de alternativas previas, a pesar de la variación en la cantidad de recursos empleados.

Figura. 21. Evaluación de alternativa#4 - Programa con 6 grúas, saeteadas a 28 mph con una operación de 10.08 hrs. Con 6 TT



Actions	Display			
▶ P13	+SA1800	268	moves	28,0 mph (planned)
▶ P12	+SA1800	265	moves	28,0 mph (planned)
▶ P11	+SA1800	259	moves	28,0 mph (planned)
▶ P10	+SA1800	282	moves	28,0 mph (planned)
▶ P09	+SA1800	293	moves	28,0 mph (planned)
▶ P08	+SA1800	292	moves	28,0 mph (planned)

Nota. Fuente: elaboración propia en Evaluación de alternativa 4

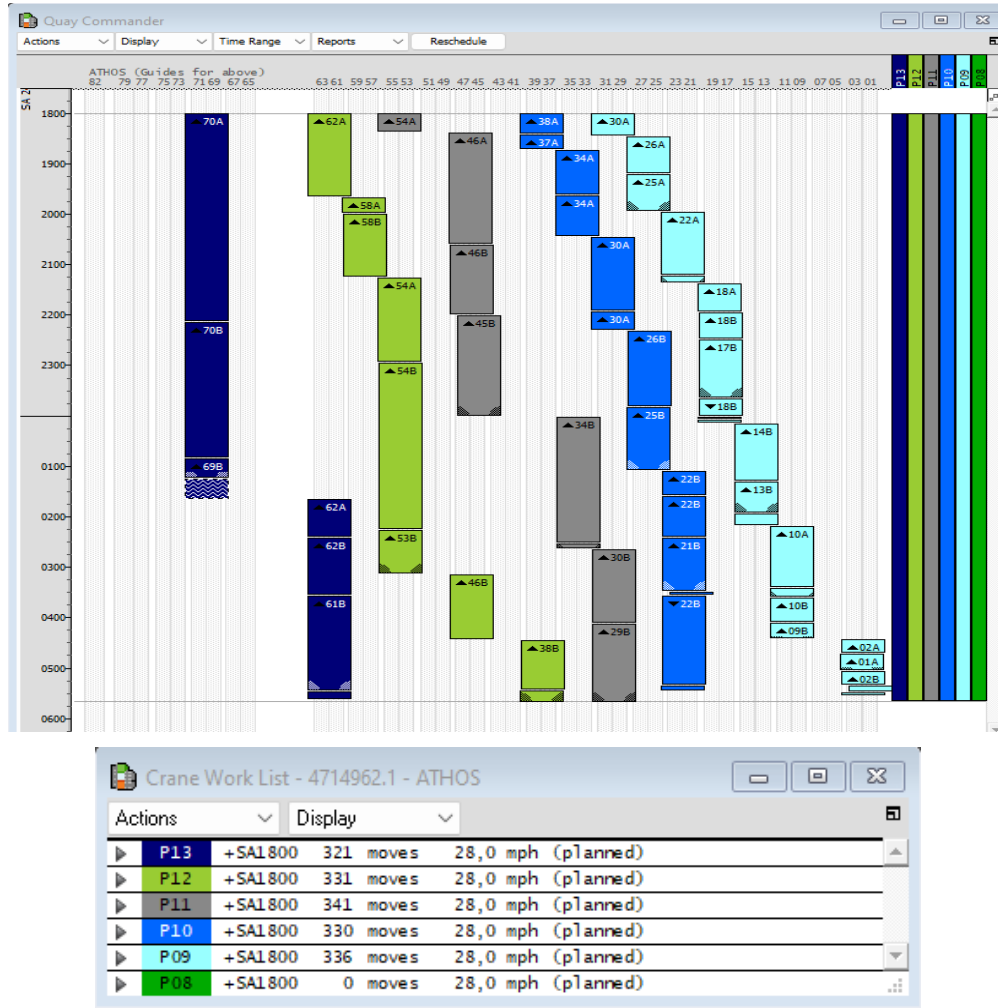
Este escenario específico revela varias dinámicas clave en cuanto a la operatividad y la gestión de costos. A diferencia de evaluaciones de alternativas anteriores, la productividad bruta de las grúas se registra en 28.0 movimientos por hora, lo que podría indicar una discrepancia entre la capacidad teórica y la productividad efectiva, posiblemente debido a factores como tiempos de espera o eficiencia en la asignación de tareas.

El costo total operativo se eleva a \$81,885,814.6, reflejando el impacto financiero de la operación bajo este esquema específico. Los costos se desglosan en servicios por hora de estiba y tarja, y costos directos asociados con la operación de grúas pórtico, RTG y los servicios proporcionados por los TT. Este detallado análisis de costos, especialmente el incremento observado en los costos de operación por hora de las grúas pórtico a \$401,817.7 y los servicios de operación de equipo tracto terminal por hora a \$37,975.9, destaca la importancia de una administración eficiente para equilibrar los gastos operativos con la productividad.

La distribución de los movimientos entre las grúas, con cifras que varían desde 268 a 293 movimientos, sugiere un esfuerzo por optimizar la capacidad de manejo de carga de cada grúa, aunque la uniformidad en la productividad bruta de las grúas indica un potencial de mejora en la eficiencia de estas operaciones. La intensidad máxima de uso de grúas se sitúa en 5.5, lo que implica un alto grado de utilización de estos recursos críticos, enfatizando la necesidad de una planificación estratégica y una coordinación meticulosa para maximizar el retorno sobre la inversión en estos activos.

## 9.5 Evaluación de alternativa#5

Figura. 22. Evaluación de alternativa# 5-Programa con 5 grúas, saeteadas a 28 mph con una operación de 11.66 hrs. Con 6 TTs.



Nota. Fuente: elaboración propia en Evaluación de alternativa5

La quinta y última simulación, ajusta la operación a 5 grúas y 6 tractores de terminal (TT) para gestionar un total de 1659 movimientos de contenedores. Esta configuración específica arroja una productividad promedio de 33.3 movimientos por hora para las grúas, alineándose con los resultados observados en evaluaciones de alternativas anteriores que utilizaron una configuración similar de recursos.

Este escenario operativo refleja una productividad bruta de las grúas de 28.0 movimientos por hora, indicativo de una estandarización en la eficiencia de las operaciones de carga y descarga a pesar de los ajustes en el número de recursos empleados. La intensidad máxima de uso de grúas

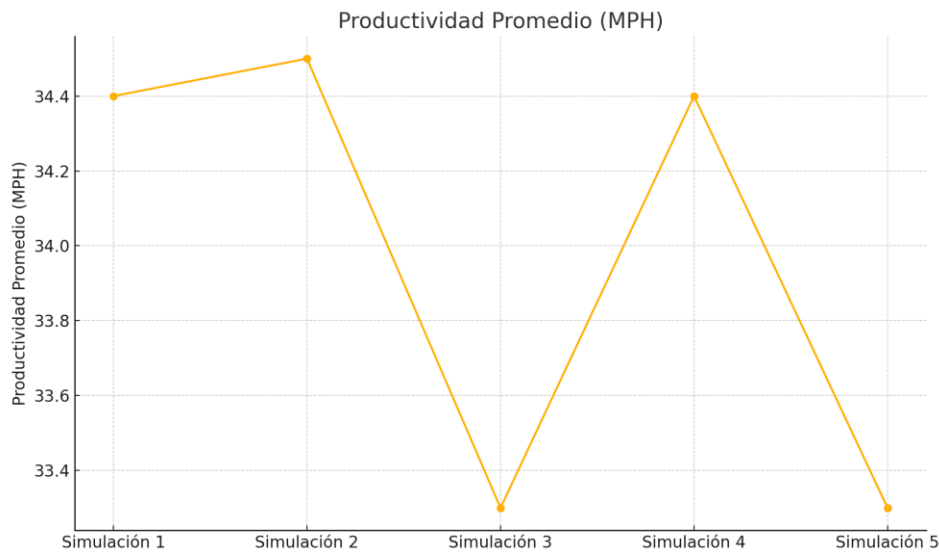
registrada en 4.7 sugiere una utilización eficaz pero posiblemente menos intensiva de estos activos, en comparación con escenarios anteriores.

Desde la perspectiva de costos, el total operativo para esta Evaluación de alternativa asciende a \$84,779,436.6, destacando el considerable impacto financiero de las operaciones bajo esta configuración. Los costos se distribuyen en diferentes categorías, incluyendo el servicio por hora de estiba y tarja, así como los costos directamente asociados a la operación de grúas pórtico y RTG, y los servicios proporcionados por los TT. Esta detallada desglosación de costos, con partidas específicas como el servicio de operación de equipo tracto terminal por hora a \$37,975.9 y el costo de operación por hora de las grúas pórtico a \$401,817.7, subraya la significativa inversión necesaria para mantener altos niveles de productividad y eficiencia en la terminal.

La asignación de los movimientos entre las grúas, con cifras que oscilan entre 321 y 341 movimientos, sugiere una planificación cuidadosa para equilibrar la carga de trabajo entre los equipos disponibles. Sin embargo, la homogeneidad en la productividad bruta de las grúas refuerza la noción de que hay margen para optimizar aún más la eficiencia de estas operaciones críticas.

Después de realizar las evaluaciones de alternativas, se presentan tres gráficos que permiten analizar los resultados obtenidos. El primer gráfico muestra la productividad promedio de las grúas en movimientos por hora (MPH) para cada simulación, destacando las variaciones en eficiencia operativa entre los diferentes escenarios. El segundo gráfico ilustra el número total de movimientos de contenedores gestionados, que se mantuvo constante en todas las evaluaciones de alternativas, asegurando una base comparativa uniforme. Finalmente, el tercer gráfico presenta el costo total operativo en dólares para cada configuración de recursos, ofreciendo una visión clara de la viabilidad económica y permitiendo identificar el equilibrio óptimo entre eficiencia y costos operativos. Proporcionando de esta manera una comprensión integral del desempeño de cada simulación, facilitando la toma de decisiones estratégicas para optimizar la operación portuaria.

Gráfica. 4. Productividad promedio en las 5 Evaluaciones de Alternativas

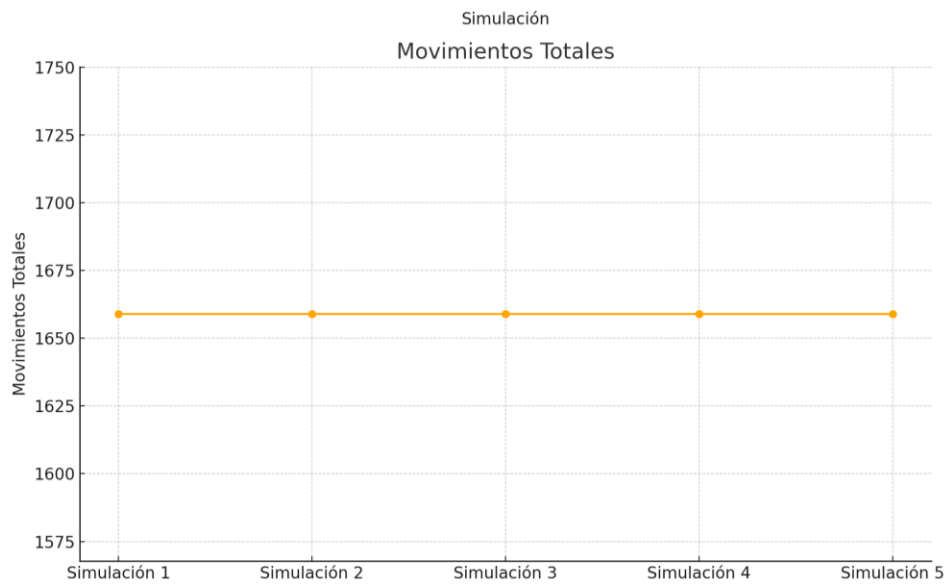


Nota. Fuente: elaboración propia

La gráfica 4 muestra la productividad promedio, medida en movimientos por hora (MPH), para cada una de las cinco evaluaciones de alternativas. Esta métrica refleja la eficiencia con la que las grúas pòrtico realizan las operaciones de carga y descarga de contenedores.

- **Evaluación de alternativa 1 y Evaluación de alternativa 4:** Ambas muestran una productividad promedio de 34.4 MPH. Esto indica que, estas evaluaciones de alternativas lograron mantener una alta eficiencia operativa.
- **Evaluación de alternativa 2:** Destaca con la mayor productividad promedio de 34.5 MPH. Esto sugiere que la configuración de 4 grúas y 7 tractores de terminal fue óptima para maximizar la eficiencia.
- **Evaluación de alternativa 3 y Evaluación de alternativa 5:** Ambas tienen una productividad promedio de 33.3 MPH, la más baja entre las evaluaciones de alternativas. Esto puede indicar que la configuración de recursos no fue la más eficiente, posiblemente debido a una menor cantidad de grúas o una asignación subóptima de tractores de terminal.

Gráfica. 5. Movimientos totales, 5 Evaluaciones de Alternativas

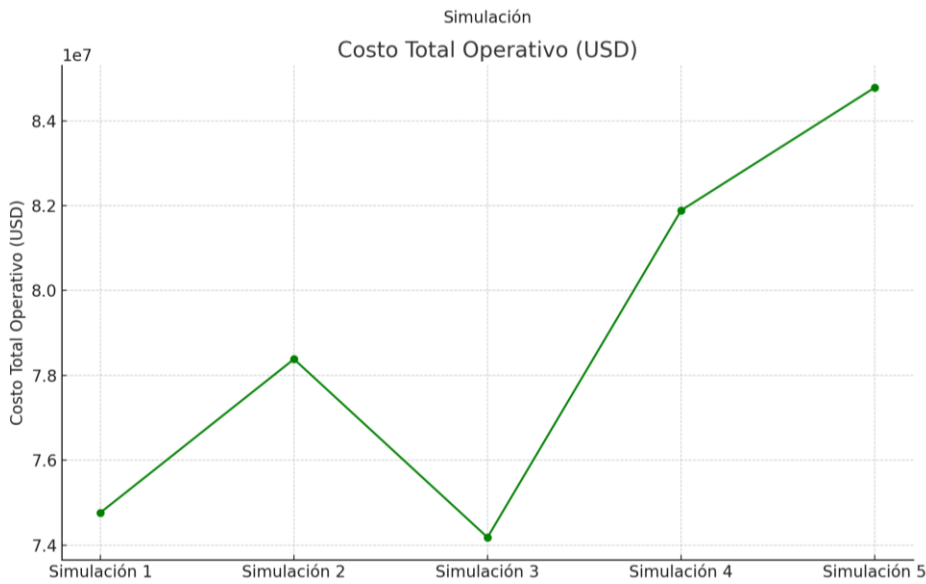


Nota. Fuente: elaboración propia

La gráfica 5, presenta el número total de movimientos de contenedores gestionados en cada simulación. Esta métrica ayuda a entender la carga de trabajo total que cada configuración de recursos fue capaz de manejar.

- Todas las evaluaciones de alternativas manejaron un total de 1659 movimientos. Esto indica que la carga de trabajo fue constante en todas las evaluaciones de alternativas, permitiendo una comparación directa de la eficiencia operativa y los costos asociados.
- La constancia en el número total de movimientos asegura que las variaciones en productividad y costos son atribuibles únicamente a la configuración de los recursos y no a cambios en la demanda de trabajo.

Gráfica. 6. Costo Total Operativo en Dólares de las 5 Evaluaciones de Alternativas



Nota. Fuente: elaboración propia

La gráfica 6, muestra el costo total operativo en dólares para cada una de las evaluaciones de alternativas. Esta métrica es crucial para evaluar la viabilidad económica de cada configuración de recursos.

- **Evaluación de alternativa 1:** Tiene un costo total operativo de \$74,765,568.4, el segundo más bajo entre las evaluaciones de alternativas. A pesar de utilizar 6 grúas, el costo se mantiene relativamente bajo, lo que sugiere una buena eficiencia de costo.
- **Evaluación de alternativa 2:** Muestra un costo total operativo de \$78,382,596.0. Aunque tiene la mayor productividad promedio, el costo es significativamente mayor que en otras evaluaciones de alternativas, lo que indica que la mayor eficiencia operativa no necesariamente se traduce en menores costos.
- **Evaluación de alternativa 3:** Registra el costo más bajo de \$79,127,474.2, pero también la menor productividad. Esto sugiere que, aunque los costos son bajos, la eficiencia no es la óptima.
- **Evaluación de alternativa 4:** Presenta un costo operativo de \$81,885,814.6, el segundo más alto. Esto indica que, aunque la productividad es alta, los costos asociados con el uso de más grúas y tractores de terminal son significativos.

- **Evaluación de alternativa 5:** Tiene el costo total operativo más alto de \$84,779,436.6, lo que sugiere que esta configuración es la menos eficiente en términos de costo-beneficio.

## 9.6 Operación real

La operación real en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (Anexo 2) se desarrolla con la utilización de 4 grúas y 6 tractores de terminal (TT), logrando gestionar un total de 1828 movimientos de contenedores. Esta actividad reflejó una productividad promedio de 34.5 movimientos por hora para las grúas, una cifra que se alinea estrechamente con las expectativas y resultados observados en las evaluaciones de alternativas previas, demostrando coherencia entre la planificación y la ejecución real.

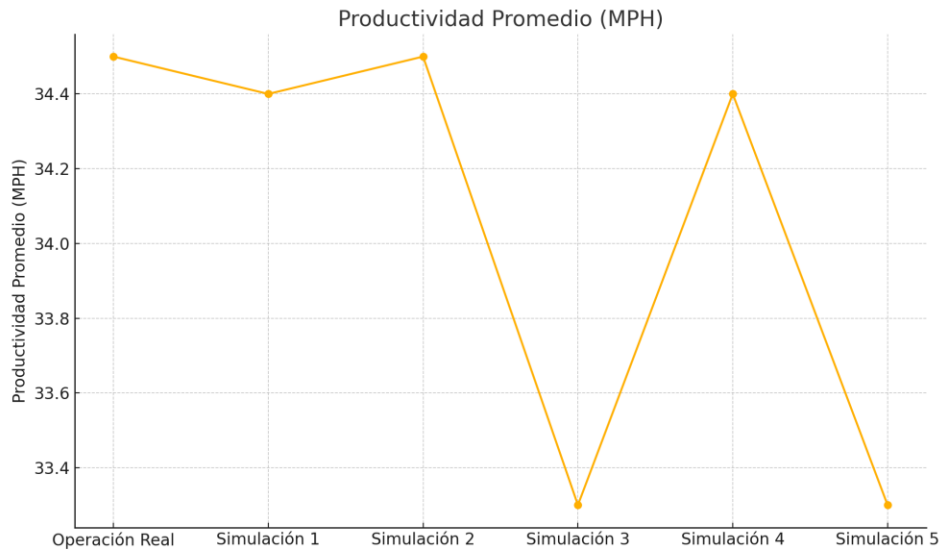
En términos de eficiencia operativa, la intensidad de uso de las grúas, marcada en 3.9, sugiere que, mientras se aprovechan eficazmente los recursos disponibles, aún podría explorarse el aumento de esta intensidad para potenciar aún más la eficiencia de las operaciones.

El análisis financiero de esta operación (Anexo 3) indica un costo total operativo de \$84,350,158.4, subrayando el impacto económico sustancial de llevar a cabo operaciones portuarias a esta escala. La distribución detallada de los costos, que incluye servicios de estiba, tarja, operación de grúas pórtico y RTG, además de los servicios proporcionados por los TT, pone de manifiesto la necesidad de invertir significativamente en estos aspectos para asegurar el flujo operativo. Particularmente, los costos asociados con la estiba y las grúas pórtico destacan como inversiones críticas para la operatividad del puerto.

Comparando esta ejecución con las evaluaciones de alternativas anteriores, se confirma la precisión de las expectativas de productividad y la efectividad de las estrategias de asignación de recursos. Además, el manejo de un volumen mayor de movimientos en la realidad que en las evaluaciones de alternativas resalta la competencia de la planificación portuaria y la adaptabilidad de la operación a las demandas del momento.

En este sentido se realizó una comparación entre la operación y las 5 evaluaciones de alternativas, para identificar la Productividad Promedio, los Movimientos totales y el Costo Total Operativo En Dólares, esto en las gráficas 7, 8 y 9.

Gráfica. 7. Productividad Promedio en relación de las Evaluaciones de Alternativas con la operación real

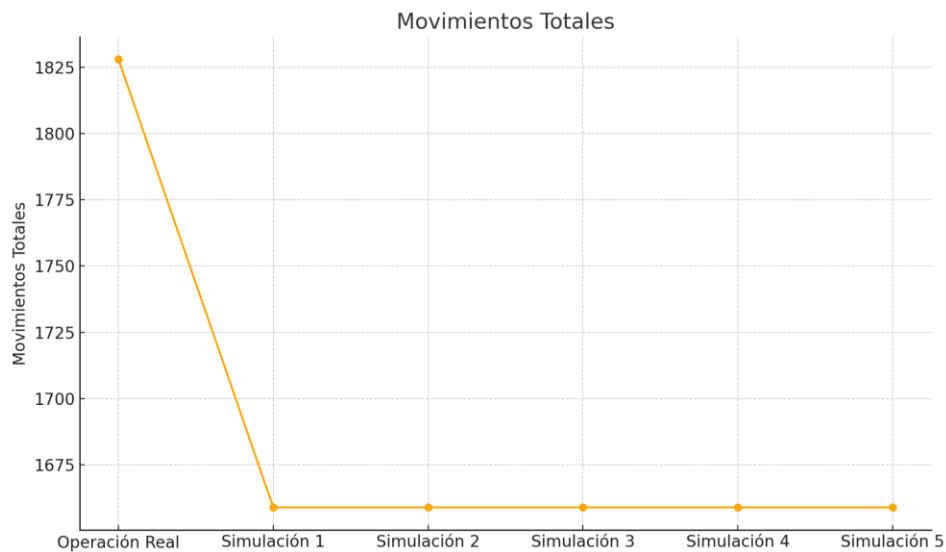


Nota. Fuente: elaboración propia

Esta gráfica 7, muestra la productividad promedio, medida en movimientos por hora (MPH), para la operación real y las cinco evaluaciones de alternativas.

- Operación Real y Evaluación de alternativa 2: Ambas alcanzan la mayor productividad promedio de 34.5 MPH. Esto sugiere que la configuración de recursos en la Evaluación de alternativa 2 es la más cercana a las condiciones reales en términos de eficiencia operativa.
- Evaluaciones de alternativas 1 y 4: Tienen una productividad promedio ligeramente inferior, de 34.4 MPH, lo que indica una eficiencia operativa alta, pero no la óptima.
- Evaluaciones de alternativas 3 y 5: Muestran la productividad más baja, de 33.3 MPH. Esto sugiere que las configuraciones de recursos en estas evaluaciones de alternativas no son tan eficientes como las demás.

real Gráfica. 8. Movimientos totales en relación de las evaluaciones de alternativas con la operación

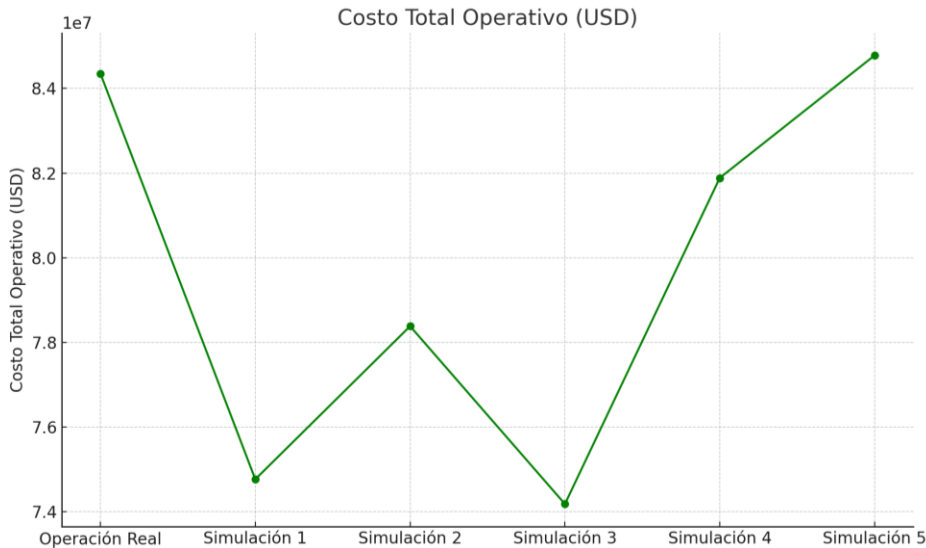


Nota. Fuente: elaboración propia

La gráfica 8, presenta el número total de movimientos de contenedores gestionados en la operación real y en cada simulación.

- Operación Real: Manejó 1828 movimientos, más que cualquier simulación, lo que indica una mayor carga de trabajo.
- Evaluaciones de alternativas: Todas manejaron 1659 movimientos, proporcionando una base comparativa constante. La diferencia con la operación real resalta que, aunque las evaluaciones de alternativas ofrecen un buen modelo, la operación real tiene un volumen de trabajo ligeramente superior.

Gráfica. 9. Costo Total Operativo En Dólares en relación de las Evaluaciones de Alternativas con la operación real



Nota. Fuente: elaboración propia

Esta gráfica 9, indica el costo total operativo en dólares para la operación real y cada simulación.

- Operación Real: Tiene un costo total operativo de \$84,350,158.4, uno de los más altos. Este alto costo se debe al mayor número de movimientos y posiblemente a una mayor complejidad operativa.
- Evaluación de alternativa1: Muestra el costo operativo más bajo, de \$85,446,363.9, indicando una configuración eficiente en términos de costos.
- Evaluación de alternativa2: Tiene un costo operativo de \$78,382,596.0, que, aunque es más alto que el de la Evaluación de alternativa1, sigue siendo razonable dada su alta productividad.
- Evaluación de alternativa3: Registra el costo operativo más bajo de todas las evaluaciones de alternativas, \$79,127,474.2, pero con la menor productividad.
- Evaluación de alternativa4: Presenta un costo operativo de \$81,885,814.6, cercano al de la operación real, sugiriendo que es una configuración costosa.
- Evaluación de alternativa5: Tiene el costo operativo más alto, \$84,779,436.6, indicando que esta configuración es la menos eficiente en términos de costo-beneficio.

Las gráficas permiten comparar visualmente la eficiencia y los costos operativos de la operación real con las evaluaciones de alternativas. La operación real maneja más movimientos y tiene un costo operativo alto, lo que sugiere un escenario más complejo. De modo que, las evaluaciones de alternativas 2 y 4 son las más eficientes, equilibrando productividad y costos. La evaluación de alternativa3 es la más económica, pero con la menor productividad, lo que resalta la importancia de encontrar un equilibrio entre eficiencia operativa y costos.

### 9.7 Escenario que posibilita la visualización y optimización de la asignación de recursos en la SPRB

De acuerdo con los resultados obtenidos en las evaluaciones de alternativas, se ha identificado que las **Evaluaciones de alternativas 2 y 4** son los escenarios que mejor posibilitan la visualización y optimización de la asignación de recursos en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. Estos escenarios equilibran eficientemente la productividad y los costos operativos, lo cual es fundamental para la sostenibilidad y competitividad del puerto.

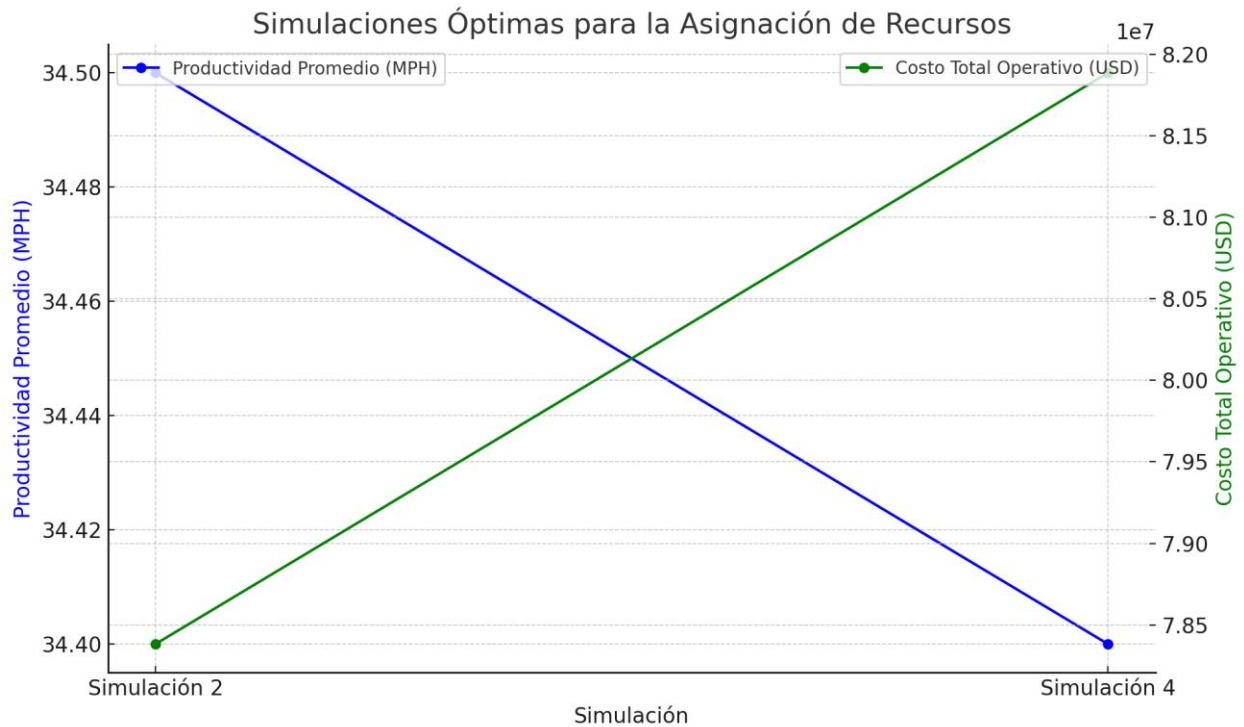
Tabla 8. Evaluaciones de alternativas optimas

<b>Simulación</b>	<b>Grúas Pórtico (GP)</b>	<b>Tractores de Terminal (TT)</b>	<b>Movimientos Totales</b>	<b>Productividad Promedio (MPH)</b>	<b>Costo Total Operativo (USD)</b>
Evaluación de alternativa 2	4	7	1659	34.5	78,382,596.0
Evaluación de alternativa 4	6	6	1659	34.4	81,885,814.6

Nota. Fuente: elaboración propia

Las evaluaciones de alternativas 2 y 4 se destacan como los escenarios óptimos, combinando una alta productividad promedio con costos operativos razonables. La Evaluación de alternativa2, con una productividad promedio de 34.5 movimientos por hora y un costo total operativo de \$78,382,596.0, y la Evaluación de alternativa4, con una productividad de 34.4 movimientos por hora y un costo de \$81,885,814.6, muestran un equilibrio eficiente entre el uso de grúas pórtico y tractores de terminal. Estos escenarios maximizan el rendimiento y minimizan los costos operativos, lo que es crucial para la sostenibilidad y competitividad del puerto.

Gráfica. 10. Evaluaciones de alternativas óptimas para la asignación de recursos



Nota. Fuente: elaboración propia

La gráfica 10, muestra la productividad promedio (en MPH) y el costo total operativo (en USD) de las evaluaciones de alternativas 2 y 4.

- Evaluación de alternativa 2: Alcanza una productividad promedio de 34.5 movimientos por hora con un costo total operativo de \$78,382,596.0. Esta configuración utiliza 4 grúas pórtico y 7 tractores de terminal, mostrando un equilibrio entre alta eficiencia operativa y costos manejables.
- Evaluación de alternativa 4: Logra una productividad promedio de 34.4 movimientos por hora con un costo total operativo de \$81,885,814.6. Aunque el costo es ligeramente mayor que el de la Evaluación de alternativa 2, sigue siendo eficiente en términos de productividad.

Al analizar las diversas configuraciones simuladas, las evaluaciones de alternativas 2 y 4 se destacan por su capacidad de equilibrar alta productividad con costos operativos razonables, demostrando ser los escenarios óptimos para la asignación de recursos en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. Estas evaluaciones de alternativas proporcionan un punto de

partida para la toma de decisiones estratégicas, permitiendo a los gestores del puerto implementar prácticas que maximicen la eficiencia operativa y minimicen los costos. Al enfocarse en configuraciones que utilizan eficientemente las grúas pórtico y los tractores de terminal, la SPRB puede asegurar una operación sostenible y competitiva en el mercado global.

## **9.8 Estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto**

Basándose en los resultados obtenidos se proponen dos estrategias clave para optimizar la eficiencia y productividad del puerto:

### **9.8.1 Optimización de la Programación de Grúas y TTs Basada en Datos**

La utilización efectiva de las grúas y TTs es esencial para maximizar la productividad y eficiencia del puerto. Un análisis detallado de la operación real y las evaluaciones de alternativas sugiere que ajustes precisos en la programación de estos recursos pueden tener un impacto significativo. Por otro lado, se propone el desarrollo y posterior a su evaluación financiera la implementación de un sistema avanzado de programación basado en datos, que incorpore algoritmos de inteligencia artificial y machine learning, permitiría predecir con mayor precisión las necesidades operativas y ajustar dinámicamente la asignación de grúas y TTs en tiempo real.

Este sistema podría analizar patrones históricos, considerar las condiciones actuales del puerto y las particularidades de cada buque para optimizar la distribución de cargas entre las grúas y mejorar la coordinación de los movimientos de TT, reduciendo tiempos muertos y aumentando la tasa de movimientos por hora.

### **9.8.2 Mejora Continua en la Capacitación y Eficiencia del Personal Operativo**

El factor humano juega un rol crucial en la eficiencia de las operaciones portuarias. Invertir en programas de capacitación continua y desarrollo de habilidades para los operadores de grúas y TTs puede incrementar significativamente la productividad y eficiencia del puerto. Esto incluye entrenamiento en las últimas tecnologías de operación, técnicas avanzadas de manejo de carga y métodos para optimizar los tiempos de operación. Además, implementar sistemas de incentivos basados en el rendimiento podría motivar al personal a alcanzar mayores niveles de eficiencia, alineando los objetivos individuales con los del puerto.

Tanto la operación real como la Evaluación de alternativa4 indicaron que la productividad no solo depende de la cantidad y la tecnología de los recursos disponibles, sino también de cómo se utilizan esos recursos. La productividad bruta de las grúas y la intensidad de uso de grúas mostraron que hay margen para mejorar mediante la optimización de los recursos humanos. Incrementar la eficiencia operativa a través de una mejor capacitación y motivación del personal puede conducir a una utilización más efectiva de los recursos disponibles, mejorando la productividad general y reduciendo costos operativos.

Estas estrategias, centradas tanto en la optimización tecnológica como en el desarrollo del capital humano, ofrecen un enfoque holístico para mejorar la eficiencia y productividad de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. Implementarlas no solo mejorará los indicadores operativos, sino que también reforzará la posición competitiva del puerto en el ámbito global.

Tabla 9. Implementación de estrategias

<b>Estrategia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsables</b>	<b>Recursos Necesarios</b>	<b>Método de Ejecución</b>	<b>Evaluación</b>
<b>Optimización de la Programación de Grúas y TTs Basada en Datos</b>	Implementar un sistema de programación avanzado que use IA y ML para optimizar la asignación de grúas y TTs.	Departamento de Operaciones - Equipo de TI	- Software de gestión portuaria con IA y ML - Datos históricos y en tiempo real de las operaciones - Formación en nuevas tecnologías para el personal involucrado	1. Desarrollo o adquisición de software con capacidades de IA y ML. 2. Análisis de datos históricos y configuración del sistema. 3. Pruebas piloto y ajustes basados en feedback. 4. Implementación completa y formación continua.	- Comparación de la productividad y tiempos de operación antes y después de la implementación. - Feedback de los operadores y personal de TI. - Análisis de costos operativos.
<b>Mejora Continua en la Capacitación y Eficiencia del Personal Operativo</b>	Desarrollar programas de capacitación continua y sistemas de incentivos para mejorar la eficiencia del personal operativo.	Departamento de Recursos Humanos - jefes de Operaciones - Supervisores de grúas y TTs	- Programas de capacitación y desarrollo profesional - Expertos en tecnologías de operación	1. Identificación de necesidades de capacitación. 2. Diseño de programas de capacitación específicos. 3. Implementación de sistemas de incentivos. 4.	- Evaluación del desempeño del personal antes y después de la capacitación. - Encuestas de satisfacción y motivación del personal.

---

y manejo de carga - Sistema de incentivos basados en el rendimiento	Monitoreo y evaluación continua del desempeño.	- Análisis de la correlación entre la capacitación, los incentivos y la productividad operativa.
--	--	--

---

Nota. Fuente: elaboración propia

Estas estrategias están diseñadas para ser complementarias, enfocándose tanto en la optimización tecnológica como en el potencial humano para mejorar la eficiencia y productividad en la SPRB. La implementación y evaluación cuidadosas permitirán ajustes iterativos y mejoras continuas, asegurando que la SPRB mantenga su liderazgo y competitividad en el sector portuario.

## 10. Glosario de Términos Especiales

**Contenedor:** Es un recipiente de carga para el transporte aéreo, marítimo o terrestre. Se llama así, ya que es un embalaje de amplias dimensiones usado para transportar objetos voluminosos o pesados: motores, maquinaria y pequeños vehículos, entre otros.

**Marítimo:** Del mar o que tiene relación con las actividades relacionadas con él.

**Optimización:** Es la acción de desarrollar una actividad lo más eficientemente posible, es decir, con la menor cantidad de recursos y en el menor tiempo posible.

**Puerto:** Lugar resguardado del viento a la orilla del mar o de un río donde las embarcaciones pueden detenerse y permanecer seguras, que dispone de instalaciones para hacer reparaciones o realizar operaciones de embarque y desembarque.

**Proceso:** Un proceso es una secuencia de pasos dispuesta con algún tipo de lógica que se enfoca en lograr algún resultado específico.

**Calado:** Profundidad que alcanza en el agua la parte sumergida de una embarcación.

**Atraque:** Un atraque o amarre es el lugar designado para atracar o amarrar una embarcación, es decir, inmovilizarla haciendo uso de los cabos, estacionando así la nave.

**Teu:** Estas siglas representan la unidad de medida de capacidad del transporte marítimo referida en contenedores de carga de 20 pies.

## Conclusiones

Las conclusiones del proyecto se han depurado para reflejar los resultados obtenidos en el estudio, incorporando los hallazgos derivados de las evaluaciones de alternativas y el análisis detallado.

El análisis de las etapas del proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB) ha permitido comprender la complejidad y la coordinación necesaria para las operaciones portuarias tanto en exportación como en importación. En exportación, se destacan las etapas de anuncio de motonaves y carga, creación de la motonave y generación de la visita, generación de órdenes de ingreso de contenedores vacíos y llenos, y anuncio y confirmación de booking. En importación, se resalta el control aduanero y el descargue de la carga. Estas etapas son cruciales para garantizar la eficiencia, seguridad y calidad de las operaciones, evidenciando un entramado complejo de actividades coordinadas.

El análisis de los indicadores de productividad entre 2021 y 2023 mostró variabilidad en la eficiencia de los diferentes equipos utilizados en las operaciones portuarias. Se observó que la productividad por buque y la productividad terminal fluctuaron, con una disminución en algunos años y una mejora en otros. Las grúas pórtico y las grúas específicas mostraron una mejora continua, mientras que los reach stackers y los tractores de terminal presentaron una disminución en su productividad. Estos hallazgos destacan la importancia de una gestión eficiente y la optimización de los recursos para mantener altos niveles de productividad.

Las evaluaciones de alternativas realizadas con el software Navis N4 y el módulo XPS permitieron evaluar diferentes configuraciones de recursos y su impacto en la productividad y costos operativos. Las evaluaciones de alternativas 2 y 4 se destacaron por equilibrar alta productividad y costos operativos razonables, sugiriendo configuraciones óptimas para la asignación de recursos en la SPRB. La Evaluación de alternativa2, con 4 grúas y 7 tractores de terminal, alcanzó la mayor productividad promedio de 34.5 movimientos por hora y un costo operativo de \$78,382,596.0. La Evaluación de alternativa4, con 6 grúas y 6 tractores de terminal, mostró una productividad promedio de 34.4 movimientos por hora y un costo operativo de \$81,885,814.6.

Comparando la operación real con las evaluaciones de alternativas, se observó que la operación real gestionó un mayor número de movimientos (1828) con una productividad promedio de 34.5 movimientos por hora y un costo operativo de \$84,350,158.4. Esto sugiere que, aunque las evaluaciones de alternativas proporcionan un buen modelo, la operación real enfrenta una mayor complejidad y volumen de trabajo, impactando los costos operativos.

Para optimizar la eficiencia y productividad del puerto, se proponen dos estrategias clave. La primera es la optimización de la programación de grúas y tractores de terminal basada en datos, utilizando algoritmos de inteligencia artificial y machine learning para predecir necesidades operativas y ajustar dinámicamente la asignación de recursos. La segunda es la mejora continua en la capacitación y eficiencia del personal operativo, desarrollando programas de capacitación y sistemas de incentivos basados en el rendimiento para incrementar la productividad y motivación del personal.

Estas estrategias, centradas en la optimización tecnológica y el desarrollo del capital humano, ofrecen un enfoque integral para mejorar la eficiencia y productividad de la SPRB, reforzando su posición competitiva en el ámbito global. Implementarlas no solo mejorará los indicadores operativos, sino que también contribuirá a la sostenibilidad y competitividad del puerto en el mercado global.

En definitiva, las lecciones aprendidas y las estrategias propuestas en este capítulo delinean un camino claro hacia la optimización de las operaciones en la SPRB. Mediante la implementación efectiva de estas estrategias, la SPRB no solo puede mejorar su rendimiento operativo y financiero sino también reforzar su posición como líder en el sector portuario, capaz de enfrentar los retos futuros con confianza y eficacia.

## **Recomendaciones**

Basadas en los resultados y conclusiones obtenidos del análisis del proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. (SPRB), se presentan las siguientes recomendaciones, específicamente orientadas a alcanzar los objetivos planteados en el proyecto:

**Obj. General - Evaluar los escenarios de mejora para la operación de carga y descarga de buques portacontenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., con el propósito de identificar áreas de optimización que contribuyan a una mayor eficiencia, seguridad y competitividad del puerto.**

- **Implementación de Tecnologías Avanzadas para la Optimización Operativa:**

Se recomienda adoptar tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de inteligencia artificial para mejorar la gestión de inventarios y la monitorización en tiempo real de las operaciones portuarias. Esto permitirá una mayor precisión en la planificación y una respuesta rápida a cualquier incidencia, aumentando la eficiencia y seguridad en las operaciones.

- **Desarrollo de un Sistema de Programación Dinámica:**

Implementar un sistema de programación dinámica que utilice algoritmos de machine learning para optimizar la asignación de recursos en tiempo real. Este sistema debería ser capaz de ajustar la distribución de grúas y tractores de terminal (TT) basándose en datos históricos y condiciones actuales, reduciendo tiempos de inactividad y mejorando la productividad.

### **Objetivos Específicos**

**- Caracterizar cada una de las etapas que conforman el proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., mediante un análisis detallado que permita obtener una comprensión integral de su funcionamiento.**

- **Establecimiento de Procedimientos Documentados y Estandarizados:**

Desarrollar y documentar procedimientos estandarizados para cada etapa del proceso marítimo operativo de contenedores. Estos procedimientos deben incluir detalles específicos sobre las responsabilidades de cada actor involucrado, así como los protocolos a seguir para garantizar la eficiencia y seguridad en las operaciones.

- **Capacitación Continua y Evaluación del Personal:**

Implementar programas de capacitación continua para el personal operativo, asegurando que todos los empleados comprendan y sigan los procedimientos estandarizados. Además, realizar evaluaciones periódicas para identificar áreas de mejora y ajustar los programas de formación según sea necesario.

**-Analizar los indicadores de productividad vinculados al proceso marítimo operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., evaluando aspectos como el tiempo de operación, la asignación de recursos y la eficiencia de la gestión.**

- **Monitoreo y Análisis Continuo de Indicadores de Productividad:**

Establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar indicadores clave de productividad, como el tiempo de operación, la utilización de recursos y la eficiencia de gestión. Utilizar dashboards y reportes automáticos para facilitar la toma de decisiones informadas y rápidas.

- **Benchmarking y Mejora Continua:**

Realizar benchmarking con otros puertos de similar tamaño y operaciones para identificar las mejores prácticas y áreas de mejora. Implementar un ciclo de mejora continua basado en los resultados del análisis de indicadores, ajustando estrategias operativas para optimizar la eficiencia y reducir costos.

**-Realizar una Evaluación de alternativa del proceso operativo de contenedores en la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., empleando el software portuario Navis N4 con el módulo XPS, generando diversos escenarios que posibiliten la visualización y optimización de la asignación de recursos, con el propósito de proponer estrategias para optimizar la eficiencia y la productividad del puerto.**

- **Evaluaciones de alternativas Periódicas y Ajustes Dinámicos:**

Realizar evaluaciones de alternativas periódicas utilizando el software Navis N4 con el módulo XPS para evaluar diferentes escenarios operativos y su impacto en la productividad y costos. Ajustar dinámicamente las estrategias de asignación de recursos basándose en los resultados de las evaluaciones de alternativas para maximizar la eficiencia.

- **Implementación de Estrategias Basadas en Evaluaciones de alternativas:**

Proponer y ejecutar estrategias operativas basadas en los escenarios más eficientes identificados en las evaluaciones de alternativas. Estas estrategias deben enfocarse en la optimización del uso de grúas y TTs, la reducción de tiempos de operación y la minimización de costos operativos, asegurando la competitividad del puerto.

Implementar estas recomendaciones permitirá a la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. mejorar significativamente su eficiencia operativa, optimizar la asignación de recursos y reducir los costos operativos, asegurando su sostenibilidad y competitividad en el mercado global.

## Referencias Bibliográficas

- Aguadulce (2021). Quiénes somos. Recuperado de Sociedad Puerto Industrial Aguadulce.
- Ascencio, J., & González-Ramírez, R. (2014). Administración de la cadena logística portuaria: una propuesta de modelo. *Revista Ingeniería Industrial*, 13(2), 131-144.
- Becerril-Torres, Osvaldo Urbano, Munguía-Vázquez, Gabriela, & Nava-Rogel, Rosa María. (2021). Efecto del movimiento de contenedores sobre la eficiencia de las principales economías operadoras de carga del APEC. *México y la cuenca del pacífico*, 10(30), 141-168. Epub 03 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.32870/mycp.v10i30.739>.
- Barleta, E., & Sánchez, R. (2021). Informe Portuario 2021: las primeras señales de recuperación en el transporte marítimo internacional vía contenedores de América Latina y el Caribe. CEPAL.
- Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2019). Informe de competitividad de la infraestructura colombiana 2019.
- CEIC Data (2021). Colombia Container Port Throughput. Recuperado de Colombia Container Port Throughput, 2008 – 2023 | CEIC Data.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación. Pearson Educación.
- Compas (2021). Terminales portuarios. Recuperado de BROCHURE BROCHARE CORPORATIVO 2021 Compas Tolú.
- Cipolletta, G. P. (2010). Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: experiencias internacionales y propuestas iniciales. Santiago de Chile.
- Chala F, M.J. (2020). La dirección gerencial en las operaciones del Puerto de Buenaventura. Universidad del Rosario. Trabajo de grado en Maestría en Dirección. Bogotá, D.C. marzo 2020.
- Creswell, J., & Plano Clark, V. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.
- Decide. (2021). Aplicando optimización a las operaciones portuarias.
- Dragović, B., Tzannatos, E., & Park, N. K. (2017). Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29(1), 4-34.

- Forbes México. (2017). ¿Cómo ayuda la tecnología a tomar decisiones más rápidas?
- Gutiérrez, A., González, J. y Sánchez, R. (2018). Aplicación de las TIC en la gestión de la documentación de las operaciones portuarias. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(2), 131-144.
- González C, J. (2015). Contratación logística en Colombia: Implementación de un operador logístico integral, Universidad de Medellín. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-63462015000200009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-63462015000200009).
- Gómez, J. C., Sánchez, J. D., Gómez, A. F., & Vergara, J. C. (2021). Modelación y Evaluación de alternativas de un puerto marítimo de contenedores basado en las características de operación de la Sociedad Portuaria de Cartagena. *Ingeniería e Investigación*, 41(1), 25-33
- Jaramillo L, S.A y Taborda S, S. (2018). Oportunidades de mejora en el Puerto de Barranquilla a partir de la eficiencia. Trabajo de grado universidad del Rosario. Bogotá D.C.
- Legiscomex. (octubre de 2015). Distribución física internacional. Obtenido de Ficha logística de Singapur: <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/ficha-logistica-singapur-2016-completo.pdf>
- López B, B. (2018). Eficiencia portuaria y modelos de gobernanza. Tesis doctoral, Universidade da Coruña. Recuperado en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20419/LopezBermudez\\_Beatriz\\_TD\\_2018.pdf](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20419/LopezBermudez_Beatriz_TD_2018.pdf).
- Lee, J., & Song, D. W. (2020). The impact of COVID-19 on container port operations and performance: A case study of Busan Port in South Korea. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100250.
- Martínez Cardozo, L. A. (2016). Guía de aspectos sostenibles para el desarrollo de puertos marítimos multimodales en Colombia, aplicación al Puerto de Buenaventura (Master's thesis, Uniandes).
- Ministerio de transporte. Resolución 850 de 2017. Por medio de la cual se establece el contenido del Reglamento de condiciones técnicas de operación de los puertos marítimos y se dictan otras disposiciones.
- Martínez, J., García, M. y Pérez, L. (2019). Sistemas de gestión integrados en terminales portuarias de contenedores. *Revista Ingeniería Naval*, 970, 54-61.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2014). Análisis de las condiciones de operación de los patios de contenedores (pc) en Colombia lineamientos para la formulación de instrumentos de política pública. Observatorio de transporte de carga por carretera. Recuperado de

<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/2648/observatorio-de-transporte-de-carga-por-carretera/descargar.php?id=4004>

Ng, A. K., & Padilha, F. (2018). Effects of trade route characteristics and demand patterns on port infrastructure investments: The Brazilian soybean export corridor case. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 266-279.

Naciones Unidas. (2020). *Influencia de las tecnologías digitales*.

Paredes M, Y. (2010). *La logística portuaria*. Recuperado en: <https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2014/delegada%20puertos/caracterizacion%20puertos/LOGISTICA%20PORTUARIA.pdf>

Pérez, J., Rodríguez, C. y Gómez, A. (2020). Digitalización e inteligencia artificial en el transporte marítimo de contenedores. *Revista*

Quintero G, J. R. Cortázar Á, A.M y Ramírez S, A. (2018a). Transporte marítimo internacional: aspectos operativos y comercio, logística portuaria, aspectos jurídicos y comerciales, prospectiva para Colombia. *Jou.Cie. Ing.* 10 (1): 18-31.

Quintero, J., Cortázar, J., & Ramírez, J. (2018b). Logística portuaria: una revisión sistemática de literatura. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(33), 9-24.

Ramírez M. E. (2016). *Factores que afectan la logística en el Puerto de Buenaventura*. Trabajo de grado. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá

Rodrigue, J. P., Comtois, C., y Slack, B. (2013). *The geography of transport systems*. Routledge, New York. Estados Unidos.

Rodrigue, Jean-Paul & Comtois, C & Slack, Brian. (2016). *The geography of transport systems*. 10.4324/97813 15618159. P. 116 & 117.

Rojas A. L., Arias G. M. (2019). *Problemáticas y sugerencias de mejora aplicables a los puertos de buenaventura y barranquilla*. Universidad Católica de Colombia. Facultad, Ingeniería. Bogotá DC. Colombia.

Rodríguez-Molina, M., & Gutiérrez-Gutiérrez, L. J. (2019). Análisis del desempeño logístico de los puertos colombianos desde la perspectiva de la cadena de suministro: un estudio comparativo con países líderes en América Latina y el mundo. *Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)*, 35(63), 11-28.

- Said, G. A., Mahmoud, A. M., & El-Horbaty, E. M. (2014). Simulation and optimization of container terminal operations: a case study. arXiv preprint arXiv:1407.6257.
- Sánchez, R. J. y Barleta, E. (2019): “Reflexiones sobre el futuro de los puertos de contenedores por el nuevo comportamiento de la contenedorización”. Article No. 29. UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter N°81. First Quarter 2019.
- Sánchez, R., Jaimurzina, A., Wilmsmeier, G., Pérez-Salas, G., Doerr, O. y Pinto, F. (2015). Transporte marítimo y puertos: desafíos y oportunidades en busca de un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago de Chile.
- Silva, D. (2020, July 1). Marítima & Portuaria Internacional. 23–23. [https://issuu.com/revistamaritimayportuaria/docs/maritima\\_y\\_portuaria\\_julio\\_2020\\_online](https://issuu.com/revistamaritimayportuaria/docs/maritima_y_portuaria_julio_2020_online)
- Sociedad Portuaria de Buenaventura. Boletín portuario, abril de 2010.
- Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A. Plan de Mercadeo Año 2011. Gerencia comercial y de servicio al cliente. Buenaventura - Colombia. Febrero de 2011.
- Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura, Información Corporativa (Consultado el 18 de mayo de 2014). Disponible en: <http://www.sprbun.com/informacion-corporativa/buenaventura/ubicacion-geografica.php>.
- Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura. Conexiones marítimas del puerto de Buenaventura. Disponible en <http://www.sprbun.com/web/portal/inicio>.
- Sujeta, L and Navickas, N. (2014). The impact of port logistics systems on a country’s competitiveness (case of small countries), Economics and management, vol. Vol. 19, no. No. 1, pp. pp. 44–53.
- Superintendencia de puertos y transporte. Normatividad. Ley 1 de 1991. (Consultado el 18 de mayo de 2014) Disponible en: [www.supertransporte.gov.co](http://www.supertransporte.gov.co).
- Superintendencia de transporte. Resolución 341 de 2022.
- Supertransporte (2022). Indicadores de eficiencia portuaria Puertos marítimos colombianos. Bogotá, D.C. Recuperado en: [https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2022/Marzo/Puertos\\_03/2022\\_03\\_02\\_Informe-de-Indicadores-Anual-2021.pdf](https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2022/Marzo/Puertos_03/2022_03_02_Informe-de-Indicadores-Anual-2021.pdf).
- Silva, C. A. (2020). The impact of COVID-19 on the maritime transport industry. Maritime Economics & Logistics, 22(3), 379-385.
- SPRB (2021). Quiénes somos. Recuperado de Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.

- Tableau. (2021). Toma de decisiones basadas en los datos: cómo tener éxito en la era digital.
- TCBUEN (2021). Quiénes somos. Recuperado de Delegatura de Puertos - Superintendencia de Transporte.
- UNCTAD/TrainForTrade (2019). La gestión portuaria. Recuperado de [https://unctad.org/system/files/official-document/dtl-tft-2019-1\_es.pdf]
- UNCTAD. (2021a). El transporte marítimo durante el COVID-19: por qué se han disparado los fletes de los contenedores. https://unctad.org/es/news/el-transporte-maritimo-durante-el-covid-19-por-que-se-han-disparado-los-fletes-de-los
- UNCTAD. (2021b). Informe sobre el comercio y el desarrollo 2021. https://unctad.org/system/files/official-document/tdr2021overview\_es.pdf
- Universidad de Los Andes (2021). Demuestran aplicaciones de la Evaluación de alternativas computacional portuaria a estudiantes. Noticias Uandes. Recuperado de https://www.uandes.cl/noticias/demuestran-aplicaciones-de-la-simulacion-computacional-portuaria-a-estudiantes/
- Urbano Becerril-Torres, O., Munguía-Vázquez, G., & Nava-Rogel, R. M. (2021). Efecto del movimiento de contenedores sobre la eficiencia de las principales economías operadoras de carga del APEC. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://doi.org/10.32870/mycp.v10i30.739>
- Velasco, N y Molins, A. (2013). Manual de Internacionalización, ICEX–CECO, Madrid, pp. 4–5.
- Volcá (2020, March 3). Actividad portuaria. https://volca.com/actividad-portuaria/.
- World Shipping Council. (2019). Los 50 puertos mundiales de contenedores. Recuperado en: https://bit.ly/2tIq5wh.
- Wang, Y., & Notteboom, T. (2019). The role of port authorities in the development of LNG bunkering facilities in North European ports. *Research in Transportation Business & Management*, 30, 100390.
- World Bank (2021). Logistics Performance Index. Recuperado de https://lpi.worldbank.org/
- World Shipping Council (2021). Top 50 World Container Ports. Recuperado de https://www.worldshipping.org/top-50-ports
- Yan-liang, W. (2013). Research on the logistics supply chain in port logistics transportation,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. Vol. 6, no. No. 20, pp. pp. 3715–3722.

Zhang, Y., Lam, J. S. L., & Fu, X. (2018). Port connectivity in a logistic network: the case of Bohai Bay, China. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 117, 96-107.

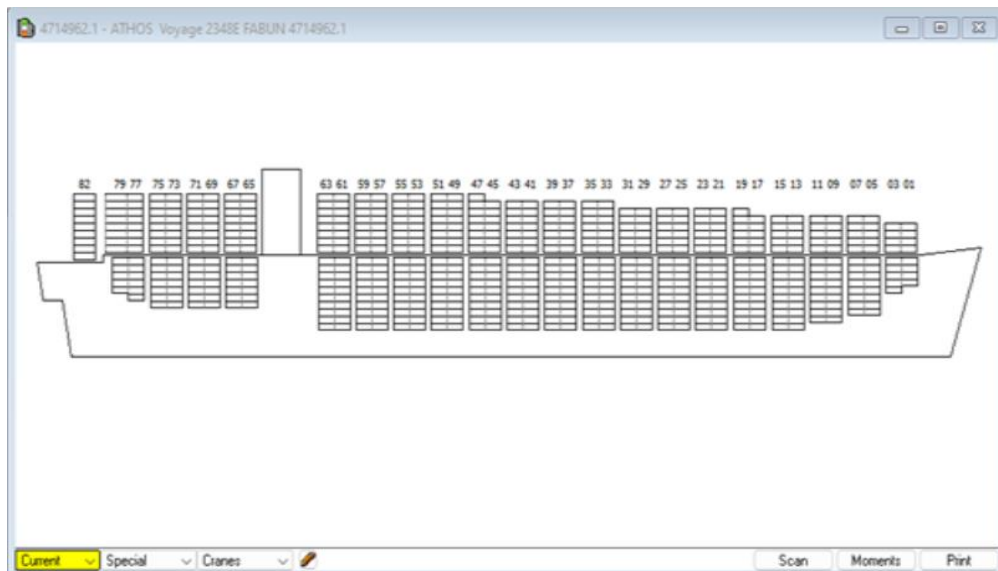
## Anexos

### Anexo. 1. Evaluación de alternativa MN Athos.

- **MV:** ATHOS
- **Visita:** 4714962
- **Viaje:** 2348E
- **Servicio:** ALX3 S
- **Línea Marítima:** Hapag-Lloyd
- **Eslora:** 350 metros.
- **Manga:** 46 metros.
- **Bandera:** Liberiana.

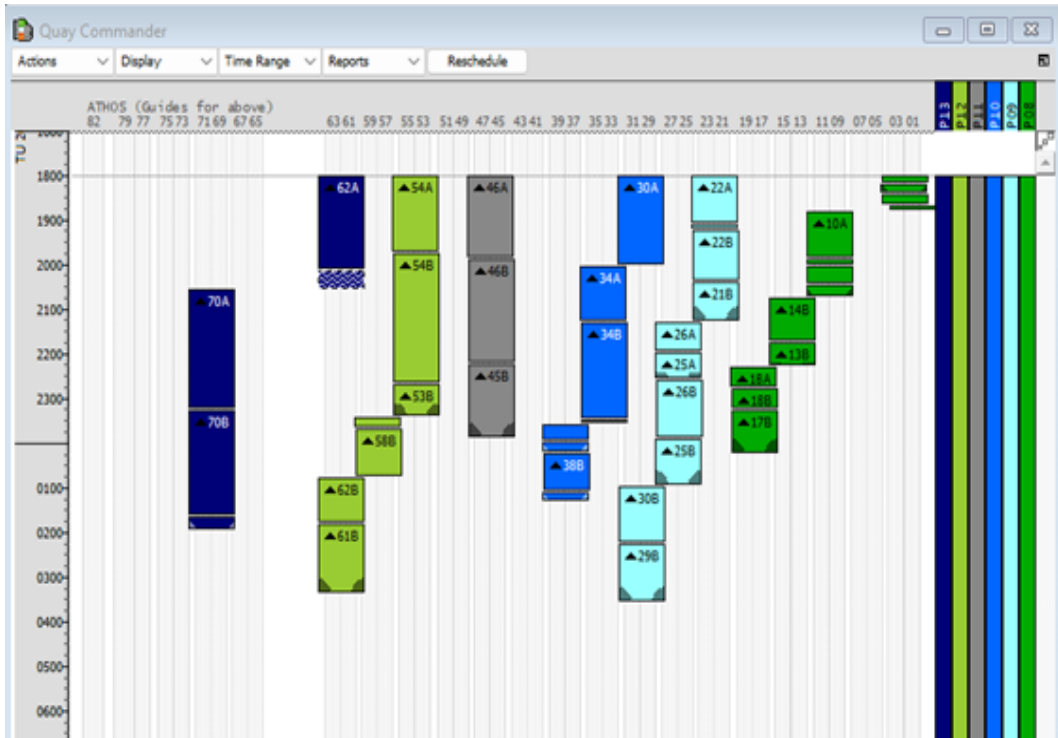


MV sin información en Navis modulo XPS.



*MV con Baplie de arribo cargado.*





The screenshot shows the "Crane Work List - 4714962.1 - ATHOS" window. It has a table with the following data:

Actions	Display			
▶ P13	+Tu1800	242 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P12	+Tu1800	313 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P11	+Tu1800	199 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P10	+Tu1800	237 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P09	+Tu1800	329 moves	32,0 mph	(planned)
▶ P08	+Tu1800	210 moves	32,0 mph	(planned)

Nota. Fuente: elaboración propia

Anexo. 2. Resultado de la operación real del buque Athos en su recalada de enero 2024 en SPB



VESSEL OPERATION REPORT

VESSEL NAME	ATHOS	VOY
SERVICE	ALX3 S	CP

PRODUCTIVITY REPORT AT	6/01/2024 7:59
------------------------	----------------

All Fast	5/01/2024 15:28
Gangway Down	5/01/2024 15:34
Free Practice	5/01/2024 16:14
Start Operations	5/01/2024 16:33
ETC	6/01/2024 7:59
End Operations	6/01/2024 7:59

Max Crane Intensity from instructions	3,76
Crane Intensity Planned	3,76
Crane Intensity Executed	3,76

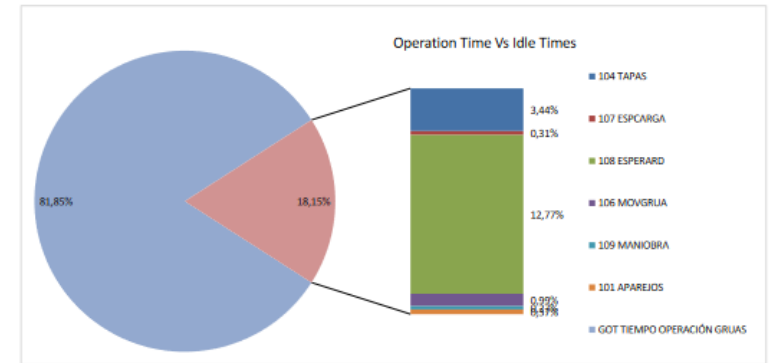
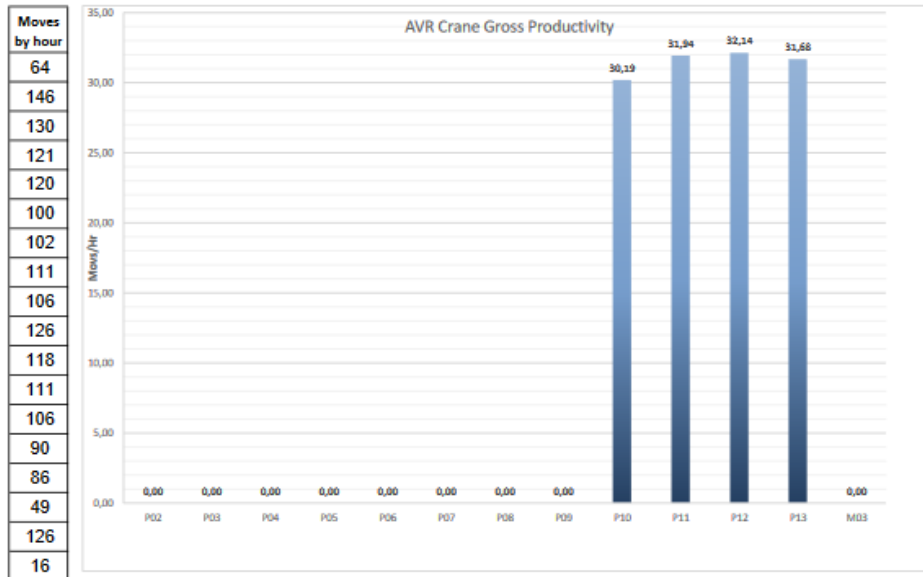
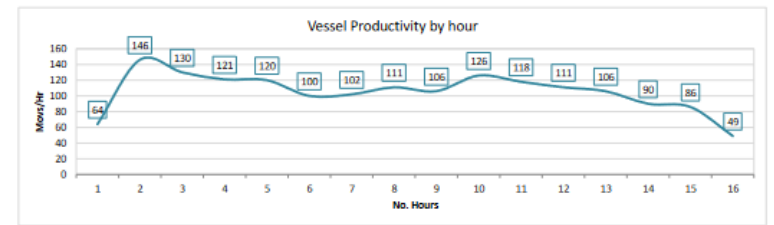
Operations Summary

Crane ID	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	M03
Star Operations by Crane									06/ene 18:33	06/ene 18:37	06/ene 18:33	06/ene 18:38	
End Operations by Crane									06/ene 7:59	06/ene 7:18	06/ene 8:50	06/ene 8:21	
Total Movs by Crane									466	469	459	434	
Gross Operations Time by Crane									15,43	14,68	14,28	13,70	
Crane Gross Productivity									30,19	31,94	32,14	31,68	
Total Movs	1828												
Vessel Gross Operations Time	15,43												
Vessel Gross Productivity	118,44												

DATE	HOUR	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	M03
05/1/2024	16 - 17									27	15	12	10	
	17 - 18									30	34	35	47	
	18 - 19									35	27	32	36	
	19 - 20									30	26	42	23	
	20 - 21									28	34	30	28	
	21 - 22									22	30	22	26	
	22 - 23									20	36	23	23	
06/1/2024	23 - 0									29	27	32	23	
	0 - 1									24	20	28	34	
	1 - 2									26	39	31	30	
	2 - 3									20	30	29	39	
	3 - 4									24	23	29	35	
	4 - 5									24	27	36	19	
	5 - 6									18	27	21	24	
	6 - 7									22	30	25	9	
7 - 8									37	12				
HATCH COVERS										38	32	28	28	
GEAR BOXES										12	0	4	0	

		DRAFT IN	
	75	DRAFT OUT	10,43

CRANE	Movements Planned				Movements Executed				TO BE EXECUTED	PRODUCTIVITY	REMAINING TIME	ETC by Crane
	DISCH	LOAD	HC+GB	TOTAL	DISCH	LOAD	HC+GB	TOTAL				
P02				0								
P03				0								
P04				0								
P05				0								
P06				0								
P07				0								
P08				0								
P09				0								
P10	343	73	50	466	343	73	50	466	0	30,2	0,0	06/ene 7:59
P11	416	21	32	469	416	21	32	469	0	31,9	0,0	06/ene 7:18
P12	427	0	32	459	427	0	32	459	0	32,1	0,0	06/ene 8:50
P13	401	5	28	434	401	5	28	434	0	31,7	0,0	06/ene 8:21
M03				0								
<b>Total</b>	<b>1587</b>	<b>99</b>		<b>1828</b>	<b>1587</b>	<b>99</b>		<b>1828</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	



Anexo. 3. Costo real de la operación

Total Gruas	Total RTG's	Total TT's
4	12	6

ATHOS VAJE 2348E									
		GP13	GP12	GP11	GP10	GP9	GP8	GP7	
Star Operations by Crane	05/01/2024 16:33	05/01/2024 16:33	05/01/2024 16:37	05/01/2024 16:33	05/01/2024 16:39				
End Operations by Crane	06/01/2024 07:59	06/01/2024 07:59	06/01/2024 07:18	06/01/2024 06:49	06/01/2024 06:20				
Contenedores + HC + GB	1.828	466	469	459	434				
Crane Gross Productivity		30,2	31,9	32,1	31,7				
Max Crane Intensity	3,9								
Servicio por hora Estiba de operación grua	\$ 42.302,2	\$ 2.611.835,1	\$ 2.484.625,1	\$ 2.416.516,5	\$ 2.318.075,1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Servicio por horas tarja de operación grua	\$ 57.298,2	\$ 1.768.861,3	\$ 1.682.708,6	\$ 1.636.582,1	\$ 1.569.912,8	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Operador de Grúa Pórtico/hora	\$ 45.833,3	\$ 1.414.927,7	\$ 1.346.013,4	\$ 1.309.116,4	\$ 1.255.787,0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Operador de Grúa RTG	\$ 33.333,3	\$ 1.543.557,5	\$ 1.468.378,2	\$ 1.428.126,9	\$ 1.369.949,5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Servicio de operación de Equipo Tracto Terminal (TTs) por hora	\$ 37.975,9	\$ 3.517.079,0	\$ 3.345.779,0	\$ 3.254.064,4	\$ 3.121.503,9	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos operación/hora de TT's	\$ 22.117,8	\$ 2.048.402,0	\$ 1.948.634,2	\$ 1.895.218,2	\$ 1.818.012,9	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos operación/hora de las Grúa RTG	\$ 71.318,5	\$ 3.302.524,2	\$ 3.141.674,2	\$ 3.055.554,4	\$ 2.931.080,6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos operación/hora de las Grúa Pórticos	\$ 401.817,7	\$ 6.202.287,4	\$ 5.900.203,8	\$ 5.738.467,1	\$ 5.504.699,8	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Estiba+Tarja Marítima CNTR+Costos Op. de Equipos y Servicio TTs	\$ 84.350.158,4	\$ 22.409.474,3	\$ 21.318.016,5	\$ 20.733.645,9	\$ 19.889.021,7	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -