



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Metodología para estimar la capacidad de una terminal portuaria de contenedores

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO EN

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

Jessica Lilian Aceves Flores

Director de tesis:

M.C. Esteban J. Figueroa Palacios



Año: 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/98/2012

Señorita
JESSICA LILIAN ACEVES FLORES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. I. ESTEBAN FIGUEROA PALACIOS que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE UNA TERMINAL PORTUARIA DE CONTENEDORES"

INTRODUCCIÓN

- I. MARCO TEÓRICO**
- II. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTUARIA**
- III. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 22 de Mayo de 2012
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH

División de Ingenierías Civil y Geomática
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

TESIS LICENCIATURA

TÍTULO: Metodología para estimar la capacidad de una terminal portuaria de contenedores

AUTORA: Jessica Lilian Aceves Flores

DIRECTOR: Esteban J. Figueroa Palacios
Maestro en Ciencias
Ingeniero Civil

SÍNODO

PRESIDENTE: Gustavo Carlos Argil Carriles
Maestro en Ingeniería
Ingeniero Civil

VOCAL: Esteban J. Figueroa Palacios
Maestro en Ciencias
Ingeniero Civil

SECRETARIO: Ernesto René Mendoza Sánchez
Ingeniero Civil

1er SUPLENTE: Marcos Trejo Hernández
Ingeniero Civil

2do SUPLENTE: Sergio Macuil Robles
Maestro en Ingeniería
Ingeniero Civil

Junio, 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por su amor, confianza y apoyo. A mamá, papá, Gaby, Má, Abuelito, María y tíos.

A mi apreciable director de tesis, gracias a su apoyo y comprensión alcancé mi meta.

Gracias Carlos por tus valiosos comentarios.

Agradezco a mis profesores por creer en mí, por transmitirme sus conocimientos, por escucharme, por comprenderme, por enseñarme el camino de la ciencia y por darme las herramientas para soñar.

A mis mentores a lo largo de mi carrera profesional que me han ayudado a poner los pies en la tierra.

A todos mis seres queridos y todas las personas que han puesto un granito de arena en mi formación intelectual, personal y espiritual.

A mi *alma mater*, la grandiosa Universidad Nacional Autónoma de México; a ti te debo mi confianza y mi libertad.

A todos ustedes, todo mi agradecimiento.

Esto es sólo el comienzo...

RESUMEN

La motivación para el desarrollo de este trabajo fue la de proponer una Metodología de evaluación de la capacidad óptima de una terminal portuaria de contenedores, que permita calcular su funcionamiento con base en criterios objetivos, cuantificables y que permitan un seguimiento y evaluación en el tiempo.

En la Introducción del presente documento se explica el contexto de la competitividad en el funcionamiento del sistema portuario.

El Primer Capítulo contiene el marco teórico del funcionamiento de una terminal portuaria; esto para, por un lado, entender la relación existente entre el desarrollo de actividades en el puerto y los actores involucrados y, por otro, destacar la importancia de obtener indicadores de la operación de la terminal que permitan realizar un análisis integral de la operación portuaria, que induzca al planteamiento de estrategias para elevar la eficiencia del transporte internacional.

En el Segundo Capítulo se explica la Metodología propuesta para el cálculo de la capacidad óptima de una terminal portuaria.

Y finalmente, se exponen las conclusiones obtenidas del desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
<i>i. Problemática abordada</i>	<i>5</i>
<i>ii. Hipótesis</i>	<i>10</i>
<i>iii. Objetivos.....</i>	<i>10</i>
I. MARCO TEÓRICO	11
1. <i>Transporte</i>	<i>11</i>
2. <i>Transporte marítimo</i>	<i>14</i>
3. <i>Transporte marítimo en México</i>	<i>18</i>
4. <i>Actividades portuarias</i>	<i>23</i>
5. <i>Evaluación del desempeño de un puerto.....</i>	<i>33</i>
6. <i>Análisis de capacidad de la terminal portuaria.....</i>	<i>36</i>
II. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTUARIA	49
1. <i>Capacidad de Diseño</i>	<i>51</i>
2. <i>Capacidad Deseable</i>	<i>58</i>
3. <i>Análisis de Resultados.....</i>	<i>78</i>
CONCLUSIONES	80
GLOSARIO	83
BIBLIOGRAFÍA	87

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOS 12 PILARES DE LA COMPETITIVIDAD. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INFORMACIÓN DEL <i>WORLD ECONOMIC FORUM</i>	5
FIGURA 2. EVALUACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD, POSICIONES OBTENIDAS POR MÉXICO EN EL PERIODO 1997-2011, ENTRE 142 PAÍSES. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INFORMACIÓN DEL <i>WORLD ECONOMIC FORUM</i>	6
FIGURA 3. COSTOS LOGÍSTICOS COMO PORCENTAJE DEL VALOR TOTAL DE LA PRODUCCIÓN POR PAÍS. TOMADA DEL DOCUMENTO “ <i>LA LOGÍSTICA COMO MOTOR DE LA COMPETITIVIDAD EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE</i> ” DE GUASCH, J.L.	7
FIGURA 4. ESTRUCTURA DE LA CARGA DOMÉSTICA MOVILIZADA POR MODO DE TRANSPORTE (TON-KM). TOMADA DEL DOCUMENTO “ <i>ELEMENTOS PARA MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DEL TRANSPORTE DE CARGA</i> ” DEL INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD.	8
FIGURA 5. REQUERIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO CAUSADO POR LA DIFERENCIA EXISTENTE ENTRE EL PATRÓN DE ARRIBO DE USUARIOS Y EL PATRÓN DE DESALOJO DE USUARIOS DE UNA TERMINAL. ELABORACIÓN PROPIA.	13
FIGURA 6. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO. ELABORACIÓN PROPIA.	14
FIGURA 7. EVOLUCIÓN DE LOS BUQUES CON RESPECTO A SU CAPACIDAD DE TRANSPORTE, CALADO REQUERIDO, ESLORA, MANGA Y TIPO DE TRÁFICO QUE TRANSPORTAN. TOMADA DEL DOCUMENTO “ <i>PROGRAMA MAESTRO DE DESARROLLO DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS 2011-2016</i> ”, API LÁZARO CÁRDENAS S.A. DE C.V.	17
FIGURA 8. MARCO JURÍDICO DEL SISTEMA PORTUARIO NACIONAL. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS.	19
FIGURA 9. SITUACIÓN ACTUAL DEL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTUARIA EN EL SPN. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN OBTENIDA DE LOS PMDPS VIGENTES.	21
FIGURA 10. SITUACIÓN ACTUAL DEL ANÁLISIS DE LA CONGESTIÓN EN EL SPN. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN OBTENIDA DE LOS PMDPS VIGENTES.	21
FIGURA 11. CLASIFICACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DE OPERACIONES DENTRO DE UNA TERMINAL PORTUARIA DE CONTENEDORES. TOMADA DEL DOCUMENTO “ <i>PROGRAMA MAESTRO DE DESARROLLO DEL PUERTO DE GUAYMAS 2011-2016</i> ”, API GUAYMAS S.A. DE C.V.	23
FIGURA 12. EJEMPLO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA ZONA DE FONDEO Y CANAL DE ACCESO A LA TERMINAL PORTUARIA PARA EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS. ELABORACIÓN PROPIA. FOTO TOMADA DEL DOCUMENTO “ <i>PROGRAMA MAESTRO DE DESARROLLO DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS 2011-2016</i> ”, API LÁZARO CÁRDENAS S.A. DE C.V.	24
FIGURA 13. EJEMPLO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS GRÚAS <i>PORTAINER</i> O GRÚAS DE MUELLE PARA EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS. ELABORACIÓN PROPIA. FOTO TOMADA DEL DOCUMENTO “ <i>PROGRAMA MAESTRO DE DESARROLLO DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS 2011-2016</i> ”, API LÁZARO CÁRDENAS S.A. DE C.V.	25
FIGURA 14. ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA PRIMERA MANIOBRA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. ELABORACIÓN PROPIA.	26
FIGURA 15. CAUSAS PRIMORDIALES DE LAS DEMORAS OCURRIDAS DURANTE LA CARGA/DESCARGA DE BUQUES. TOMADA DE LAS <i>BIBLIAS DE OPERACIÓN DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS</i> . API LÁZARO CÁRDENAS S.A. DE C.V.	28
FIGURA 16. IZQUIERDA. TRANSFERENCIA DE LA CARGA DEL MUELLE AL PATIO DE ALMACENAMIENTO, Y DE ESTE HACIA LA ZONA DE ACOPIO PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE. DERECHA. GRÚAS TIPO <i>BOMBCART</i> UTILIZADAS PARA REALIZAR EL TRANSPORTE DE LOS CONTENEDORES DENTRO DE LA TERMINAL PORTUARIA. ELABORACIÓN PROPIA CON FOTOS TOMADAS EN EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS.	28
FIGURA 17. IZQUIERDA. ESTIBA DE CONTENEDORES REALIZADA POR UNA GRÚA TIPO <i>BOMBCART SIDE-HANDLER</i> . DERECHA. GRÚAS DE PÓRTICO TIPO <i>TRASTAINER</i> . ELABORACIÓN PROPIA CON FOTOS TOMADAS EN EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS.....	29
FIGURA 18. ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA SEGUNDA MANIOBRA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. ELABORACIÓN PROPIA.	31

FIGURA 19. IZQUIERDA. RECOLECCIÓN DE UN CONTENEDOR REALIZADO POR UNA GRÚA TIPO <i>BOMBCART TOP-HANDLER</i> . DERECHA. GRÚAS DE PÓRTICO TIPO <i>TRASTAINER</i> . ELABORACIÓN PROPIA CON FOTOS TOMADAS EN EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS.	32
FIGURA 20. ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA TERCERA MANIOBRA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. ELABORACIÓN PROPIA.....	33
FIGURA 21. FACTORES DETERMINANTES DE LA CAPACIDAD PORTUARIA. ELABORACIÓN PROPIA.	37
FIGURA 22. RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE USO DE LA CAPACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE Y LOS TIEMPOS INVERTIDOS POR LOS VEHÍCULOS/USUARIOS POR FASES. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE LA TESIS DE GIL SANTANDER, G. “DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO DE LAS TERMINALES PORTUARIAS”.....	38
FIGURA 23. CAPACIDAD DE LA TERMINAL PORTUARIA BASADA EN LA OBTENCIÓN DE LA CAPACIDAD LIMITANTE DEL SISTEMA DEFINIDO POR LA PRIMERA, SEGUNDA Y TERCERA MANIOBRAS. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DEL LIBRO “OPERACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y PLANEACIÓN PORTUARIAS” DE LÓPEZ GUTIÉRREZ, H.	40
FIGURA 24. ÁREA NECESARIA PARA UNA UNIDAD DE CARGA, TOMADA DEL DOCUMENTO “PROGRAMA MAESTRO DE DESARROLLO PORTUARIO DEL PUERTO DE GUAYMAS 2011-2016”. API GUAYMAS S.A. DE C.V.	45
FIGURA 25. METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE UNA TERMINAL PORTUARIA DE CONTENEDORES PROPUESTA POR LA AUTORA. ELABORACIÓN PROPIA.	48
FIGURA 26. EJEMPLO DE CUADRO RESUMEN DE LAS METAS DE LA CAPACIDAD DESEABLE PARA LA TERMINAL PORTUARIA. ELABORACIÓN PROPIA.	50
FIGURA 27. MÁXIMA OCUPACIÓN DE LA TERMINAL PORTUARIA, RECOMENDADA POR LA UNCTAD, EN FUNCIÓN DE LOS COSTOS DE BUQUE, LOS COSTOS EN MUELLE Y EL NÚMERO DE POSICIONES DE ATRAQUE. TOMADA DEL DOCUMENTO “PORT DEVELOPMENT: A HANDBOOK FOR PLANNERS IN DEVELOPING COUNTRIES” (1985, MARZO). UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT: UNITED NATIONS.....	52
FIGURA 28. TIEMPO DE ESPERA PARA BUQUES ARRIBADOS A LA TERMINAL EN DÍAS, CONSIDERANDO UNA FUNCIÓN EXPONENCIAL PARA LA TASA DE ARRIBOS Y UNA FUNCIÓN <i>ERLANG</i> DE DOS FASES PARA LA TASA DE SERVICIO. TOMADA DEL DOCUMENTO “PORT DEVELOPMENT: A HANDBOOK FOR PLANNERS IN DEVELOPING COUNTRIES” (1985, MARZO). UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT: UNITED NATIONS.....	55
FIGURA 29. TIEMPO DE ESPERA PARA BUQUES ARRIBADOS A LA TERMINAL EN DÍAS, UNA FUNCIÓN <i>ERLANG</i> DE DOS FASES PARA LA TASA DE ARRIBO Y LA TASA DE SERVICIO. TOMADA DEL DOCUMENTO “PORT DEVELOPMENT: A HANDBOOK FOR PLANNERS IN DEVELOPING COUNTRIES” (1985, MARZO). UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT: UNITED NATIONS	56
FIGURA 30. ESTADÍA MEDIA DE UN CONTENEDOR EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO. TOMADA DEL DOCUMENTO “PORT DEVELOPMENT: A HANDBOOK FOR PLANNERS IN DEVELOPING COUNTRIES” (1985, MARZO). UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT: UNITED NATIONS.....	57
FIGURA 31. ÁREA UNITARIA REQUERIDA PARA UNA UNIDAD DE CARGA. TOMADA DEL DOCUMENTO “PORT DEVELOPMENT: A HANDBOOK FOR PLANNERS IN DEVELOPING COUNTRIES” (1985, MARZO). UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT: UNITED NATIONS	58
FIGURA 32. REPRESENTACIÓN DE LOS USUARIOS Y SERVIDORES EN CADA MANIOBRA REALIZADA EN LA TERMINAL PORTUARIA. ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 33. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE LA PRIMERA MANIOBRA, INTEGRADO POR LOS BUQUES ARRIBADOS (USUARIOS) Y LAS POSICIONES DE ATRAQUE EN MUELLE (SERVIDORES). ELABORACIÓN PROPIA.....	62
FIGURA 34. REPRESENTACIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN DE <i>POISSON</i> . ELABORACIÓN PROPIA.	65
FIGURA 35. REPRESENTACIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN <i>ERLANG</i> DE UNA FASE (<i>E1</i>). ELABORACIÓN PROPIA.....	66
FIGURA 36. REPRESENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA CORRELACIÓN, UTILIZANDO UNA REGRESIÓN LINEAL DE LOS VALORES ESTADÍSTICOS EN FUNCIÓN DE LOS VALORES MODELADOS. ELABORACIÓN PROPIA.	67
FIGURA 37. TIEMPOS DE ESPERA EN FUNCIÓN DEL GRADO DE OCUPACIÓN EN UNA TERMINAL DE DOS POSICIONES DE ATRAQUE, OBTENIDOS MEDIANTE EL USO DE TEORÍA DE COLAS. ELABORACIÓN PROPIA.	72

FIGURA 38. COSTOS TOTALES INTEGRADOS POR LOS COSTOS PORTUARIOS Y LOS COSTOS DE BUQUE. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DEL LIBRO “OPERACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y PLANEACIÓN PORTUARIAS” DE LÓPEZ GUTIÉRREZ, H. 73

FIGURA 39. COSTOS DE CARGA POR DÍA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE BUQUE EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD DE TEUS QUE PUEDEN TRANSPORTAR (LÍNEA: COSTO EN \$/TEU/día; BARRA: COSTO EN \$/buque/día). TOMADA DE: “APPLICATION OF QUEUING THEORY TO THE CONTAINER TERMINAL AT ALEXANDRIA SEAPORT”, DE NAGGAR, M.E..... 75

FIGURA 40. DESGLOSE DEL COSTO TOTAL, FORMADO POR LOS COSTOS DEL BUQUE Y LOS COSTOS PORTUARIOS. ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE OPERACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y PLANEACIÓN PORTUARIAS DE LÓPEZ GUTIÉRREZ, H. 76

INTRODUCCIÓN

i. Problemática abordada

La tendencia del incremento de intercambios comerciales internacionales como parte de la globalización, trae como consecuencia un enfoque de búsqueda de mayor eficiencia y de reducción de los costos de los servicios de transporte, de los cuales en gran medida depende la competitividad.

La operación eficiente de la infraestructura está directamente relacionada con el crecimiento sostenido de la economía de un país. El desarrollo de la infraestructura del transporte disminuye el efecto de la distancia existente entre dos regiones, logrando la integración de mercados a nivel nacional y conectándolos a bajos precios con otros mercados internacionales. El desarrollo y operación eficiente de la infraestructura del transporte es un requisito previo indispensable para que las economías en desarrollo ingresen a la etapa de desarrollo de actividades de valor agregado y prestación de servicios.

Cada año el Foro Económico Mundial (*WEF, World Economic Forum*) realiza una evaluación de la competitividad de 142 países, basado en los siguientes doce pilares:



Figura 1. Los 12 pilares de la competitividad. Elaboración propia con base en información del *World Economic Forum*.

El lugar obtenido por México ha decaído continuamente, con excepción del año anterior que subió 8 posiciones, quedándose, sin embargo, aún por debajo del mejor lugar que ha ocupado en este ranking:

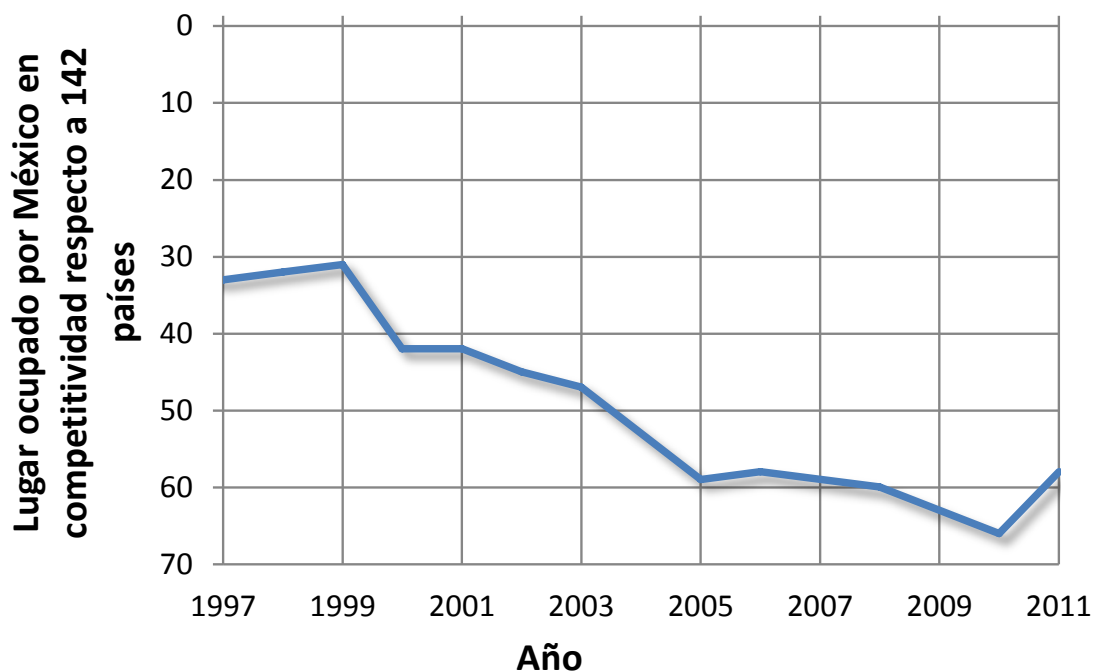


Figura 2. Evaluación de la competitividad, posiciones obtenidas por México en el periodo 1997-2011, entre 142 países. Elaboración propia con base en información del *World Economic Forum*.

De acuerdo con los resultados obtenidos en recientes investigaciones la fiabilidad del tiempo de tránsito o puntualidad es uno de los más importantes indicadores de la competitividad de la infraestructura y los servicios de transporte.

Lograr la fiabilidad del tiempo de tránsito requiere coordinar la operación del transporte intermodal, disminuyendo tiempos de demora para ofrecer *costos eficientes y competitivos a nivel internacional*.

Los costos logísticos en México se encuentran aún lejos de alcanzar la media ofrecida por los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), como se muestra a continuación:

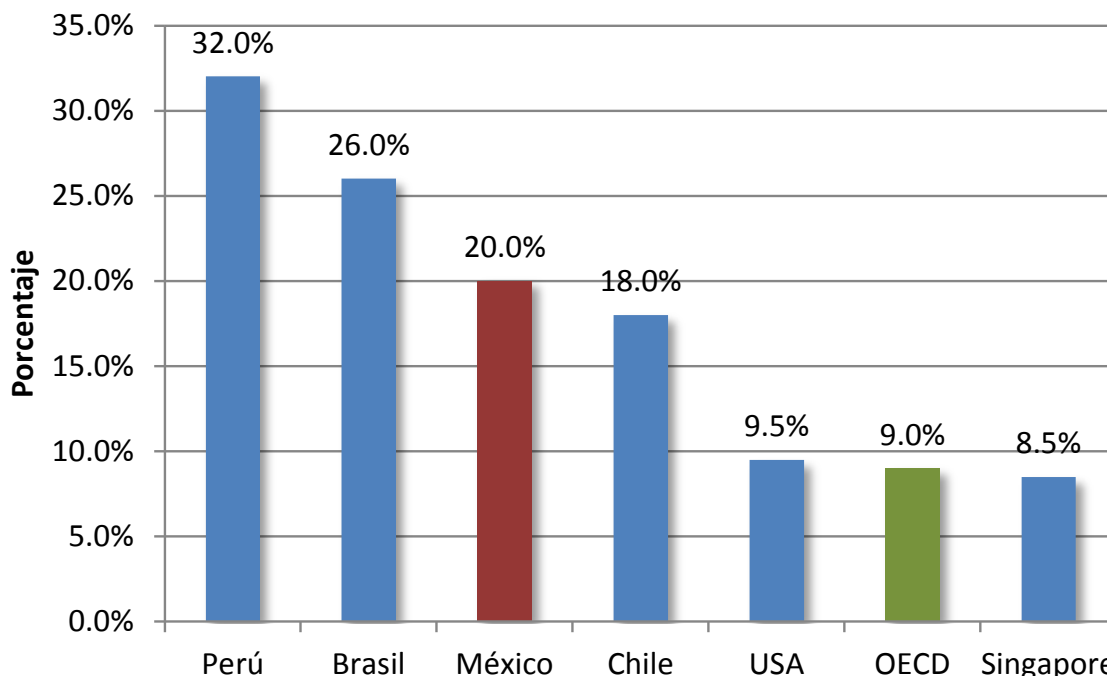


Figura 3. Costos logísticos como porcentaje del valor total de la producción por país. Tomada del documento “La logística como motor de la competitividad en América Latina y el Caribe” de Guasch, J.L.

La disminución de los costos logísticos se traduce en menores costos de los bienes producidos, trayendo como beneficios principales:

- Aumento de la demanda, la producción y el empleo;
- Aumento de los flujos de intercambios comerciales nacionales e internacionales;
- Disminución en los precios de los alimentos, con un impacto positivo en la pobreza y la desnutrición; entre otros.

El transporte multimodal de mercancía internacional en su mayoría integra al transporte marítimo en sus rutas logísticas, en diferentes proporciones. No existe una proporción ideal del uso de los diferentes modos de transporte, sin embargo garantizar la integración eficiente de los cuatro modos de transporte debe buscar su repartición equitativa.

En este último aspecto, el transporte en México muestra una importante área de mejora, al concentrar más del 75% en el autotransporte. En el siguiente gráfico se muestra la repartición modal del transporte en algunos países representativos:

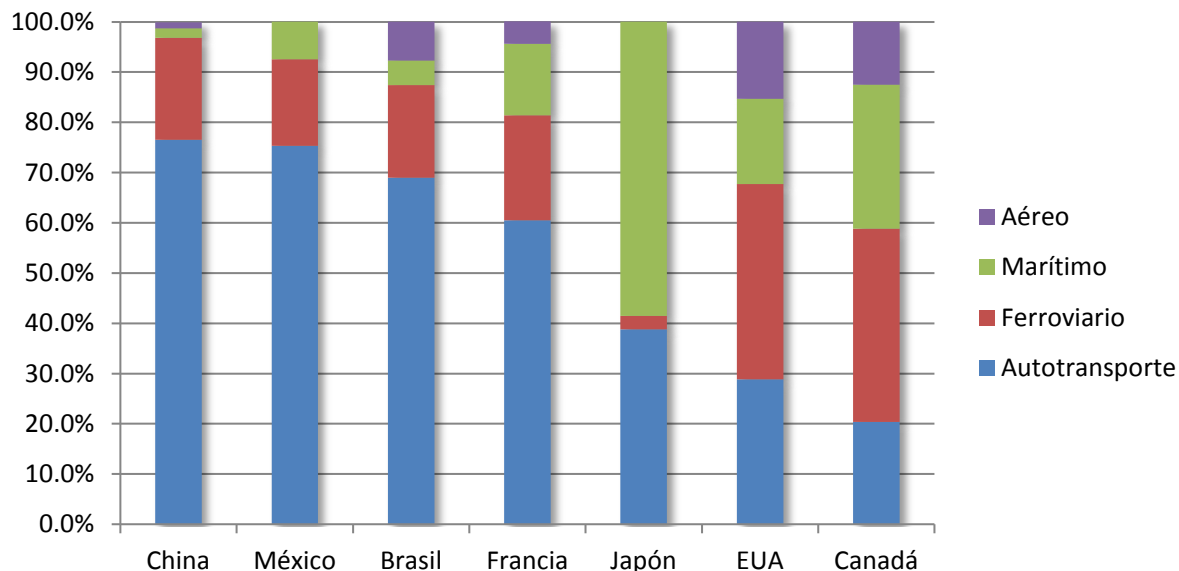


Figura 4. Estructura de la carga doméstica movilizada por modo de transporte (ton-km). Tomada del documento *“Elementos para mejorar la competitividad del Transporte de Carga”* del Instituto Mexicano para la Competitividad.

De acuerdo con la Asociación Mexicana del Transporte Intermodal, las principales necesidades para mejorar el funcionamiento del Sistema Portuario Nacional son¹:

- Incremento de la competitividad de los puertos a partir del desarrollo de análisis logístico y coordinación de los prestadores de servicios;
- Optimización de procesos de inspección y despacho de cargas tanto para importación como para exportación;
- Desarrollo y creación de infraestructura de interconexión de modos de transporte, en particular con el ferrocarril;
- Promover la difusión y el grado de cumplimiento de los Programas Maestros de Desarrollo de los Puertos entre los inversionistas de la región y de la comunidad portuaria en general.

En referencia a la primera necesidad mencionada, como parte del Programa Nacional de Infraestructura 2006-2012 se formuló el Programa Nacional de Desarrollo Portuario 2006-2012, en el que se expresa lo siguiente:

“...El aumento de la competitividad del SPN², de acuerdo a las mejores prácticas internacionales, requiere de mejorar la productividad y eliminar tiempos de espera innecesarios de la segunda y

¹La misión de la Asociación Mexicana del Transporte es: “Fungir como interlocutora ante las autoridades federales, estatales y municipales, para garantizar el desarrollo continuo, ordenado y armonioso del transporte intermodal, mediante el apoyo y la participación de los prestadores de servicio que lo operan”. Las necesidades mencionadas fueron retomadas del documento “Propuestas para la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante” (bibliografía núm. 4)

tercera maniobra por las revisiones y otras causas, así como integrar un sistema nacional de transporte que asegure la conectividad del transporte marítimo y la infraestructura portuaria, con los modos de transporte terrestre.”³

El análisis de la eficiencia de las operaciones realizadas en una terminal portuaria requiere determinar su capacidad de atención como la medida del máximo volumen de tráfico posible de ser atendido a través de la terminal en un periodo fijado para posteriormente evaluar el grado de utilización de las instalaciones y sus áreas de mejora.

La capacidad del puerto es función de:

- Porcentaje de carga de los buques;
- El ritmo de llegada de los buques;
- Tiempo requerido para atracar al buque en el muelle;
- La longitud y calado de los muelles;
- El tiempo ocupado para cargar/descargar la mercancía;
- Porcentaje de la mercancía a la cual se proporcionarán servicios especiales;
- Número de empresas operadoras en la terminal;
- Área de almacenamiento de la mercancía;
- Ritmo de llegada de camiones o trenes para la recepción o desalojo de la mercancía; entre otros factores.

Como se observa, el cálculo de la capacidad de la terminal involucra un gran número de variables, que permitan la elaboración de modelos analíticos que describan el comportamiento de las operaciones llevadas a cabo en la terminal.

Por otro lado, existen métodos empíricos para realizar el cálculo de la capacidad en los cuales sólo se evalúan algunas variables representativas del funcionamiento de la terminal portuaria, mientras que el valor de otras variables es tomado de manuales.

Entonces surge el siguiente cuestionamiento que motiva el desarrollo del presente trabajo:

Si el principal objetivo de una terminal portuaria es permitir el tránsito de mercancías con la mayor certidumbre de tiempo, asegurando reducir demoras, ¿por qué actualmente no existe una metodología con base en la cual se evalúe la capacidad del Sistema Portuario Nacional?

² SPN se refiere al Sistema Portuario Nacional, revisar Glosario.

³ Programa Nacional de Desarrollo Portuario 2007-2012 (2007). Coordinación General de Puertos y Marina Mercante: Dirección General de Puertos

ii. Hipótesis

Actualmente, el cálculo de la capacidad de las terminales portuarias del Sistema Portuario Nacional, se basa en una serie de supuestos poco claros y ajenos a las condiciones reales que se presentan en dichas terminales. Esto conlleva a una visión limitada de su funcionamiento, por lo que resulta indispensable desarrollar y utilizar una metodología analítica que permita implantar acciones que induzcan al óptimo funcionamiento de una terminal.

iii. Objetivos

- Analizar los procedimientos que se ocupan actualmente para realizar el cálculo de la capacidad de las terminales de contenedores del Sistema Portuario Nacional.
- Desarrollar una metodología conceptual para realizar el cálculo de la capacidad de una terminal portuaria de contenedores.
- Describir las ventajas que se obtendrían al utilizar la metodología propuesta, así como las desventajas que se presentan al continuar analizando la capacidad portuaria con los procedimientos actuales.

I. MARCO TEÓRICO

1. Transporte

Históricamente, el transporte ha sido una actividad de gran importancia para satisfacer un elevado número de necesidades de los seres humanos, relacionadas con la movilidad de personas y bienes. En términos de la economía, el objetivo del transporte es unir oferta con demanda, permitiendo su movilidad por medio de infraestructura y vehículos.

Al encontrarse el transporte íntimamente vinculado con el desarrollo de las actividades humanas, su evolución es impulsada por las necesidades emergentes de la sociedad; y recíprocamente, la implementación de tecnologías en el transporte conlleva a la evolución de la organización de la economía.

A lo largo del tiempo, el transporte ha sido estudiado con objeto de proporcionar medios suficientes para su continuo desarrollo, optimizando rutas y minimizando los tiempos de traslado requeridos.

Para lograr lo anterior, el transporte se ha desarrollado imitando los modos en los que se mueven los objetos en la naturaleza, clasificados de la siguiente forma:

- Modo terrestre;
- Modo acuático; y
- Modo aéreo.

Los elementos básicos identificados en todas las formas de transporte son:

- El **objeto del transporte**, pudiendo ser objetos inanimados o animados; y
- La **trayectoria**, la cual se refiere a la vía por la que transita el objeto y los elementos que la conforman (**infraestructura, señalización**, etc.); la trayectoria se define por un **origen** y un **destino**;
- Adicionalmente, algunas formas de transporte involucran el uso de un **vehículo**, que permite la movilidad del objeto en alguna trayectoria cuya infraestructura lo requiera, y que además puede servir como protección del objeto;
- Otro elemento importante introducido en la transportación, es el **contenedor**, el contenedor permite la movilidad de objetos de forma unitaria, lo cual facilita su transferencia intermodal. El contenedor es un dispositivo en el cual se introducen los objetos, éste no cuenta con la capacidad de moverse por sí solo.

Actualmente la forma convencional de *contenerización*⁴ se mide en “TEU⁵” (acrónimo de *Twenty-foot Equivalent Unit*), que es un contenedor con capacidad de carga normalizada de 20 pies, con dimensiones de 6.096 m x 2.438 m x 2.591 m (20 pies x 8 pies x 8.5 pies). La carga máxima que puede soportar en su interior es 21.6 Ton.

El transporte es un sistema en el que cualquier objeto o persona puede acceder a alguna ubicación en un tiempo determinado; este sistema se compone de subsistemas de transporte, cuyo uso combinado se denomina transporte **intermodal o multimodal**⁶.

La necesidad de la interacción de los subsistemas de transporte se debe a dos factores fundamentales:

- En la actualidad no existe un vehículo que pueda recorrer la infraestructura existente en los tres modos de transporte (terrestre, acuático y aéreo);
- Existe una infinidad de combinaciones de orígenes y destinos, las cuales no podrían estar ligadas entre sí por un solo modo de transporte por motivos económicos.

Por tanto, surge la primera distinción de dos componentes de la trayectoria: Un modo de transporte y una intersección de transferencia entre modos de transporte o entre vehículos. Las intersecciones en las que se realiza la transferencia entre vehículos son denominadas **terminales**.

Las terminales pueden ser de gran tamaño como es el caso de las terminales en los puertos; sin embargo, su función no deja de ser la misma que la de una terminal diseñada para que los pasajeros esperen el arribo de un autobús.

La transferencia de objetos entre vehículos podría ser realizada en cualquier punto de la trayectoria, incluso existen países en los se lleva a cabo esa práctica; aunque por lo general se diseñan las terminales por las ventajas que esto implica, ya que se utilizan vehículos y terminales especializados, logrando bajos costos y mejores niveles de servicios para el sistema de transporte de forma integral.

Las terminales además de ser elementos fundamentales del transporte, también son los componentes que tienen mayor probabilidad de presentar congestión y por ende, de reducir la competitividad integral del sistema de transporte.

⁴ Glosario.

⁵ Glosario.

⁶ Glosario.

Dentro de las terminales, por lo general no solo se realiza la actividad de carga/descarga de mercancías, sino que adicionalmente se realizan otras actividades que incrementan la complejidad del análisis de su funcionamiento, entre las que destacan las siguientes:

- El cobro del uso de la infraestructura;
- Determinación de la ruta que seguirá el producto para llegar a su destino;
- Inspección y pesado de la mercancía;
- Determinación de la necesidad de prestar algún servicio adicional; y
- Preparación de documentación requerida para garantizar que el producto llegue a su destino final, entre otras.

Ya que resulta prácticamente imposible lograr que la mercancía trasladada llegue a la terminal con la misma tasa de arribo⁷ que la tasa con la que puede ser desalojada, la terminal debe incluir espacios de almacenamiento.

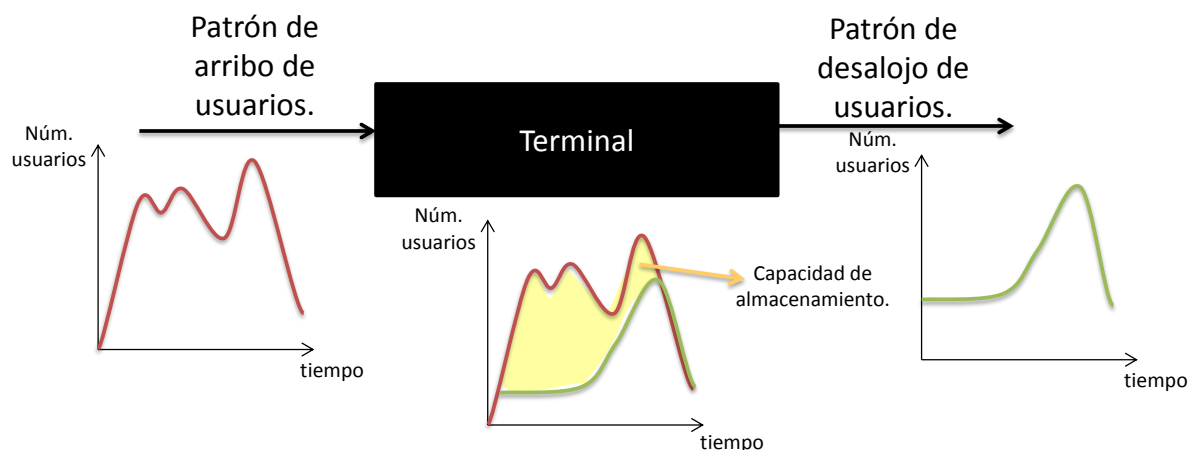


Figura 5. Requerimiento de la capacidad de almacenamiento causado por la diferencia existente entre el patrón de arribo de usuarios y el patrón de desalojo de usuarios de una terminal. Elaboración propia.

Cada operación ejecutada dentro de la terminal involucra el movimiento de personal, maquinaria y volúmenes significativos de mercancía, por lo que es esencial que el funcionamiento de las terminales permita el flujo continuo de los objetos, su acomodo y enrutamiento final. Para garantizar que dicha situación se presente en todo momento, se diseñan las *Reglas de Operación*⁸ para cada puerto, cuyo objetivo es coordinar las operaciones en la terminal.

⁷ Glosario.

⁸ Glosario.

2. Transporte marítimo

Este trabajo se enfoca en el análisis de la capacidad de las terminales portuarias cuyo objeto es transferir los contenedores del vehículo del transporte marítimo (buque, barcasas, etc.) a un vehículo de transporte terrestre (ferrocarril o autotransporte), en casos raros aéreo o marítimo (operaciones de transbordo).

Como se ha descrito anteriormente, el transporte intermodal se refiere a aquel en que se ocupa más de un modo de transporte para lograr mover un objeto de su origen a su destino deseado.

El modo de transporte marítimo forma parte de las opciones disponibles para realizar el transporte intermodal. Pudiendo ser ocupado dentro de cadenas logísticas nacionales, llamado cabotaje o internacionales, llamado transporte de altura.

El subsistema del transporte marítimo se compone de los siguientes elementos:

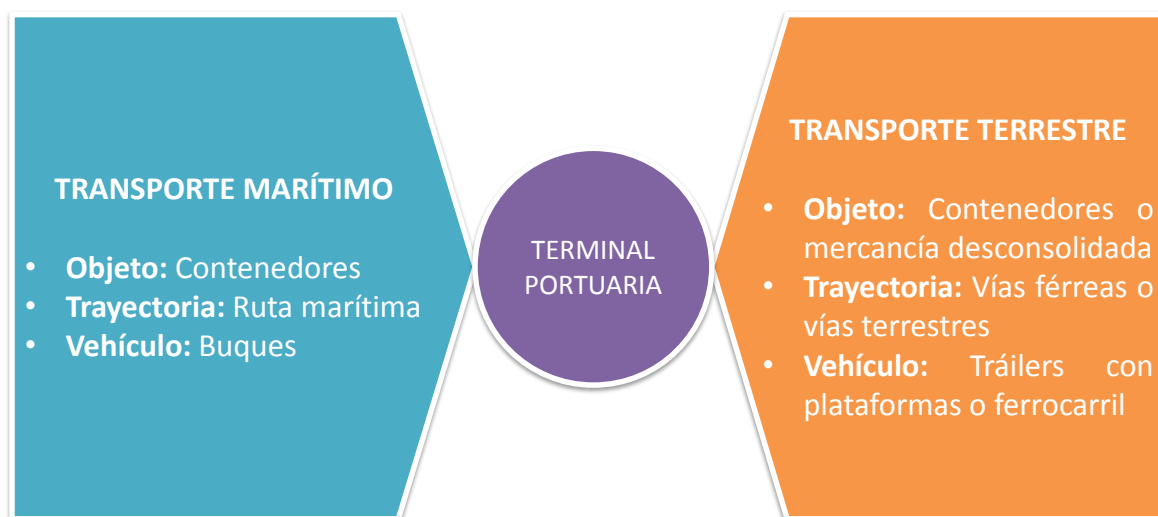


Figura 6. Funcionamiento básico del transporte marítimo. Elaboración propia.

El transporte marítimo tiene como origen y destino una terminal portuaria, la cual es elegida tomando en consideración las siguientes características:

- Localización geográfica;
- Características oceanográficas y meteorológicas;
- Características de accesibilidad;
- Nivel de especialización de la terminal en tierra;
- Eficiencia en la prestación de servicios;
- Capacidad de patios de almacenamiento;
- Capacidad de transferencia intermodal;
- Disponibilidad de infraestructura de transporte terrestre (carretero y ferroviario);

- Área de influencia;
- Eficiencia de la terminal portuaria;
- Eficiencia de la ruta logística integral; y
- Costos totales; entre otras.

La terminal portuaria es en sí, otro sistema formado por un muelle de atraque, sobre el que operan grúas y otros equipos; dispone de áreas de almacenamiento y áreas para realizar la recepción/desalojo de la mercancía manejada, así como áreas adicionales operativas y administrativas.

Además de los servicios provistos en la terminal portuaria, donde se produce la carga/descarga de mercancías, los usuarios de un puerto emplean la infraestructura portuaria de uso común, tales como:

- Acceso marítimo (diques de protección, dársenas, canales de acceso, señalamiento marítimo, estructuras de atraque);
- Accesos terrestres (infraestructura ferroviaria, infraestructura para el transporte carretero);
- Servicios a los buques (pilotaje, remolque, avituallamiento, reparaciones, etc.).

La organización portuaria internacional ha evolucionado con el contexto de globalización. La tendencia es la estandarización de procesos que permitan incrementar eficiencias, disminuir costos, especializar el funcionamiento del transporte y desarrollar mercados de escala.

En lo concerniente a las terminales portuarias, con el paso del tiempo se ha venido estableciendo la organización de puertos concentradores y alimentadores⁹ (término que originalmente se conoció como organización de puertos tipo *hub and spoke*, haciendo alusión a una llanta de bicicleta, donde los rayos son independientes entre sí, pero todos se conectan a un eje).

Cabe señalar que esta organización se encuentra estrechamente relacionada con la introducción del contenedor en el transporte internacional de carga. El contenedor puede ser movido indistintamente por un buque, un camión o un ferrocarril, eliminando lo que algunos autores han llamado *ruptura de carga*¹⁰ en terminales portuarias, es decir, el manejo continuo de los contenedores sin manipular la mercancía contenida en cada contenedor, permitiendo integrar eficientemente extensas redes de transporte intermodal.

Esta situación hace que el término tradicional “*hinterland*¹¹”, que hace referencia al área de influencia del puerto, resulte obsoleto, surgiendo el concepto de “*hinterland ampliado*¹²”, de

⁹ Glosario.

¹⁰ Glosario.

¹¹ Glosario.

modo que el *hinterland* ampliado de una terminal portuaria, puede encontrarse en cualquier parte del mundo, siempre que el estado de la infraestructura de su conectividad intermodal se lo permita.

Tradicionalmente, el mercado que una terminal portuaria podía captar, se limitaba a un entorno regional; mientras que en la actualidad existen tres formas por medio de las que se puede captar demanda en una terminal portuaria, en función de su conectividad intermodal y la magnitud de los mercados vinculados al puerto y su ritmo de crecimiento:

- Demanda proveniente del mercado local y regional (perteneciente al *hinterland* tradicional);
- Demanda proveniente del mercado nacional o internacional (perteneciente al *hinterland* ampliado); y
- Demanda de transbordos, donde la terminal portuaria no es ni origen ni destino, sólo es un punto de la cadena logística, que incluso sin estar relacionado con la demanda, debido a la capacidad de la infraestructura, se realiza la actividad de transbordo de barcos de menores dimensiones a otros de mayores dimensiones.

En función de la composición de la demanda que se atienda en la terminal, el puerto se integra en el sistema portuario internacional como un *puerto alimentador* de buques de dimensiones menores o como un *puerto concentrador* a nivel regional o internacional.

Lo antes descrito es la causa de la necesidad de garantizar la eficiencia en las operaciones portuarias y en su funcionamiento e integración en cadenas de transporte intermodal.

Mantener estadísticas que permitan la formación de matrices origen–destino es fundamental para conocer el comportamiento de las redes logísticas y la tendencia de la conformación de puertos concentradores.

El sistema de transporte de carga contenerizada es una opción desarrollada para el manejo de carga con mayor eficiencia, por lo que, del mismo modo, todas las operaciones involucradas en el manejo de este tipo de carga, deben ser congruentes con el nivel de eficiencia que se busca.

El desarrollo de *mercados de escala*¹³ es otro aspecto motivado por la conformación de puertos concentradores y alimentadores, el cual busca transportar la mayor cantidad de mercancía en un solo viaje de buque.

Lo anterior, ha llevado al desarrollo de buques de cada vez mayores dimensiones, los cuales son utilizados entre puertos concentradores, mientras que los de menores dimensiones son los

¹² Glosario.

¹³ Glosario.

“Metodología para estimar la capacidad de una terminal portuaria de contenedores.”

utilizados para realizar transbordos entre puertos alimentadores. En la siguiente tabla se muestran las dimensiones que pueden tener los buques portacontenedores:

CLASIFICACIÓN	CAPACIDAD (TEU ^{14s})	CAPACIDAD DE DESPLAZAMIENTO (TON)	CALADO ¹⁵ REQUERIDO (m)	ESLORA ¹⁶ (m)	MANGA ¹⁷ (m)	% DE LA FLOTA MUNDIAL	TIPO DE PUERTO	TIPO DE TRÁFICO
HANDYSIZE	Hasta 800	15,000 - 35,000	8	109 - 133	21	34%	Pequeño o mediano	Baja Intensidad
	801 - 2,500		10	230	32	37%		
SUPRAMAX	2,501 - 4,000	45,000 - 59,000	10	230	32	19%	Pequeño o mediano	Interoceánico Asia - América, Asia – Europa
PANAMAX	4,001 - 5,000	60,000 - 80,000	12	270	38	10%	Grandes	Interoceánico Asia - América, Asia – Europa
CAPEXSIZE	5,001 - 8,000	100,000	15	255	38	10%	Grandes	Interoceánico Asia - América, Asia – Europa
SUPER POST PANAMAX	8,001 - 14,000	150,000	16 a 18	400	ND	10%	Mega Puertos	Interoceánico Asia - América, Asia – Europa
PLUS	14,001 - 22,000	200,000	18 o más	450	60	10%	Mega Puertos	Interoceánico Asia - América, Asia – Europa

Figura 7. Evolución de los buques con respecto a su capacidad de transporte, calado requerido, eslora, manga y tipo de tráfico que transportan. Tomada del documento “Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Lázaro Cárdenas 2011-2016”, API Lázaro Cárdenas S.A. de C.V.

Los buques de contenedores son más costosos que otro tipo de embarcaciones, y su costo se incrementa al aumentar sus dimensiones, lo cual es otra razón fundamental para buscar altos estándares de productividad en su operación portuaria, evitando demoras en su tránsito ya que de otra forma los costos resultarían muy elevados y por tanto no costeados.

Además es necesario garantizar la mejora continua de la infraestructura de una terminal portuaria, en relación con el ritmo de evolución de los buques, que permita dar atención eficiente a los usuarios, la rápida generación de información relacionada con el origen y destino de las cargas transportadas y la eliminación gradual de las barreras aduanales.

¹⁴ Glosario.

¹⁵ Glosario.

¹⁶ Glosario.

¹⁷ Glosario.

Por todo lo anterior es fundamental tener en cuenta que el manejo de carga contenerizada continuará teniendo una gran relevancia en el intercambio comercial internacional, por lo que la adaptación del sistema de transporte en cada país debe desarrollarse en el contexto de eficiencia y la más alta productividad intermodal.

3. Transporte marítimo en México

Históricamente, la organización de la economía mexicana no ha estado vinculada al desarrollo portuario, lo cual ha provocado un déficit en cuanto a la formulación de metodologías nacionales que con el desarrollo de la tecnología induzcan a la eficiencia portuaria y cobren importancia en el desarrollo de la economía.

Consecuentemente, hasta hace una década tanto la comunidad portuaria como los ciudadanos vieron a los puertos solo como infraestructura y no como negocios y catalizadores de la productividad del país.

La competitividad de un puerto está directamente relacionada con su integración en el sistema de transporte, su oferta de infraestructura y servicios que motiven el desarrollo de economías de escala.

A diferencia de otros países con tradición portuaria, el entendimiento de estos conceptos es relativamente reciente en México, y la organización planificada del Sistema Portuario Nacional se alineó con la visión internacional de las cadenas de transporte en el año de 1993, cuando se inició el proceso de privatización de puertos, que permitió la intervención del sector privado en el desarrollo de negocios portuarios.

Antes de 1993, existía un rezago en el manejo portuario que afectaba la economía de México, caracterizado por:

- Estándares de calidad inferiores a los internacionales;
- Administración centralizada de los puertos;
- Prestación de servicios monopolizada;
- Rezagos en infraestructura y equipamiento;
- Inexistencia de instalaciones privadas; y
- Política tarifaria centralizada; entre otras.

Desde 1993 se restringió la participación del Estado en el desarrollo de los puertos nacionales, reservando su actuación a favorecer el contexto adecuado para incrementar la competitividad del SPN¹⁸.

¹⁸ Glosario.

De esta forma, el Estado mantiene la función de establecer el marco normativo, supervisar y estimular la participación de la inversión privada para el desarrollo de infraestructura especializada y la prestación de servicios portuarios.

En el siguiente diagrama se muestra el marco jurídico del Sistema Portuario Nacional actual:

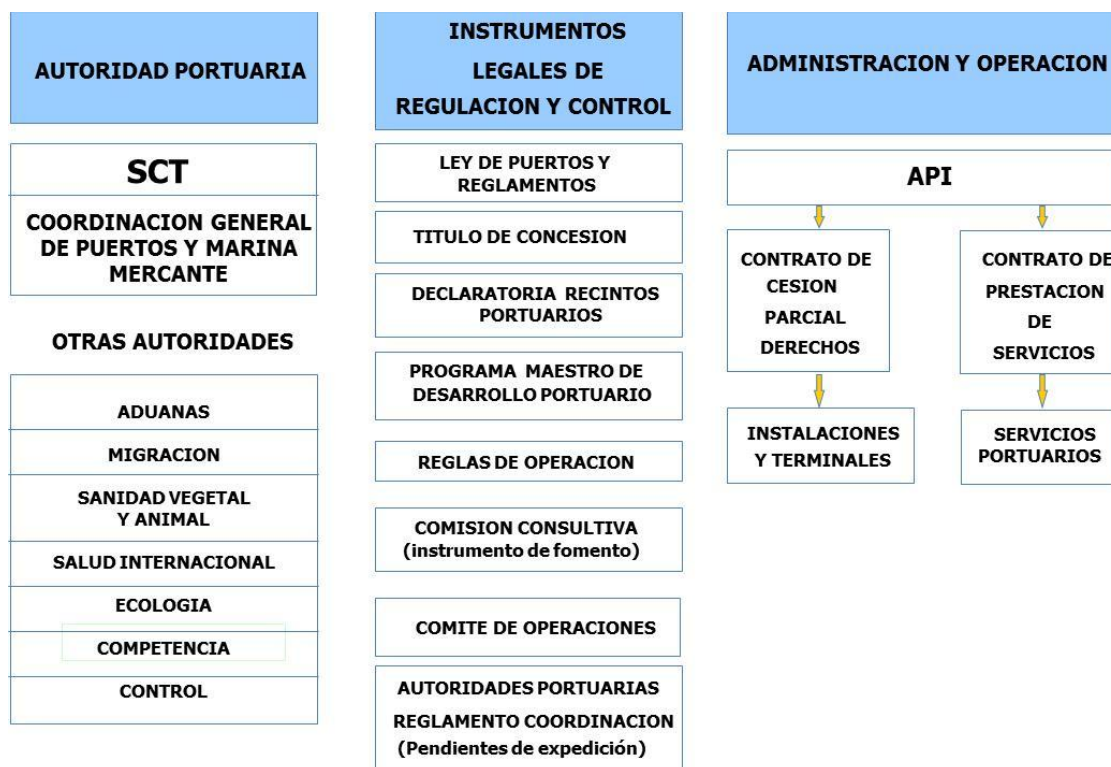


Figura 8. Marco jurídico del Sistema Portuario Nacional. Elaboración propia con información de la Dirección General de Puertos.

De lo anterior, se comentará en el presente documento sobre los instrumentos legales de regulación y control así como los documentos que definen la administración y operación de la infraestructura portuaria.

El funcionamiento de cualquier puerto nacional se encuentra regulado por la Ley de Puertos y su Reglamento, en donde se establece que la administración y operación de los puertos se concesiona a las Administraciones Portuarias Integrales (APIs). Cada API obtiene la concesión por medio de un Título de Concesión en el que se establecen los límites del recinto portuario concesionado.

De acuerdo con la Ley de Puertos, es obligación de cada API desarrollar el Programa Maestro de Desarrollo Portuario¹⁹ (PMDP) y las Reglas de Operación²⁰, como se explica a continuación:

¹⁹ Glosario.

El Programa Maestro de Desarrollo Portuario se actualiza cada cinco años y debe contener: *“...Los usos, destinos y modos de operación previstos para las diferentes zonas del puerto o grupos de ellos, así como la justificación de los mismos, y las medidas y previsiones necesarias para garantizar una eficiente explotación de los espacios portuarios, su desarrollo futuro y su conexión con los sistemas generales de transporte.”*

Las Reglas de Operación deben contener por lo menos lo siguiente: *“Las condiciones en materia de construcción, explotación y operación para asegurar que la ejecución de las obras no afectará la continuidad y la eficiente operación del puerto; las actividades de los prestadores de servicios portuarios; las de los cesionarios parciales y las de los usuarios, sin perjuicio de las establecidas en forma particular en el presente Reglamento y demás disposiciones aplicables...”*, entre otros requerimientos que pueden ser consultados en la Ley de Puertos.²¹

Es por esto que el PMDP incluye el cálculo de la capacidad de las terminales existentes en el recinto portuario; con objeto de garantizar la correcta explotación de la infraestructura y planificar el desarrollo futuro del puerto. Y en las Reglas de Operación se establecen estándares de productividad para las maniobras portuarias.

Por otro lado, por lo general la habilitación de terminales especializadas es cesionada por la API por medio de Contratos de Cesión Parcial de Derechos, documento en el cual se estipulan los derechos y obligaciones tanto de la API como del cesionarios, por lo general la cesión parcial de derechos incluye la habilitación, explotación, operación, conservación y mantenimiento de un área de tierra y agua dentro del recinto portuario; por lo que en el contrato también se han de establecer estándares de productividad con los que se garantice la eficiencia de las operaciones portuarias.

La Dirección General de Puertos toma estadísticas del movimiento de carga de 39 puertos del Sistema Portuario Nacional, de entre dichos puertos, se revisaron los PMDPs vigentes, en los que se encontró lo siguiente:

- Para el 47% de los puertos de SPN no se conoce la capacidad portuaria ya sea por la inexistencia del cálculo de la capacidad o debido a que el PMDP vigente no se encuentra disponible para consulta;
- Para el 33% de los puertos, se mencionan valores de capacidad de las terminales, pero no se explica la metodología utilizada para su obtención;

²⁰ Glosario.

²¹ Ley de Puertos (1993, Julio 19). Publicado en el Diario Oficial de la Federación

Situación actual del cálculo de la capacidad portuaria en el SPN

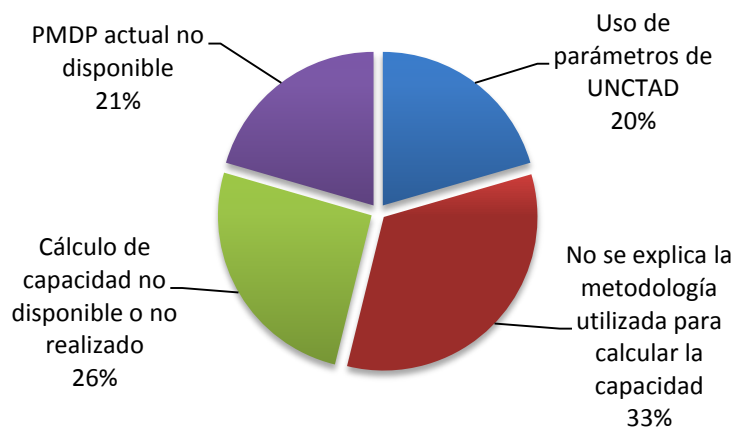


Figura 9. Situación actual del cálculo de la capacidad portuaria en el SPN. Elaboración propia con información obtenida de los PMDPs vigentes.

Situación actual del análisis de la congestión en el SPN

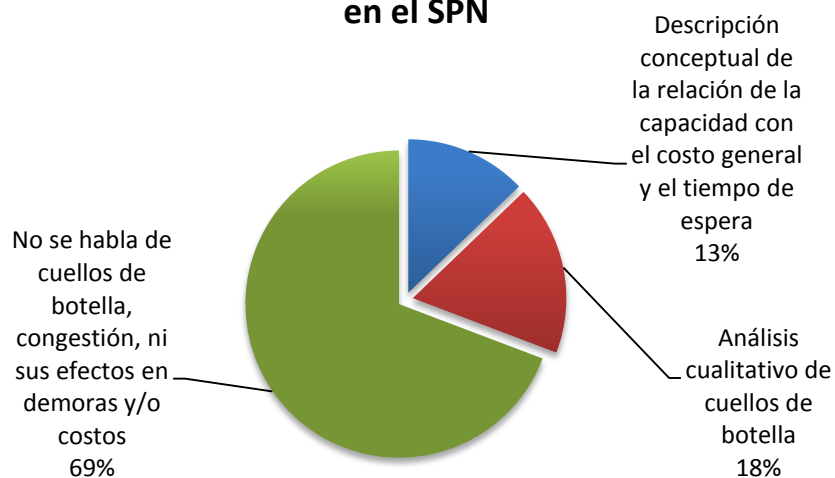


Figura 10. Situación actual del análisis de la congestión en el SPN. Elaboración propia con información obtenida de los PMDPs vigentes.

- Para el 20% restante, la metodología utilizada para realizar el cálculo de la capacidad se basa en la metodología propuesta por la UNCTAD²², en 1985;

²² Glosario.

- En el 69% de los casos no se habla de la relación existente entre la capacidad de la infraestructura y la demanda atendida como son los *cuellos de botella*²³, tiempos de espera e incremento de costos generales;
- Para ningún puerto se utilizó una metodología que permitiera realizar un análisis logístico para identificar la eficiencia de las operaciones portuarias y del transporte intermodal.

En las Reglas de Operación y Contratos de Cesión Parcial de derechos disponibles, se encontró lo siguiente:

- Dentro de las Reglas de Operación, se encuentran establecidos los estándares de productividad, basados en tres indicadores (rendimientos en puerto, rendimientos en muelle, rendimientos de la operación de carga/descarga del buque), los cuales son útiles para tener una idea a gran escala de la eficiencia de atención a buques, sin embargo, resultan insuficientes para realizar una inspección exhaustiva del nivel de servicio integral de la terminal portuaria.
- Los Contratos de Cesión Parcial de derechos no incluyen estándares que indiquen las obligaciones específicas de los cesionarios para garantizar la eficiencia de las operaciones portuarias.

Los documentos previamente analizados son los recursos mediante los cuales se debe garantizar la operación eficiente de las terminales portuarias, cuyo contenido en el tema operativo es abordado a un nivel no satisfactorio, lo que genera las siguientes consecuencias:

- Desconocimiento del nivel de servicio brindado en la terminal;
- Realización de inversiones para el desarrollo del sistema portuario inoportunas e ineficientes;
- Mal control operacional, lo que deriva en bajos niveles de competitividad de las terminales portuarias;
- Imposibilidad de realizar evaluaciones operacionales con las que se pueda identificar cuellos de botella o malas prácticas operacionales para su corrección;
- Desconocimiento de la eficiencia de las Reglas de Operación, entre otras.

Por lo anteriormente comentado, en la presente disertación se desarrolla una metodología integral para realizar el cálculo de la capacidad de una terminal portuaria desde un punto de vista ingenieril.

²³ Glosario.

4. Actividades portuarias

El área existente en una terminal portuaria de contenedores, debe ser suficiente para el desarrollo de las actividades en muelle, el almacenaje de contenedores y áreas adyacentes incluyendo vialidades, vías férreas, estaciones de carga, estacionamiento de vehículos, talleres de mantenimiento y edificios administrativos, en relación con un tráfico estimado hacia cierto horizonte de planeación que resulte rentable.

Las actividades realizadas en el puerto para completar la transferencia de la mercancía de un transporte marítimo a un transporte terrestre se pueden clasificar en tres maniobras.

- a. Primera maniobra – descarga/carga de mercancía en buques;
- b. Segunda maniobra – almacenamiento de mercancía; y
- c. Tercera maniobra – desalojo/recepción de mercancía.

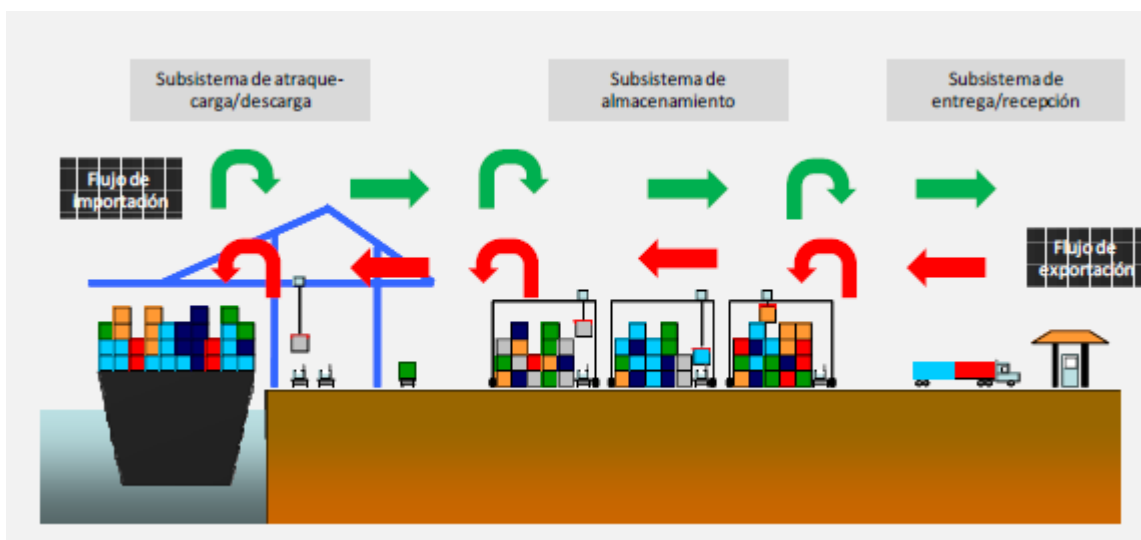


Figura 11. Clasificación de los subsistemas de operaciones dentro de una terminal portuaria de contenedores. Tomada del documento “Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Guaymas 2011-2016”, API Guaymas S.A. de C.V.

La complejidad de las operaciones en la terminal está en función de las actividades realizadas en cada maniobra, como pueden ser los servicios logísticos adicionales a la carga para incrementar el valor agregado de la mercancía.

Como se comentó, la organización más eficiente de una terminal portuaria de contenedores no considera la prestación de servicios adicionales al movimiento de los contenedores del buque a la terminal, de la terminal al patio de almacenamiento y del patio de almacenamiento al vehículo en que será desalojado el contenedor del puerto.

Los principales cuellos de botella que se pueden presentar en una terminal portuaria son:

- En la entrada al muelle;
- Del muelle al patio de almacenamiento;
- Del patio de almacenamiento al vehículo del transporte terrestre; y
- A la entrada de la aduana.

La capacidad integral de una terminal portuaria, se define como la menor de las capacidades de las maniobras definidas previamente (primera, segunda y tercera maniobras).

Primera maniobra – descarga/carga de mercancía en buques

En la primera maniobra se realizan todas las operaciones requeridas para cargar y descargar mercancía entre el buque y el muelle de la terminal portuaria. La capacidad en esta maniobra depende del número de posiciones de atraque disponibles para recibir la embarcación, el equipo portuario y del esquema operativo de la terminal.



Figura 12. Ejemplo de la distribución de la zona de fondeo y canal de acceso a la terminal portuaria para el Puerto de Lázaro Cárdenas. Elaboración propia. Foto tomada del documento “Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Lázaro Cárdenas 2011-2016”, API Lázaro Cárdenas S.A. de C.V.



Figura 13. Ejemplo de la distribución de las grúas *portainer*²⁴ o grúas de muelle para el Puerto de Lázaro Cárdenas. Elaboración propia. Foto tomada del documento *“Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Lázaro Cárdenas 2011-2016”*, API Lázaro Cárdenas S.A. de C.V.

Como se puede observar en el siguiente diagrama de las actividades realizadas durante la primera maniobra en función del tiempo, previo al atraque de los buques se encuentran los tiempos de fondeo y tiempos de espera. El mayor interés de las navieras es que estos tiempos tiendan a cero.

Un buque requiere esperar en la zona de fondeo si al arribar al puerto, no se encuentra disponible una posición de atraque de la terminal que lo atenderá, a este tiempo se le llama tiempo de fondeo.

El tiempo de espera se mide desde el momento en que el buque llega al puerto hasta que este es atracado en el muelle. Dentro de este periodo se realizan las siguientes operaciones:

- Tiempo de fondeo en la zona de fondeo;
- Pilotaje del buque en el canal de acceso;
- Remolque del buque hacia la posición de atraque; y
- Atraque del buque al muelle.

²⁴ Glosario.

Actividades realizadas en la primera maniobra

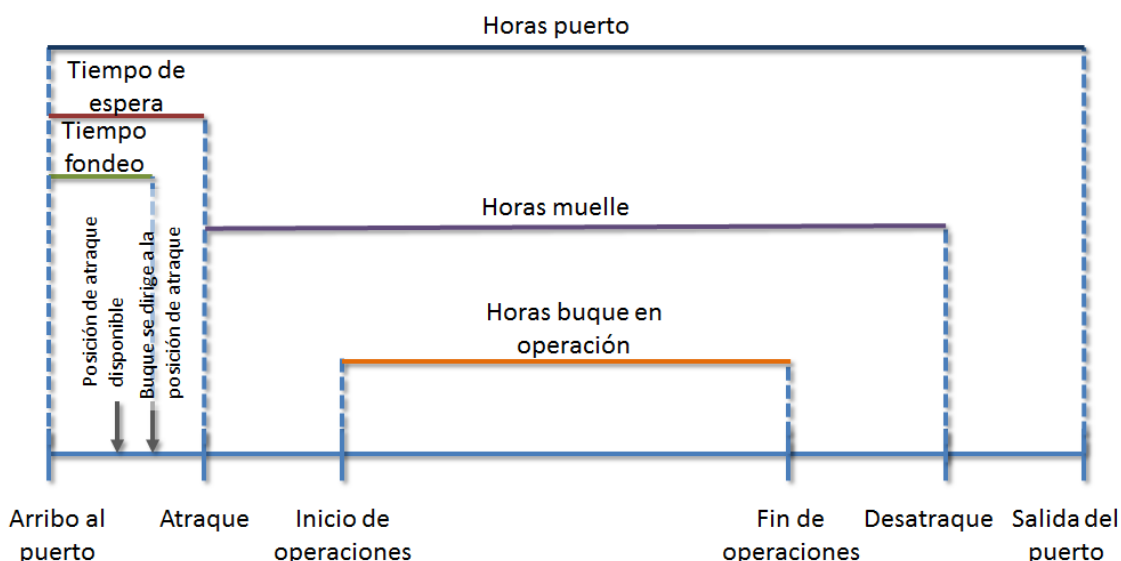


Figura 14. Actividades realizadas en la primera maniobra en función del tiempo. Elaboración propia.

Según investigaciones realizadas por la Administración Portuaria del Puerto de Guaymas, presentadas en su Programa Maestro de Desarrollo Portuario 2011 – 2016, las líneas navieras consideran aceptable que una espera de 2 a 3 horas como máximo es normal, tomando en consideración el tiempo requerido para realizar el pilotaje y remolque y un grado aceptable de saturación de una terminal.

Las horas en puerto comprenden el periodo total que el buque pasa en el puerto desde su arribo hasta su partida.

Las horas en muelle representan el tiempo total que el buque permanece atracado al muelle, dentro de ese lapso se encuentran las horas en operación, que es el tiempo total que el buque es atendido por los equipos provistos para realizar la carga/descarga de mercancía. La diferencia entre horas en operación y horas en muelle representa el tiempo que transcurre desde que el buque fue atracado hasta que la grúa comienza a operar, y desde que la grúa deja de operar hasta que el buque es desatraqueado. Esta diferencia representa demoras que pueden encontrarse asociadas al tiempo que tarda la operadora de la terminal en colocar la grúa en posición para operar, o a la falta de disponibilidad de las mismas.

Durante la operación de los buques por las grúas también pueden generarse demoras, que de acuerdo con la clasificación realizada por las APIs, algunas son imputables a la empresa

“Metodología para estimar la capacidad de una terminal portuaria de contenedores.”

maniobrista o terminal, las cuales pueden ser corregidas y otras no imputables a ellas, por lo que su ocurrencia no puede ser evitada.

A continuación se muestra una lista de las causas primordiales de las demoras ocurridas durante la carga/descarga de buques:

Descripción	Imputables a la maniobrista o terminal	No imputables a la terminal
PREPARACIÓN DE MANIOBRAS		
Limpieza de muelle en áreas de operación	X	
Ajuste de posición de lonas de protección a un costado del buque	X	
Suministro de combustible a maquinaria	X	
Revisado y ajuste del funcionamiento de equipo o maquinaria	X	
Trinca/Destrinca	X	
Abrir/Cerrar bodegas		X
CAMBIO DE TURNO DE ESTIBADORES	X	
MOVIMIENTO DE MAQUINARIA	X	
De patio al buque y viceversa	X	
FALLA DE MAQUINARIA	X	
Fallas de equipo de muelle (grúas de muelle, transportadores)	X	
Fallas de equipo del buque (grúas, tapas de escotillas o entrepuentes)		X
Atascamientos de bandas por humedad en el material.		X
Fallas de maquinaria (todo tipo de maquinaria propia o rentada)	X	
Fallas de equipo (todo tipo de equipo propio o rentado Tolvas, Almejas)	X	
FENÓMENOS NATURALES		X
Sismos		X
Lluvia o Llovizna		X
Fuertes vientos		X
FALTA DE EQUIPO Y CARGA		X
Falta de equipo de transporte (auto transporte o ferrocarril)		X
Falta de carga, apilamiento de carga en bodegas (esperando carga)		X
Bloqueos en patios de ferrocarril o en áreas asignadas a la operación del buque que no sean imputables a la operadora		X
Espera Preestiba / Plan de operación		X
CONFLICTOS LABORALES		X

Descripción	Imputables a la maniobrista o terminal	No imputables a la terminal
Conflictos sociales ajenos a las terminales		X
TRÁMITES DE AUTORIDADES		X
INSPECCIONES, FONDEOS Y ENMIENDAS		X
Periodos no trabajados por indicaciones del Cliente o Recibidor de la carga		X
Cambios de muelle o enmienda del buque (por instrucciones de la autoridad portuaria por condiciones del cliente o recibidor de la carga)		X
Fondeo		X
DÍAS FESTIVOS		X

Figura 15. Causas primordiales de las demoras ocurridas durante la carga/descarga de buques. Tomada de las *Biblias de Operación del Puerto de Lázaro Cárdenas*. API Lázaro Cárdenas S.A. de C.V.

Segunda maniobra – almacenamiento de contenedores

Se refiere al almacenamiento temporal de la carga, en tanto se completa la gestión para la salida de la mercancía del puerto. Depende principalmente del tiempo de estadía de la mercancía en el patio de almacenamiento y de las condiciones geométricas y operativas de la misma.

La capacidad de almacenamiento condiciona a la capacidad de la primera maniobra, así como la capacidad de almacenamiento se encuentra condicionada por la capacidad de desalojo/recepción de mercancía (tercera maniobra).



Figura 16. IZQUIERDA. Transferencia de la carga del muelle al patio de almacenamiento, y de este hacia la zona de acopio para el transporte terrestre. DERECHA. Grúas tipo *Bombcart*²⁵ utilizadas para realizar el transporte de los contenedores dentro de la terminal portuaria. Elaboración propia con fotos tomadas en el Puerto de Lázaro Cárdenas.

²⁵ Glosario.

Las principales terminales especializadas de contenedores en los puertos mexicanos tienen sistemas automatizados para optimizar sus operaciones internas; no obstante, el vínculo con los actores “externos” (agentes aduanales, agentes logísticos, transportistas, autoridades, etc.) no está automatizado y funciona en muchos casos a base de sistemas convencionales que incluyen el desplazamiento físico para realizar trámites, entregar documentación y hacer pagos, entre otros.



Figura 17. IZQUIERDA. Estiba de contenedores realizada por una grúa tipo *Bombcart side-handler*. DERECHA. Grúas de pórtico tipo *trastainer*²⁶. Elaboración propia con fotos tomadas en el Puerto de Lázaro Cárdenas.

Es en esta etapa en la que se realiza el mayor número de maniobras, así como la etapa donde ocurre la mayor proporción del tiempo que pasa un contenedor en la terminal portuaria.

El objetivo de esta maniobra es retirar los contenedores del muelle y transportarlos hacia la zona de desalojo, para ser cargado a ferrocarriles o camiones de carga; sin embargo, esto se realiza en diferentes etapas, como se describe a continuación:

- Muelle – vehículo terrestre dirigido hacia el destino final de la mercancía
Esta estructura requiere que el vehículo en el que será desalojado el contenedor tenga acceso al muelle. Así se descarga el contenedor del buque y se coloca sobre el vehículo en muelle; una vez que éste ha sido cargado en su totalidad, parte hacia su destino final.

El inconveniente de este tipo de maniobra es que comúnmente el agente responsable de la operación de la terminal no tiene control sobre la disponibilidad de vehículos de transporte terrestre, por lo que si éstos llegaran a retrasarse, se provocarían tiempos de

²⁶ Glosario.

espera de buques no costeables. Así que esta estructura requiere una óptima coordinación entre la carga/descarga de buques y la disponibilidad de vehículos terrestres.

- Muelle – patio de almacenamiento – patio de transferencia intermodal (CFS²⁷, *Container Freight Station*, por sus siglas en inglés)

En esta estructura los únicos vehículos que tienen acceso al muelle son los controlados por la operadora de la terminal (tractocamiones de patio, chasis de recolección, etc.), con los cuales se realiza la maniobra de transferencia del muelle al patio de almacenamiento.

Los movimientos de contenedores en el patio de almacenamiento son realizados por medio de grúas de pórtico o RMG (*Rail Mounted Guide Crane*, por sus siglas en inglés), como se observa en la imagen anterior. Los movimientos realizados por las grúas de pórtico tienen la función de realizar acomodos de los contenedores para agilizar su desalojo, por ejemplo, conociendo el número de guía de los contenedores próximos a ser desalojados, se identifica la posición en la que fueron colocados en el patio de almacenamiento e inmediatamente las grúas pórtico comienzan a reacomodar los contenedores de próxima salida en la posición más fácilmente accesible para que un tractocamión tipo *Bombcart* lo tome y lo lleve hacia el patio de transferencia intermodal (CFS).

- Muelle – patio de almacenamiento
Esta estructura funciona igual que la anterior, solo que en esta opción, no existe patio de transferencia intermodal (CFS), así que la maniobra concluye cuando los contenedores se encuentran colocados en la posición más accesible para ser tomados por un *Bombcart*.

A continuación, se muestra el diagrama de las actividades realizadas durante la segunda maniobra, en función del tiempo:

²⁷ Glosario.

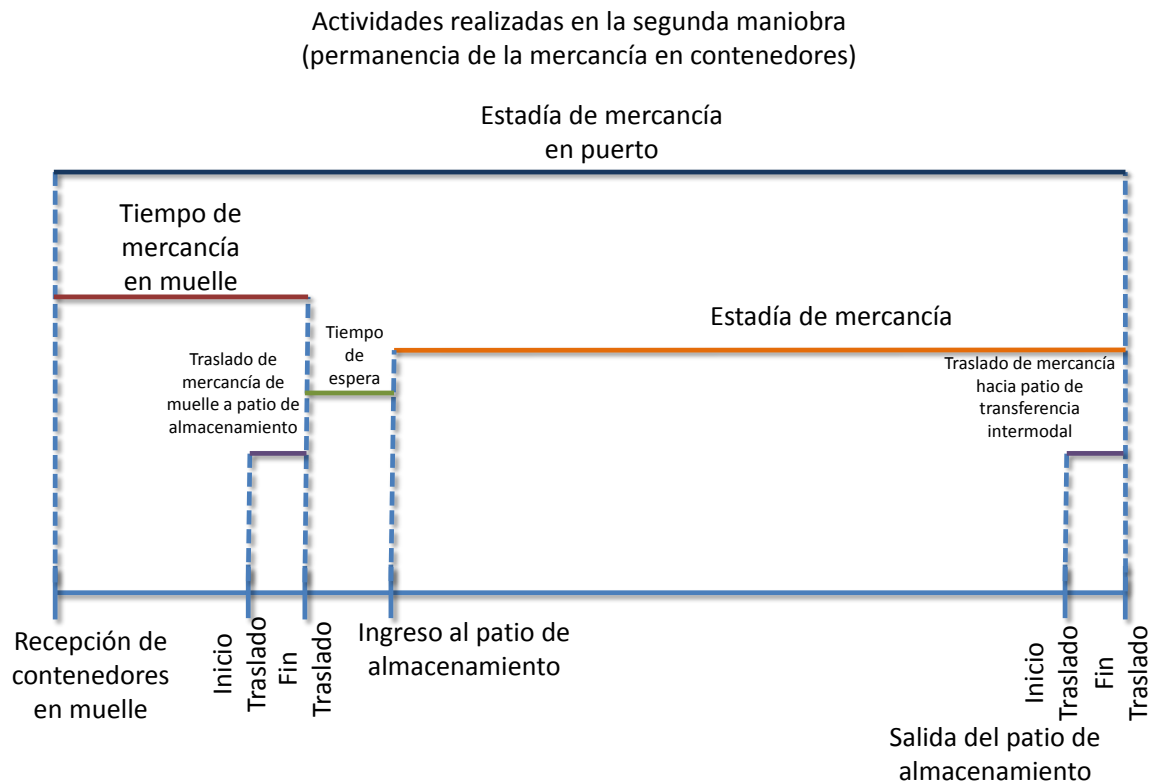


Figura 18. Actividades realizadas en la segunda maniobra en función del tiempo. Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama anterior, existe la posibilidad de formación de un tiempo de espera antes de que los contenedores sean ingresados al patio de almacenamiento, que implica que se formen líneas de espera de tractocamiones o que estos dejen los contenedores a un lado del patio de almacenamiento y posteriormente, cuando la congestión se haya acabado, se realice otra maniobra para estibar dichos contenedores.

La organización de las actividades realizadas en la segunda maniobra es diversa y su elección para el puerto debe de analizarse en términos de eficiencia y optimización de costos, para su diseño, en el caso de nuevas terminales y para su continuo mejoramiento, en el caso de terminales existentes.

Tercera maniobra – desalojo/recepción de la mercancía

La mercancía puede ser desalojada del recinto portuario en camión o ferrocarril, en el caso de la transferencia del modo marítimo al modo terrestre. En el caso de los trasbordos, la transferencia del contenedor se realiza entre buques, por lo que el cálculo de la capacidad de la tercera maniobra correspondiente a trasbordos se realiza como el cálculo de la primera maniobra. Esta es otra de las razones por las que es recomendable mantener un registro confiable de la proporción de trasbordos realizados en la terminal portuaria.

La capacidad de esta maniobra depende de la frecuencia con que arriben unidades de desalojo/recepción y su capacidad de transporte de mercancía, lo cual está asociado al número de garitas en el caso de autotransporte y de espuelas en el caso del ferrocarril, así como de la capacidad de los equipos utilizados en la terminal para cargar la mercancía en dichas unidades.



Figura 19. IZQUIERDA. Recolección de un contenedor realizado por una grúa tipo *Bombcart top-handler*. DERECHA. Grúas de pórtico tipo *trastainer*²⁸. Elaboración propia con fotos tomadas en el Puerto de Lázaro Cárdenas.

Una de las actividades que mayor demora puede provocar en esta tercera maniobra es el referente a las formalidades aduanales que deben cumplirse.

En el caso de los puertos de México, las actividades aduanales son realizadas una vez que la mercancía se encuentra en los vehículos de desalojo del puerto, y ya que la mercancía ha sido liberada por la terminal, por lo que la congestión que se puede presentar en las aduanas, se encuentra fuera de la terminal portuaria.

Por otro lado, como se comentó anteriormente, la estadía de los contenedores en el área de almacenamiento depende de la capacidad de desalojo. La frecuencia y la compatibilidad de la disponibilidad de vehículos terrestres no se encuentran reguladas por la operadora de la terminal ni por la API, por lo que en cierta forma representa un factor difícil de controlar.

A continuación, se muestra el diagrama de las actividades realizadas durante la tercera maniobra, en función del tiempo:

²⁸ Glosario.

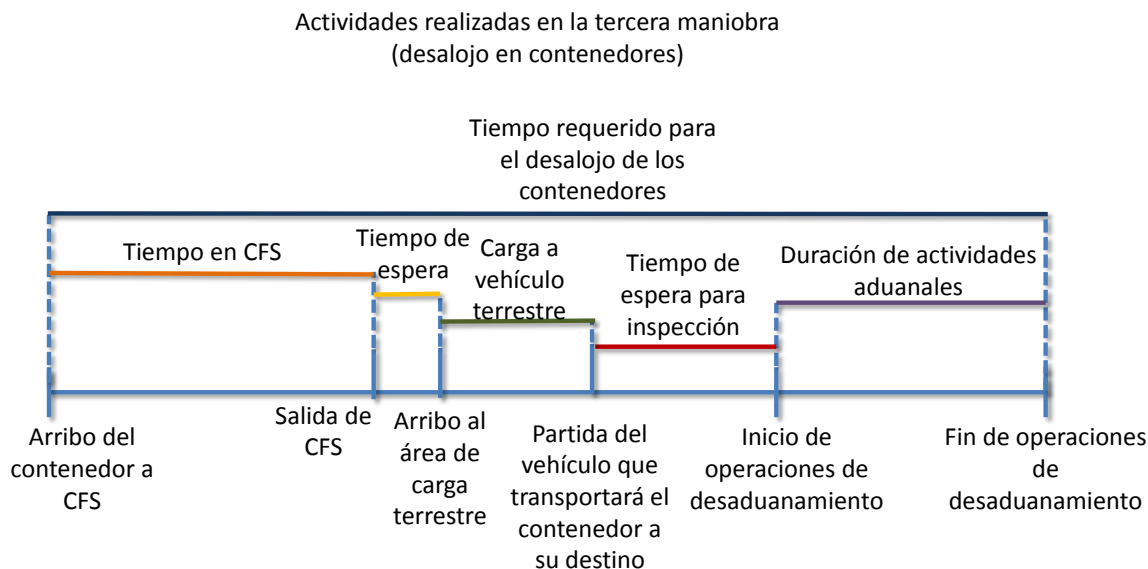


Figura 20. Actividades realizadas en la tercera maniobra en función del tiempo. Elaboración propia.

Como se observa, existe la posibilidad de formación de tiempos de espera, antes de que el contenedor pueda ser cargado al vehículo terrestre, lo cual puede ser atribuido a la falta de disponibilidad de vehículos. También se pueden formar tiempos de espera antes de que el vehículo terrestre tenga acceso a la aduana, ocasionados por los el grado de utilización de las instalaciones aduanales.

5. Evaluación del desempeño de un puerto

El registro de datos representativos de la productividad de la terminal portuaria en términos operacionales y económicos, se realiza para obtener información con la que se analice la eficiencia portuaria y proporcione un panorama claro del estado de la operación del puerto.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se planean estrategias que permitan mejorar la operación y el desarrollo futuro del puerto.

Los datos estadísticos se vuelven útiles al crear indicadores de desempeño portuario, con los que se obtengan medidas comparables que indiquen el nivel de servicio que se proporciona en el puerto.

La cantidad de indicadores portuarios es muy grande, ya que existen diversos parámetros que pueden dar información útil sobre la forma en que se opera el puerto; algunos indicadores son útiles para analizar la operación de forma general e identificar oportunamente áreas congestionadas de la operación portuaria; consecutivamente, existen indicadores de la eficiencia portuaria a micro escala.

Los datos generales que se deben registrar en la operación de una terminal portuaria, son los siguientes:

- Arribo de buques – partida de buques;
- Volumen de carga transportada por cada buque;
- Geometría del buque (eslora, manga, calado, toneladas de peso muerto TBR);
- Puesto de atraque que recibe al buque; y
- Tiempos de permanencia de los buques en puerto desde su arribo hasta su partida, incluyendo un desglose del tiempo que se encuentran atracados y en operaciones.

Estos datos resultan de gran importancia, porque son indicadores directos del tiempo de buque que toma realizar el transporte de mercancía utilizando el medio marítimo, estando esto directamente asociado con el costo final de la mercancía transportada.

Con la información anteriormente enlistada, se pueden calcular los siguientes indicadores por cada posición de atraque:

a. THBP

Toneladas hora buque en puerto, se refiere a la media de toneladas manejadas en las horas totales que pasaron los buques en el puerto en un periodo T.

$$THBP = \frac{\textit{Toneladas manejadas en el puerto en periodo T}}{\textit{Horas totales que los buques pasaron en el puerto en periodo T}}$$

b. THBM

Toneladas hora buque en muelle, se refiere a la media de toneladas manejadas en las horas totales que pasaron los buques en el muelle en un periodo T.

$$THBM = \frac{\textit{Toneladas manejadas en una posición de atraque en periodo T}}{\textit{Horas totales que los buques pasaron en el puerto en periodo T}}$$

c. THBO

Toneladas hora buque en operación, se refiere a la media de toneladas manejadas en las horas totales que pasaron los buques siendo operados por las grúas en muelle en un periodo T.

$$THBP = \frac{\textit{Toneladas manejadas por las grúas en muelle en periodo T}}{\textit{Horas totales que los buques pasaron en el puerto en periodo T}}$$

- d. Buques arribados/día

Total de buques arribados en un cierto periodo T, dividido entre el número de días correspondiente a dicho periodo T.

$$\lambda \text{ [buques/día]} = \frac{\text{Núm. de buques en periodo } T}{\text{Días correspondientes al periodo } T}$$

- e. Tiempo medio de servicio por buque

$$\theta \text{ [días/buque]} = \frac{\text{horas de servicio total en periodo } T}{\text{buques servidos en el periodo } T}$$

- f. Tasa de servicio/día

$$\mu \text{ [buques/días]} = \frac{1}{\theta}$$

- g. Tiempo medio de fondeo

Tiempo medio que pasa un buque en fondeo en un periodo T

$$T_f = \frac{\text{horas totales de buques en fondeo en un periodo } T}{\text{número de buques atendidos en el periodo } T}$$

- h. Tiempo medio de espera

Tiempo medio que pasa un buque en espera en un periodo T

$$T_e = \frac{\text{horas totales de buques en espera en un periodo } T}{\text{número de buques atendidos en el periodo } T}$$

- i. Carga media por buque

$$CM = \frac{\text{carga total manejada en un periodo } T}{\text{número de buques atendidos en el periodo } T}$$

- j. Dimensiones medias de los buques arribados

- Eslora media;
- Calado medio;
- Manga media, etc.

Sin embargo actualmente, estos datos generales solo son registrados en un par de puertos mexicanos. Con lo que se complica la estimación de los indicadores anteriormente descritos.

Aun así, la toma de datos estadísticos debe de incluir la recolección de datos que permita la obtención de los siguientes indicadores para evaluar el desempeño de un puerto:

- **Primera maniobra – carga/descarga**
 - Tiempos medios de espera;
 - Tiempos medios de fondeo;
 - Tiempo medio transcurrido entre el atraque y el inicio de operaciones;
 - Causas más recurrentes de las demoras durante la operación de buques;
 - Tiempo medio transcurrido entre el fin de las operaciones y el desatraque;
 - Tiempo medio transcurrido entre el desatraque y la salida del puerto.

- **Segunda maniobra – almacenamiento**
 - Tiempo medio que la mercancía permanece en muelle (fechas y horas de entrada y salida);
 - Tiempo medio de traslado de la mercancía del muelle al patio de almacenamiento;
 - Tiempo de espera antes de ingresar al patio de almacenamiento;
 - Estadía media de la mercancía en patio de almacenamiento;
 - Tiempo medio del traslado de la mercancía al patio de transferencia intermodal;
 - Número medio de maniobras ejecutadas en un contenedor en puerto.

- **Tercera maniobra – desalojo/recepción**
 - Tiempo medio que la mercancía pasó en el patio de transferencia intermodal;
 - Tiempo medio de espera antes de que la mercancía sea cargada al vehículo terrestre;
 - Tiempo medio tomado para cargar el vehículo terrestre;
 - Tiempo medio de espera para el ingreso a la aduana;
 - Tiempo medio de duración de las actividades aduanales.

6. Análisis de capacidad de la terminal portuaria

La eficiencia de un sistema de transporte se mide mediante indicadores que permiten conocer el nivel de congestión de la infraestructura, midiendo la relación entre su capacidad y la demanda atendida, que permitan además analizar escenarios futuros y tomar decisiones sobre la ampliación de la infraestructura o reorganización de las operaciones.

La definición de la capacidad de la infraestructura de transporte no es única. Sin embargo, la definición más incluyente indica que la capacidad se refiere al volumen de tráfico que el puerto puede atender en un periodo (días, semanas, meses, año, etc.) obteniendo parámetros aceptables de rendimiento, rentabilidad, calidad y seguridad, entre otros.²⁹

²⁹ Definición obtenida de: Gil Santander, C. (2007). Definición de los Niveles de Servicio de las terminales portuarias

La capacidad de una terminal portuaria es función del ritmo de llegada de los buques, del rendimiento de carga/descarga, de la longitud del muelle, del calado, del área de almacenamiento, de la capacidad estructural para estibas, del rendimiento de los equipos ocupados para realizar maniobras en puerto y del ritmo de evacuación de mercancía, entre otros factores.

Factores determinantes de la capacidad portuaria	
Infraestructura	Zona terrestre
	Zona marítima (dársenas, canales de acceso)
Operación del puerto	Equipamiento
	Productividad de la mano de obra
	Tecnología
	Procesos Operativos de la terminal
Accesos	Ferrovianos
	Terrestres

Figura 21. Factores determinantes de la capacidad portuaria. Elaboración propia.

La estimación de la capacidad óptima de una terminal portuaria es vital para planear las operaciones que se realizarán en la misma y su desarrollo progresivo que permita su coordinación con el crecimiento de la demanda. Si la estimación de la capacidad óptima fuera errónea, fácilmente podría resultar en grandes inversiones incorrectamente realizadas.

En la actualidad, definir una metodología estándar para calcular la capacidad de una terminal portuaria enfrenta los siguientes inconvenientes:

- Existen una gran cantidad de parámetros que influyen en el valor de la capacidad, sobre los que no existe información suficiente disponible de las terminales mexicanas;
- La definición de la capacidad óptima puede ser interpretada de distintas formas según el interesado;
- El elevado número de buques existentes, con características diferentes entre sí, dificulta la clasificación de vehículos equivalentes entre sí, para modelar el comportamiento de la terminal portuaria;
- La regulación de operaciones marítimas dentro de un área portuaria suele ser compleja ya que por ejemplo, un mismo barco puede estar sujeto a límites de velocidad diferentes en cada área portuaria en función de la variación de las características del medio en el que se mueve el buque.

Las razones por las que la capacidad de la terminal portuaria se encuentre limitada pueden ser:

- Insuficiencia en la infraestructura portuaria;
- Gestión incorrecta de la terminal;

- Problemas en los accesos marítimos al puerto (localización, condiciones climatológicas, profundidad de canales de acceso, etc.);
- Procesos aduanales y de otras inspecciones ineficientes;
- Funcionamiento ineficiente de la conectividad terrestre.

A nivel conceptual, la relación del grado de utilización de la infraestructura de transporte con los tiempos invertidos por los vehículos/usuarios, tiene un comportamiento de tipo exponencial, pudiendo distinguir tres fases de utilización de infraestructura, como se muestra en la gráfica siguiente:

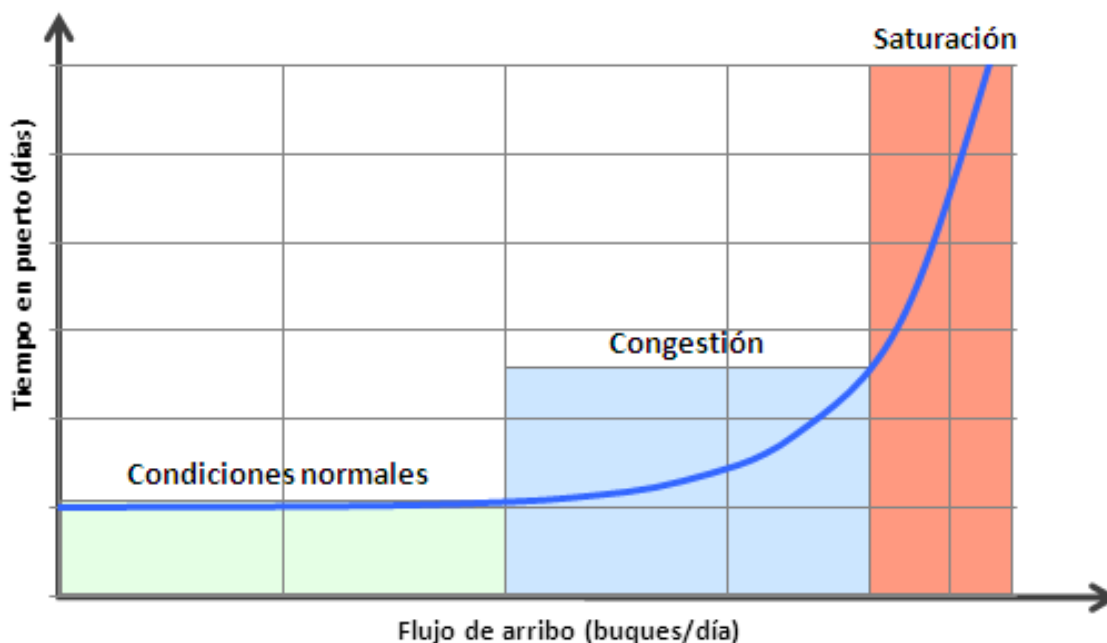


Figura 22. Relación entre el grado de uso de la capacidad de la infraestructura de transporte y los tiempos invertidos por los vehículos/usuarios por fases. Elaboración propia con información de la tesis de Gil Santander, G. “Definición de los Niveles de Servicio de las terminales portuarias”.

Cuando la infraestructura se encuentra en **condiciones normales**, los usuarios pueden hacer uso de las instalaciones en el tiempo de diseño, es decir sin que se presenten tiempos de espera ni demoras. Al incrementar la demanda de usuarios, esta comienza a acercarse a la capacidad de la infraestructura, por lo que es posible que se empiecen a encontrar demoras en ciertas partes del sistema; estas demoras inducen a la formación de líneas de espera o colas, cuya magnitud aún es tolerable.

Conforme la demanda sigue acercándose a la capacidad de la infraestructura los tiempos de espera comienzan a incrementar de forma exponencial, y cuando la demanda supera la capacidad

del sistema de transporte los tiempos de espera y por consecuencia la magnitud de las líneas de espera, tienden a infinito.

Para disminuir la congestión del puerto, antes de pensar en incrementar el número de posiciones de atraque con costos asociados elevados, se deben plantear mejoras operativas, como las siguientes:

- Incremento de las tarifas de almacenamiento, con objeto de disminuir el tiempo que pasa la mercancía en la terminal portuaria;
- Mejorar el equipamiento de maniobras de la terminal;
- Reducir los tiempos de espera por trámites;
- Elevar Incremento la capacidad de almacenamiento dentro o fuera del puerto; entre otras.
- Capacidad de la infraestructura de conexión terrestre;
- Disponibilidad de equipo de transporte terrestre.

El equilibrio entre estas estrategias se encuentra cuando se minimiza el costo integral del uso del transporte y se maximiza la rentabilidad de la infraestructura desarrollada.

La gran cantidad de actividades que se pueden llevar a cabo en una terminal portuaria, complica el cálculo de la capacidad de la infraestructura portuaria; cuando las terminales analizadas son especializadas en el manejo de solo un tipo de mercancía, como es el caso de las terminales especializadas en el manejo de contenedores, el cálculo de su capacidad es más sencillo, ya que su operación se enfoca a la estandarización para obtener mayor eficiencia en las operaciones.

Como se ha descrito previamente, el análisis de la capacidad de las terminales portuarias se puede realizar dividiendo la operación de la terminal en las maniobras de carga/descarga, almacenamiento y desalojo/recepción. La evaluación integral de la capacidad portuaria se obtiene al determinar la *capacidad limitante*³⁰ del sistema portuario, como se muestra en el siguiente diagrama:

³⁰ Glosario.

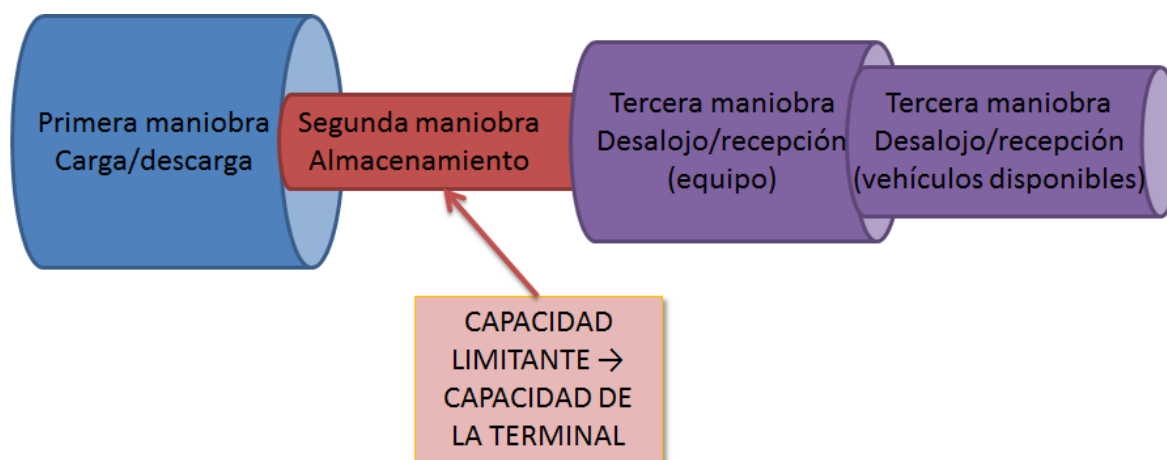


Figura 23. Capacidad de la terminal portuaria basada en la obtención de la capacidad limitante del sistema definido por la primera, segunda y tercera maniobras. Elaboración propia con información del libro *“Operación, Administración y Planeación Portuarias”* de López Gutiérrez, H.

De esta forma la capacidad integral de la terminal, será el valor de la maniobra para la que se obtenga la capacidad limitante.

Existe un gran número de actores involucrados en el desarrollo de las actividades portuarias, cuyos intereses sobre el uso de la infraestructura son distintos, por lo que el enfoque respecto al tema de eficiencia en la operación portuaria y la capacidad de la infraestructura varía, como se describe a continuación:

1) Productores y consumidores de mercancías (dueños de la carga) y agentes de carga³¹

Su interés es enviar la mercancía a su destino final en el menor tiempo y costo posible, por lo que su decisión se basa en aquella ruta logística que proporcione estas características. Desde esta perspectiva, la terminal portuaria sólo es un componente de la ruta logística por lo que para ser seleccionada no solo debe ser eficiente, las actividades previas y posteriores deben ser eficientes.

2) Fabricantes de buques

Los buques fabricados incrementan su tamaño con el paso del tiempo, lo que obliga a seguir su ritmo en la habilitación de infraestructura y la organización de puertos, siendo los puertos concentradores los que tengan suficiente capacidad para recibir los buques de mayores dimensiones, mientras que en los puertos alimentadores se siguen recibiendo buques de tamaño medio o incluso barcasas.

³¹ Glosario.

3) Países involucrados en cada ruta logística

Por un lado, el desarrollo de la infraestructura del transporte representa un motor fundamental del desarrollo de la economía y por otro la magnitud de las inversiones requeridas obliga a que sean realizadas por el sector público e incluso con intervención del sector privado; por lo que el funcionamiento eficiente de cada componente de la ruta logística debe ser supervisado y garantizado por los inversores involucrados en el desarrollo de la infraestructura, esto es los sectores público y privado, y para garantizar el desarrollo de la economía, el gobierno debe garantizar que el funcionamiento de la infraestructura logra impulsar el desarrollo óptimo de la economía.

4) Administración del puerto

Es la encargada de realizar la planeación del puerto para optimizar sus ingresos. De esta forma, su interés es obtener la máxima utilización de la infraestructura que signifique los mayores rendimientos económicos, es por esto que desde el punto de vista de la administración del puerto, su interés es garantizar que cada terminal portuaria logre atender el mayor número posible de buques en un tiempo determinado y por tanto obtener el máximo grado de utilización posible.

5) Agente naviero

Dentro del contexto de desarrollo de puertos concentradores y alimentadores, el agente naviero traza sus rutas constantes. Su interés es mantener en movimiento a los buques y que la operación en cada puerto que visita sea eficiente, por lo que la elección del puerto será aquel que tenga la mejor localización geográfica dentro de su ruta y donde los tiempos de espera y demoras tiendan a cero.

6) Agente terminalero encargado de la operación, explotación y mantenimiento de la terminal portuaria

Los ingresos del agente terminalero se encuentran en función del uso de la infraestructura y del número de maniobras realizadas en la terminal, por lo que su interés será realizar la mayor cantidad permisible de maniobras con la mercancía, para incrementar sus ganancias, lo que puede resultar incongruente con la búsqueda de eficiencia en puerto.

7) Prestadores de servicios

Al igual que los terminaleros, sus ingresos son función de la cantidad de servicios prestados, por lo que su interés será maximizar el número de servicios que se le dan a la mercancía que pasa al puerto.

8) Operadores ferroviarios

Sus ingresos están en función de la cantidad de mercancía que transporten, la cual será mayor tanto más eficiente sea su servicio. Sin embargo, en México la prestación de servicios ferroviarios resulta monopólica en la mayoría de los puertos y por otro lado las

inversiones del sector público para el desarrollo de esta infraestructura son menores a las requeridas, por lo que su servicio resulta insuficiente, ineficiente y los costos elevados.

9) Operadores del transporte carretero

Entre mayor sea el tráfico que logren atraer hacia el transporte carretero, mayores serán las ganancias de este sector. Este tipo de transporte es muy útil cuando la mercancía tiene destinos diversos y cercanos al puerto, pero resulta muy caro cuando el destino es único y lejano, en este caso es más conveniente el uso de ferrocarriles.

10) Autoridades de regulación (Aduanas, autoridades fitozoosanitarias, de seguridad)

Por lo general el personal encargado de la regulación sanitaria o de seguridad es externo al puerto por lo que intrínsecamente no buscan la eficiencia de las operaciones ya que su obligación es garantizar que la mercancía que entra al país no represente un peligro para la nación. En México, los trámites correspondientes a estos actores se relacionan con las mayores demoras en puerto (trámites aduanales).

En general, la rentabilidad de la habilitación de terminales portuarias se encuentra en función de la maximización de la utilización de la capacidad de la terminal. Sin embargo, altos niveles de utilización de la terminal conducen a la presencia de elevados tiempos de espera, situación que en la actualidad no es aceptable debido a la organización estricta de las operaciones logísticas y los elevados costos involucrados cuando el capital permanece inactivo.

Como se puede apreciar en las descripciones anteriores, no existe un criterio unificado sobre los resultados esperados del manejo óptimo de la terminal portuaria.

Esto puede explicar la razón por la cual el tema de la capacidad portuaria se trata de una forma tan simplificada e intrascendente dentro de los planes de desarrollo portuario.

Sin embargo, esta situación no es recomendable, ya que al disminuir la importancia de la eficiencia de las operaciones, cada actor actuará en función de sus intereses, provocando desorganización y bajos niveles de eficiencia en las decisiones operativas globales.

Como se explicó anteriormente, solo un 20% de los PMDPs explican la metodología utilizada para obtener la capacidad portuaria, y todos ellos utilizan la metodología y los parámetros recomendados por la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD)* o en su defecto, parámetros empíricos cuya procedencia no es explícitamente mencionada.

La UNCTAD fue establecida en 1964 con el objeto de integrar a los países en desarrollo con el desarrollo económico global. Actualmente se enfoca en participar en la formulación de políticas hacia el desarrollo sustentable internacional en las siguientes áreas:

- El comercio y productos básicos;

- Inversiones y desarrollo empresarial;
- Políticas macroeconómicas, deudas y financiamiento del desarrollo;
- Tecnología y logística;
- Países subdesarrollados y en desarrollo.

En el tema del desarrollo portuario, en la UNCTAD se han desarrollado documentos de gran utilidad, entre ellos los siguientes:

- Métodos sistemáticos para mejorar la operación de carga general, Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 1973
- Indicadores del desempeño de un puerto, Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 1976
- Desarrollo portuario: Manual para planificadores en países en desarrollo, Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 1985
- Manual sobre un sistema uniforme para obtener estadísticas portuarias e indicadores de desempeño, Nueva York: Organización de las Naciones Unidas, 1985

Sin embargo, existen dos motivos primordiales por los que los parámetros recomendados en los documentos desarrollados por la UNCTAD deben ser utilizados con precaución:

- Al tratarse de terminales portuarias cuya operación en puerto funciona de forma similar es común que se piense en comparar el desempeño de una terminal especializada en el manejo de un tipo de mercancía con otra de características similares, sin embargo este tipo de comparación puede resultar en toma de decisiones equivocadas, ya que cada puerto está integrado por varios subsistemas interrelacionados que dan servicio a los barcos, y a los usuarios finales, que son las empresas que envían/reciben cargas a través del transporte marítimo.

El comportamiento de cada puerto responde al contexto del que forma parte, esto es local, regional, nacional e internacional. Hasta el nivel nacional, se puede comprender que cada puerto opera bajo un comportamiento único de variables relacionadas con el desarrollo económico, social y jurídico y por tanto, la vocación de cada puerto conlleva a determinar objetivos únicos en cuanto a su plan de operaciones e indicadores financieros.

- Estos manuales, si bien son de gran utilidad, fueron estructurados hace más de treinta años, periodo en el cual el mercado portuario ha evolucionado en diferentes aspectos, como se ha comentado anteriormente.

A continuación se describe la metodología empleada para realizar el cálculo de la capacidad portuaria utilizada en los Programas Maestros de Desarrollo Portuario del Sistema Portuario Nacional:

Metodología del cálculo de la capacidad integral de las terminales portuarias mayoritariamente utilizado en el Sistema Portuario Nacional

a. Primera maniobra – descarga/carga de mercancía en buques

La capacidad en la primera maniobra se estima con base en el rendimiento medio de contenedores por hora del buque en muelle (CHBM), ya que este indicador representa la capacidad de atención en el frente de atraque.

Se toma en consideración la disponibilidad de la terminal durante el periodo para el que se desea obtener la estimación de su capacidad y por último, se considera la ocupación máxima que puede tener la terminal en estudio como el parámetro recomendado por la UNCTAD.

Por tanto, la capacidad para una terminal de contenedores se estima mediante el uso de la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad atraque} \left[\frac{\text{TEU}}{\text{año}} \right] = THBM \left[\frac{\text{TEU}}{\text{hora}_{\text{buque-p. atraque}}} \right] * d_d \left[\frac{\text{hora}_{\text{buque}}}{\text{días}} \right] * d_a \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right] * n_a [\text{p. atraque}] * O_p$$

Donde:

THBM, se refiere a las toneladas manejadas en todo un año en relación con las horas ocupadas de muelle;

d_d, se refiere a la disponibilidad de horas en las que se puede atracar un buque en muelle por día;

d_a, se refiere a la disponibilidad en días en las que se puede atracar un buque en muelle por año;

n_a, es el número de posiciones de atraque disponibles en el muelle;

O_p, es el factor de utilización óptima de la capacidad de la terminal, que para terminales con dos posiciones de atraque la UNCTAD recomienda el uso de un factor de 0.5.

b. Segunda maniobra – almacenamiento de mercancía

El cálculo de la capacidad de almacenamiento se realiza obteniendo una estimación de la capacidad estática del área de almacenamiento, considerando su disponibilidad en el periodo para el que se realiza el cálculo de la capacidad, reservando una proporción del espacio disponible para un periodo pico de arribo de mercancía.

Del mismo modo que para el cálculo de la capacidad de la primera maniobra, se considera la ocupación máxima que puede tener el área de almacenamiento, al multiplicar la capacidad por el factor recomendado por la UNCTAD.

Por tanto, la capacidad para un área de almacenamiento de contenedores se estima mediante el uso de la siguiente expresión:

$$Capacidad\ almacenamiento \left[\frac{TEU}{año} \right] = \left(\frac{A[m^2] * a[TEU] * d_a \left[\frac{días}{año} \right]}{e[días] * A_{TEU}[m^2] * f_p} \right) * O_s$$

Donde:

A, es el área operativa de almacenaje que considera el espacio efectivo disponible para el almacenaje de la carga;

a, es la altura media de apilado de contenedores;

d_a, se refiere a la disponibilidad en días por año del área de almacenamiento;

e, estancia promedio de la carga en la terminal;

A_{TEU}, área necesaria para una unidad de carga, parámetro que depende del equipo de maniobras empleado en el traslado y estiba de la carga en el patio y/o almacén. En la siguiente tabla se presentan las áreas necesarias en el almacenaje de contenedores, en función del equipo utilizado:

Equipo de maniobras	Altura media de almacenamiento	Área unitaria (m ²)
Grúas de arco neumáticos o rieles (<i>Transtainers, Rubber tired gantry</i> . RTG y <i>Rail mounted gantry - RMG</i>)	3	17
	4	12
	5	9
	6	7

Figura 24. Área necesaria para una unidad de carga, Tomada del documento “Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Guaymas 2011-2016”. API Guaymas S.A. de C.V.

f_p, factor de pico, el cual corrige el efecto que se produce en la terminal debido a la distribución de llegadas de buques y a la llegada y salidas del transporte terrestre. En el caso de terminales de contenedores, se puede utilizar un factor que varía entre 1.2 y 1.3³²;

O_s, es el factor de utilización óptima que puede tener el área de almacenamiento, que para terminales de contenedores la UNCTAD recomienda el uso de un factor de 0.8.

c. Tercera maniobra – desalojo/recepción de mercancía

Existen dos componentes operativos dentro de la tercera maniobra:

- Las operaciones de traslado de mercancía hacia el transporte terrestre; y
- La disponibilidad de los vehículos de transporte terrestre.

³² Según Programa Maestro de Desarrollo 2011-2016 Puerto de Guaymas

El cálculo de la capacidad en la tercera maniobra de traslado de mercancía hacia el transporte terrestre se estima multiplicando el rendimiento de las grúas utilizadas por su disponibilidad en el periodo para el que se desea realizar la estimación de capacidad y de nuevo se ocupa un factor de reducción de la capacidad, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad desalojo/recepción}_{grúas} \left[\frac{TEU}{año} \right] = m_g \left[\frac{TEU}{grúa - día} \right] * n_g [grúas] * d_a \left[\frac{días}{año} \right] * O_t$$

Donde:

m_g , número de movimientos de TEU por grúa por día;

n_g , número de grúas disponibles;

d_a , se refiere a la disponibilidad de días en las que se puede atracar un buque en muelle por año;

O_t , es el factor de utilización de la capacidad del equipo para permitir su funcionamiento óptimo, que para terminales de contenedores se recomienda ocupar un factor de 0.8.

El cálculo de la capacidad con base en la disponibilidad de los vehículos de transporte terrestre, depende del medio de transporte terrestre utilizado: Carretero o ferroviario.

El carretero está en función del número de vehículos disponibles por día y el número de contenedores que pueden transportar, así como su disponibilidad anual y un factor de disponibilidad óptima de mercancía para cargar los vehículos y disminuir su tiempo de carga.

$$\text{Capacidad desalojo/recepción}_{TT} \left[\frac{TEU}{año} \right] = N \left[\frac{vehículo}{día} \right] * c_v \left[\frac{TEU}{vehículo} \right] * d_a \left[\frac{días}{año} \right] * O_{TT}$$

Donde:

N , es el número medio de vehículos disponibles por día;

c_v , capacidad media de los vehículos disponibles;

d_a , se refiere a la disponibilidad de días por año de vehículos carreteros;

O_{TT} , es el factor de disponibilidad óptima de la mercancía a cargar en los vehículos, que para terminales de contenedores se recomienda ocupar un factor entre 1.2 y 1.3.

La capacidad de disponibilidad de vehículos para el transporte ferroviario, está en función de la infraestructura disponible, el número de operaciones realizadas por día, la disponibilidad de la infraestructura en el periodo considerado y un factor de disponibilidad óptima de mercancía para cargar los vehículos y disminuir su tiempo de carga.

$$\text{Capacidad desalojo/recepción}_{TF} \left[\frac{TEU}{año} \right] = N_p \left[\frac{Platf.}{vía - op.} \right] * N_v [vías] * a \left[\frac{TEU}{platf.} \right] * p_d \left[\frac{ops.}{día} \right] * d_a \left[\frac{días}{año} \right] * O_{TF}$$

Donde:

N_p , se refiere al número de plataformas disponibles para cargar contenedores por vía por operación realizada de desalojo/recepción;

N_v , número de vías disponibles;

a , altura de estiba de las plataformas;

p_d , número de operaciones que se realizan en un día;

d_a , se refiere a la disponibilidad de días por año de la infraestructura ferroviaria;

O_{TF} , es el factor de disponibilidad óptima de la mercancía a cargar en los vehículos ferroviarios, que para terminales de contenedores se recomienda ocupar un factor entre 1.2 y 1.3.

La metodología descrita anteriormente es válida para estimar la capacidad de la terminal portuaria, sin embargo este cálculo supone condiciones determinísticas, cálculos con promedios anuales y parámetros simplificados del comportamiento de una terminal de contenedores.

Estos parámetros deben ser adaptados a condiciones más reales que se presentan en la terminal de análisis, ya que de otro modo los resultados arrojados por la estimación de la capacidad son poco confiables y pueden conducir a sobredimensionamientos o a toma de decisiones equivocadas.

A continuación se muestra el esquema de la metodología que en el presente documento se propone, el cual será descrito a detalle posteriormente:

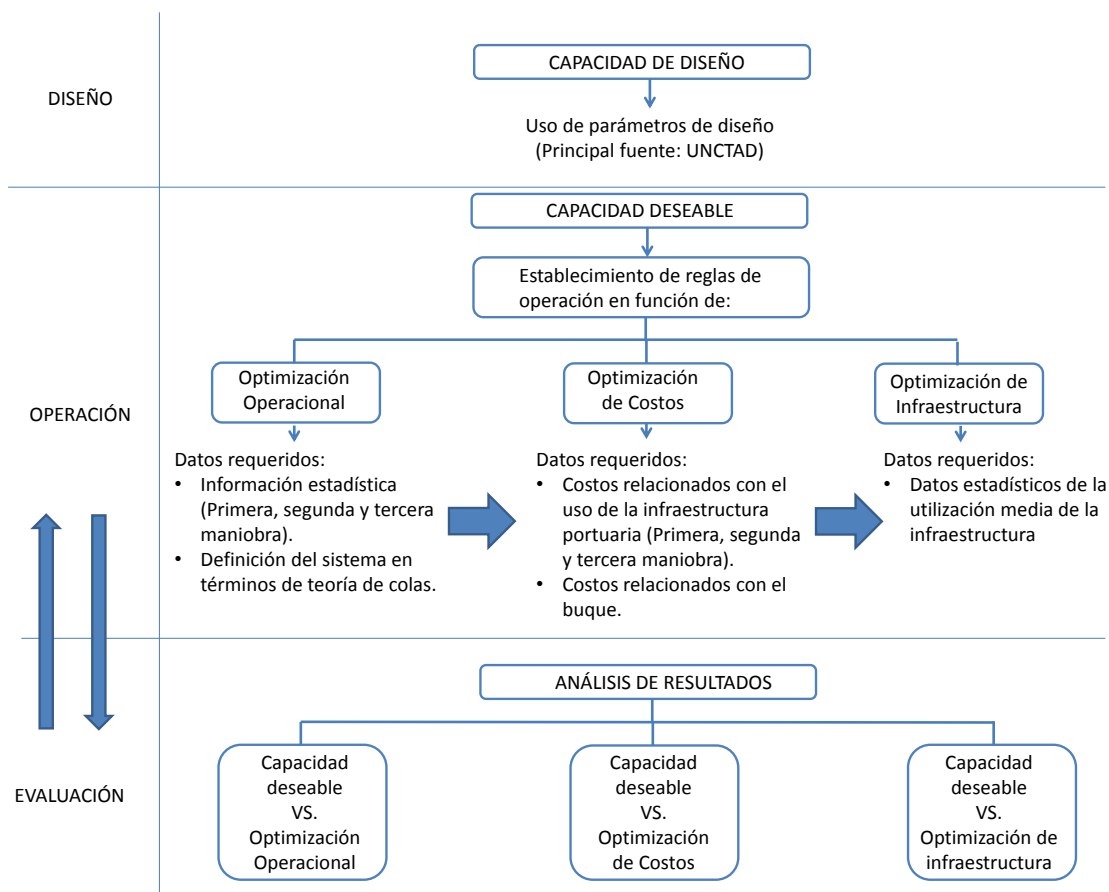


Figura 25. Metodología para realizar la estimación de la capacidad de una terminal portuaria de contenedores propuesta por la autora. Elaboración propia.

II. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTUARIA

La metodología de evaluación de la capacidad de la terminal portuaria se dividirá en tres etapas:

- **Diseño**, en esta etapa se desea habilitar una terminal puesto que se ha identificado una demanda potencial. Aún no se tienen estadísticas de su funcionamiento, por lo que es necesario utilizar parámetros de diseño obtenidos de manuales o a través de la experiencia; datos estadísticos pueden ser utilizados en caso de pertenecer a terminales de condiciones similares a la nueva terminal, al concluir la habilitación de la nueva terminal se definirá la *Capacidad deseable* en tres ámbitos:
 - **Optimización operacional**, la meta de optimización operacional se designará en función de términos operativos tales como: grado de ocupación del sistema, probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados, número medio de usuarios en espera, número medio de usuarios en el sistema, tiempo medio que cada usuario permanecerá esperando para ser atendido y tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema;
 - **Optimización de costos**, la meta de optimización de costos se designará en función de: costo general máximo aceptable, costo asociados al uso de la infraestructura máximo aceptable, costo asociado a maniobras y servicios máximo aceptable, costo asociado al tiempo de espera de buques máximo aceptable y costo asociado al tiempo de atención de buque máximo aceptable;
 - **Optimización de infraestructura**, la meta de optimización de infraestructura se designará en función de la capacidad mínima aceptable de la terminal portuaria en función de la optimización operacional y de costos.

La obtención de las metas antes descritas depende de las Reglas con base en las cuales, a lo largo del periodo planteado, se realicen las operaciones; por lo que tanto las Reglas de Operación como su relación con la obtención de las metas, deben encontrarse descritas en el documento de las *Reglas de Operación* y en los *Programas Maestros de Desarrollo Portuario*.

Las metas se pueden expresar en un cuadro resumen de la siguiente forma:

METAS DE CAPACIDAD DESEABLE					
OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL		OPTIMIZACIÓN DE COSTOS		OPTIMIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA	
Grado de ocupación del sistema	75%	Costo general máximo aceptable	5.00 \$/contenedor	Capacidad mínima aceptable	1,000,000 contenedores/año
Probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados	15%	Costo asociado al uso de la infraestructura máximo aceptable	0.70 \$/contenedor		
Número medio de usuarios en espera	0.2	Costo asociado a maniobras y servicios máximo aceptable	0.30 \$/contenedor		
Número medio de usuarios en el sistema	3	Costo asociado al tiempo de espera de buques máximo aceptable	3.00 \$/contenedor		
Tiempo medio que cada usuario permanece esperando para ser atendido	2 horas	Costo asociado al tiempo de atención de buque máximo aceptable	1.00 \$/contenedor		
Tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema	9 horas				

Figura 26. Ejemplo de cuadro resumen de las metas de la capacidad deseable para la terminal portuaria. Elaboración propia.

- **Operación**, es recomendable evaluar la capacidad portuaria al concluir un periodo no mayor a cinco años y en particular antes o después de la ocurrencia de algún evento que modifique el comportamiento de la oferta y/o de la demanda de la terminal (por ejemplo, la habilitación o clausura de alguna terminal competidora). En esta etapa, ya deben existir datos estadísticos de la operación de la terminal, es por esto que el cálculo de la capacidad ya no debe ser obtenido mediante el uso de parámetros o manuales generalizados.

Entonces se evaluará la capacidad de la terminal en términos de optimización operacional, de costos y de infraestructura. En las siguientes secciones de este capítulo se describen los métodos de cálculo propuestos para la evaluación de la capacidad de la terminal.

- **Evaluación**, una vez obtenida la capacidad de la terminal para todos los parámetros propuestos, estos se compararán con las metas de la capacidad deseable planteadas en las Reglas de Operación, con lo que se determinará el nivel de eficiencia de la operación de la terminal portuaria.

Aquellas metas que no sean cumplidas serán indicadores hacia el componente operativo que disminuye la eficiencia de la terminal portuaria; para reconocer dicho componente se recurrirá a estadísticas específicas de las operaciones de la terminal que indiquen la parte del proceso en la que se existen ineficiencias.

La evaluación de la eficiencia integral de la terminal se puede obtener definiendo una función de utilidad³³ en la que se asignen valores ponderados de importancia a cada meta de la capacidad deseable.

Los resultados obtenidos de esta evaluación servirán como retroalimentación de la metodología, para fijar el valor de la capacidad deseable para el siguiente periodo, y de esta forma se realiza la evaluación continua del sistema.

A continuación se describen los métodos de cálculo propuestos para la evaluación de la capacidad de la terminal en términos de optimización operacional, optimización de costos y optimización de infraestructura.

1. Capacidad de Diseño

El manual proporcionado por la UNCTAD, *Desarrollo portuario: Manual para planificadores en países en desarrollo, UNCTAD 1985*, es con el que se calcula la capacidad de diseño de terminales portuarias.

En este manual se proporcionan ecuaciones para obtener los parámetros de diseño de una terminal portuaria en la primera maniobra (carga/descarga) y segunda maniobra (almacenamiento), las cuales involucran ciertos parámetros cuyo valor recomendado se proporciona en el mismo manual, mientras que otros parámetros deben ser proporcionados por el diseñador.

³³ Glosario.

En primer lugar, se realiza una recomendación para el grado de ocupación³⁴ de la terminal portuaria, que se refiere a la proporción de tiempo que la terminal permanece ocupada en relación con el tiempo que puede permanecer ocupada.

El grado de ocupación de la terminal tiene como consecuencia la formación de colas durante los tiempos de espera. La formación de colas puede ser expresada en términos de costos de buque en espera mientras que evitar la formación de colas requeriría la ampliación de la infraestructura o el incremento de la eficiencia por medio de mejoras operativas, que puede ser representada en términos de costos en muelle.

De esta forma la UNCTAD realiza las siguientes recomendaciones para el grado de ocupación de una posición de atraque, basadas en una suposición de que los costos de buque ocasionados por las demoras en muelle, sean cuatro veces mayores que los costos en muelle relacionados con el incremento de la eficiencia portuaria o de la infraestructura (si esta condición no se cumple, se debe analizar el grado de ocupación correspondiente al costo total óptimo):

Número de posiciones de atraque	Máxima ocupación de la terminal portuaria (Máx. σ)
1	40%
2	50%
3	55%
4	60%
5	65%
6-10	70%

Figura 27. Máxima ocupación de la terminal portuaria, recomendada por la UNCTAD, en función de los costos de buque, los costos en muelle y el número de posiciones de atraque. Tomada del documento “Port development: A handbook for planners in developing countries” (1985, Marzo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

Los componentes de diseño de una terminal considerados en el manual de la UNCTAD son los siguientes:

- Número de posiciones de atraque y equipamiento requerido (correspondiente a la primera maniobra);
- Magnitud del espacio de almacenamiento (correspondiente a la segunda maniobra);
- Características del sistema de recepción/desalajo de mercancía (correspondientes a la tercera maniobra).

Número de posiciones de atraque y equipamiento requerido

³⁴ Glosario.

Para evaluar el número de posiciones de atraque requeridas, la UNCTAD sugiere que se tengan suficientes posiciones de atraque para atender el tráfico pronosticado con base en el grado de utilización que se desee tener en la terminal, mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{\lambda \left[\frac{\text{buque}}{\text{día}} \right]}{\mu \left[\frac{\text{buques}}{\text{día}} \right] * \sigma}$$

Donde:

S , es el número de posiciones de atraque en función del grado de utilización deseado para la terminal;

λ , tasa de arribo a la terminal de buques por día (parámetro no proporcionado por la UNCTAD);

μ , es el patrón de buques atendidos por día en muelle, llamado tasa de servicio (parámetro no proporcionado por la UNCTAD);

σ , grado de ocupación de la terminal.

Para definir el grado de ocupación de la terminal se puede considerar la recomendación de la UNCTAD explicada anteriormente, ya que en la etapa de diseño se desconocen las funciones de arribo de los buques y de servicio en muelle, fundamentales para realizar un cálculo operacional basado en la teoría de colas (la cual será explicada posteriormente); como consecuencia de la decisión del grado de ocupación definido para la terminal, se obtendrán tiempos medios de espera de buques, los cuales son útiles para la obtención de los costos relacionados con la espera media de buque en la terminal.

Para este propósito, la UNCTAD proporciona dos tablas con valores previamente calculados de tiempos de espera en función del grado de ocupación de la terminal portuaria y el número de posiciones de atraque.

La primera tabla involucra los siguientes supuestos:

- El arribo de buques seguirá una función exponencial³⁵ (M);
- El tiempo de servicio en muelle seguirá una función de Erlang de dos fases³⁶ (E₂):

Tiempo de espera para buques arribados a la terminal F_e, (días)					
Número de posiciones de atraque					
Grado de ocupación	1	2	3	4	5

³⁵ Glosario.

³⁶ Glosario.

Tiempo de espera para buques arribados a la terminal F_e, (días)					
Número de posiciones de atraque					
Grado de ocupación	1	2	3	4	5
0.30	0.32	0.08	0.03	0.02	0.01
0.31	0.34	0.09	0.03	0.02	0.01
0.32	0.35	0.09	0.03	0.02	0.01
0.33	0.36	0.09	0.04	0.02	0.01
0.34	0.37	0.1	0.04	0.02	0.01
0.35	0.39	0.11	0.04	0.02	0.01
0.36	0.41	0.11	0.04	0.03	0.02
0.37	0.43	0.12	0.05	0.03	0.02
0.38	0.44	0.13	0.05	0.03	0.02
0.39	0.46	0.13	0.05	0.03	0.02
0.40	0.48	0.14	0.06	0.03	0.02
0.41	0.5	0.15	0.06	0.03	0.02
0.42	0.52	0.16	0.06	0.04	0.02
0.43	0.54	0.16	0.07	0.04	0.02
0.44	0.56	0.17	0.07	0.04	0.03
0.45	0.59	0.18	0.08	0.04	0.03
0.46	0.61	0.19	0.08	0.05	0.03
0.47	0.64	0.2	0.09	0.05	0.03
0.48	0.66	0.21	0.09	0.05	0.04
0.49	0.69	0.23	0.1	0.06	0.04
0.50	0.72	0.24	0.11	0.06	0.04
0.51	0.74	0.25	0.12	0.07	0.04
0.52	0.78	0.26	0.13	0.07	0.05
0.53	0.81	0.28	0.13	0.08	0.05
0.54	0.84	0.29	0.14	0.08	0.05
0.55	0.88	0.31	0.15	0.09	0.06
0.56	0.91	0.33	0.16	0.1	0.06
0.57	0.95	0.35	0.17	0.11	0.07
0.58	1	0.37	0.18	0.11	0.07
0.59	1.04	0.39	0.19	0.12	0.08
0.60	1.08	0.42	0.2	0.13	0.09
0.61	1.13	0.44	0.22	0.14	0.09
0.62	1.18	0.47	0.23	0.15	0.1
0.63	1.23	0.49	0.25	0.16	0.11
0.64	1.29	0.51	0.27	0.17	0.12
0.65	1.34	0.53	0.29	0.19	0.12
0.66	1.4	0.6	0.31	0.2	0.13

Tiempo de espera para buques arribados a la terminal F_e , (días)					
Número de posiciones de atraque					
Grado de ocupación	1	2	3	4	5
0.67	1.48	0.63	0.33	0.22	0.14
0.68	1.55	0.66	0.36	0.23	0.16
0.69	1.62	0.7	0.38	0.25	0.17
0.70	1.7	0.72	0.42	0.27	0.19
0.71	1.8	0.78	0.44	0.29	0.2
0.72	1.9	0.83	0.48	0.31	0.22
0.73	1.99	0.87	0.51	0.34	0.24
0.74	2.08	0.93	0.54	0.36	0.26
0.75	2.23	1	0.59	0.39	0.28
0.76	2.31	1.08	0.63	0.42	0.3
0.77	2.46	1.16	0.68	0.45	0.33
0.78	2.59	1.23	0.73	0.49	0.36
0.79	2.75	1.3	0.79	0.53	0.4
0.80	2.95	1.4	0.84	0.57	0.43
0.81	3.17	1.5	0.92	0.63	0.47
0.82	3.45	1.7	0.98	0.68	0.52
0.83	3.75	1.85	1.08	0.74	0.57
0.84	4.1	1.9	1.16	0.81	0.64
0.85	4.4	2.05	1.28	0.9	0.7
0.86	4.75	2.2	1.4	0.98	0.76
0.87	5.2	2.4	1.52	1.07	0.84
0.88	5.6	2.6	1.68	1.16	0.92
0.89	6.1	2.85	1.83	1.29	1.01
0.91	6.6	3.2	2	1.43	1.12

Figura 28. Tiempo de espera para buques arribados a la terminal en días, considerando una función exponencial para la tasa de arribos y una función *Erlang* de dos fases para la tasa de servicio. Tomada del documento *“Port development: A handbook for planners in developing countries”* (1985, Marzo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

La segunda tabla involucra los siguientes supuestos:

- El arribo de buques seguirá una función de *Erlang* de dos fases (E_2);
- El tiempo de servicio en muelle seguirá una función de *Erlang* de dos fases (E_2):

Tiempo de espera para buques arribados a la terminal F_e , (días)					
Número de posiciones de atraque					
Grado de ocupación	1	2	3	4	5
0.10	0.02				
0.15	0.03	0.01			
0.20	0.06	0.01			
0.25	0.09	0.02	0.01		
0.30	0.13	0.02	0.01		
0.35	0.17	0.03	0.02	0.01	
0.40	0.24	0.06	0.02	0.01	
0.45	0.3	0.09	0.04	0.02	0.01
0.50	0.39	0.12	0.05	0.03	0.01
0.55	0.49	0.16	0.07	0.04	0.02
0.60	0.63	0.22	0.11	0.06	0.04
0.65	0.8	0.3	0.16	0.09	0.06
0.70	1.04	0.41	0.23	0.14	0.1
0.75	1.38	0.58	0.32	0.21	0.14
0.80	1.87	0.83	0.46	0.33	0.23
0.85	2.8	1.3	0.75	0.55	0.39
0.90	4.36	2	1.2	0.92	0.65

Figura 29. Tiempo de espera para buques arribados a la terminal en días, una función Erlang de dos fases para la tasa de arribo y la tasa de servicio. Tomada del documento “Port development: A handbook for planners in developing countries” (1985, Marzo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

El tiempo total de espera de los buques más el tiempo de servicio, representa un costo, el cual puede ser calculado mediante el uso de la siguiente expresión:

$$C_{e+s} \left[\frac{\$}{\text{año}} \right] = 365 \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right] * S * \sigma * (1 + F_e) * C_b \left[\frac{\$}{\text{día}} \right]$$

Donde:

C_{e+s} , es el costo el uso de los buques en un año (parámetro no proporcionado por la UNCTAD);

F_e , es el factor de espera en función del tiempo de servicio;

C_b , es el costo por buque diario (parámetro no proporcionado por la UNCTAD).

Con respecto al diseño del equipamiento requerido, sólo se explica que éste debe ser tal que proporcione el rendimiento deseado de movimiento de contenedores en [contenedores/día].

Dimensión del espacio de almacenamiento

El tiempo de estadía promedio se refiere al tiempo medio que transcurre desde que la carga ha sido colocada en el área de almacenamiento, hasta que la carga abandona el área de almacenamiento, con base en este dato se realiza el cálculo del espacio de almacenamiento, por lo que resulta muy importante mantener estadísticas de tiempos transcurridos desde que la mercancía ingresa al patio de almacenamiento hasta que sale de él.

En este sentido también resulta conveniente definir el tiempo de estadía media admisible de la mercancía en el área de almacenamiento, que de la misma forma que en el caso de las demoras de los buques, representa costos, definidos como costos de inventarios.

Ya que el almacenamiento es una actividad intermedia que se encuentra condicionada por el arribo de mercancía al muelle y su desalajo hacia los vehículos terrestres, pueden formarse líneas de espera a la entrada y salida de este sistema, cuyo cálculo se puede realizar análogamente por medio del uso de teoría de colas.

El documento de la UNCTAD propone que el área requerida para almacenar carga se calcule mediante el uso de la siguiente expresión:

$$A[m^2] = \left(\frac{TEU_a \left[\frac{TEU}{año} \right] * e [días] * A_{TEU}[m^2]}{d_a \left[\frac{días}{año} \right] * a[TEU]} \right) * f_r$$

Donde:

A , es el área operativa de almacenaje que considera el espacio efectivo disponible para el almacenaje de la carga;

TEU_a , es el tráfico esperado a manejar en un año en unidades de $\left[\frac{TEU}{año} \right]$;

e , estancia promedio de la carga en la terminal;

Tipo de contenedor	Estadía (días)
Importación	7
Exportación	5
Contenedores vacíos	20

Figura 30. Estadía media de un contenedor en el área de almacenamiento. Tomada del documento “Port development: A handbook for planners in developing countries” (1985, Marzo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

a , es la altura media de apilado de contenedores;

A_{TEU} , área necesaria para una unidad de carga, parámetro que depende del equipo de maniobras empleado en el traslado y estiba de la carga en el patio y/o almacén;

Equipo de maniobras	Altura media de almacenamiento	Área unitaria (m ²)
Grúas de arco neumáticos o rieles (<i>Transtainers</i> , <i>Rubber tired gantry</i> . RTG y <i>Rail mounted gantry</i> - RMG)	2	15
	3	10
	4	7.5

Figura 31. Área unitaria requerida para una unidad de carga. Tomada del documento “Port development: A handbook for planners in developing countries” (1985, Marzo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

d_a , se refiere a la disponibilidad en días por año del área de almacenamiento;

f_p , factor de pico, el cual corrige el efecto que se produce en la terminal debido a la distribución de llegadas de buques y a la llegada y salidas del transporte terrestre (parámetro no proporcionado por la UNCTAD).

Características del sistema de recepción/desalojo de mercancía

Para el cálculo de la capacidad del sistema de recepción/desalojo, no se proporciona una metodología en el documento de la UNCTAD, sin embargo, sí se menciona al respecto que este debe ser suficiente para evitar la formación de líneas de espera.

Por lo que es recomendable que las estaciones de transferencia de mercancía se establezcan fuera del área portuaria, esto para evitar que la formación de congestión en esta maniobra afecte las operaciones portuarias.

Las fórmulas proporcionadas por la UNCTAD para el diseño de terminales portuarias son de gran utilidad, sin embargo, el funcionamiento de cada terminal portuaria es único y depende de un gran número de condiciones locales por lo que no es conveniente realizar estimaciones de la capacidad usando estas mismas fórmulas, cuyos resultados incluso pueden resultar obsoletos.

2. Capacidad Deseable

El cálculo de la capacidad de la terminal en funcionamiento, debe considerar la demanda y las características operativas reales del puerto. Para posibilitar la evaluación de la capacidad portuaria como se describirá a continuación, es un requisito la toma de datos estadísticos indicada en el tema “Evaluación del Desempeño de un Puerto”.

Por tanto, se debe definir la capacidad óptima de la terminal portuaria en función de tres parámetros:

- Optimización operacional.
Definición del grado de congestión y tiempos de espera aceptables en función del número de servidores disponibles en cada maniobra realizada en la terminal y su grado de utilización. Se define en términos de:
 - Grado de ocupación del sistema (σ);
 - Probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados (O);
 - Número medio de usuarios en espera (N_w);
 - Número medio de usuarios en el sistema (N_s);
 - Tiempo medio que cada usuario permanecerá esperando para ser atendido (T_w);
 - Tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema, incluyendo tiempo medio de espera y tiempo medio de servicio (T_s).

- Optimización de costos.
Optimización del costo general considerando los costos asociados con el uso de la infraestructura y los costos asociados al congestión y servicio de los usuarios en la terminal. Se puede definir en términos de costo óptimo en unidades \$/contenedor o contenedores/año, correspondientes al costo óptimo.

- Optimización de la infraestructura.
Se calcula la capacidad de la terminal en función del grado de utilización óptimo de la infraestructura. Se define en términos de contenedores/año correspondientes a la optimización del uso de la infraestructura portuaria.

Para definir la capacidad deseable de la terminal previa al inicio de operaciones, se utilizan valores recomendables tales como los de la UNCTAD, o basados en la experiencia; sin embargo, la evaluación de la operación desde el primer periodo de operación debe fundamentarse en los datos estadísticos que se registren del puerto.

La elección de capacidad deseable en términos de la optimización operacional, optimización de costos y optimización de la infraestructura debe estar descrita en las Reglas de Operación y en los Programas Maestros de Desarrollo Portuario.

Todos los parámetros relacionados con la obtención de la capacidad deseable deben de encontrarse definidos en las Reglas de Operación, en relación con las estrategias que se deben desarrollar para alcanzarlos.

Tanto la capacidad deseable como los parámetros operacionales definidos en las Reglas de Operación, deben ser manifestados como obligatorios para ser cumplidos en los Contratos de Cesión de Derechos Parciales de las terminales portuarias.

2.1. Optimización operacional

Como se ha explicado anteriormente, dentro de la terminal portuaria se realizan principalmente tres maniobras de transferencia de carga. Cada vez que se transfiere la carga, ésta entra a un nuevo subsistema con características específicas que definen un nuevo valor de capacidad. Es por esto que en cada transferencia de carga la infraestructura puede congestionarse y formar colas y por tanto, para cada maniobra se debe realizar un análisis de optimización operacional.

La capacidad de la infraestructura de la terminal portuaria, está sujeta a la frecuencia de llegada de usuarios, el valor esperado del tiempo de servicio y a las Reglas de Operación, cuya representación para cada sistema dentro de la terminal se muestra a continuación:

	Primera maniobra (carga/descarga)	Segunda maniobra (almacenamiento)	Tercera maniobra (desalojo/recepción)
Usuarios	Buques	Contenedores	Contenedores, Bombcart o chasis de recolección
Servidores	Número de posiciones de atraque y número de grúas pórtico sobre neumáticos (RTG)	Tractocamiones de patio con chasis reforzado (Bombcart) grúas de pórtico montadas en rieles (RMG) o chasis de recolección	Tractocamiones de patio con chasis reforzado (Bombcart), chasis de recolección o grúas de pórtico montadas en rieles (RMG)

Figura 32. Representación de los usuarios y servidores en cada maniobra realizada en la terminal portuaria. Elaboración propia.

Las Reglas de Operación cobran una gran importancia, ya que su definición incide en los valores que se presenten de arribo de usuarios y tiempos de servicio.

De acuerdo con el Reglamento de la Ley de Puertos de México, la atención en puerto debe seguir la premisa de “Primero en llegar, primero en ser atendido”³⁷, dando prioridad a arribos programados y algunos otros casos especiales cuya frecuencia de ocurrencia es mínima, por lo que no debería ser necesario considerar un nivel de priorización.

Como ya se ha comentado anteriormente, desde el punto de vista de la operadora de la terminal, la capacidad de una terminal portuaria debe ser aquella en la que se ocupen al máximo las instalaciones habilitadas, de forma constante. De esta forma, todas las terminales deberían encontrarse ocupadas en todo momento, por lo que toda embarcación que arribara al puerto debería ser mandada a fondeo hasta que las embarcaciones arribadas anteriormente hubieran sido atendidas.

³⁷ Glosario.

Este tipo de política resultaría ineficiente logísticamente y económicamente debido a los costos asociados a la espera de buques y a los inventarios de mercancía frenada en el puerto.

Por otro lado, una política contraria, en la que se garantizara que los buques nunca tuvieran que esperar también representa una solución costosa, solo que en este caso la operadora del puerto resulta afectada debido a la subutilización de la infraestructura.

La situación ideal de operación de la terminal portuaria sería lograr que todas las posiciones de atraque del muelle se encontraran ocupadas asegurando que ningún buque tuviera tiempos de fondeo. Esta situación es teórica ya que aunque el arribo de embarcaciones sea programado, su llegada al puerto es aleatoria y por otro lado el tiempo de servicio al buque también es aleatorio debido a la distribución variable de la carga transportada y a factores imprevistos (clima, fallas de equipo, por ejemplo).

Por medio del uso de los conceptos de teoría de colas, se pueden obtener datos analíticos del comportamiento del grado de utilización de la infraestructura y la cantidad de usuarios esperando por ser atendidos en una terminal portuaria.

La teoría de colas es usada comúnmente para analizar líneas de espera y en la investigación de operaciones cuando se tiene un sistema operativo de uno o más servidores. Por lo que resulta factible aplicar dichos conceptos en el análisis de una terminal portuaria.

Es importante tomar en cuenta que la teoría de colas es útil para obtener valores referentes a las colas formadas en un sistema, en forma de medias en un periodo significativo, como puede ser un año.

Los resultados que se obtienen al utilizar teoría de colas, son los siguientes:

- Grado de ocupación del sistema (σ);
- Probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados (O);
- Número medio de usuarios en espera (N_w);
- Número medio de usuarios en el sistema (N_s);
- Tiempo medio que cada usuario permanecerá esperando para ser atendido (T_w);
- Tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema, incluyendo tiempo medio de espera y tiempo medio de servicio (T_s).

A continuación se describe el análisis por medio de la teoría de colas enfocado en las características del sistema de la atención de buques en la terminal portuaria (primera maniobra). Los mismos conceptos que serán descritos a continuación se pueden ocupar para analizar los demás sistemas del puerto, siempre y cuando se conozcan sus componentes característicos.

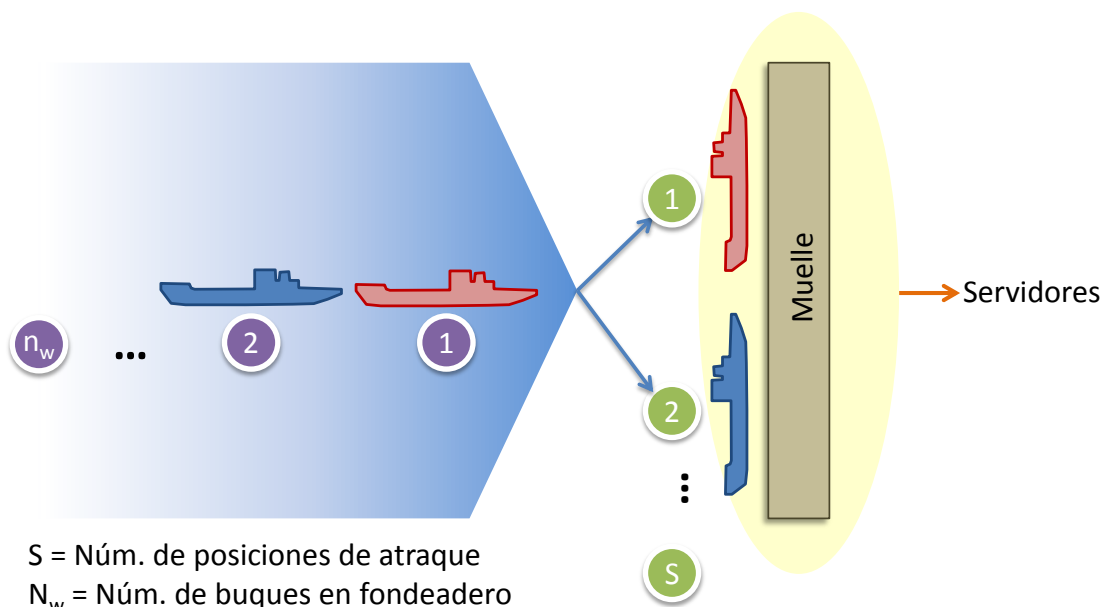


Figura 33. Definición del sistema de la Primera maniobra, integrado por los buques arribados (usuarios) y las posiciones de atraque en muelle (servidores). Elaboración propia.

Un modelo de colas se define por medio de las siguientes características del sistema:

- a. Patrón de arribo de los buques (usuario).

El patrón de arribo de buques se determina como el número de buques que arriban al puerto para ser atendidos en una terminal portuaria, en un periodo determinado, para lo que se recomiendan las siguientes unidades [*buques/día*]. Por lo general, este dato no se conoce, sin embargo sí se conoce el tiempo transcurrido entre el arribo de buques, al cual se le identifica como *a* en [*días/buque*]; el tiempo transcurrido entre el arribo de buques al sistema es asumido como aleatorio, por lo que se puede representar con algún modelo probabilístico. El patrón de arribos entonces se obtiene de la siguiente forma:

$$\lambda [\text{buques/día}] = \frac{1}{a [\text{días/buque}]}$$

Donde:

λ , es el patrón de arribo de los buques;

a, es el tiempo transcurrido entre el arribo de buques.

- b. Patrón del tiempo de servicio en muelle (tiempo de servicio de los servidores).

Los tiempos de servicio de buque en muelle son considerados independientes entre sí y del tiempo de transcurrido entre arribos, y en el caso de terminales portuarias, los tiempos de servicio son independientes del tamaño de la cola, ya que dependen del rendimiento de las operaciones en la terminal. De forma análoga al patrón de arribo de

buques, el patrón de buques atendidos se puede obtener como el valor inverso del tiempo de servicio en muelle, de la siguiente forma:

$$\mu [\text{buques/día}] = \frac{1}{\theta [\text{días/buque}]}$$

Donde:

μ , es el patrón de buques atendidos por día en muelle, llamado tasa de servicio;
 θ , es el tiempo medio de servicio en muelle por buque.

- c. Patrón de abandono del sistema.
El cual puede depender del tamaño de la cola y ocurrir al arribo o durante la espera.
- d. Número de servidores en el sistema.
Puede haber un solo servidor o un grupo de servidores; en algunas terminales el número de servidores puede ser conveniente definirlo como el número de grúas, mientras que en otras, como el número de posiciones de atraque, siempre que cada posición cuente con un sistema de grúas exclusivo.
- e. Capacidad del área de espera.
Se refiere al límite de usuarios que puede existir en el sistema.
- f. Disciplina de líneas de espera.
Se refiere al criterio con el que se decide el orden en que se atiende a los usuarios (en orden de llegada, aleatoriamente, en conjunto, etc.)

La notación *Kendall* se utiliza para especificar las características del sistema, por medio de la siguiente notación $a/b/d/e/f$. En general si en la notación no se mencionan los términos e/f , se asume que estos son $\infty/FIFO$ ³⁸

Para aplicar la teoría de colas en una terminal marítima, se consideran las siguientes hipótesis:

- a. Tanto el arribo de buques como el tiempo de servicio en muelle sigue un comportamiento aleatorio, cuya función resulta de modelar los datos registrados de arribo de buques y el tiempo de servicio en la terminal;
- b. En una terminal portuaria, las colas siempre serán mínimas, por lo que se puede considerar en estas condiciones que la capacidad del área de espera es infinita;
- c. La longitud de la cola puede tender a infinito, por lo que al llegar un buque a la cola este no abandona su posición hasta ser servido en la terminal;

³⁸ Glosario.

d. El servicio a los buques sigue la regla de servir primero al buque que llega primero (FIFO).

En cuanto al arribo de usuarios o al tiempo de servicio, los modelos probabilísticos que pueden aplicarse son los siguientes:

- Tiempos determinísticos (D);
- Distribución exponencial negativa (M),
- Distribución de *Erlang* (E_k) siendo $k = (1, 2, \dots)$,
- Cualquier otra distribución (G).

Cualquiera de las distribuciones anteriormente mencionadas puede ser empleada para modelar los parámetros de arribo y tiempo de servicio, sin embargo, con base en la revisión de datos estadísticos de diversas terminales portuarias, se ha demostrado que la modelación del patrón de arribo de los buques al puerto puede aproximarse a una función exponencial negativa de tipo *Poisson*, cuya representación analítica tiene la siguiente forma:

$$p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

Donde:

x , es el número de buques arribados al puerto por día;

λ , es el patrón de arribo de los buques por día;

Valor esperado: $E(x) = \lambda$

Varianza: $V(x) = \lambda$

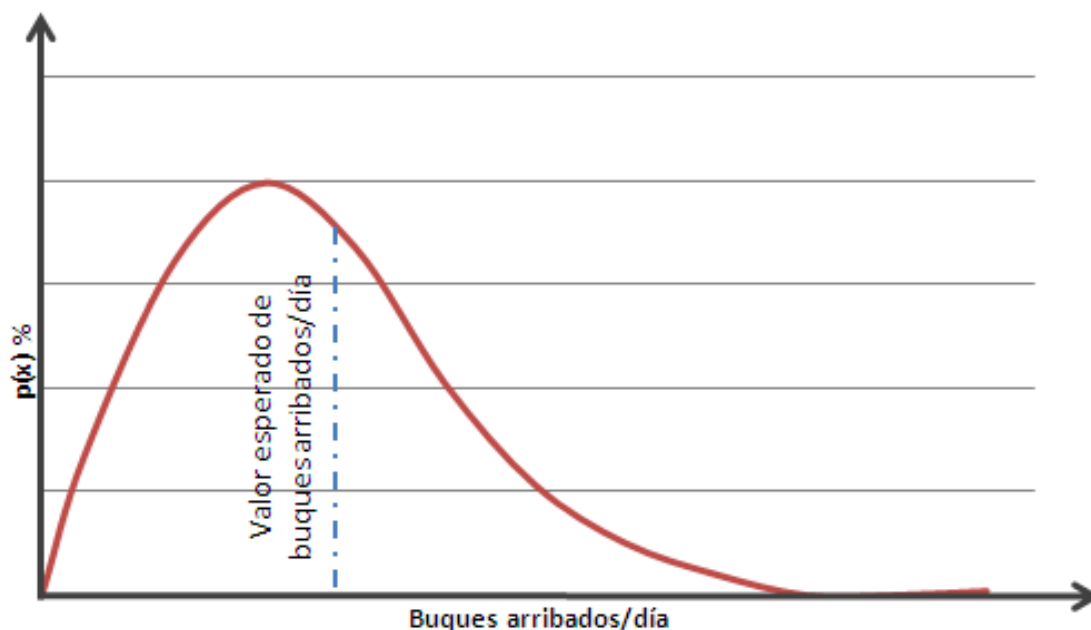


Figura 34. Representación de una distribución de *Poisson*. Elaboración propia.

Por otro lado, la tasa de servicio en terminales especializadas se ha modelado como una distribución *Erlang*, ya que la dispersión del tiempo de servicio que lo que se obtendría con un modelo de *Poisson*. La forma general de la distribución *Erlang* se muestra a continuación: Explicar por qué

$$p(x) = \mu e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{k-1}}{(k-1)!} \text{ para } x, \mu \geq 0$$

Donde:

$k = 1, 2, 3 \dots$;

μ , es el patrón de buques atendidos por día en muelle, llamado tasa de servicio;

λ , es el patrón de arribo de los buques por día;

Valor esperado: $E(x) = \frac{k}{\mu}$

Varianza: $V(x) = \frac{k}{\mu^2}$

El parámetro k se refiere al número de fases de *Erlang* que ocurren antes de que el buque abandone el muelle, cada fase de *Erlang* se refiere a una operación que ocurre dentro del periodo de servicio, todas las fases de *Erlang* deben ocurrir dentro del tiempo de servicio de forma ordenada, una después de la otra. Las fases de *Erlang* no necesariamente tienen un significado físico, y cada etapa tiene una distribución exponencial negativa; cuando la primera etapa es completada, la segunda etapa comienza inmediatamente. El tiempo total de servicio tiene una distribución que es la sumatoria de las fases *Erlang*.

Cuando el número de fases *Erlang* es igual a 1, la función se reduce a una función exponencial negativa. Cuando el número de fases es muy elevado, el tiempo de servicio tiende a ser constante, que es lo que ocurre en las terminales especializadas.



Figura 35. Representación de una distribución Erlang de una fase (E_1). Elaboración propia.

La validación de los modelos obtenidos se puede obtener mediante el cálculo del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson. Entre más cercano se encuentre el valor resultante a la unidad, más confiable es. Se acepta como válido el modelo si esta variable tiene cuando menos un valor de 0.85.

Coeficiente de correlación de momento del producto *Pearson*:

$$r^2 = \left(\frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 * \sum(y - \bar{y})^2}} \right)^2$$

Donde:

x , es cada valor $p(x)$ obtenido con base en datos estadísticos;

y , es cada valor $p(x)$ obtenido al usar el modelo que representa a los datos estadísticos (*Poisson*, *Erlang*...);

\bar{x} , es el valor medio de $p(x)$ obtenido con base en datos estadísticos;

\bar{y} , es el valor medio de $p(x)$ obtenido al usar el modelo que representa a los datos estadísticos (*Poisson, Erlang...*).

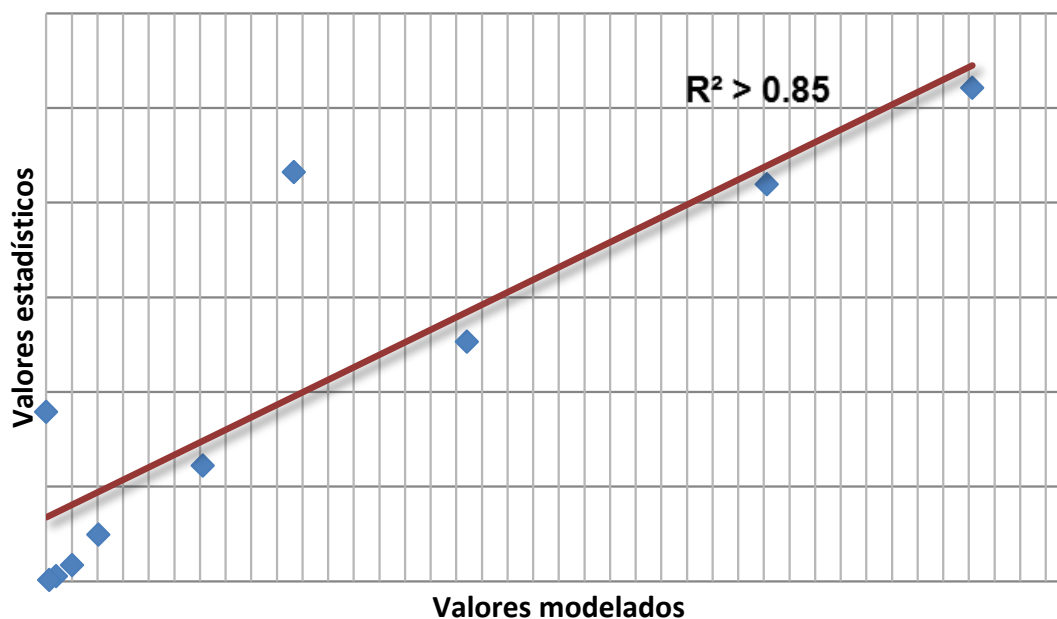


Figura 36. Representación de la evaluación de la correlación, utilizando una regresión lineal de los valores estadísticos en función de los valores modelados. Elaboración propia.

El problema planteado de la terminal portuaria considera operadores múltiples (posiciones de atraque), arribos aleatorios exponenciales (distribución exponencial negativa de *Poisson*), tiempos de servicio exponenciales o multi-exponenciales (distribución exponencial negativa o distribución *Erlang*), capacidad infinita del área de espera y servicio FIFO, por lo que según la notación Kendall se puede reducir a dos tipos de sistemas:

- $M/M/S/\infty/FIFO$
Arribo de usuarios exponencial, tasa de servicio exponencial, número S de servidores, capacidad del área de espera infinita, modo de atención *FIFO*.
- $M/E_{k>1}/S/\infty/FIFO$
Arribo de usuarios exponencial, tasa de servicio *Erlang*, número S de servidores, capacidad del área de espera infinita, modo de atención *FIFO*.

Grado de ocupación del sistema (σ)

El grado de ocupación del sistema se obtiene en función de la tasa de arribo de usuarios al sistema y la tasa de servicio en el sistema, por medio de la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{\lambda [\text{buques/día}]}{\mu [\text{buques/día}] * S}$$

Donde:

σ , es el grado de ocupación del sistema;

λ , es el patrón de arribo de los buques por día;

μ , es el patrón de buques atendidos por día en muelle, llamado tasa de servicio;

S , es el número de servidores.

El grado de utilización de la terminal portuaria se encuentra en función de la tasa de arribo de buques, tiempo medio de servicio y número de servidores; siempre y cuando los primeros dos sean aleatorios. Si se logra llegar a un valor constante de cualquiera de los dos, entonces ya no se espera la formación de colas y por tanto, el nivel de ocupación puede aumentar disminuyendo solo por el tiempo que transcurre desde que se atraca el buque hasta que comienza a ser cargado/descargado y desde que termina de ser cargado/descargado hasta que es desatraca del muelle.

Es importante destacar que esta misma ecuación es la proporcionada por la UNCTAD para definir el número de posiciones de atraque requeridas en una terminal portuaria.

Probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados (V)

El cálculo de la probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados en algún momento, se realiza con la siguiente expresión:

$$V = \frac{1 - y}{1 - \sigma y}$$

Donde:

V , es la probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados;

σ , es el grado de ocupación del sistema;

$$y = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda * \theta)^i}{i!}}{\sum_{i=0}^n \frac{(\lambda * \theta)^i}{i!}}$$

θ , es el tiempo medio de servicio en muelle por buque.

El parámetro y , es un parámetro intermedio para realizar el cálculo de la probabilidad, no tiene un significado físico.

El cálculo de los demás parámetros operacionales depende del tipo de sistema al que corresponda el funcionamiento de la terminal portuaria.

Para el sistema $M/M/S/\infty/FIFO$, se muestran a continuación las fórmulas correspondientes:

- **Número medio de usuarios en espera (N_w)**

$$N_w[buques] = V * \frac{\sigma}{1 - \sigma}$$

Donde:

V , es la probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados;
 σ , es el grado de ocupación del sistema.

- **Número medio de usuarios en el sistema (N_s)**

$$N_s[buques] = V * \frac{\sigma}{1 - \sigma} + \lambda * \theta$$

Donde:

V , es la probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados;
 σ , es el grado de ocupación del sistema;
 λ , es el patrón de arribo de los buques por día;
 θ , es el tiempo medio de servicio en muelle por buque.

- **Tiempo medio que cada usuario permanecerá esperando para ser atendido (T_w)**

$$T_w[días] = \frac{V * \theta}{S * (1 - \sigma)}$$

Donde:

V , es la probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados;
 θ , es el tiempo medio de servicio en muelle por buque;
 S , es el número de servidores;
 σ , es el grado de ocupación del sistema.

- **Tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema, incluyendo tiempo medio de espera y tiempo medio de servicio (T_s)**

$$T_s [días] = \frac{V * \theta}{S * (1 - \sigma)} + \theta$$

Donde:

V , es la probabilidad de que todos los servidores se encuentren ocupados;

θ , es el tiempo medio de servicio en muelle por buque;

S , es el número de servidores;

σ , es el grado de ocupación del sistema.

Para el sistema $M/E_{k>1}/S/\infty/FIFO$, no existe una solución exacta, sin embargo se han desarrollado aproximaciones con alto grado de confiabilidad. Existen programas disponibles para la obtención de los resultados para este tipo de sistemas, por ejemplo la calculadora realizada por la Universidad de Eindhoven, la cual es gratuita y se puede descargar en este sitio <http://www.win.tue.nl/cow/Q2>³⁹.

Recientemente *Wen-Chih*⁴⁰ desarrolló un método para resolver problemas de esta naturaleza, aproximando un problema con arribos exponenciales y tiempos de servicio constantes al $M/E_{k>1}$.

- **Tiempo medio que cada usuario permanecerá esperando para ser atendido (T_w)**

$$T_w[\text{días}] = w_1 \frac{1}{2}$$

Donde:

$$w_1 = \frac{\lambda^S}{(S-1)! \mu^{(S-1)} (S\mu - \lambda^2) \left[\sum_{n=1}^{S-1} \frac{1}{n!} (\sigma)^n \right] + \lambda^S (S\mu - \lambda)}$$

Donde:

n , número de buques presentes en un puerto en un periodo;

λ , es el patrón de arribo de los buques por día;

μ , es el patrón de buques atendidos por día en muelle, llamado tasa de servicio;

S , es el número de servidores.

- **Tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema, incluyendo tiempo medio de espera y tiempo medio de servicio (T_s)**

$$T_s[\text{días}] = T_w + \theta$$

³⁹ Aplicación disponible en el sitio de Internet: <http://www.win.tue.nl/cow/Q2>; Auspiciado por la Universidad de Eindhoven, consultada el 3 de junio de 2012.

⁴⁰ *Wen-Chih* (1973 – Actual), Doctor en Ingeniería Eléctrica por la *National Taiwan University*, miembro del Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica. Ha desarrollado investigaciones en computación para telefonía celular y gestión de datos.

Donde:

T_w , es el tiempo medio de espera antes de que el buque sea atracado;

θ , es el tiempo medio de servicio en muelle por buque.

- **Número medio de usuarios en espera (N_w)**

De acuerdo con la ecuación de Little, siempre se cumple que:

$$N_w = \lambda * T_w$$

Donde:

λ , es el patrón de arribo de los buques por día;

T_w , es el tiempo medio de espera antes de que el buque sea atracado.

- **Número medio de usuarios en el sistema (N_s)**

Del mismo modo que para el número de usuarios en espera, de acuerdo con la ecuación de Little, siempre se cumple que:

$$N_s = \lambda * T_s$$

Donde:

λ , es el patrón de arribo de los buques por día;

T_s , es el tiempo medio que cada usuario permanece en el sistema, incluyendo tiempo medio de espera y tiempo medio de servicio.

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo del tiempo de espera en un sistema de dos servidores, en función del grado de ocupación.

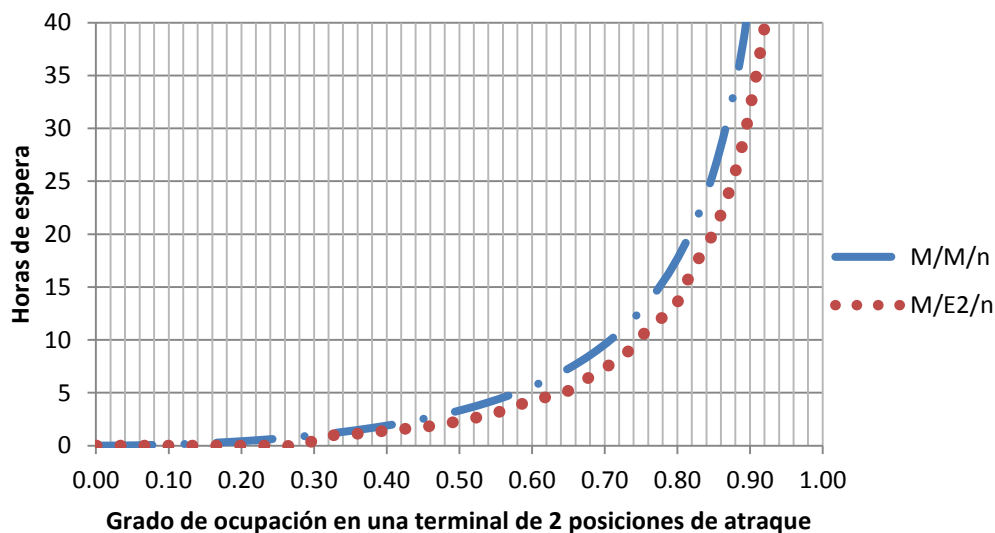


Figura 37. Tiempos de espera en función del grado de ocupación en una terminal de dos posiciones de atraque, obtenidos mediante el uso de Teoría de Colas. Elaboración propia.

Como se observa en el gráfico, los tiempos de espera medios son mayores en el caso de tiempos de servicio con función exponencial. Un grado de ocupación de 0.50 representa para $M/M/2$ un tiempo medio de espera de 3.51 horas, mientras que para $M/E_2/2$ este es de 2.49 horas, mientras que en ambos casos la probabilidad de que ambos servidores se encuentren ocupados es de 0.35.

Por ejemplo, en el caso de una terminal de contenedores de tipo $M/E_2/2$, al aceptar que el grado de ocupación máximo admisible es 0.50 (como se verá más adelante que lo recomienda la UNCTAD), se admite que en promedio un 35% de los buques arribados tengan esperas máximas de 2.49 horas. ¿Es esto óptimo? ¿Para el agente naviero? ¿Para la Administración Portuaria Integral? ¿Para el cliente?... Estas preguntas deben encontrar su respuesta en las Reglas de Operación de la Terminal Portuaria.

Es probable que para fijar parámetros operacionales, en general no se tenga suficiente sensibilidad sobre los resultados del tiempo de espera y su probabilidad de ocurrencia, por lo que resulta más conveniente expresar estos resultados en términos de costos.

2.2. Optimización de costos

Con la finalidad de evaluar la eficiencia de la política de operaciones, se asocian los resultados operativos con sus costos correspondientes, con lo que se define una función representativa de los costos totales cuyo valor óptimo define el cálculo de la capacidad óptima de la terminal portuaria.

Los costos se pueden clasificar en **costos portuarios** y **costos del buque**, los cuales estarán compuestos por una **componente fija** y una **componente variable**, como se explica en el siguiente diagrama:

Costos Totales		
Uso de Terminales Portuarias		
\$/Ton	Costos portuarios	Costos de buque
Componente fija	i. Uso de la infraestructura	-
Componente variable (en función de la carga manejada)	ii. Costos por maniobras y servicios	iii. Tiempo que el buque permanece atracado en muelle iv. Tiempo que el buque espera a ser atracado en muelle

Figura 38. Costos totales integrados por los costos portuarios y los costos de buque. Elaboración propia con información del libro “Operación, Administración y Planeación Portuarias” de López Gutiérrez, H.

Los costos fijos son independientes del volumen de carga que se maneje por la terminal portuaria, mientras que **los costos variables** se generan como consecuencia del manejo de la carga.

Los costos asociados al uso de la terminal portuaria en función de la magnitud de tráfico atendida en ella se calculan con un enfoque del cliente interesado en utilizar dicha terminal dentro de su ruta logística.

A continuación se realiza una descripción de la obtención de los costos que se incluyen en el análisis con respecto al esquema tarifario del Sistema Portuario Nacional:

- i. Los costos asociados al uso de la infraestructura están definidos por:
 - a. La tarifa de puerto fijo, la cual cubre el costo asociado al señalamiento marítimo, los costos de operación y administración del puerto, su base de cobro es en [\$/embarcación].
 - b. Tarifa de atraque, cubre los costos de capital de las obras de atraque y construcción de muelles, su base de cobro es [\$/m. eslora – hora]
- ii. Los costos de maniobras y servicios son los siguientes:

- a. Tarifa de puerto variable, que cubre los costos asociados con la habilitación y mantenimiento de las áreas urbanizadas y el mantenimiento de las obras de protección y dragado, su base de cobro es [\$/contenedor].
 - b. Tarifa de muellaje, incluye el mantenimiento y seguros de las obras de atraque y muellaje, su base de cobro es [\$/contenedor].
 - c. Tarifa por inspección de contenedor, su base de cobro es [\$/contenedor].
 - d. Tarifa por consolidación/desconsolidación de la mercancía del contenedor, su base de cobro es [\$/contenedor].
 - e. Tarifa por almacenaje de contenedor, después del periodo libre de almacenamiento (el periodo libre de almacenamiento para contenedores de importación es de 5 días naturales y para contenedores de exportación de 15 días naturales), su base de cobro es [\$/contenedor].
 - f. Tarifas por otros servicios con base de cobro de [\$/contenedor].
 - g. Tarifa por traslado de contenedores entre costado de muelle y el patio de almacenamiento, su base de cobro es [\$/contenedor].
 - h. Tarifa por entrega/recepción de patio de contenedores a góndola de ferrocarril o vehículo de transporte, o viceversa, su base de cobro es [\$/contenedor].
- iii. Los costos por el tiempo que el buque permanece atracado en el muelle para contenedores se encuentran en función de la cantidad de contenedores que deban moverse con las grúas del muelle. Ya que el rendimiento de las grúas se define en unidades de [contenedores/hora], se obtiene la cantidad de horas que un buque permanecerá en el muelle con respecto a la cantidad de contenedores que deban moverse. Se estima el costo del buque por hora y con estos datos se obtiene la base de cobro de [\$/contenedor].
- iv. Los costos asociados a la espera del buque con respecto a la carga manejada, se obtienen con los resultados obtenidos del uso de la teoría de colas, calculando el tiempo de espera en función de la ocupación de la terminal, su base de cobro es [\$/contenedor].

Como se puede apreciar en la descripción anterior, la formulación de los costos totales descrita contempla los costos asociados con la eficiencia operacional de todo el puerto, incluyendo las tres maniobras a las que se ha hecho referencia a lo largo del documento, ya que la estadía en el patio de almacenamiento de contenedores depende de la eficiencia de la segunda y tercera maniobra.

Al integrar estos cuatro componentes del costo, se obtiene un comportamiento de los costos totales en función de la carga manejada del uso de la terminal portuaria; con lo que se determina la carga que representa los costos totales óptimos, y por tanto la capacidad que debe manejar la terminal.

A continuación se describe el comportamiento de cada componente del costo total:

- i. **Uso de la infraestructura (Componente fija de los Costos portuarios).** A medida que el volumen de carga aumenta, los costos fijos disminuyen, ya que el costo es el mismo pero se prorratea entre un valor mayor de carga;
- ii. **Maniobras y servicios (Componente variable de los Costos portuarios).** Una componente de los costos variables se refiere a los costos por contenedor, los cuales tienen un comportamiento creciente linealmente proporcional al volumen de mercancía manejada;
- iii. **Costos asociados con el tiempo que el buque permanece atracado en muelle (Componente variable de los Costos de buque).** Este costo para el buque de contenedores es constante al definirse en función de la carga manejada;
- iv. **Costos asociados al tiempo de espera (Componente variable de los Costos de buque).** Mientras la infraestructura y equipamiento del puerto permanece constante, el tiempo de espera o nivel de congestión se incrementa con el movimiento de carga, generando un costo creciente.

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo del costo del buque por día en función de su capacidad:

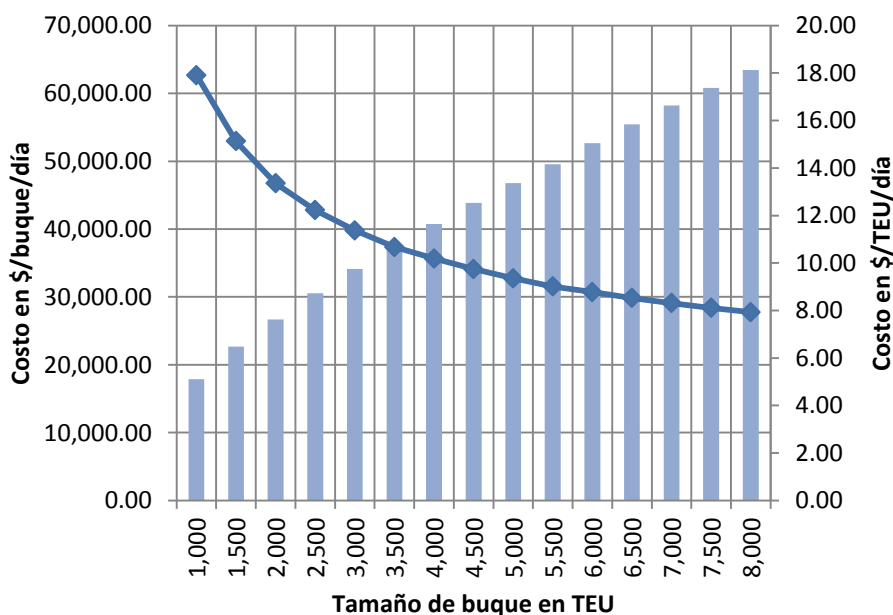


Figura 39. Costos de carga por día en función del tamaño de buque en función de la capacidad de TEUs que pueden transportar (Línea: Costo en \$/TEU/día; Barra: Costo en \$/buque/día). Tomada de: “Application of queuing theory to the container terminal at Alexandria seaport”, de Naggar, M.E.

En el gráfico siguiente se observa el comportamiento de los costos asociados con el uso de la terminal portuaria. Con esta herramienta se realiza la optimización del costo para estimar la capacidad óptima de la terminal.

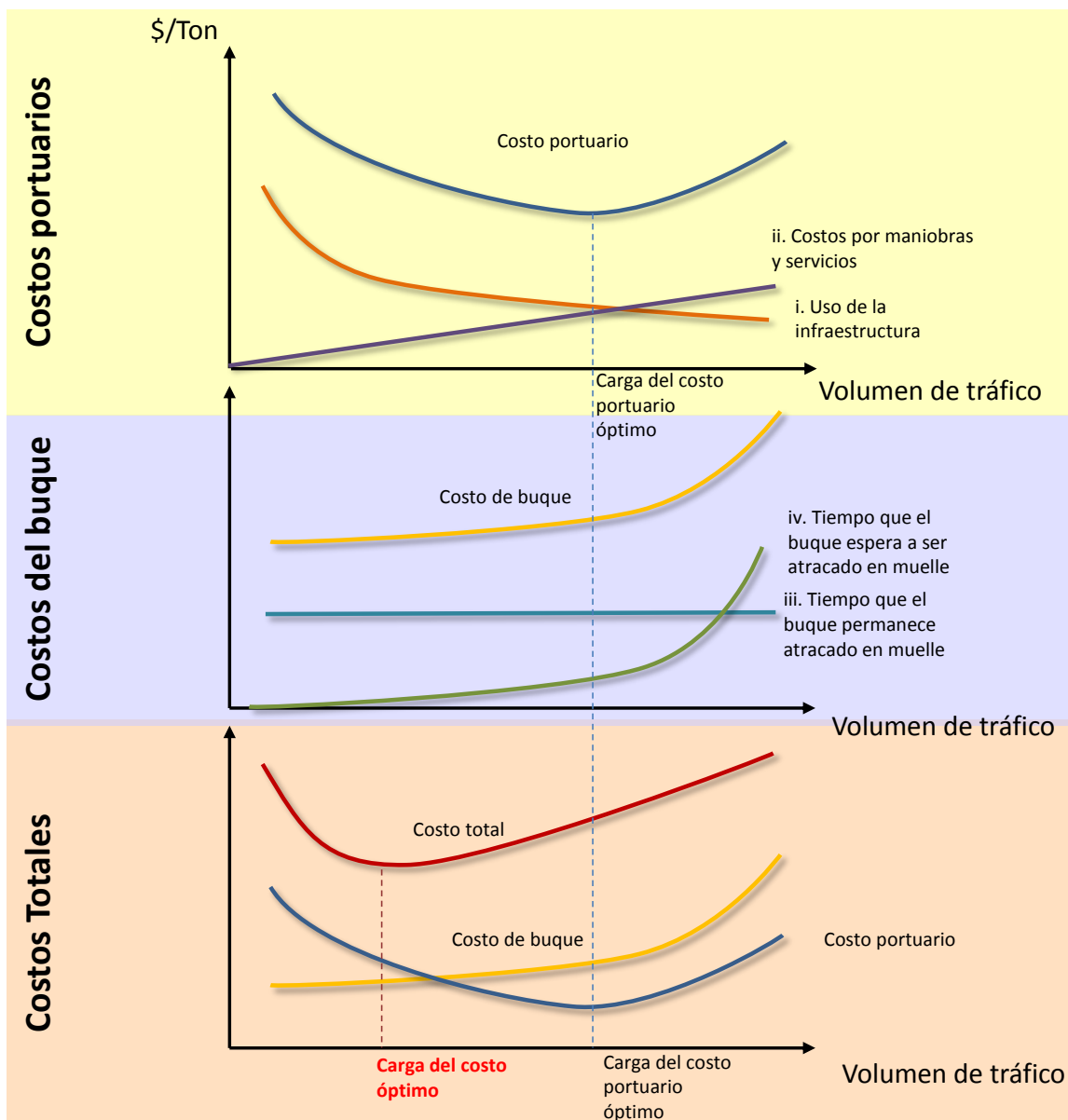


Figura 40. Desglose del costo total, formado por los costos del buque y los costos portuarios. Elaboración propia con información de *Operación, Administración y Planeación Portuarias* de López Gutiérrez, H.

Es importante notar que al considerar sólo los costos portuarios se obtiene una capacidad óptima mayor a la que se obtiene incluyendo los costos del buque, además de que el costo óptimo de los costos portuarios siempre será menor que el costo óptimo total, por lo que resulta importante planear las operaciones portuarias para que esta diferencia sea mínima.

La definición de las acciones que se ejecutarán para disminuir costos se basa en la elección de la estrategia de desarrollo que se establezca para el puerto, como se describe a continuación:

Estrategia de crecimiento

Disminuyendo los tiempos de espera y tiempos de servicio:

- Con mejoras operativas;
- Con mejoras de equipamiento;
- Con aumento en el número de posiciones de atraque;
- Incremento en la capacidad de almacenamiento;
- Incremento en la capacidad de desalojo de mercancía;
- Disminución en las demoras en todas las actividades involucradas en el sistema de transporte.

Estrategia de consolidación

Dirigidas a abarcar el mismo *hinterland* que se ha venido atendiendo en el puerto, por lo que no se busca mejorar operativamente, sino lograr una mayor penetración de mercado, de esta forma las acciones se delinearán en torno a atraer más tráfico de las mismas características, que no requiere mejoras operativas:

- Buscando el menor costo total y buscar el mercado que opere para la capacidad existente y el volumen de menor costo.

2.3. Optimización de infraestructura

Un tercer enfoque se refiere a la parte “dura” del sistema: la infraestructura. Este enfoque es el que demanda más recursos de inversión.

El cálculo de la optimización de la infraestructura se obtiene con las ecuaciones descritas en el tema “*Metodología del Cálculo de la capacidad integral de las terminales portuarias mayoritariamente utilizado en el Sistema Portuario Nacional*”, sólo que obteniendo los siguientes parámetros con la estadística operativa del puerto:

- **Primera maniobra – carga/descarga**
 - d_a , se refiere a la disponibilidad de horas en las que se puede atracar un buque en muelle por día;
 - d_a , se refiere a la disponibilidad en días en las que se puede atracar un buque en muelle por año;
 - O_p , es el factor de utilización óptima de la capacidad de la terminal
- **Segunda maniobra – almacenamiento**
 - a , es la altura media de apilado de contenedores;

- d_a , se refiere a la disponibilidad en días por año del área de almacenamiento;
 - e , estancia promedio de la carga en la terminal;
 - A_{TEU} , área necesaria para una unidad de carga, parámetro que depende del equipo de maniobras empleado en el traslado y estiba de la carga en el patio y/o almacén;
 - f_p , factor de pico, el cual corrige el efecto que se produce en la terminal debido a la distribución de llegadas de buques y a la llegada y salidas del transporte terrestre;
 - O_S , es el factor de utilización óptima que puede tener el área de almacenamiento, que para terminales de contenedores
- **Tercera maniobra – desalojo/recepción**
 - m_g , número de movimientos de TEU por grúa por día;
 - n_g , número de grúas disponibles;
 - d_a , se refiere a la disponibilidad de días en las que se puede atracar un buque en muelle por año;
 - O_t , es el factor de utilización de la capacidad del equipo para permitir su funcionamiento óptimo
 - N , es el número medio de vehículos disponibles por día;
 - c_v , capacidad media de los vehículos disponibles;
 - d_a , se refiere a la disponibilidad de días por año de vehículos carreteros;
 - O_{TT} , es el factor de disponibilidad óptima de la mercancía a cargar en los vehículos
 - N_p , se refiere al número de plataformas disponibles para cargar contenedores por vía por operación realizada de desalojo/recepción;
 - N_v , número de vías disponibles;
 - a , altura de estiba de las plataformas;
 - p_d , número de operaciones que se realizan en un día;
 - d_a , se refiere a la disponibilidad de días por año de la infraestructura ferroviaria;
 - O_{TF} , es el factor de disponibilidad óptima de la mercancía a cargar en los vehículos ferroviarios,

3. Análisis de Resultados

Una vez transcurrido el primer periodo de operación del puerto, se deben utilizar los datos estadísticos del puerto y realizar la evaluación de la capacidad en términos de la optimización operacional y la optimización de costos.

Posteriormente, los resultados obtenidos serán comparados con la Capacidad Deseable, planteada al inicio del periodo, con lo que se realizará la evaluación de la eficiencia operativa de la terminal portuaria.

Estrategia de consolidación o de crecimiento.

“Metodología para estimar la capacidad de una terminal portuaria de contenedores.”

Si en la comparación de los resultados se obtuviera que la operación fuera ineficiente, entonces se procedería a identificar el área que está causando la problemática, por medio del análisis de los indicadores estadísticos señalados en el tema *“Evaluación del desempeño de un puerto”*, empleando las estadísticas propias generadas en el período previo y que caracterizan al puerto.

Previo a tomar la decisión de ampliar la infraestructura portuaria, debido al decremento del nivel de servicio de una terminal, se debe garantizar que la operación de la terminal se realiza de la forma más eficiente posible, por medio de la metodología descrita hasta este punto.

CONCLUSIONES

Se verifica que la hipótesis es correcta; por lo que a continuación se enlistan las conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo:

- La operación portuaria es un tema que se encuentra en constante evolución, requiriendo cada vez mayor especialización y eficiencia para actuar como intercambiadores modales de alto rendimiento; es por esto que las Reglas de Operación y definición de la capacidad de la infraestructura debe ser continuamente analizada para garantizar que el nivel de servicio prestado siempre tienda al óptimo.
- Es conveniente tomar en cuenta que el análisis detallado de la capacidad de la infraestructura debe realizarse con parámetros que respondan a las condiciones reales, ya que de otra forma, existe una gran probabilidad de que la infraestructura no se aproveche eficientemente.
- Actualmente pareciera que el mayor interesado en una operación eficiente del sistema portuario, en México, es el agente terminalero. Sin embargo, el actor más interesado en la operación eficiente del sistema portuario debe ser el Estado quien es el propietario inicial, posteriormente la administración portuaria y en tercer lugar el agente terminalero. Es por esto que no es recomendable medir la eficiencia del puerto solo en términos de indicadores estándar de productividad, sino también en términos operacionales y de costos y esta información debe encontrarse disponible para todos los interesados y en el marco de funcionamiento actual, para los consultores que serán los encargados de analizar la operación portuaria.
- El desarrollo del sistema de transporte es dependiente principalmente de la demanda. Esta puede ser captada local, regional e internacionalmente. Mientras la mayor proporción de la demanda atendida sea internacional, el sistema es dependiente de mercados cuyo comportamiento es poco predecible, volviendo al sistema vulnerable, es por esto que debe existir un nivel comparable de inversiones en el sistema de transporte con inversiones dirigidas al desarrollo de mercados internos que demanden el uso de la infraestructura de transporte, permitiendo tener un mayor control en el uso de la infraestructura nacional.
- La terminal portuaria es solo un componente de un gran sistema, por lo que su eficiencia depende de la eficiencia de las actividades anteriores y posteriores a las realizadas en la terminal. Es por esto que es deseable que el analista de las operaciones portuarias contara con información suficiente para realizar un análisis operacional de las actividades directamente relacionadas con la operación portuaria, esto es, datos relacionados con el almacenamiento en puerto y con en desalojo / recepción de la mercancía.
- Todos los puertos del mundo forman parte del sistema portuario, en función de su localización, área de influencia, nivel de especialización y nivel de servicio algunos puertos compiten por un mismo mercado, en este sentido se debe realizar el análisis que sirva

como base para la planificación del desarrollo portuario. En México, existe la coordinación de los puertos por la Dirección General de Puertos, quien es la responsable del desarrollo portuario en un contexto sistémico, permitiendo que las inversiones motiven la mejora de la eficiencia global del sistema portuario nacional, teniendo en cuenta también la necesidad de coordinarse con los actores encargados del desarrollo de los sistemas de transporte complementarios a los puertos que permitan avanzar hacia la eficiencia intermodal.

- El diseño de la secuencia de actividades que se desarrollan normalmente se basará en las mejores prácticas de acuerdo con la experiencia en el manejo de terminales portuarias similares, sin embargo debe existir una evaluación continua de su rendimiento en función de la evolución de la demanda, ya que esta organización es el principal factor de la presencia de ineficiencias en diferentes puntos del sistema los cuales al no ser corregido limitan el desempeño global del transporte.
- El plan de operaciones es un documento vital para el correcto aprovechamiento de la infraestructura, por lo que además de la componente cualitativa del manejo de la infraestructura, debe expresarse el fundamento técnico con el cual se medirá la eficiencia de las Reglas de Operación con base en las características presentes en cada terminal portuaria.
- El establecimiento de tarifas debe ser pensado no solo en función de los resultados obtenidos en un flujo de caja, sino también en función del incentivo que representan, esto es primordial para incentivar la eficiencia de la transferencia de mercancías. En algunos casos, los incentivos están mal colocados, como cuando el ingreso más representativo del explotador de una terminal portuaria es el del cobro por maniobras, incrementando así la decisión de realizar un mayor número de maniobras dentro de la terminal portuaria que a su vez incrementa el tiempo que transcurre desde que la mercancía ingresa al puerto hasta que sale de él y eleva el costo para el dueño de la carga, disminuyendo la eficiencia global del sistema.
- La capacidad portuaria debe ser un valor conocido por los interesados en la explotación de la infraestructura, ya que de esto depende la eficiencia de las operaciones.
- La toma de datos estadísticos de las operaciones del puerto debe ser suficiente para poder realizar un análisis pormenorizado del desempeño de cada componente del sistema, Los orígenes y destinos de las mercancías deberían ser registrados en una matriz origen destino, que permita conocer las dimensiones de la zona de influencia del puerto y la posición que ocupa dentro de un contexto de puertos alimentadores o concentradores, sirviendo a un mercado local, regional o internacional.
- Los supuestos considerados para realizar el cálculo de la capacidad de las terminales portuarias deben quedar claras para los interesados en explotar la terminal, puesto que la modificación de dichos supuestos modifica la capacidad que pueda operarse en la terminal, abriendo márgenes amplios a reducción de eficiencia en componentes del sistema portuario, representando costos adicionales por la subutilización de la infraestructura y a mayor escala, reduciendo la competitividad del transporte nacional.

“Metodología para estimar la capacidad de una terminal portuaria de contenedores.”

- La metodología empleada para tomar decisiones en la forma de operar un puerto debe encontrarse explícitamente descrita en el plan de operaciones y esta debería estar justificada con base en parámetros operacionales o su traducción en costos óptimos.

GLOSARIO

Agentes de carga: En relación con el transporte multimodal, los agentes de carga son aquellos encargados del transporte de mercancía tipo “puerta a puerta”, es decir que son responsables del traslado de la mercancía desde la bodega del productor hasta la bodega del consumidor.

Bombcart: Tipo de grúa con brazo de elevación y agarre motorizado, que se inserta en el contenedor, a los lados (se llama *side-handler*), o en la parte superior (*top-handler*).

Calado: El calado de un barco o buque es la distancia vertical entre un punto de la línea de flotación y la línea base o quilla, con el espesor del casco incluido.

CFS: Container Freight Station por sus siglas en inglés. Patio de transferencia intermodal, en él se realiza el acopio de contenedores hacia su destino final. El CFS por lo general se encuentra techado, por lo que en él suele prestarse en servicio de consolidación/desconsolidación de la mercancía.

Capacidad limitante: En un sistema, se refiere a la evaluación de la capacidad de cada componente del sistema, la capacidad limitante es la correspondiente al componente que muestra el valor más reducido de capacidad del sistema.

Contenerización: Proceso de evolución del transporte de carga utilizando contenedores.

Cuellos de botella: Son actividades que disminuyen la velocidad de los procesos, incrementan los tiempos de operación y reducen la productividad del puerto, trayendo como consecuencia la elevación de costos y la reducción de afluencia de cargas.

Eslora: Es la medida de un buque tomada a lo largo, desde la proa hasta la popa. También se puede definir como la distancia entre dos planos perpendiculares a la línea de crujía medida paralelamente a la línea de agua.

Función exponencial: Cualquier función real que tiene como base el número de Euler ($e = 2.71828 \dots$), en la siguiente forma básica: $p(x) = K * e^x$. En teoría de colas se denota con la letra M .

Función de Erlang: La distribución Erlang es una forma generalizada de una distribución exponencial. La diferencia entre ambas reside en que la distribución Erlang considera que dentro del periodo total en el que ocurre un evento, se presentan fases secuenciales representadas cada una por una función exponencial. El número de fases se representa con la literal k , y la forma general de la distribución Erlang es:

$$p(x) = \mu e^{-\lambda x} \frac{(\mu x)^{k-1}}{(k-1)!} \text{ para } x, \mu \geq 0$$

Donde:

$k = 1, 2, 3 \dots$;

μ , es el patrón de buques atendidos por día en muelle, llamado tasa de servicio;

λ , es el patrón de arribo de los buques por día.

En teoría de colas, la Función de Erlang tiene la siguiente notación: E_k

Función de utilidad: La función de utilidad es una función real que mide la "satisfacción" o "utilidad" obtenida por un consumidor cuando disfruta el servicio proporcionado por un servidor. Si se desea saber más sobre este tema, se recomienda consultar el texto contenido en: *Why expected utility is reasonable*, consultado el 3 de junio de 2012 en:

<http://www.econ.ucsb.edu/~tedb/Courses/Ec100C/VarianExpectedUtility.pdf>

Grado de ocupación: Se refiere a la proporción entre el tiempo que una posición de atraque se encuentra ocupada y el tiempo total en el que puede ser ocupada.

Grúas portainer: Se refiere a las grúas utilizadas en muelle para cargar o descargar buques, las más comunes son las grúas RTG o grúas de neumáticos (*Rubber Tired Gantry*, por sus siglas en inglés).

Grúas trastainer: Se refiere a las grúas utilizadas en los patios de almacenamiento o sobre las vías férreas para estibar contenedores y realizar acomodos, las más comunes son las grúas RMG o grúas en rieles (*Rail Mounted Gantry*, por sus siglas en inglés).

Hinterland: Territorio o área de influencia. Este concepto se aplica específicamente a la región o distrito interno situado tras un puerto o río, donde se recogen las exportaciones y a través de la cual se distribuyen las importaciones, proviene del idioma alemán y significa "tierra posterior". Se refiere a la zona de influencia directa del puerto.

Hinterland ampliado: Este concepto es de reciente aplicación en Ingeniería de Transporte, refiriéndose a la zona de influencia de un puerto que se debe a la conectividad terrestre y su operación eficiente, es decir, que de no existir los últimos dos factores, dichas zonas, no formarían parte del hinterland del puerto.

Manga: Es la anchura del buque.

Mercados de escala: Existen mercados de escala en la producción de un bien cuando el costo medio del mismo disminuye, en el largo plazo, al aumentar la escala en que se lo produce. En el caso contrario, cuando los costos aumentan al aumentar la escala de la producción, se habla de deseconomías de escala.

PMDP: Programa Maestro de Desarrollo Portuario, documento que debe ser desarrollado para cada Puerto y actualizado cada cinco años, de acuerdo con la Ley de Puertos.

Primero en llegar, primero en ser atendido (FIFO): Modo de atención de un sistema, abreviado *FIFO* (“*First in, first out*”).

Puertos concentradores y alimentadores: Traducción del término original *hub and spoke*, asociado a la metáfora de una rueda de bicicleta, en la cual ninguno de los rayos se conecta directamente entre sí, sino que todos están conectados centralmente aun nodo de convergencia. A partir de esta metáfora se fue construyendo el concepto a través de múltiples trabajos de ingenieros en transporte, geógrafos y economistas, entre los cuales, según el trabajo titulado “*Puertos, espacio y globalización: el desarrollo de hubs en México*”, de Martner Peyrelongue, C.D., los más representativos son Morrison y Winston (1986), O’Kelly (1986, 1998), Bryan y O’Kelly (1999).

Reglas de Operación: Documento elaborado para cada puerto, que de acuerdo con el *Reglamento de la Ley de Puertos*, debe contener “*Las condiciones en materia de construcción, explotación y operación para asegurar que la ejecución de las obras no afectará la continuidad y la eficiente operación del puerto; las actividades de los prestadores de servicios portuarios; las de los cesionarios parciales y las de los usuarios, sin perjuicio de las establecidas en forma particular en el presente Reglamento y demás disposiciones aplicables*”, entre otros aspectos.

Ruptura de carga: Manejo continuo de los contenedores sin manipular la mercancía contenida en cada contenedor.

SPN: Sistema Portuario Nacional, integrado por está conformado por 114 puertos y terminales habilitadas, 56 en el Pacífico y 58 en el Golfo de México y Caribe; 66 son para tráfico de altura y cabotaje y 48 únicamente de cabotaje.

Tasa de arribo: Se refiere a la cantidad de usuarios que llegan a un sistema en un periodo determinado expresado en unidades de *usuario/periodo*, en el caso de las terminales portuarias se refiere a los buques que llegan a la terminal en un periodo de un día [*buques/día*].

THBM: Toneladas hora buque en muelle, se refiere a la media de toneladas manejadas en las horas totales que pasaron los buques en el muelle en un periodo T.

THBO: Toneladas hora buque en operación, se refiere a la media de toneladas manejadas en las horas totales que pasaron los buques siendo operados por las grúas en muelle en un periodo T.

THBP: Toneladas hora buque en puerto, se refiere a la media de toneladas manejadas en las horas totales que pasaron los buques en el puerto en un periodo T.

Transporte intermodal o multimodal: En realidad multimodal e intermodal se refieren a lo mismo, aunque en algunos textos se destina el término intermodal al uso de más de un subsistema de transporte; y el término multimodal al uso de más de un subsistema de transporte sustentado en el principio de la expedición de mercancías bajo la responsabilidad de un solo transportista o agente de carga.

TEU: acrónimo de Twenty-foot Equivalent Unit. Contenedor con capacidad de carga normalizada de 20 pies, con dimensiones de 6.096 m x 2.438 m x 2.591 m (20 pies x 8 pies x 8.5 pies). La carga máxima que puede soportar en su interior es 21.6 Ton.

UNCTAD: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. La UNCTAD realiza publicaciones en materia del comercio, entre las cuales sobresale en el tema portuario el Manual *Desarrollo portuario: Manual para planificadores en países en desarrollo*, publicado en 1985; el cual contiene una metodología para diseñar una terminal portuaria en función de la capacidad requerida. Dicha metodología es ampliamente utilizada para calcular la capacidad en los puertos del SPN.

BIBLIOGRAFÍA

Adan, I. y Resing, J. (2002, Febrero 28). *Queueing Theory*. Department of Mathematics and Computing Science: Eindhoven University of Technology

Altamira Terminal Multimodal. Un entorno lleno de ventajas (2010). Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C., Explogística 2010:
<http://amti.org.mx/biblioteca/expologistica/ATM%202010-consolidando-proyectos.pdf>

Asperó Zanella, Eduardo (2007, Septiembre) *El Presente y Futuro del Transporte Intermodal: ¿Cómo impacta en el traslado de nuestras mercancías?* Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C:
http://www.amti.org.mx/imagenes/presente_futuro_del_transporte_intermodal.pdf

Asperó Zanella, Eduardo (2010, Julio) *Transporte Intermodal. Ventaja Competitiva en la Cadena de Distribución*. Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C, Explogística 2010: amti.org.mx/biblioteca/expologistica/PonenciaPanel-EAZ8julio.pdf

Calderón Hinojosa, Felipe (2007, Noviembre 28). *Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Estados Unidos Mexicanos

De Monie, G. (1987, Septiembre) *Measuring and Evaluating Port Performance and Productivity*. Antwerp Port Engineering and Consulting: United Nations Conference on Trade and Development

Desarrollo de un plan de acción para alcanzar niveles de clase mundial en la posición competitiva de México en transporte y logística (2004, Agosto). Consultado el 15 de mayo de 2012, Instituto Mexicano para la Competitividad:
[http://imco.org.mx/images/pdf/Transporte_en_M%C3%A9xico_2004_\(Resumen_ejecutivo\).pdf](http://imco.org.mx/images/pdf/Transporte_en_M%C3%A9xico_2004_(Resumen_ejecutivo).pdf)

Díaz-Bautista, Alejandro (2009, Septiembre). *México y la política económica portuaria internacional*. Comercio Exterior: Bancomext

Doerr, O. y Sánchez, R. J. (2006, Agosto). *Indicadores de productividad para la industria portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe*. División de Recursos Naturales e Infraestructura: Naciones Unidas, CEPAL

El-Naggar, M. E. (2010, Junio). *Application of queuing theory to the container terminal at Alexandria seaport*. Journal of Soil Science and Environmental Management Vol. 1, disponible en:
<http://www.academicjournals.org/JSSEM>

Elementos para Mejorar la Competitividad del Transporte de Carga (2008) Consultado el 15 de mayo de 2012, Instituto Mexicana para la Competitividad:
http://imco.org.mx/images/pdf/transporte_carga_impacto_iniciativas_08_INF.pdf

Estudio de Mercado del Puerto de Ensenada (2009, Septiembre 30). Puerto de Ensenada: Consultoría en Optimización Empresarial, S.A. de C.V.

García Alonso, L. (2005). *Competencia interportuaria: delimitación y análisis del área de influencia de los puertos españoles*. Tesis doctoral accesible a texto completo en:
<http://www.eumed.net/tesis/lga/>

Gil Santander, C. (2007). *Definición de los Niveles de Servicio de las terminales portuarias*. Tesis consultada el 5 de mayo de 2012, Universitat Politècnica de Catalunya:
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5770/3/02.pdf>

González Cancelas, M. N. (2007, Marzo). *Metodología para la determinación de Parámetros de Diseño de Terminales Portuarias de Contenedores a partir de Datos de Tráfico Marítimo*. Tesis Doctoral de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Universidad Politécnica de Madrid

González Rul, A. (2003, Septiembre). *Reforma Portuaria y Pago de contraprestaciones*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, Dirección General de Puertos: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

González Verdugo, M. L. (2008, Septiembre). *El sector logístico y de transporte en México*. Consultado el 5 de mayo de 2012, Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Monterrey, Estudios de Mercado: ICEX
<http://www.icex.es/icex/cma/contentTypes/common/records/mostrarDocumento/?doc=4141966>

Guasch, J.L. (2011, Octubre). *La logística como motor de la competitividad en América Latina y el Caribe*. V Foro de Competitividad de las Américas: Banco Interamericano de Desarrollo

Haralambides, H.E., Cariou, P. y Benacchio, M. (2002). *Costs, Benefits and Pricing of Dedicated Container Terminals*. International Journey of Maritime Economics, 2002, 4: Palgrave Journals

IDOM (2012). *Estudio Costo Beneficio del proyecto de expansión del Puerto de Guaymas, Sonora: Fase I*. IDOM México: IDOM Ingeniería

IDOM (2012). *Puerto de Lázaro Cárdenas*. IDOM México: IDOM Consulting

Importancia del Transporte Intermodal Ferroviario en los Puertos de México (2006, Octubre). Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C.:
www.amti.org.mx/imagenes/conectividad_ferroviaria.pdf

Incoterms 2010 (2010). Consultado el 2 de mayo de 2012, Cámara de Comercio Internacional: ICC
<http://www.incoterms-2010.com/dl/TablaIncoterms2010.pdf>

Infraestructura, Competitividad y Objetivos de KCSM-Intermodal en México (2010). Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C, Expologística 2010:
amti.org.mx/biblioteca/expologistica/Expologistica-KCSM-8julio.pdf

Interconexión de los Modos de Transporte en México (2007, Enero). Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C.:
www.amti.org.mx/imagenes/contenerizacion_mexico_anexo.pdf

Ley de Puertos (1993, Julio 19). Publicado en el Diario Oficial de la Federación

López Gutiérrez, H. (1999). *Operación, Administración y Planeación Portuarias*. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria, Marítima y Costera, A.C.: Fideicomiso Editorial Jorge Cortés Obregón

Manual on a uniform system of port statistics and performance indicators (1987, Abril 8). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

Martner Peyrelongue, C. y Moreno Martínez, M.A. (2011). *Tendencias recientes en el Transporte Marítimo Internacional y su Impacto en los puertos mexicanos*. Publicación Técnica Núm. 162, Instituto Mexicano del Transporte: Secretaría de Comunicaciones y Transporte

Martner Peyrelongue, C. (2010, Enero). *Puertos, espacio y globalización: el desarrollo de hubs en México*. Instituto Mexicano del Transporte: Convergencia, Revista de Ciencias Sociales

Mathew, T. V. y Krishna Rao, K. V. (2006, Mayo 24). *Introduction to transportation engineering*. Rao BOOK: NPTEL

Mercado Deverdun, B. (2010, Julio). *Think Ferromex Intermodal*. Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C., Ferromex Intermodal: amti.org.mx/biblioteca/expologistica/EXPOLOGISTICA2010-Ferromex.pdf

Molinar Horcasitas, J. (2010, Marzo 1). *México: el mejor lugar para invertir en infraestructura*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Gobierno Federal

Nombela, G. (2009, Junio 25). *Modelos de capacidad de infraestructura de transporte*. Evaluación Económica Socioeconómica y Financiera Ode Proyectos de Transporte, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas: Ministerio de Fomento, Gobierno de España

Padilla Mendoza, G. (2012, Marzo). *Solo uno entre los 10 mejores*. Revista T21: Grupo Comunicación y Medios S.A. de C.V.

Port development: A handbook for planners in developing countries (1985, Marzo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

Port performance indicators (1976, Mayo). United Nations Conference on Trade and Development: United Nations

Programa Maestro de Desarrollo de los Puertos de Baja California Sur 2007-2012 (2007, Enero). Administración Portuaria Integral de Baja California Sur S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo de Puerto de Altamira 2007-2015 (2007, Enero). Administración Portuaria Integral de Altamira S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Chiapas 2006-2011 (2006, Enero). Administración Portuaria Integral de Puerto Madero S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Coatzacoalcos 2006-2011 (2006, Enero). Administración Portuaria Integral de Coatzacoalcos S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Dos Bocas 2012-2017 (2012, Enero). Administración Portuaria Integral de Dos Bocas S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Ensenada 2012-2017 (2012, Enero). Administración Portuaria Integral de Ensenada S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Guaymas 2011-2016 (2011, Enero). Administración Portuaria Integral de Guaymas S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Lázaro Cárdenas 2011-2016 (2011, Enero). Administración Portuaria Integral de Lázaro Cárdenas S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Manzanillo 2007-2012 (2007, Enero). Administración Portuaria Integral de Manzanillo S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Mazatlán 2008-2013 (2008, Enero). Administración Portuaria Integral de Mazatlán S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Progreso y Puertos Pesqueros de Yucatán 2009-2014 (2009, Enero). Administración Portuaria Integral de Progreso S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto Salina Cruz 2006-2011 (2006, Enero). Administración Portuaria Integral de Salina Cruz S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Tampico 2006-2011 (2006, Enero). Administración Portuaria Integral de Tampico S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Topolobampo 2007-2012 (2007, Enero). Administración Portuaria Integral de Topolobampo S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo de Puerto de Tuxpan 2006-2011 (2010, Noviembre). Administración Portuaria Integral de Tuxpan S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo del Puerto de Veracruz 2011-2016 (2011, Enero). Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Maestro de Desarrollo de Desarrollo Portuario Acapulco 2006-2011 (2006, Enero). Administración Portuaria Integral Acapulco S.A. de C.V.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Programa Nacional de Desarrollo Portuario 2007-2012 (2007). Coordinación General de Puertos y Marina Mercante: Dirección General de Puertos

Propuestas para la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. (2007, Marzo 2). Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C.: http://www.amti.org.mx/imagenes/amti_propuestas_para_puertos.pdf

Puerto Lázaro Cárdenas: Marcando historia en el Sistema Portuario Mexicano (2010, Julio). Consultado el 2 de mayo de 2012, Asociación Mexicana del Transporte Intermodal A.C.: [amti.org.mx/biblioteca/expologistica/EXPOLOGISTICA2010-APILC.pdf](http://www.amti.org.mx/biblioteca/expologistica/EXPOLOGISTICA2010-APILC.pdf)

Reglamento Ley de Puertos (1994, Noviembre 21). Publicado en el Diario Oficial de la Federación

Reglas de Operación del Puerto Industrial y Comercial de Lázaro Cárdenas Michoacán. (2011, Marzo). Administración Portuaria Integral de Lázaro Cárdenas: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Sala-I-Martin, X., Bilbao-Osorio, B., Blanke, J., Drzeniek Hanouz, M. y Geiger, T. (2011). *The Global Competitiveness Report 2011-2012*. World Economic Forum

San Diego Unified Port District: Maritime Business Plan Update (2008, Diciembre). TEC Inc: Maritime Division Port of San Diego

Transport Outlook: Meeting the needs of 9 Billion People (2011). International Transport Forum: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

Zarza, D. (2010, Julio 7). Servicio Intermodal en la Región NAFTA. Consultado el 2 de mayo de 2012, Pacer, Expologística 2010: <http://www.amti.org.mx/biblioteca/expologistica/2010-Expologisticastacktrain.pdf>