

ANALISIS DE LA CAPACIDAD DE LOS PUERTOS NACIONALES MEDIANTE SIMULACION

Roberto Riveros
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Chile

y

Gino Curotto
INECON

Resumen

El presente trabajo se inserta dentro de una línea de estudio que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile y cuyo objetivo central es el estudio de los Sistemas Marítimos y Portuarios desde la óptica de la Ingeniería de Sistemas, con énfasis en la aplicación de las Metodologías al caso nacional. Este documento se originó precisamente en la tesis de uno de los autores y su objetivo es dual, pues se pretende entregar los aspecto metodológicos del problema de análisis de capacidad portuaria y al mismo tiempo, a través de la aplicación, analizar la situación en el sistema portuario nacional en cuanto a la previsión de situaciones de congestión. Para ello se selecciona un conjunto de puertos sobre los cuales se aplica la metodología. La línea metodológica usada consiste en hacer una primera aproximación de análisis para identificar los puertos con mayores probabilidades de tener problemas de congestión, luego se proyectan los requerimientos sobre dichos puertos en términos de cargas y naves, para confrontar dicha demanda con la capacidad operativa de los mismos, identificando en ésta forma los problemas de congestión y finalmente proponiendo las necesidades de proyectos.

1. Introducción

La estimación de la capacidad y nivel de servicio de sistemas portuarios en puertos de tamaño medio, como son los nacionales reviste algún tipo de complejidad, que no existen en otros sistemas de mayor tamaño, ello en consideración a que en estos últimos el gran número de instalaciones y el alto número de naves atendidas en cada categoría hace que las estimaciones en base a modelos matemáticos, sean estos de tipo probabilístico o determinísticos, nos da una buena representatividad debido al gran número de eventos que ocurra en cada categoría. Sin embargo en los puertos de tamaño medio con una gran diversidad en las características de servicio a nivel de cada sitio y por otra parte con una variedad de requerimientos desde el punto de vista de tecnología de naves y de manejo de cargas no hace aconsejable la utilización de modelos matemáticos por su baja representatividad.

De acuerdo a lo anterior la metodología desarrollada para enfocar el problema es la de atacarlo con un enfoque sistemático que sea capaz de manejar la variedad del sistema puerto y dentro del enfoque se ha utilizado como técnica la simulación, ya que esta permite modelar las diferentes situaciones del sistema en forma desagregada, para después entregar resultados a nivel agregado y de cada uno de los subsistemas.

La metodología citada ha sido desarrollada previamente y utilizada en diversos estudios portuarios orientados básicamente a estimar capacidades globales del sistema y "cuello de botella" específicos. En este contexto el presente documento no se orienta especialmente a los problemas de detalle del modelo sino que a su aplicación a la situación portuaria nacional.

El modelo de simulación es básicamente un modelo de oferta que debe ser acoplado a un modelo de demanda de mayor o menor complejidad con el único requerimiento que la transmisión de información entre un modelo y otro debe tener un formato preestablecido.

El trabajo desarrollado consiste en un análisis de la capacidad y nivel de servicio que ofrecerán los puertos en el futuro próximo, ello en base a una metodología que consiste en primer término en preseleccionar un conjunto de puertos que aparecen con potenciales problemas, en seguida se ha desarrollado exogenamente la predicción de cargas y tecnologías para finalmente hacer la aplicación y analizar los resultados identificando algunas ideas de proyecto.

2. El Concepto de Capacidad

Es preciso antes de entrar al problema de análisis de capacidad definir algunos términos en el sentido que se usan en este documento. En primer término el concepto relevante para evaluar el servicio de un puerto desde un punto de vista económico no es la capacidad sino que el nivel de servicio medido por el tiempo total del sistema (Ship Turnaround Time) para cada tipo de nave, este se denomina STAT. El STAT es la suma del tiempo esperando servicio más los tiempos de maniobra más el tiempo de atención ($T_q + T_m + T_s$).

El concepto de capacidad se define en términos económicos como el volumen de carga que puede pasar por un puerto o sistema portuario ajustándose a un costo mínimo para todo el sistema. Diferente es el concepto de capacidad

ca del puerto, que básicamente se refiere al máximo volumen que puede pasar un puerto atendiendo estrictamente a las limitaciones de la infraestructura y tecnologías.

Los modelos de capacidad u oferta portuaria se desarrollan precisamente con el objetivo de predecir el comportamiento y los niveles de servicios que ofrecerá el sistema frente a diferentes requerimientos sobre el y sobre las diferentes fases de operación. La operación del sistema portuario está compuesta de cuatro fases fundamentales :

- La carga y descarga en los sitios
- Movilización desde y hacia las áreas de almacenamiento
- El almacenamiento
- La entrega o recepción de carga hacia o desde los centros productivos

Cada una de estas fases tienen una capacidad operativa propia, y la del sistema está dada por la menor capacidad. La capacidad del sistema se identifica generalmente con la de la primera fase, carga y descarga en los sitios, pues es la que está mas ligada a la operación portuaria, es la que involucra las inversiones mas altas y por lo tanto decisiones de mayor envergadura y generalmente irreversibles, por otra parte la operación de carga/descarga es la que tiene un efecto directo sobre la permanencia de las naves en puerto. La capacidad de transferencia del puerto depende de las variables asociadas a los elementos que lo conforman, ya sean estos físicos (sitios, gruas, etc.) o humanos. Por otra parte la capacidad de un puerto depende no solo de los elementos que componen cada etapa, en particular la de carga y descarga en los sitios, sino que también de la naturaleza de las solicitudes establecidas por las características de naves y carga.

El análisis de la capacidad de un puerto debe considerar además un aspecto difícil de internalizar, este es la naturaleza aleatoria, como son las frecuencias de llegada de nave y la probabilidad que en determinado momento del tiempo se de una situación específica, identificado por una combinación de variables. En general podrá concebirse el puerto como una unidad de multiproducción que trabaja a pedido. Por otra parte la estacionalidad de los requisitos sobre el puerto agrega un nuevo aspecto a considerar en la evaluación de la capacidad.

2.1. Enfoque tradicional

El concepto mas simple de capacidad de un puerto son las toneladas de carga máxima que este puede movilizar en un período dado utilizando los elementos de trabajo a mayor rendimiento en forma sostenida.

$$C = N \times V \times E \times T \times D \quad (1)$$

Donde :

- C = Capacidad de carga y descarga (ton./año)
- N = Número de sitios
- V = Velocidad de transferencia de carga (ton/hr.esc.)

- E = Número de escotillas trabajadas (esc.-sitio)
T = Horas trabajadas por día (hrs.día)
D = Número de días de trabajo al año (día/año)

El valor de estos parámetros depende de las características específicas del puerto, del tipo y composición de carga que se moviliza, del tipo y características de las instalaciones, equipamiento disponible, régimen laboral y condiciones climáticas, cuya variedad no se ve reflejada en la expresión la que tampoco refleja los importantes eventos aleatorios que ocurren en la actividad.

2.2. Enfoque económico

Desde otro punto de vista, el concepto de capacidad se asocia también a conceptos económicos de costos y beneficios percibidos por los agentes integrantes del sistema portuario.

El costo total de la carga transferida en puerto es la suma del STAT y del costo de operación portuaria curva que se muestra en el gráfico N° 1. El enfoque consiste en establecer, sino el volumen de costo mínimo como la capacidad del puerto, por lo menos una cota de costo a la cual se asocia un volumen que denominamos capacidad económica. La cota de costo total se determina generalmente en función de los costos de desarrollo del puerto.

La curva de costos marginales de los servicios portuarios muestra el costo adicional por movilizar una tonelada mas de carga en el puerto. Esta curva incluye los costos variables de carga y descarga, movilización, acopio y administración de la carga, además del costo STAT que incluye el costo de espera producido por la gestión del puerto. En general la curva de costos marginales presenta la forma mostrada en la figura N° 1. Sin embargo, desde el punto de vista teórico la existencia de una curva con el perfil mostrado exige que se cumpla cierta hipótesis como es la de que el puerto mueva una carga homogénea, a través de uno o varios sitios que a la vez son homogéneos. Por otra parte es importante el período de tiempo en que se define la variable independiente o volumen de carga transferido, en general se elige un año y la variable independiente son toneladas por año. Cabe destacar la fuerte hipótesis de aditividad de los flujos de carga de diferente tipo. La relajación de la hipótesis respecto a la consideración de varios productos y tipos de muelle nos lleva a plantear en forma diferente la función de costos, sin embargo en términos generales el contorno de la función agregada debería ser a grandes rasgos el que aparece en la figura.

La función de costos depende de una serie de factores ya mencionados como son el número de sitios, elementos portuarios, tipo de nave, tipo y composición de carga, rendimientos y otros, esto se expresa en términos agregados como $CV(X_n, C_n)$ en que el costo es función sólo de los flujos de carga en el período n y de la capacidad del puerto (C_n): concretamente se define C_n la función de costo marginal como $CMg(X_n, C_n)$.

$$C_n = g([S], [T]) \quad (2)$$

S es la matriz de características de sitios

T es la matriz de variables tecnológicas

En este contexto la capacidad de un puerto, y también los problemas de congestión, se pueden ver desde un punto de vista económico. Supongamos que para una demanda dada $D1$ y una curva de costos marginales $CMg1$, se dirá que el puerto tiene problemas de congestión, por falta de un elemento portuario, y necesita ser ampliado pasando, a una curva de costos marginales $CMg2$, si el beneficio actualizado del sistema es mayor que el costo de oportunidad del capital que se requiere para realizarla. En resumen, la capacidad portuaria puede definirse como : la cantidad de toneladas máximas que puede transferir un puerto, de cierto tipo y distribución, y con ciertos elementos constituyentes, de tal manera que el exceso de costos de operación del sistema justifique la inversión en expansión, sea este en equipamiento o infraestructura.

2.3. Enfoque de índices de operación.

Entre los dos enfoques anteriores existe un tercero que se desprende de y esta basado en el análisis económico anterior, y es fruto de la experiencia y análisis de los expertos portuarios, que permite analizar, planificar e identificar alternativas respecto a las inversiones, operación y administración de un puerto, que es el enfoque de evaluar la situación a partir del valor de ciertos índices de operación que se desprenden de modelos que incluye todos los factores y la aleatoriedad del sistema.

En este enfoque, un puerto tiene problemas de capacidad y requiere intervención si alguno de los índices alcanza valores críticos, comunmente aceptado por los expertos portuarios son : porcentaje de uso del puerto mayor que 75%, porcentaje de naves que hacen cola superior al 20%, tiempo de espera de las naves que esperan superior a los 10 días, en general cifras que al introducir los costos del sistema pueden ser precisadas con mayor rigurosidad.

Los índices más usados para evaluar la capacidad de un puerto son:

- Nivel de uso del puerto
- Porcentaje de naves que deben esperar
- Espera promedio de barcos que esperan
- Tiempo promedio de espera de todas las naves
- Número promedio de sitios ocupados
- Promedio naves en cola
- Número máximo de naves esperando.

La elección del método entonces está sujeto a que provea los índices agregados, pero por otra parte debe ser capaz de proveer la información necesaria para poder discriminar al nivel interno del sistema, cuales son las variables de decisión sobre las que se debe actuar. Para ello es necesario que el modelo pueda estimar los efectos de las variables de decisión sobre cada uno de los tipos de naves, carga y sitios.

En atención a lo anterior es que el método basado en la construcción de curvas de congestión mediante modelos de simulación es recomendable, ya que el nivel de desagregación con que se trabaja provee la información específica sobre el efecto de decisiones aisladas, sobre cada uno de los agentes del sistema. El enfoque de simulación incluye un gran número de variables e interrelaciones que contemplan los aspectos anteriores.

El nivel de servicios de un puerto es determinado por un conjunto de variables que se pueden clasificar en :

- a) Variables del puerto infraestructura, organización y equipamiento en general
- b) Variables del tráfico
- c) Variables que dependen en forma conjunta de las dos anteriores

Entre las primeras tenemos las que se refieren a las variables físicas del puerto en general se establecen en el largo plazo como son las características de longitud profundidades y geometría de los sitios y el puerto en general tanto en los muelles como en la zona de respaldo, un segundo tipo de variable cuyo horizonte llamaremos de mediano plazo como son el equipamiento y organización general del puerto y finalmente de corto plazo como son algunas variables de organización de operaciones.

Las variables del tráfico son aquellas que se asocian a la nave y a la carga, entre las primeras podemos señalar :

- Padrón de llegada de las naves
- Especialización de la nave
- Características de casco y tamaño
- Características de maniobra y facilidad de manejo de carga. Características de escotillas
- Plan de estiba/desestiba

Entre las de la carga tenemos como variables mas importantes las siguientes :

- Tipo de carga
- Embalaje
- Peso de la unidad base
- Factores de estiba

Una vez que el barco atracó al puerto se configura un sistema de operación que tiene características propias que son;

- Número de escotillas trabajadas
- Carga por eslinga
- Velocidad de los medios de transferencia

3. El Sistema Portuario Nacional

3.1. Puertos

El sistema portuario nacional está integrado por numerosos puertos, que se agrupan en tres categorías principales : a) comerciales, que manejan diferentes tipos de carga ya sea de cabotaje o de comercio exterior, en su mayoría son administrados por EMPORCHI; b) especializados, en general de propiedad privada, cuya función es operar determinados rubros de carga, como son minerales, combustibles y otros; c) puertos menores, que sirven para el manejo de pequeños volúmenes y son administrados ya sea por empresas privadas o el Estado y no presentan ningún grado de especialización.

En el primer grupo se ubican los puertos de Arica, Iquique, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, San Antonio, Lirquén, San Vicente, Talcahuano, Puerto Montt, Chacabuco y Punta Arenas.

Entre los especializados cabe mencionar, de norte a sur: Patillos, Tocopilla, Chañaral, Barquitos, Huasco, Guacolda, Guayacán, Ventanas, Quintero, Las Salinas, San Vicente (CAP), Coronel, Lota y, más al sur, los terminales petroleros y Guarello. El movimiento de estos puertos consiste básicamente en minerales y combustibles líquidos.

Por último, existen una serie de puertos menores, como Mejillones, Taltal y Caldera en el Norte, Corral, Calbuco, Castro, Chonchi, Quellón, Achao, Chaitén, Melinka, Natales, Porvenir y otros en el sur. Entre estos últimos existen algunos que cuentan con rampa para transbordadores y otros, como el caso de Corral, donde no existiendo obras importantes existen aguas abrigadas que permiten su utilización mediante barcazas.

Cada uno de los puertos citados tiene un rol muy específico, determinado por la naturaleza de su zona de influencia y las características de comercio interregional e internacional. Cada puerto está caracterizado por una determinada dotación de infraestructura, equipamiento y forma de administración y propiedad, detalles que no es el caso traer a discusión en el contexto de este trabajo, pero que se encuentran ampliamente difundidos en informes y estudios. En este aspecto nos referiremos solamente a aquellos puertos estudiados.

3.2. La demanda

3.2.1. Sistema portuario y transporte marítimo.

La demanda por servicios portuarios debe caracterizarse según dos tipos de variables, en primer término los volúmenes y características de las cargas movilizadas. En segundo término, las naves su tecnología y servicio. Generalmente el servicio internacional de naves en los puertos chilenos es efectuado por navieros nacionales y extranjeros, tanto en servicios regulares como en tramps. Los servicios regulares están agrupados generalmente en conferencias marítimas de acuerdo a las rutas que sirven. En general las naves regulares proveen el servicio a pequeños embarcadores o pequeñas partidas de grandes embarcadores. Las cargas que implican un gran volumen o requieren algún tipo de especialización de manejo son servidas por naves arrendadas (servicio charter).

La situación geográfica de Chile, alejada de las rutas de mayor tráfico en el mundo, hace que el transporte marítimo sea muy dependiente de las naves regulares, de línea, las cuales en su mayor parte tienen los puertos nacionales como extremo de su ruta. Las rutas más importantes cubiertas por las naves regulares son la Costa Oeste de Sudamérica a Europa y la Costa Este de Norteamérica; la del Pacífico, que une los puertos del Pacífico desde Chile a Canadá; la del Lejano Oriente, que une los puertos del Pacífico de Sudamérica con Corea del Sur, Hong-Kong y Japón. Además, existen las rutas del Caribe, Argentina y Brasil. Unicamente estas dos últimas hacen uso del Estrecho de Magallanes para alcanzar el Atlántico. Las líneas en general hacen uso de los puertos comerciales.

Las frecuencias con que se ofrecen estos servicios son variadas y dependen, a su vez, de la magnitud del comercio en el área de mercado de que se trata. Así la ruta a Europa y Norteamérica tienen alta frecuencia, con la participación de un gran número de compañías y naves. Las frecuencias a las costas Sudamericanas del Caribe y el Lejano Oriente son reducidas. Hacia el medio oriente no existen líneas regulares y a Sudafrica son de reciente creación.

Recientemente la tecnología de transporte marítimo ha tenido una importante evolución, en lo relevante a nuestro país la tecnología de containerización ya ha sido adoptada. Apoyando a lo anterior las naves han tenido también una evolución tanto en los aspectos de manejo de cargas como en términos de tecnología de propulsión etc. Las naves que ofrecen el servicio de línea han evolucionado en forma importante desde 1980 en adelante, habiéndose incorporado al servicio una serie de naves multipropósito y portacontenedores, lo cual constituye un cambio sobre el perfil típico de la nave de línea de la década pasada, es decir un carguero general de 11.000 a 15.000 Dwt, 140 mts. de eslora, en algunos casos capacidad de frío. En este campo también ha existido innovación en los servicios.

En cuanto a los tráficos masivos, la nave típica excluyendo el hierro y petróleo corresponde a un "handy-size" granelero de alrededor de 35.000 dwt, salvo el tráfico de fruta que se realiza en naves del tipo "reefer" de sólo 7.000 dwt, pero de un alto grado de especialización. En general la tecnología ha evolucionado hacia naves que permiten la rápida carga y descarga, con importantes ahorros en los sistemas de propulsión. Sin embargo las innovaciones en relación a la carga y el tamaño, serán los que incidan más directamente en los aspectos portuarios.

Gran parte de las naves bajo el régimen de charter cubren rutas similares a las naves de línea, dependiendo por supuesto de los mercados a los que se dirigen y del tipo de producto que transportan. Este movimiento es importante en las naves que llevan fruta hacia Europa y EE.UU. hierro hacia el Japón, salitre, productos forestales y harina de pescado hacia diversos mercados, y que traen a nuestro país trigo y fertilizantes desde el Golfo de México y petróleo desde el Golfo Pérsico, el Caribe y Africa.

En cuanto al cabotaje es realizado por navieras nacionales y se debe distinguir también en cabotaje de graneles y de carga general. El cabotaje de carga general ha crecido consistentemente desde 1977, estimándose que el cambio en la tecnología de puertos y naves acentuará la tendencia. Las cargas de cabotaje a granel más importantes son el petróleo y sus derivados, el hierro, el carbón, los fertilizantes y los concentrados de minerales.

Cabe destacar que la planificación de los requerimientos de infraestructura portuaria incluye la predicción entre otros aspectos de las innovaciones tecnológicas en las naves.

3.2.2. Los principales flujos

Para precisar la importancia relativa del problema portuario nacional es importante revisar los volúmenes que mueve el sistema. En 1984 se movilizaron alrededor de 31,1 millones de toneladas de los cuales 14,0 millones fueron cabotaje, el resto 17,1 millones corresponden a Comercio Exterior de los cuales aproximadamente 5,3 millones de toneladas son importación y 11,8 exportación.

De la carga de Cabotaje solo 740 mil toneladas son carga general, el resto es carga a granel y carga líquida, de la carga general transportada aproximadamente un 75% tiene su origen o destino desde Puerto Montt al sur.

Las exportaciones nacionales son cargas en su mayoría de graneles (62%), sin incluir la carga forestal que sin estar clasificada en graneles se mueve en naves de dicho tipo, esto daría alrededor de un 75% en naves granel o aproximadamente 8,9 millones de toneladas. El resto de la carga es del tipo general de la cual se mueve en embarques masivos solamente la fruta de exportación en una cifra superior al medio millón de toneladas, que se exporta en naves frigoríficas.

En cuanto a las importaciones, de los 5,3 millones de toneladas, 2,2 corresponden a graneles líquidos, mayoritariamente petróleo, 1,8 a graneles sólidos, principalmente trigo, harina y fertilizantes, el resto 1,2 millones aproximadamente es carga general.

De la carga movilizada (alrededor de 30 millones de toneladas) poco más de 8,5 son movilizados por los puertos de EMPORCHI.

Las principales cargas movilizadas por los puertos de EMPORCHI corresponden a las exportaciones de cobre, fruta, productos forestales y harina de pescado. En cuanto a importaciones, como carga masiva tenemos el trigo, el resto de la carga es de tipo general y se reparte en una gran cantidad de productos.

3.3. Sistema relevante

En el sistema anteriormente descrito existen algunos problemas de mayor importancia en cuanto a capacidad, de ellos se ha optado por analizar los puertos comerciales debido a que tienen un impacto altísimo en el Comercio Exterior Chileno. Por otra parte aquellos puertos que manejan carga especializadas sirven en general a uno o dos usuarios y por lo tanto su operación esta internalizada en el sistema productivo respectivo. Para seleccionarlos puertos a ser estudiados aplicando el modelo de simulación se utilizaron criterios relacionados con la carga movilizada y las características actuales de los sistemas portuarios respectivos. El sistema relevante es el de los puertos cuyos índices de ocupación aparecen más altos de acuerdo al criterio directo de estimación de capacidad.

4. Puertos Seleccionados

La aplicación de la metodología fue desarrollada para los puertos comerciales con siderando como objeto de estudio el sistema portuario y no el puerto específico. La primera etapa del proceso fue la identificación de aquellos sistemas portuarios que mostrando importantes perspectivas de incremento de carga, cuentan ya con índices de utilización superiores al promedio nacional. Para estimar este índice prelimi nar se utilizó la metodología tradicional de cálculo de capacidad.

Se consideró un ritmo de trabajo normal y de hecho se tomó un número de horas que es menor al efectivamente trabajado en la actualidad. Los resultados se observan en la Tabla 1.

Analizando los puertos, en términos generales, se pueden visualizar cuatro grandes grupos:

- a) Arica, Iquique, Antofagasta
- b) Coquimbo, Valparaíso, San Antonio
- c) Lirquén, San Vicente, Talcahuano
- d) Puerto Montt, Chacabuco y Punta Arenas

En el grupo (a) cada puerto tiene un mercado propio constituido por la zona geográfica adyacente, pero además presenta un mercado externo, que son las cargas en tránsito de Bolivia y Argentina. Con respecto al grupo b) estos atienden la zona central del país. Valparaíso y San Antonio tienen además cierto grado de complementariedad, el primero es principalmente un puerto de carga general y el segundo un puerto predominantemente granelero.

Lirquén, San Vicente y Talcahuano son puertos adyacentes que son claramente competitivos y dedicados principalmente al embarque de productos forestales. Para el grupo d), los tres puertos configuran un itinerario obligado del cabotaje regional austral.

Del análisis de las cargas y embalajes movilizados por los puertos y con el apoyo de la Tabla 1 que indica la capacidad nominal de los puertos, se desprende que los puertos que pueden tener problemas de congestión en el corto plazo son los de la Octava Región, Lirquén, San Vicente y Talcahuano, y que posteriormente aparecerían problemas similares en Valparaíso, San Antonio, Punta Arenas y Antofagasta.

Para los otros puertos, si no se producen cambios estructurales en la oferta ni en la demanda no aparecerán síntomas de saturación, por lo menos en lo que resta del siglo

En consecuencia, el estudio se centró a posteriori, en el análisis de los siguientes puertos:

- Lirquén, San Vicente y Talcahuano
- Valparaíso y San Antonio
- Antofagasta
- Punta Arenas

PUERTO	HRS/DIA	CAPACIDAD (TON/AÑO)	CARGA MOVILIZADA 1983 (TON/AÑO)	NIVEL DE USO (%)
ARICA	11	1.483.543	385.266	26
IQUIQUE	13	1.559.058	545.595	35
ANTOFAGASTA	13	3.285.438	1.345.993	41
COQUIMBO	11	777.159	163.241	21
VALPARAISO	13	2.358.720	1.537.521	65
SAN ANTONIO	13	3.485.536	2.216.014	63
TALCAHUANO				
SAN VICENTE	16	2.002.312	1.821.000	91
PUERTO MONTT	11	289.872	37.209	13
CHACABUCO	S.I.	S.I.	18.763	--
PUNTA ARENAS	11	415.830	231.028	56

TABLA 1: Capacidad nominal de los puertos de EMPORCHI

4.1. Puerto de Valparaíso

El extremo sur de la bahía de Valparaíso ha sido protegido mediante obras de defensa (el Molo de Abrigo o "Molo Sur", y el Espigón de Atraque), conformándose así un puerto artificial o dársena donde se concentra la mayor parte de las actividades portuarias. Dentro del puerto artificial se encuentran los sitios de atraque para naves mayores, divididos entre los del Malecón de Atraque, los del Espigón y los del Molo Sur.

Las obras de atraque de mayor importancia en el puerto son:

a) Espigón de atraque

En su extremo sudeste la dársena se encuentra parcialmente cerrada por el Espigón de Atraque, que es una construcción monolítica de concreto armado de 250 mts. de largo por 130 mts. de ancho en su cabezo, orientado de norte a sur. Esta instalación se encuentra destinada a carga y descarga de toda clase de mercadería. Pueden fondear y amarrarse a ambos lados del espigón sitios 6 y 8 naves de hasta 9 mts. de cálculo, siendo el sitio ubicado en el cabezo de menores dimensiones.

b) Malecón de atraque

Corresponde al borde interior de la dársena. Se extiende desde el Muelle Prat hasta el arranque del Molo de Abrigo en Punta Duprat, con una longitud total de mil metros. El malecón ha sido dividido en los sitios denominados N^{os} 1 al 5, protegidos contra las inclemencias climáticas y aptos para naves de gran tamaño. Cada uno cuenta con grúas eléctricas, convencionales con excepción de los sitios 4 y 5 donde se ubica una grúa para transferencia de contenedores. Estos sitios permiten atracar naves de hasta 10.5 mts. de calado.

c) Molo de abrigo

Este Molo no tiene una función comercial

Entre el Molo, el Espigón y el Malecón de Atraque queda encerrada una poza de 53,5 hás. de aguas abrigadas.

d) Muelle Baron

Es una estructura metálica de 200 mts. de largo por 30 de ancho. En su cabezo se sondan 13 mts. de profundidad. Sustenta los sitios de atraque denominados N^{os} 9 y 10, que están parcialmente adaptados para la descarga de graneles sólidos.

2. San Antonio

Dentro de este puerto artificial se ubican los sitios e instalaciones destinados a naves mayores, más una serie de muelles e instalaciones relacionados con las actividades pesqueras, tanto artesanales como industriales, que exhiben un significativo desarrollo.

En lo concerniente a las instalaciones, el puerto artificial de San Antonio está formado por el Molo de Abrigo o Molo Sur, que lo protege de los vientos del tercer cuadrante y que cuenta con 1500 mts. de largo.

Completa las obras de defensa del puerto artificial el Molo Norte, que partiendo de Punta San Antonio se extiende hacia el sur por 100 mts. Entre los extremos de los molos norte y sur, la boca de entrada del puerto mide 400 mts. de ancho.

El puerto de San Antonio contaba a Marzo de 1985 con 7 sitios de atraque con un largo total de alrededor de 1300 mts., de los cuales a causa del sismo esta habilitados aproximadamente la mitad. Se distinguen 3 zonas de atraque:

a) Sector de los muelles discontinuos (Sitios 6 y 7)

Corresponde al costado oriental del Espigón, que está constituido por un sólo muelle de 320 mts. de largo. De los sitios disponibles, únicamente el ubicado en el extremo más alejado de tierra es apto para atender a naves mayores.

b) Sitios 4 y 5

Corresponde al costado occidental del Espigón, que sustenta los sitios denominados 4 y 5. Es una obra construida mediante tablestacado y relleno. Tiene aproximadamente 400 mts. de largo y 10 mts. de profundidad. Este sector del puerto ha sido remodelado para atender naves portacontenedores.

c) Molo Sur

El costado interior sirve de base a los sitios de atraque denominados 1, 2 y 3 en los 450 mts. más próximos a su extremo. Estos sitios fueron fuertemente dañados por el sismo reciente. El sitio 1 estaba dotado de una planta mecanizada para la descarga de carbón, así como de depósitos con capacidad para 12 mil toneladas.

4.3 Puertos de la Octava Región

El papel de los 8 puertos de la Octava Región está fuertemente determinado por su relación con la industria forestal y la siderurgia. Ellos son los de Talcahuano, Penco, Lirquén y Tomé, en la Bahía de Concepción; los de Huachipato (CAP) y San Vicente, en la Bahía de San Vicente; y los de Lota y Coronel, en el Golfo de Arauco.

Las exportaciones forestales se canalizan por Lirquén y San Vicente. En términos de importancia como atracción de tráfico la siderurgia es responsable de los volúmenes más importantes de graneles que se manejan en San Vicente. Además, se localiza en la bahía recién nombrada una de las dos refinerías de ENAP, lo que da origen a un alto movimiento de combustibles.

Los puertos de la región se encuentran en general insertos en áreas urbanas de importancia y se conectan entre sí mediante una buena red de caminos y ferrovías.

Desde el punto de vista del estudio nos interesa analizar sólo Lirquén, San Vicente y Talcahuano, puertos competitivos desde el punto de vista del movimiento de carga general y productos forestales.

Lirquen: Propiedad de la Compañía de Muelles y Bosqués S.A., que lo administra, consta de un muelle que está en condiciones de movilizar todo tipo de carga, principalmente productos forestales y graneles sólidos.

El muelle es perpendicular a la playa que recientemente ampliado a 3 sitios de atraque ubicados al extremo de un puente de acceso de 365 mts. de longitud y 7 mts. de ancho.

Cuenta con una buena conexión vial hacia Concepción y posee ferrovías que lo conectan a la red. Una cinta transportadora permite en el muelle la descarga de graneles sólidos, con una capacidad de 400 tons/horas. Las faenas de carga y descarga se efectúan con las grúas de los propios barcos.

Talcahuano: Las obras de atraque del puerto comercial son 2 sitios de atraque (longitud total: 360 mts.) que tienen distintas profundidades (7,3 y 8,5 mts.). Este último sitio es el empleado para atender los barcos de tráfico internacional, que tienen mayor calado. El primero se encuentra bastante deteriorado y se lo utiliza escasamente.

San Vicente: El puerto de San Vicente está ubicado en el extremo norte de la bahía del mismo nombre. Cuenta con una zona de aguas abrigadas que cubre una superficie de alrededor de 115 hás. y no necesitar ser dragado.

El proyecto original de este puerto consta de 9 sitios de atraques. Hasta ahora se han construido dos, que operan desde hace una década. Asimismo se han construido 600 metros del rompeolas. Las condiciones físicas de infraestructura y equipamiento del puerto lo hacen apto para movilizar productos a granel, carga general, productos forestales y contenedores.

El puerto consta de un malecón marginal que está orientado al nor-este, en la dirección de los vientos reinantes, tiene 2 sitios de atraque, con una longitud total de 440 mts., que permiten el atraque simultáneo de 2 naves de tráfico internacional, con un calado máximo de 12 metros.

4.4. Punta Arenas

Ubicado en la XII Región cuenta con diversas instalaciones portuarias que enfrentan el Estrecho de Magallanes, el puerto cuenta con 6 sitios y una longitud total de 746 mts. distribuidos a ambos lados del espigón de atraque; este tiene 18 metros de ancho. La estructura es antigua pero recientemente reparada. Los sitios del cabezo del espigón tienen 9 metros de profundidad; los de más a tierra, sólo 3,5 mts. Esto implica que el puerto puede atender generalmente no más de dos naves de unos 10 mil DWT.

4.5. Antofagasta

Este puerto hace las veces de puerto mayor en la Segunda Región. Moviliza los insumos y las exportaciones en bultos de la minería existente en su amplia zona de influencia. El puerto posee conexiones ferroviarias con Bolivia y Argentina. Actualmente, las cargas en tránsito desde hacia/Bolivia son importantes. Se piensa que en el futuro el ferrocarril que une Antofagasta con Salta debería alimentar el puerto con mayores cargas.

5. El Modelo de Simulación

El modelo de simulación empleado tiene como objetivo entregar el valor de los índices operacionales del sistema portuario, al cual se aplica.

Los componentes, variables y relaciones del sistema real son simulados definiendo para ello un modelo que describe el funcionamiento conjunto de los componentes, es decir: naves, sitios portuarios, equipo portuario, cargas, recursos humanos y finalmente sistemas de almacenamiento y de transporte terrestre.

5.1. Las variables.

Las variables son las siguientes:

a) Exógenas

- La frecuencia de llegada de naves por período. (F_t)
- La distribución del tiempo entre llegada de naves que determinan los eventos del día (t_i)
- Distribución de los tipos de naves que arriban al sistema identificados por clase (f_k) y tipificadas por un vector de variables promedio de la clase que se refieren a características físicas de las nave y a los requerimientos de ésta sobre el puerto, esto corresponde a carga promedio, maniobra de nave y clase de la nave.
- Dispersión del valor específico del parámetro a partir de funciones de distribución de probabilidades.
- Matriz de características de sitios, especificando básicamente sus variables físicas (S_{jl})
- Matriz de rendimiento por cruce de tipo de nave/sitio, en la cual se entregan los rendimientos por hora/escotilla para cada combinación nave-carga-sitio. (R_{kj})
- Insumo de equipos y servicios asociados a la transferencia de determinadas cargas (I_{kh})

b) Variables de estado

- T = Tiempo total transcurrido desde el inicio de la simulación.
- LE = Número de naves en la cola en cualquier instante del tiempo.
- TE_i = Tiempo acumulado en el sistema por cualquier nave.
- TS_{ij} = Tiempo transcurrido de la nave i en sitio j
- NS = Número total de sitios ocupados.

s_j^t = Situación de sitio j en instante t

c) Endógenas

$E(TE)_k$ = Tiempo medio de espera para clase k

$E(LE)_k$ = Largo medio de la cola para clase k

$M(LE)_k$ = Número máximo de naves en cola para clase k

$E(S)_k$ = Tiempo medio de servicio para clase k

$OC(S)_j$ = Ocupación de sitios por sitio j

$TR(C)_{r,j}$ = Transferencia de carga por tipo en cada sitio.

El modelo debe ser alimentado además con la distribuciones de frecuencia para dispersar las variables de la categoría, que en general se han adoptado como normales, triángulares y uniformes, las cuales se definen en términos de dos parámetros.

5.2. Procesos del modelo

En términos generales el programa contiene tres pasos básicos: entrada de datos, operación del sistema y salida de información.

- i) Operación del Sistema. Corresponde a la simulación misma del sistema y como este debe contener tantos procedimientos como subsistemas del puerto. Además de los subsistemas operacionales existen otras rutinas de apoyo a estos.

Generación de Barcos. Se genera una lista de barcos y horas de llegada para un período.

Generación de Parámetros. Para cada barco se genera de acuerdo a una distribución dada (normal, uniforme, o trapesoidal) el calado, tonelaje total y eslora. Previamente existe una distribución probabilística del tipo de nave de que se trate.

Asignación a sitio. Chequea previamente la factibilidad de los barcos en los sitios del sistema. Conociendo la factibilidad, se procede a la asignación de la nave a un sitio.

Carga-Descarga. Procede a asignar el tiempo de carga o descarga a la nave y sumar el tiempo al de permanencia en el puerto, lleva estadísticas totales.

Construcción de Archivos. Realiza la construcción, inicialización, de los archivos necesarios y reordena alguna información de ellas.

ii) Entrada de Datos. Este procedimiento permite entregar la información, datos y parámetros necesarios para la operación correcta del programa, los datos que deben ser ingresados son:

- Datos de operación del sistema
- Datos de definición de sitios
- Características de los servicios
- Demanda de servicios por tipo de carga y nave
- Definición de tipo de nave

iii) Salida de Información. Entrega los archivos con datos relevantes para la identificación y caracterización del puerto, los cuales son: - Informes Diarios: contiene información referente a:

- Número de naves arribadas
- Utilización de sitios
- Naves asignadas al día por sitio
- Carga movilizada por sitio y naves
- Otros

- Informe Mensual:

- Tonelaje total movilizado
- Número de barcos atendidos
- Tiempo medio en sitio por cada tipo de nave
- Tiempo medio de nave en el puerto
- Largo máximo y medio de la cola de espera
- Horas de atención efectiva por sitio.
- Horas de tiempo ocioso por sitio
- Utilización de recursos por tipo de nave
- Volumen movilizado por tipo de carga/sitio

5.3. Modo de operación

El programa lee los datos de operación de éste y la información referida a los puertos, y tipo de nave, luego realiza una simulación secuencial en el tiempo, día a día, de la actividad de éste, hasta cumplir los requerimientos. La simulación es en base a eventos determinados por el cambio de las variables de estado del sistema.

Para cada día se generan los barcos y sus tiempos de arribo como también sus características, y luego son asignados a los sitios factibles disponibles en los cuales se realiza la operación de carga y/o descarga.

6. Estimación de Demanda de Servicios Portuarios

6.1. Metodología

El análisis de la capacidad mediante el método seleccionado requiere la predicción en forma desagregada de las diferentes variables exógenas al modelo. Es necesario predecir los volúmenes de carga, la estructura por producto y embalaje, los embarques y desembarques por tipo de nave, y el número de naves y sus tipos. Además es necesario predecir los padrones de llegada de naves y sus características.

La metodología se desarrolla en los siguientes pasos:

- Proyectar los flujos de carga por tipo de producto
- Determinar las formas de embalaje de la carga
- Determinar las tecnologías de nave posibles
- Asignar las cargas a tecnologías de nave
- Determinar el número de naves, según tipo y su composición de carga
- Determinar la tasa media de llegada de naves.

Con el objeto del ejercicio desarrollado se adoptaron proyecciones que se desprenden de estudios existentes. Las cargas se agruparon en 3 grandes categorías; Importación, Exportación y Cabotaje. Debido a la importancia por su volumen relativo, en el manejo de carga en los puertos especial atención se dió a la proyección de carga de los siguientes productos:

- Exportaciones Forestales
- Exportaciones de Cobre
- Exportaciones de Productos Frutícolas
- Exportaciones de Productos del Mar
- Importaciones de Trigo y Maíz

La proyección obtenida a través de los planes sectoriales se observa en la Tabla 2.

Los restantes productos son proyectados a través de modelos globales sectoriales y/o tendencias históricas. Se supone que no existe discriminación regional entre los modelos.

En cuanto a las formas de embalajes, el análisis se centra en determinar la relación que existe entre estas y los productos, los cuales están agrupados por rubro. Para acotar el estudio, las formas de embalaje que se estudian son las siguientes: Carga general o fraccionada, Paletizada, Containerizada, Graneles sólidos.

En cuanto a naves la información fundamental para el modelo de simulación es la tasa de llegada de naves y su frecuencia, para cada tipo y tecnología de naves que utilizan los puertos comerciales y la composición de la carga que transporta cada uno de ellos, situación por la cual se determinan los tipos de nave según el tipo de embalaje y/o carga. Sus características físicas se obtienen de las estadísticas existentes y de la literatura sobre tecnología de naves.

	Año	1983	1985	1990	1995
Valparaíso	EXPORT.	1415	1784	2799	3280
San Antonio	IMPORT.	1835	1740	1960	2872
	CABOTAJE	257	267	318	387
	OTROS	74	0	0	0
	T O T A L	3579	3754	5078	6539
Talcahuano	EXPORT.	1972	2585	3502	4320
San Vicente	IMPORT.	208	253	338	497
	CABOTAJE	291	326	416	531
	T O T A L	2472	3164	4255	5547
Punta Arenas	EXPORT.	20	23	29	35
	IMPORT.	48	54	67	83
	CABOTAJE	161	163	186	211
	T O T A L	230	240	281	329
Antofagasta	EXPORT.	547	656	964	918
	IMPORT.	126	152	204	298
	CABOTAJE	238	262	335	428
	TRANSITO	393	487	653	870
	OTROS	30	33	36	38
	T O T A L	1346	1593	2194	2555

TABLA 2: Proyecciones (Miles de Ton.)

Las principales hipótesis en la determinación de la demanda son:

- Existe independencia entre los sistemas portuarios estudiados.
 - No hay discriminación regional entre los modelos
 - Las características de los tipos de nave son relativamente estables en el tiempo..
 - Los tiempos entre llegada se determinan para todas las naves en forma global y mantienen su padrón aleatorio.
- La evolución de los principales productos de exportación de los sectores analizados se muestran en el gráfico adjunto.

6.2. Proyecciones por producto

Las proyecciones por los productos más importantes se basa en la información que se desprende de los planes de acción sectoriales y a nivel de las empresas.

Sector Forestal. Las proyecciones se basan en los antecedentes de INFOR sobre plantaciones y maduración de las mismas complementando con los antecedentes derivados de hipótesis sobre comportamiento de los mercados a partir de los planes de desarrollo de las empresas. Las proyección se basa en asumir la instalación de importantes fábricas de celulosa, Pulpa y Papel en la segunda mitad de la década. Al mismo tiempo se adopta la visión de que en la década de 1990 se producirá una expresión del mercado de la madera.

Sector Frutícola. Se adopta la tesis de que el ritmo de plantación durante la próxima década será reducido a un 2.8% acumulativo anual. Sin embargo en lo que sector de la presenta década el ritmo de crecimientos de las exportaciones de fruta serán de un 6% acumulativo anual. La proyecciones tienen como fuente a CORFO.

Sector Pesquero. La productos considerados en el sector son básicamente la harina de pescado, el aceite la conservas y los congelados. Se adopta la hipótesis de que la producción y exportación de harina de pescado debería tener un leve crecimiento, debido a un descenso en los desembarques y a cambio en los destinos de las capturas. En este rubro se espera un crecimiento de solo 2% acumulativo anual en la zona norte vesus un 5% en el Sur. La producción de conservas y mariscos de exportación se incrementará en tasa de alrededor de un 10%.

Sector Cuprifero. En relación al cobre sólo es posible establecer ecuaciones probables de acuerdo a las perspectivas del mercado y a las restricciones de expansión a que se ve sometido el sector. En el supuesto de que se resuelvan los problemas actuales del mercado, el que crece a tasas moderadas, puede suponerse la materialización de las inversiones en minería. La fuente para proyectar Cobre se desprende de información sectorial.

Otras exportaciones. Se utilizó para el resto de las exportaciones un modelo elaborado, publicado por De Gregorio para explicar las exportaciones no cobre en que se considera que la variación del producto no cobre exportado en un año determinado, es función de los niveles de precio externos e internos, los aranceles, los niveles de actividad externos y de las exportación al año anterior.

Importaciones en general. Las importaciones tienen una gran variabilidad año a año. Para proyectar se ha utilizado la elasticidades estimadas por De Gregorio en 1982 que arrojan una elasticidad precio de $-.41$ y una elasticidad ingreso de 2.06 a nivel total, también se ha considerado las elasticidades por tipo de producto de las importaciones. Las divisiones son las siguientes: Bienes de consumo alimenticio, bienes de consumo no alimenticio, bienes intermedios y bienes de capital.

Trigo y Maíz. Las proyecciones utilizadas son las realizadas por el estudio de "del Ferrocarril Santiago Cartagena" realizado por CIAPEP complementado con el programa trienal. En el se establece: que la producción de trigo debería subir de alrededor de 900.000 ton/año a $1.460.000$ en 1987. Esto implica una baja en las importaciones de 860 mil toneladas a 350 mil toneladas.

El cabotaje se proyecto de acuerdo a correlaciones establecidas en relación al PGB. A modo de ejemplo se muestra la relación para la carga general movlizado por Valparaíso.

$$\text{Carga Cabotaje} = -113,9 + 0,538 \text{ PGB}$$

Las cifras adoptadas para el PGB son acordes en las restricciones económicas actuales en valores que fluctuan entre el 3 y 4% en el próximo decenio.

Los resultados de las proyecciones puede observarse en el cuadro respectivo.

6.3. Proyección por tipo de embalaje

Se distinguen tres tipos de embalaje:

- 1.- Carga general fraccionada
- 2.- Carga general unitizada
- 3.- Carga a granel

Carga general fraccionada corresponde a carga que no tienen un formato especificado y que no pueden manipularse en forma standard.

La proyección de los embalajes se realizan basándose en su estructura actual en cada uno de los puertos. La composición de Embalaje en 1983 para todos los puertos de EMPORCHI en conjunto era la siguiente:

Fraccionada	45%
Paletizada	5%
Conteinerizada	9%
Granel sólido	37%
Granel líquido	3%

Para analizar la evolución de los embalajes se distinguieron tres tipos de productos:

- a) Producto estáticos que no cambian de embalaje
- b) Productos que en la situación actual no son containerizables
- c) Carga general fraccionada que en el futuro se puede containerizar

Para este último grupo se establece una predicción del grado de penetración del contenedor. Para ello se establece una función logística del tipo

$$\frac{dy}{dt} = a \cdot y (k - y) \quad (3)$$

donde

y = Grado de penetración del contenedor en %

k = 100%

a = parámetro

$$Y = \frac{k}{1 - B} e^{-At} \quad (4)$$

B es la constante de integración. Los parámetros fueron estimados utilizando la historia recién pasada. Esto se aplicó para aquellos bienes que tienen un grado entre excedente y adecuado de containerización.

6.4. Proyecciones de arribo de nave y su distribución

Se debe determinar la frecuencia de llegada de los distintos tipos de naves, como los tiempos entre llegada de éstas. Por lo cual se debe previamente conocer las tecnologías de naves para luego asignarle la carga correspondiente y así determinar el número de naves arribadas por tipo. Los antecedentes básicos son los valores promedios registrados en 1983 para las naves que atracaron en los puertos de EMPORCHI.

Las tecnologías de naves que hacen uso de los puertos nacionales son las siguientes; a) Convencionales: Su característica principal es que presenta varias bodegas separadas por entre puente; b) Multipropósito: Tiene varias grandes bodegas que no tienen entre puente y pueden llevar todo tipo de carga; c) Portacontenedores: Naves celulares de gran capacidad de carga para transporte de unidades; d) Roll-on-Roll off: Estas naves tienen la ventaja que los camiones u otros vehículos pueden entrar o salir rodando de ella; e) Bulk-Carrier: Es un buque que tiene una sola gran bodega especialmente diseñada para graneles; f) Reefer: Naves con bodegas refrigeradas.

Para efectos de su uso en el modelo se considera otra forma de clasificación de las naves, más identificadas con el tipo de carga que transporta, pero que tiene relación con las distintas tecnologías. Esta se extrajo del análisis del estudio IASA (1), y contrastada con una muestra de la información entregada por la D.G.T.M. y M.M. Se distinguen 15 tipos de naves,

- N1 - Carga General Convencional : Pueden transportar carga general, contenedores y graneles en reducidos volúmenes.
- N2 - Mixto Granel-Carga General : Moviliza los tipos de carga que especifica su nombre.
- N3 - Cobre : Corresponde a naves cuya única finalidad es cargar dicho metal. Corresponde a carga general.
- N4 - Mixto Contenedores-Carga General: Naves multipropósitos de rápida penetración actual, llevan las cargas indicadas.
- N5 - Roll-on Roll off : Pueden transportar camiones cargados u otro tipo de vehículos.
- N6 - Forestal : Naves de gran tamaño para la carga exclusiva de troncos o madera aserrada. Corresponde a bulk-carrier.
- N7 - Fruta : Nave frigorífica para transporte de fruta. Corresponde a reefer.
- N8 - Portacontenedores :
- N9 - Graneles : Naves especializadas en el transporte de graneles, como trigo y maíz.
- N10- Otros Graneles : Naves graneleras de características inferiores a las recién citadas en cuanto a capacidad y rendimiento.
- N11- Carbón : Naves graneleras exclusivas para carbón.
- N12- Abonos : Nave granelera para transportar solo abonos.
- N13- Sal : Similares a las anteriores, especializadas en sal.

N14- Cabotaje Carga General : Nave de carga general exclusiva para cabotaje.

N14- Cabotaje Carga General-Contenedores : Especialmente diseñados para llevar los dos tipos de carga. De gran penetración actual.

Cada una de estas categorías de naves es identificado por un vector de características físicas (\vec{N}), en el cual se incluye la eslora, T.R.G. calado promedio. Por otra parte tiene asociada un vector de cargas \vec{C} y un vector de rendimiento de un número variable de elementos que es función del puerto a que atraquen. Este vector tiene asociado los rendimientos diferenciales en cada sitio del sistema portuario.

6.5 Asignación

Conociéndose los tipos de naves, y los tonelajes por tipo de embalaje, se procede a asignar esa carga a los tipos de nave que corresponda.

Estos volúmenes son asignados mediante los siguientes supuestos:

- Todo el comercio exterior de carga general puede ser movilizado en tipos de nave: Carga general convencional, mixto granel-carga general, mixto contenedores-carga general.
- Los tipos de naves que correspondan con un tipo de carga movilizarán solo esa carga, en su totalidad o una fracción significativa de ella.
- Para los barcos mixtos se estima que el 50% de la carga será especializada (graneles o contenedores) y el resto fraccionada.
- El excedente de los contenedores que no se puede llevar en barco portacontenedores y mixtos será asignada a barcos convencionales.
- Los barcos portacontenedores, llevarán una proporción cada vez más grande de los contenedores, a partir de un 20% de la carga contenerizada, hasta 50% en 1995.

7. Simulación

La simulación consiste en identificar los índices operacionales a partir del modelo que trate conjuntamente las variables de demanda y de oferta, para ello discrimina en cuanto al servicio que ofrece cada sitio a cada tipo de nave, esto requiere de la adopción de cifras que representan adecuadamente la productividad nave-sitio en cada sitio de los diferentes sistemas. Al mismo tiempo es necesario realizar hipótesis respecto a las tasas de llegada de cada tipo de nave.

En cuanto a las tasas de llegada se comprobó estadísticamente que la distribución de tiempos entre llegadas era Erlang $k = 1$ para la totalidad de las naves.

Las hipótesis relevantes en el uso del modelo son las siguientes:

- Rendimientos invariables en el tiempo a nivel de una tecnología de naves.
- Año Base y de Ajuste 1983.

- La dispersión de parámetros de los tipos de naves se mantiene .
- Las distribuciones de llegada individual de cada tipo de nave se asimilan a la global. Esta hipótesis se hace más restrictiva en el caso de naves portacontenedores, caso en el cual la distribución tiende a k mayores.
- Se supone que los puertos trabajan 300 días al año a 3 turnos (21 horas día).
- La transferencia de carga en los sitios refleja la productividad de las otras etapas de la cadena de transporte en el puerto.

Las limitaciones son las siguientes:

- Algunos de los rendimientos de transferencia de carga son obtenidos de fuentes externas, y no chequeados estadísticamente.
- Se simulan tres períodos, para cada puerto.
- Solo se analiza la capacidad desde una perspectiva de índices operativos no llegándose a indicadores económicos.

7.1 Rendimientos por tipo de nave

Los rendimientos de transferencia de carga en el ámbito portuario se mide por las toneladas de carga transferidas en una hora por escotilla y se llama Tonelada Hora Escotilla (THE).

Dicho índice depende de una serie de factores como son: el tipo de carga, el tipo de nave, tipo de embalaje, los equipos de apoyo, y además refleja las ineficiencias de la cadena de transporte hacia atrás y hacia adelante del sistema portuario.

El método para determinar los rendimientos por tipo de nave incluye los siguientes pasos, para cada puerto.

- Encontrar los rendimientos por tipo de carga, por puerto y por sitio.
- Determinar los rendimientos por tipo de nave, en base a la proporción de carga que lleve.

7.2 Rendimientos por tipo de embalaje o productos

Los rendimientos por tipo de embalaje o productos presentan una gran dispersión de puerto en puerto, esto se debe principalmente a que las características y equipos existentes son diferentes en cada uno de ellos, es más, no es extraño encontrar diferencias en un mismo puerto. Así, pueden existir sitios especializados en algún tipo de carga y en otra no. Los rendimientos aca usados están basados en antecedentes por EMPORCHI, Puerto Lirquén y las referencias citadas.

3. Rendimiento por tipo de nave para cada sitio

El output del proceso es construir matrices que representan los rendimientos de cada sitio por cada puerto y para cada tipo de nave que puede atender. Estas matrices se construyen teniendo como base los tipos de naves que representan a las cargas ya definidas, y la proporción de esta que llevan, para así ponderar los rendimientos por tipo de nave. Sin embargo, vale decir que no existe un completo estudio estadístico de los rendimientos y por lo tanto los valores aquí utilizados son los más probables o rendimientos medios. Este problema se solucionará al ser dispersados internamente los rendimientos medios de acuerdo a una distribución normal.

4. Resultados de la Simulación

Los resultados obtenidos del proceso de simulación de los puertos de: Antofagasta, Valparaíso, San Antonio, Lirquén, Talcahuano, San Vicente y Punta Arenas, agrupados en la forma anteriormente indicada, para los años 1985, 1990, 1995, se presentan en las tablas siguientes.

Los resultados aquí mostrados son un resumen de los listados de salida del programa. Además se presentan los índices que se definen a continuación:

A = Nivel de Uso	= $\frac{\text{Tiempo de Servicio}}{\text{Tiempo Total Laboral}} \times 100$
B = Tiempo de Espera	= $\frac{\text{Horas de Espera}}{\text{Nº Total de Naves}}$
C = Tiempo Medio de Espera de Naves que Esperan	= $\frac{\text{Horas de Espera}}{\text{Nº de Naves que Esperan}}$
D = Porcentaje de Naves que Esperan	= $\frac{\text{Nº de Naves que Esperan}}{\text{Nº Total de Naves}} \times 100$
E = Promedio Diario de Naves en Cola	= $\frac{\text{Nº de Naves que Esperan}}{\text{Nº Días}}$
F = Promedio Sitios Ocupados	= $\frac{\text{Nº Sitios x Horas Ocupadas}}{\text{Horas Totales}}$
G* = Nivel de Uso Corregido	= $\frac{\text{Tiempo de Servicio}}{\text{Tiempo Laboral Corregido}}$
H = Número Máximo de Naves	

* Se corrige en proporción a la oferta por sitio a cada tipo de nave.

SISTEMA PORTUARIO	AÑO	TONELAJE TOTAL MOVILIZADO	N# NAVES LLEGADAS	N# NAVES QUE ESPERAN	HRS NAVES QUE ESPERAN	HRS NAVES ATACADAS	TOTAL HORAS SERVICIOS	TOTAL TIEMPO OCIOSO
OCTAVA REGION	1985	3.127.495	410	12	65	21.732	18.975	34.713
	1990	4.778.710	629	127	1394	42.906	31.313	22.303
	1995	5.004.405	794	286	7078	42.211	36.904	15.478
VAPARAI SO SAN ANTONIO	1985	3.749.690	1369	71	242	28.620	24.924	78.874
	1990	5.169.954	1879	211	879	39.354	34.207	76.709
	1995	6.372.290	2320	491	2460	51.550	44.728	59.910
ANTOFAGASTA	1985	1.472.280	474	4	24	13.279	11.587	36.679
	1990	1.970.550	638	20	113	17.475	15.300	33.414
	1995	2.389.125	736	63	596	22.114	19.306	27.877
PUNTA ARENAS	1985	248.079	1013	33	307	7.008	6.057	28.919
	1990	269.534	1014	5	5	7.184	6.263	27.846
	1995	303.532	1080	42	323	7.738	6.709	26.319

TABLA 3: Resumen resultado proceso de simulación

INDICADOR	OCTAVA REGION			VALPARAISO SAN ANTONIO			ANTOFAGASTA			PUNTA ARENAS		
	85	90	95	85	90	95	85	90	95	85	90	95
A. NIVEL DE USO %	36.6	62.1	73.0	23.3	32.0	41.8	26.3	34.8	43.9	19.2	20.8	21.3
B. % NAVIS QUE ESPERAN	3.0	20.2	36.0	5.2	11.2	21.2	0.8	3.1	8.6	3.3	0.5	3.9
C. TIEMPO MEDIO DE ESPERA (HRS/NAVE)	0.16	2.21	8.9	0.18	0.68	1.06	0.05	0.18	0.80	0.30	0.01	0.30
D. TIEMPO DE ESPERA DE LAS NAVES QUE ESPERAN	5.4	11.0	24.7	3.4	4.2	5.0	6.0	5.7	9.3	9.3	1.0	7.7
E. PROMEDIO DE NAVES ES- PERANDO EN COLA DIARIO	0.0	0.42	0.95	0.24	0.70	1.63	0.01	0.06	0.21	0.11	0.01	0.14
F. PROMEDIO DE SITIOS OCUPADOS DIARIOS	3.0	6.0	5.0	4.0	5.5	7.2	1.8	2.4	3.1	1.0	1.0	1.1
F. SITIOS OCUP. DIARIO %	37.5	75.0	73.0	23.5	32.4	42.3	25.7	34.3	44.3	20.0	20.0	22.0
G. NIVEL DE USO CORREGIDO	39.2	68.5	80.5	38.2	52.5	68.5	35.5	47.0	59.3	21.6	22.5	23.9
H. N# MAX. NAVIS EN COLA	1	5	10	1	2	3	2	2	4	3	1	1

FUENTE: Elaboración Propia

TABLA 4: Indicadores de la capacidad portuaria

9. Resultados y Conclusiones

Como se desprende de la tabla 4 para la situación base proyectada, los puertos de la Octava Región son los que presentarían mayores problemas al año 1995, éstos si se dan las proyecciones de carga y depende fundamentalmente del sector forestal. El año 1985 los índices de congestión de éste puerto serán más bajos que en 1983, debido a la entrada en funcionamiento de dos sitios en Lirquén. Sin embargo en 1990 ya aparecen algunos síntomas de congestión con índices de utilización del 60%. Esta situación se agrava hacia 1995, año en el cual la utilización es de 73% y el tiempo promedio de espera de las naves que no obtienen inmediatamente un sitio, es de casi un día. Para ese entonces, el número de días de espera es de 295 días-nave, es decir, un costo aproximado a los 3 millones de dólares, lo cual justificaría la ampliación de la capacidad del sistema con un costo estimado de 6 millones de dólares por sitio. De acuerdo a las estimaciones el punto crítico del sistema se alcanzaría el año 1990, año en el cual probablemente se justificará un sitio.

En el sistema portuario de la zona central se producirán en el próximo quinquenio dos fenómenos que tienen un efecto sobre el funcionamiento global, esto es, el importante crecimiento de las exportaciones y el cambio tecnológico en el manejo de carga, que significa la transferencia de la carga al uso de contenedores. Al año 1990 el modelo no refleja sustantivo tiempo de espera promedio, sin embargo la posibilidad del modelo de discriminar la espera por tipo de nave indica que las naves portacontenedores pueden tener problemas de congestión en 1990 si en ese entonces existen solamente dos sitios dedicados a dicho movimiento. A pesar de que en general los itinerarios de las naves portacontenedores presentan mayor regularidad, en la medida que los terminales sirven los diversos tráficos y rutas, la distribución de tiempos de llegada se acerca a funciones de tipo Erlang con $k < 3$, es decir, se hacen más aleatorios, ello provoca la consiguiente espera. Esta situación se hace aún más dramática en 1995. Cabe destacar que aparecen también síntomas de congestión en las naves fruteras que se encuentran concentradas estacionalmente 6 meses del año.

Para solucionar el problema de las naves portacontenedores se propone estudiar la adaptación de dos sitios extra del sistema para el manejo de dicha tecnología.

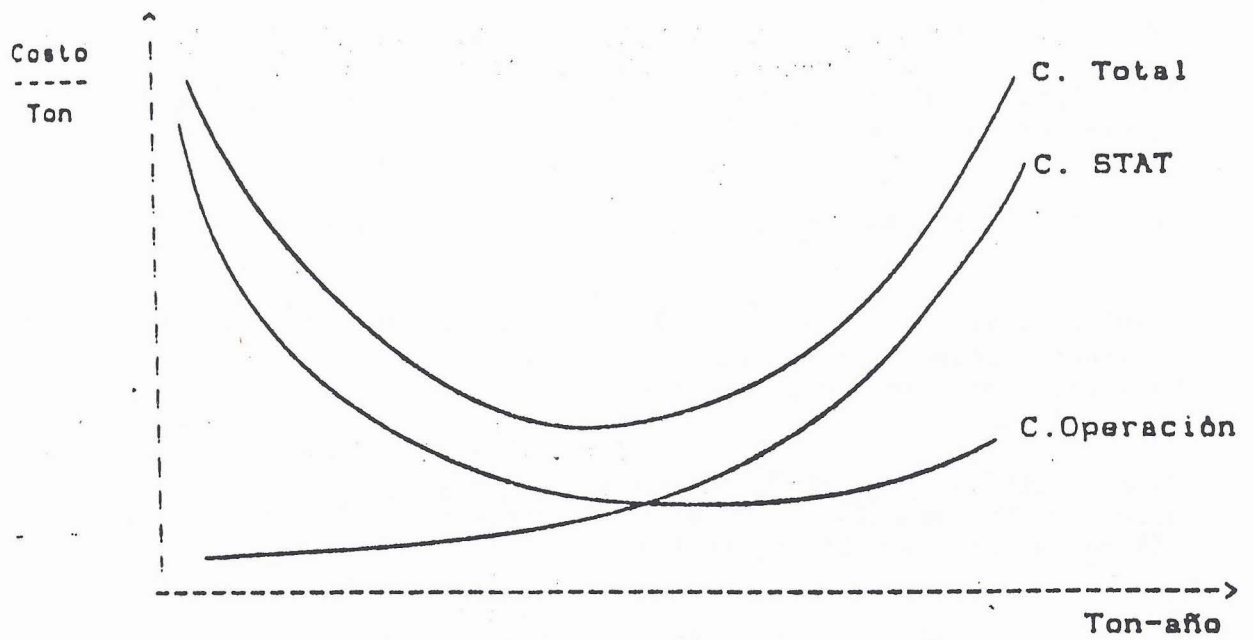
En general en ésta zona se debe estudiar más a fondo el problema de especialización que el de ampliación, ello se ratifica al observar la utilización de los puertos del sistema que es bastante baja en el horizonte.

No se puede dejar de destacar el efecto negativo del sismo sobre el puerto de San Antonio, que inutilizó los sitios 1 y 2 y disminuyó la capacidad operativa del resto. Si bien es cierto, los presentes resultados son anteriores a dicha situación éstos permiten afirmar que es necesario recuperar plenamente la capacidad operativa de los sitios 4 y 5 del espigón. La necesidad de recuperar el sitio 1 y 2 se vió ratificada por la inversión actualmente en desarrollo para un muelle granelero ubicado en el molo norte, iniciativa que permite a lo menos dilatar alguna decisión sobre la reparación del molo sur. En cualquier caso en el puerto de San Antonio se deberá proveer de un nuevo sitio de contenedores durante el próximo decenio.

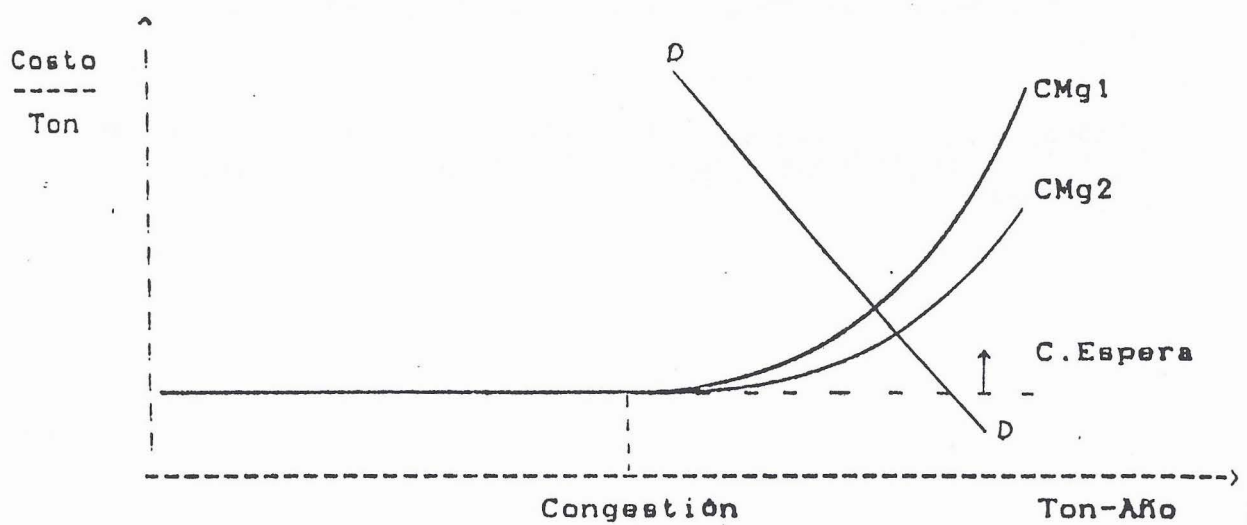
Los puertos de Antofagasta y Punta Arenas no presentan evidencia de congestión en el horizonte estudiado.

BIBLIOGRAFIA

- RIVEROS, R., ESCUDERO, J. y ESCOBAR, L., (1978) Estudio de Alternativas Portuarias en la Región Central de Chile. IASA, Santiago.
- BRUUM, P. (1976) Port Engineering. Gulf Publishing Company, Houston.
- HARDING, A. S. y RYDER, S.C. (1978) The impact of irregular ship arrivals on liner terminals with high fixed cost. Marine Transport Center, The University of Liverpool, Inglaterra.
- CIAPEP (1975) Ampliación Portuaria de San Vicente. Programa de Adiestramiento en Preparación y Evaluación de Proyectos, Pontificia Universidad Católica de Chile - ODEPLAN, Santiago.
- RIVEROS, R. (1982) Port planning analysis through simulation. International AMSE Conference Modelling and Simulation, Paris-Sud, 1-3 Julio 1982 Francia.
- REYES, J.C. y RIVEROS, R. (1981) Extensiones al modelo de simulación portuaria. Documento de trabajo 81/01/C, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Santiago.
- UNCTAD (1973) Berth Throughput. United Nations Publications TD/B/C.4/109 Nueva York.
- RIVEROS, R. (1984) Necesidades de inversión en puertos. En Infraestructura Económica para un Desarrollo Democrático, (Centro de Estudios para el Desarrollo), Santiago.



a) Costos de servicios portuarios en función del tonelaje movilizado



b) Costos marginales de servicios portuarios

FIGURA 1: Costos de servicios portuarios

ANALISIS DE LOS
PUERTOS

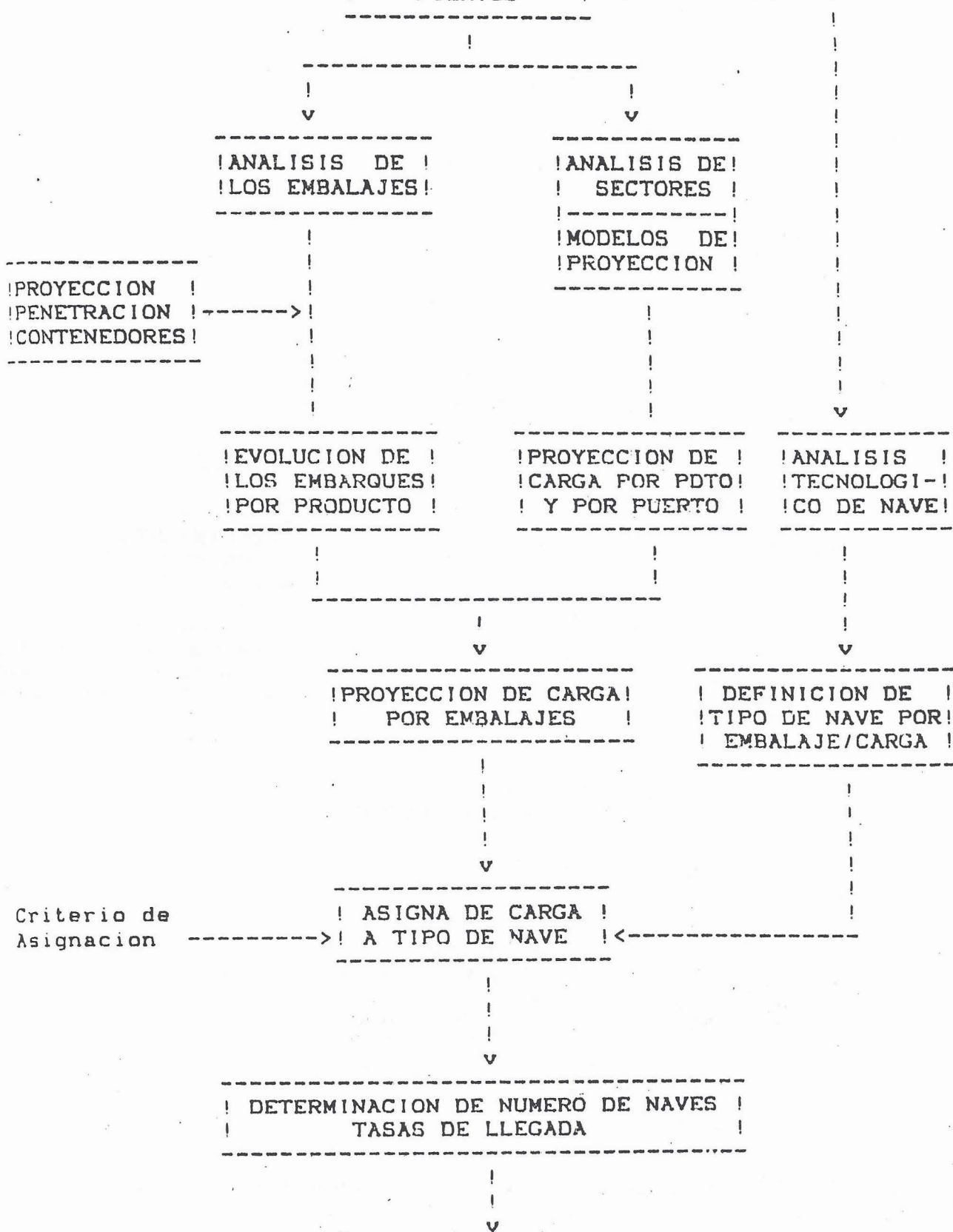


FIGURA 2: Metodología para determinar la demanda por servicios portuarios

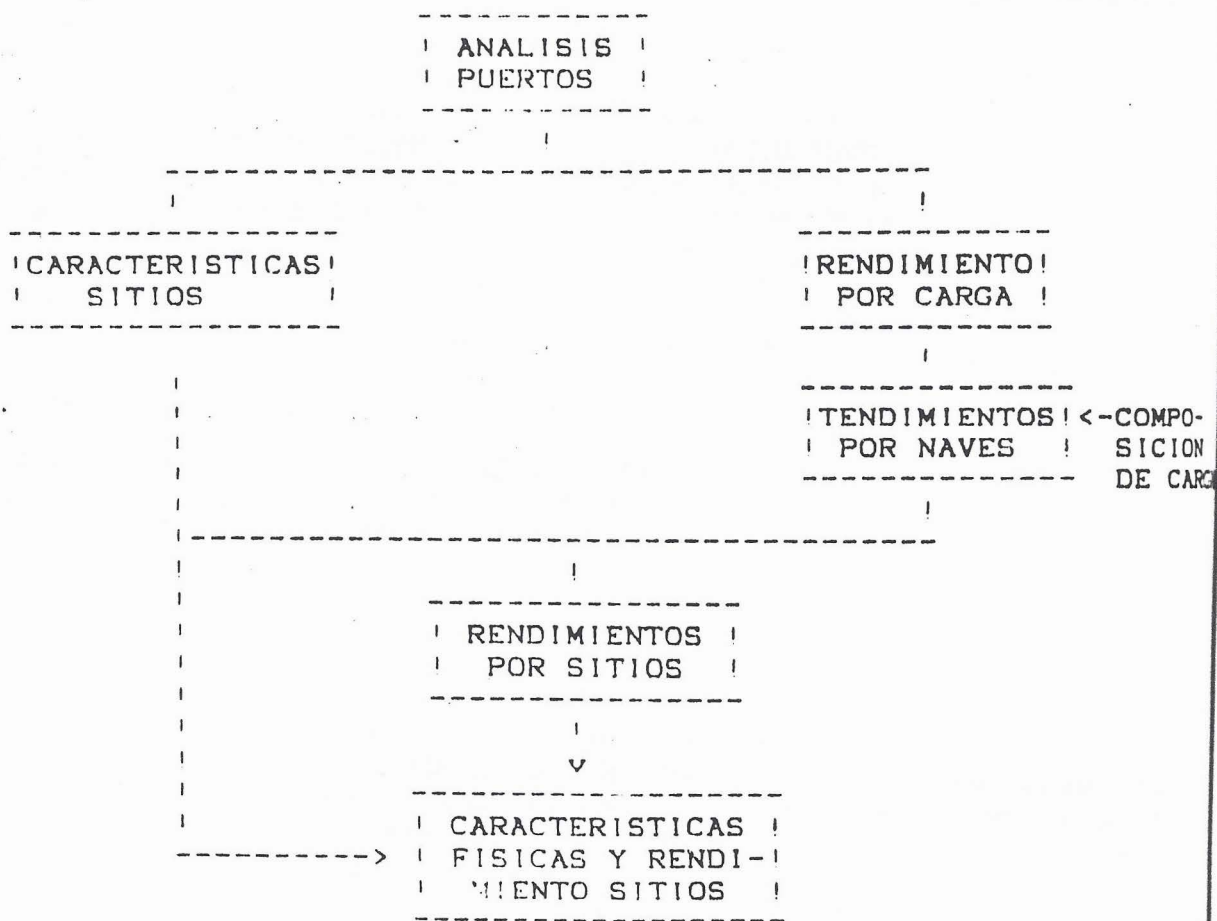


FIGURA 3: Metodología para determinar la oferta portuaria