



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**MODELOS DE COMPETENCIA Y
EQUILIBRIOS DE SUBJUEGOS
PERFECTOS APLICADOS A UNA
TERMINAL PORTUARIA**

EDUARDO ARTURO KOFFMANN JOPIA

Tesis para optar al grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:

JOSE ENRIQUE FERNANDEZ

Santiago de Chile, (Marzo, 2012)

© 2012, Eduardo Koffmann Jopia



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**MODELOS DE COMPETENCIA Y
EQUILIBRIOS DE SUBJUEGOS
PERFECTOS APLICADOS A UNA
TERMINAL PORTUARIA**

EDUARDO ARTURO KOFFMANN JOPIA

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

JOSE ENRIQUE FERNANDEZ L.

JUAN CARLOS MUÑOZ A.

HENRY MALBRAN R.

BONIFACIO FERNANDEZ L.

Para completar las exigencias del grado de
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (Marzo, 2012)

A mis padres, que me esperaron a que terminara el trabajo de Postgrado, tal vez con más paciencia que la de Penélope para Ulises.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente el apoyo incondicional del profesor supervisor y director de esta Tesis, Don José Enrique Fernández, que no sólo me guió durante el trabajo de investigación y desarrollo, sino que además fue un constante apoyo durante mi actividad universitaria, y luego, laboral.

También agradezco a mi familia, padres y hermanas, por su apoyo incondicional y preocupación durante mi periodo de investigación.

Finalmente, agradezco a mi novia, por entenderme, cuando el tiempo dedicado a ella y a la investigación producían un "conflicto de intereses".

INDICE GENERAL

1	Introducción.....	1
2	Descripción del mercado de transporte marítimo de contenedores	4
	2.1 Características del mercado de transporte marítimo en general	4
	2.2 Características de los aspectos operacionales	7
	2.3 Características adicionales del proceso de carga y descarga	16
	2.4 Características del mercado de transporte marítimo en Chile	19
3	Revisión de la literatura especializada sobre el aspecto económico de los puertos ...	23
4	Marco teórico sobre teoría de juegos y estrategias detonantes para análisis económico.....	38
	4.1 Descripción teórica general de la teoría de juegos.....	38
	4.2 Juegos iterativos infinitos (Superjuegos) y Estrategias Detonantes	41
1.3	Ejemplo del uso de estrategias detonantes para un mercado oligopólico	46
5	Modelo de Competencia Interportuaria para un Juego Iterativo en el tiempo.....	55
	5.1 Consideraciones generales del modelo	55
	5.2 Modelo de optimización de un puerto monopólico	61
	5.3 Modelo de optimización de óptimo social.....	64
	5.4 Modelo de optimización de puertos oligopólicos	67
	5.5 Equilibrios posibles a lo largo del periodo de concesión.....	74
6	Resolución de los modelos de competencia Intraportuaria	77
	6.1 Supuestos y parámetros de los modelos	77
	6.2 Método de resolución.....	82
	6.3 Resolución de los Modelos	83
	6.4 Comparación de los resultados	92
	6.5 Verificación de colusión por estrategias detonantes.....	96
7	Resumen y Conclusiones	101
	7.1 Resumen.....	101
	7.2 Conclusiones.....	103
8	BIBLIOGRAFIA	108

Anexo A.1	113
Anexo A.2	117
Anexo A.3	121
Anexo B.1.....	127
Anexo B.2.....	128
Anexo B.3.....	129

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Esquema de operación en un puerto de carga y descarga	16
Figura 3-1: Crecimiento del número de publicaciones sobre economía portuaria.....	36
Figura 4-1: Esquema gráfico de una estrategia detonante, con devío en T	43
Figura 4-2: Tasa de Valoración intertemporal para N empresas.....	51
Figura 4-3: Tasa de Retorno Mínima para N empresas	53
Figura 5-1: Esquema de operación de los sitios de atraque	67
Figura 6-1: Evolución del precio en puerto monopolístico.....	83
Figura 6-2: Beneficios netos en puerto monopolístico	84
Figura 6-3: Evolución de la tasa de atención en puerto monopolístico	85
Figura 6-4: Evolución del precio por máximo beneficio social	86
Figura 6-6: Evolución la tasa de atenciónpor máximo beneficio social	88
Figura 6-7: Evolución la tasa de atención en competencia oligopólica	89
Figura 6-8: Beneficios netos en competencia oligopólica	90
Figura 6-9: Resultados financieros por escenario	91
Figura 6-10: Evolución de los precios por escenario	92
Figura 6-11: Evolución de los tiempos de espera por escenario	93
Figura 6-12: Sitios de atraque operativos por escenario	94
Figura 6-13: Evolución de la demanda por escenario	95

Figura 6-14: Beneficios netos de colusión y competencia respecto a M	96
Figura 6-15: Beneficios netos de colusión y competencia respecto a M y Delta.....	97
Figura 6-16: Beneficios netos de colusión y competencia según la tasa de descuento	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Tasa de Valoración intertemporal para N empresas	52
Tabla 4-2: Tasa de Retorno Mínima para N empresas.....	53
Tabla 5-1: Nomenclatura de beneficios según tipo de equilibrio	81
Tabla 6-1: Lista de parámetros a utilizar en el modelo.....	84
Tabla 6-2: Resultados principales en puerto monopolístico	84
Tabla 6.3: Resultados principales por máximo beneficio social.....	87
Tabla 6.4: Resultados principales en competencia oligopólica	90
Tabla A-1: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo un puerto monopolístico	124
Tabla A-2: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo maximización del beneficio social.....	126
Tabla A-3: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo competencia oligopólica, periodos 1-10	127
Tabla A-4: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo competencia oligopólica, periodos 11-20.....	129

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo presentar modelos microeconómicos que permitan verificar las condiciones de equilibrio de mercado en un terminal portuario que realiza operaciones de carga y descarga, analizando tres escenarios. El primero corresponde a un puerto monopólico, luego un escenario de maximización de beneficio social, y finalmente, se presenta uno de competencia oligopólica entre los operadores del puerto.

Para la construcción de estos modelos, se toma un enfoque de interacción económica compuesta por el puerto y las navieras, donde esta última posee una demanda que reacciona a un precio generalizado, compuesto de la tarifa y los tiempos de espera. Finalmente se maximizan los beneficios conjuntos o individuales de los agentes, sujetos a restricciones tecnológicas, donde las variables de optimización corresponden a las tarifas por carga y descarga cobradas por el puerto, y a los niveles de servicio que repercuten en los tiempos de espera. Además, se plantea un mecanismo para verificar cuando para los operadores portuarios es un equilibrio de largo plazo coludirse y comportarse en conjunto como un monopolio, y cuando es un equilibrio la competencia.

Para resolver los modelos se realizó una simulación numérica, pues la complejidad de las funciones de tiempo de espera no permitió soluciones analíticas explícitas, obteniendo las principales características operacionales, económicas y financieras. Los resultados más importantes obtenidos, que no coinciden con los resultados clásicos, se refieren a que no siempre los mayores tiempos de espera se verán cuando el puerto actúa como monopolio, debido al compromiso existente entre tiempo de espera y tarifa en los precios generalizados. Además se obtuvo que el resultado respecto a la existencia de colusión depende de las tasas de valorización intertemporal de los beneficios por parte de los operadores, y de las posibles multas que se cobraran por parte de un organismo regulador.

Palabras Claves: Oligopolio, Competencia Intraportuaria, Teoría de Juegos, Cournot, Estrategias Detonantes, Puertos.

ABSTRACT

The aim of this work is to present some microeconomics models that help verify a cargo transferring maritime port market equilibrium, analyzing three different scenarios. The first one deals with a monopolist port, the second one target over the social welfare maximization, and lastly, when there is oligopolistic competence between the port operators.

In order to build these models, the selected approach is about the economic interaction between the port operators and the shipping enterprises, where the last one perceives a generalized price composed by the fare and the waiting times. Finally there is a maximization of the mixed or individual welfare for every agent, applying some technological and operational restrictions, where the optimization variables are the load and unload fares and the services rates that have a direct effect on the waiting times. Furthermore, there is a mechanism proposed to detect when there is long term equilibrium to collude and have the same behavior than a monopoly, and when the equilibrium is to compete for the demand.

To solve this models a numeric simulation was applied, because the complexity of the waiting times function was too high to obtain explicit analytic expression for each decision variable, and as result of the application of this simulation, the most important operational, financial and economics results were obtained. The most important results from these simulations, as they were not as expected, is that not always the highest waiting times are a result from a monopolist port, because of the tradeoff between the fare and the waiting times that compose the generalized price. Moreover there was obtained that the conditions for the existence of collusion between the port operators depends highly of the inter-temporal valorization rate of the benefits, and the eventual fines that can be charged by a regulation entity.

Keywords: Oligopoly, Intraport Competition, Games Theory, Cournot, Trigger Strategies, Ports.

1 INTRODUCCIÓN

La presente tesis está motivada por la falta de estudios dedicados a la competencia intraportuaria, en donde varios operadores portuarios compiten por la demanda de naves que llega a un terminal. Comprender el comportamiento de equilibrio en estas condiciones se ha vuelto incrementalmente importante con el tiempo, debido a que el modelo Landlord, donde el estado es dueño de los terminales portuario y licita las operaciones, ha evolucionado permitiendo que exista ya no sólo un operador, sino que varios, en el propósito de incentivar la competencia y ofrecer menores precios y tiempos de espera.

El mercado portuario es tremendamente importante para el desarrollo de las regiones, pues gran parte del intercambio de materias primas y bienes de consumo se hace en barco, debido a las economías de escala y bajo costo que éstos presentan. La evolución natural de este proceso ha incentivado a que los barcos sean cada vez mayores en sus capacidades de carga, y que los puertos, para poder aprovechar estas economías de escala, deban ser cada vez más eficientes, en el sentido de poder realizar las operaciones de carga y descarga cada vez más rápido y a menores costos. Hay que considerar que como toda demanda de transporte, esta es una demanda derivada de las necesidades de los usuarios finales del sistema, y por lo tanto, mejoras en los sistemas de transporte tienen impactos positivos en las economías donde éstos se desarrollen y en todos los consumidores finales de los productos.

Sin embargo, debido a la cantidad limitada del espacio en un puerto, y a las economías de escala existentes, la cantidad de diferentes operadores no suele ser muy alta, y por lo tanto, la competencia suele darse a nivel oligopólico. A pesar de que la competencia oligopólica puede tener como resultado mejores características de servicio y precios que cuando el puerto es manejado por un sólo operador que no debe competir por la demanda, dicha competencia puede ser eliminada por prácticas colusivas. Han existido ya muchos casos en diferentes mercados en donde los componentes de la oferta en un mercado, cuando son pocos y tienen capacidad de organización, se ponen de acuerdo para coludirse y así

maximizar sus beneficios, y esto se traduce en mayores precios percibidos por los consumidores. Es por eso que si se propone un escenario de competencia, tienen que fijarse condiciones para que ésta realmente suceda.

Para efectos del presente estudio, existen dos objetivos fundamentales. El primero es encontrar los equilibrios de mercado para i) la interacción puerto-navieras, cuando existe un puerto operado por un monopolio, ii) el caso de maximización de beneficio social y iii) cuando existe competencia por parte de varios operadores portuarios por la demanda. El segundo objetivo corresponde a verificar bajo cuáles condiciones existirá colusión y bajo cuáles existirá competencia.

En el segundo capítulo de esta tesis, se comienza presentando las principales características operacionales y económicas de los distintos agentes que forman el mercado de transporte marítimo, es decir, las navieras, los usuarios finales y los operadores portuarios. Para ello, se ilustrará brevemente el desarrollo histórico del transporte portuario, y luego se procederá a describir los principales aspectos de cada agente. En particular, se revisa el desarrollo del transporte marítimo de contenedores, y su estructura de mercado.

En el capítulo tres se hace una reseña de los aportes que ha hecho la literatura a la comprensión microeconómica de los principales aspectos del mercado de transporte marítimo, comenzando en los años sesenta hasta los estudios más recientes. De estos, se rescatarán en especial los aportes más importantes realizados al tema de competencia entre agentes portuarios, relaciones entre los precios y los tiempos de espera, y en general, al estado del arte en esta materia.

En el capítulo cuatro se presenta un breve marco teórico sobre teoría de juegos y estrategias detonantes, de forma que con estas herramientas se pueda analizar el tipo de competencia que se da cuando existen varios operadores en un puerto, y particularmente, analizar las características que deben existir para que existan potenciales acuerdos entre los componentes de la oferta.

En el capítulo cinco se presentan los modelos microeconómicos de puerto monopolístico, operación a máximo beneficio social y competencia oligopólica en los puertos, tomando en cuenta las principales restricciones operacionales y tecnológicas de los agentes portuarios y obteniendo así las relaciones entre variables de operación que resultan óptimas para cada escenario. Una expresión exacta de estas variables no es posible de obtener analíticamente, pues las funciones que componen los tiempos de espera de las naves para los valores óptimos de cada escenario son de alta complejidad. Finalmente, se propone un mecanismo de revisión de colusiones (por fiscalización) tomando en cuenta dos sistemas de penalización a la colusión: el primero corresponde al cobro de una multa, y el segundo a un imperativo de producir al nivel de máximo beneficio social. Con los esquemas propuestos, sumado a la obtención de los beneficios para cada objetivo microeconómico de los escenarios propuestos, es posible revisar matemáticamente si la colusión corresponde a un equilibrio para los operadores portuarios en el largo plazo.

En el capítulo seis se exponen los principales resultados de una simulación numérica de los modelos propuestos en el capítulo cinco realizada con el programa de cálculo numérico y analítico “Maple 14”. Para esto, se consideran los tiempos de espera, precios, niveles de servicio y beneficios de los agentes económicos involucrados, entre otros datos de relevancia. Luego se procede a revisar bajo qué condiciones, con los parámetros presentados en la simulación y los correspondientes beneficios, la colusión será un equilibrio de largo plazo. Finalmente, en el capítulo siete se presentan las conclusiones más relevantes de la aplicación de estos modelos, en relación al comportamiento de las variables fundamentales y los beneficios económicos de cada agente, así como una discusión sobre las posibilidades de usar estos modelos para la detección y prevención de colusiones. Finalmente, se plantean posibles líneas futuras de investigación.

2 DESCRIPCIÓN DEL MERCADO DE TRANSPORTE MARÍTIMO DE CONTENEDORES

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO DE TRANSPORTE MARÍTIMO EN GENERAL

El transporte marítimo de contenedores es la industria del transporte más grande del mundo, en la cual confluyen una importante cantidad de agentes de menor o mayor grado de significancia. Debido a la separación espacial de los centros industriales y a que la mayoría de estos están separados por anchas franjas de territorio marítimo, es de esperar que gran parte del comercio internacional posea en al menos una de sus componentes de cadena de distribución un viaje por mar. De hecho, se estima que aproximadamente el 80% de los productos del comercio internacional pasan en algún momento por el transporte marítimo (Haralambides, 2007). Como se ha mencionado, la cantidad de agentes, tanto públicos como privados, que se involucran en este tipo de transporte debido a las grandes escalas del comercio y a la complejidad de la logística necesaria, es alta en comparación a otros medios. Estos agentes son, a saber:

-Armador: Es el encargado de habilitar y operar las naves de forma que queden preparados para ser utilizados en el transporte y comercio. Estos los dotan de la tecnología añadida necesaria para dichos fines.

-Naviera: Es la empresa o firma titular del transporte marítimo, pudiendo ser dueño o arrendar barcos. En general, son las que proveen el servicio de transporte marítimo.

-Aduana: Es un organismo gubernamental que tiene como misión el control de las importaciones y exportaciones, así como todo el tránsito de los bienes en las fronteras territoriales de cada país.

-Autoridad Portuaria: Es un organismo del estado que se encarga de ordenar y planificar la actividad portuaria, y particularmente en algunos casos, de administrar las zonas donde se establecen los puertos.

-Empresa Portuaria: Tiene el rol de administrar y planificar los puertos, determinando cuando son licitados a operadores privados. A diferencia de la autoridad portuaria, éstas son empresas que buscan rentabilidad privada, mientras deben pagar al estado por el uso de las instalaciones y la infraestructura. Generalmente operan por periodos de concesiones.

-Agentes consignatarios: Este agente tiene como labor representar al agente naviero en cualquier caso que se le necesite, como por ejemplo en la Aduana o ante la autoridad portuaria. Este rol nace debido a que las navieras no pueden tener oficinas de representación en todos los puertos que visiten sus rutas.

-Fletante: Es el agente que adquiere la responsabilidad del transporte de la carga durante la salida del puerto de origen hasta la descarga en el puerto de destino.

-Agente de Aduana: Este corresponde al agente que se encarga de actuar en nombre de los dueños y encargados de la mercancía ante las instituciones aduaneras. Suele tratarse de un agente privado.

-Empresa de estiba: Este agente se encarga de las operaciones de carga y descarga (estiba y desestiba). Hay que notar que la estiba está definida como la técnica de colocar la carga a bordo de un barco para ser transportada con un máximo de seguridad tanto para el barco como para la tripulación, ocupando el mínimo espacio posible, y haciendo mínimas las demoras en el puerto de descarga. Por lo tanto, las buenas empresas estibadoras se encargan de que el buque quede protegido de daños y averías, aprovechan al máximo el volumen disponible en el buque para poder cargar el máximo de carga y procuran que esta operación se realice en el menor tiempo posible.

Estos agentes son constantes para la operación del mercado de transporte marítimo, sin embargo hay particularidades de este mercado que han evolucionado en el tiempo. En la segunda mitad del siglo veinte los adelantos tecnológicos que aparecieron en la industria del transporte naviero han logrado que éste se desarrollase de una forma más eficiente y eficaz. Estos avances han fomentado la expansión del comercio internacional, al crecimiento de la industria y a un interés generalizado en que el transporte marítimo sea uno de los más importantes motores del crecimiento económico de las regiones.

El principal motor de este desarrollo tecnológico corresponde a la introducción del contenedor como principal mecanismo de carga en los años sesenta. Esta estandarización es lo que la industria reconoce como el mayor aporte en la revolución del transporte marítimo, haciendo viable la construcción de puertos estandarizados y barcos capaces de llevar casi cualquier tipo de bienes materiales. Este avance permite que la maquinaria portuaria pueda ser eficientemente diseñada debido a la estandarización presente en los contenedores. Por ejemplo, las grúas tanto de tierra como las presentes en algunos barcos o las formas de apilamiento de un contenedor sobre otro, donde las medidas y formas son conocidas a priori. Además, se reconoce que gracias a este factor, la industria del transporte marítimo se ha convertido en una de las actividades económicas más influyentes en el proceso de la globalización (Stopford, 1997).

Entre los tipos de carga que generalmente llevan las naves en el transporte marítimo, se reconocen particularmente dos tipos de carga; la carga general de contenedores (Linner Shipping) y la carga a granel (Bulk Shipping). Cada tipo de carga requiere un tipo de nave específica para ser transportada, y de manera similar, existen puertos que se especializan particularmente en un tipo de carga. El total de toneladas cargadas durante el año 2007 fue de 8.022 millones (UNCTAD, 2008), mostrando la enorme trascendencia del transporte marítimo en la economía mundial.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ASPECTOS OPERACIONALES

La terminal portuaria corresponde a un sitio de intercambio intermodal, donde la carga pasa desde transporte marítimo al transporte terrestre cuando se trata de llegadas, y del terrestre al marítimo, cuando se trata de salidas. En este sitio existe un buffer en la operación, que permite que la carga no siga en la cadena de transporte inmediatamente. Este buffer corresponde a los sitios de acopio y almacenaje de los puertos. Generalmente, los mismos operadores privados del puerto son los encargados del almacenaje (Montford, 2001). La terminal de contenedores se caracteriza por la unificación de la carga transportada y almacenada (TEU). Además, la estandarización permite que la tecnología pueda ser aplicada de forma eficiente, alcanzando altas productividades y haciendo rendir el capital invertido.

Para que pueda completarse la operación, desde el punto de vista económico se necesitan tres agentes: los operadores portuarios, los encargados del transporte, y los clientes finales. Es importante señalar algunas consideraciones de estos agentes económicos antes de entrar en detalle a las operaciones mismas de los puertos, pues la estructura de esta, tanto en la forma en la que se realiza el servicio como en las formas que tienen las tarifas y como las perciben los diferentes agentes del sistema son sustentadas en las propias características económicas de los agentes involucrados.

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CLIENTES FINALES O USUARIOS

La gran mayoría de los intercambios comerciales entre regiones mediana o lejanamente separadas se produce a través del transporte marítimo. Una rápida definición del usuario del sistema naviero sería aquel que paga por el servicio de transporte de sus bienes desde un origen a un destino, proveyendo la carga a ser transportada. Por eso, en este mercado existen una enorme cantidad de firmas diferentes que pagan por el transporte de sus mercancías, las cuales pueden ser de totalmente diferente naturaleza, cada una con sus particulares necesidades. Los

productos que se transportan van desde petróleo hasta artículos electrónicos, dándole un dinamismo especial a este tipo de transporte. Cada usuario final decidirá qué tipo de naviera debería ser la encargada de transportar sus mercancías de la forma más segura y eficiente. Desde el punto de vista del usuario, el transporte por mar es visto como un servicio, y como tal, percibe un precio cuando lo utiliza, que está compuesto tanto por la tarifa del transporte de la carga, los tiempos totales de transporte y la seguridad respecto de los tiempos de viaje como de la preservación de la carga, etc. Detallando este último, hay que reconocer las principales componentes del servicio que buscan los usuarios, pues el flete de menor tarifa no siempre constituye la elección óptima para el cliente final, tal y como sucede en la gran mayoría de los medios de transporte, donde el costo global percibido por los usuarios también depende de los niveles de servicio compuestos por los tiempos de viaje, entre otros tantos factores.

-Tiempo de viaje: El tiempo de viaje tiene un valor fundamental en la percepción del servicio por parte de los usuarios (Haralambides 2007, Stopford 1997), en especial cuando la carga tiene un valor de inventario alto o pericibilidad. Es importante señalar que dentro de la cadena de transporte, el viaje por mar constituye la mayor componente en términos de tiempo, debido principalmente a las grandes distancias y a las velocidades de operación relativamente reducidas. En este mercado, el tiempo de viaje corresponde al periodo que va entre que la naviera termina de tomar la carga, desde el puerto de origen, hasta finalmente comenzar la descarga en el puerto de destino. Entonces, las navieras deben mostrar tiempos competitivos, ya que de otra forma perderían la ventaja comparativa ante otros medios de transporte que podrían ser más rentables, a pesar mayores tarifas por viaje, por el hecho de ser notablemente más rápidos. Hay que tomar en cuenta que este tiempo no depende exclusivamente de las navieras, sino que hay otros factores involucrados, como la eficiencia y las demoras causadas por la congestión en los puertos, tanto de origen como de destino. Según las necesidades del usuario, la urgencia por menores tiempos de viaje dependen básicamente del tipo de carga; si ésta tiene un alto valor de inventario, una rápida depreciación (como podrían ser los artículos de tecnología de punta, en

especial los artículos electrónicos, o de temporada), o bien si son artículos perecibles, como podrían ser las frutas de exportación.

-Tarifa: Evidentemente la tarifa es importante para los usuarios, pues es el valor monetario que desembolsan para pagar el transporte de sus productos. Esta tarifa puede depender del valor intrínseco de la carga, la especialización que requiera el transporte, como por ejemplo barcos con bodegas refrigeradas, la calidad del servicio, etc. Generalmente los cobros se acuerdan según dos tipos diferentes de contrato confidenciales: el contrato CIF (Costo-Impuesto-Flete), relacionados a tarifas y servicios de “puerta a puerta”, donde la empresa naviera toma la responsabilidad de la carga tanto en el transporte marítimo como terrestre, y los contratos FOB (Free On Board), donde la naviera se hace cargo solamente del transporte marítimo, del tipo “puerto a puerto”. En la actualidad, debido a la coordinación y alianzas entre navieras y transportistas terrestres, la mayoría de los contratos son del tipo CIF, las que resultan además más atractivas para los clientes, pues se delega además la responsabilidad del transporte terrestre.

-Confiabilidad: Es necesario que el usuario tenga confiabilidad tanto en el cumplimiento de la calendarización de los tiempos de entrega como en la seguridad de la carga. Eventuales desviaciones de los tiempos de viaje preestablecidos pueden dañar tanto a la imagen de las navieras como al valor de los productos y la imagen de la empresa que desea transportar sus productos. Finalmente, son los usuarios del transporte marítimo quienes deben responder ante sus consumidores, en especial cuando actúan como proveedores, y por lo tanto, deben asegurarse de que sus mercancías lleguen en un óptimo estado y cumpliendo los tiempos predefinidos.

-Oferta disponible: La oferta estará dada por la frecuencia de viaje de las navieras, el tamaño de las flotas, y los espacios disponibles para la carga. Una buena oferta hará que los usuarios deban esperar menos para que las navieras logren responder a sus pedidos. Es muy apreciado por los usuarios el hecho de que las navieras puedan aceptar sus pedidos al momento de ser realizados. De hecho, generalmente cuando

los usuarios mandan carga de forma regular, se firman contratos que aseguran disponibilidad de espacio de antemano. En general, una buena frecuencia de servicio, tiene como beneficio adicional la reducción de los inventarios en los puertos. Por otro lado, las mayores frecuencias están limitadas por las capacidades de carga y descarga tanto en los puertos de origen como de destino, y una frecuencia que supere las capacidades de los puertos pueden eventualmente transformarse en congestión, y presión que se transmitiría de los usuarios a los operadores portuarios, por medio de las navieras.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS NAVIERAS

Las navieras son las encargadas de proveer el transporte marítimo. Estas necesitan básicamente para operar a los barcos y los contenedores. Estos pueden ser de propiedad de la firma naviera o de arriendo temporal (obteniéndolos de un armador, que generalmente es el dueño de los barcos, pero que su giro no es el transporte), componiéndose generalmente de una mezcla de esto último, poseyendo una flota y un número de contenedores fijos, y arrendar más naves o contenedores en el caso de que exista un incremento en la demanda en ciertos periodos de tiempo determinados, pues al largo plazo, la inversión por la compra de buques es recuperada.

Dado que los usuarios tienen naturalezas tremendamente variadas, es de esperar que una firma naviera no sea capaz de cumplir con las necesidades de cualquier tipo de cliente. Esto ha llevado a que las navieras sigan una tendencia a la especialización, utilizando tipos de naves específicas para tipos de carga particulares. Las naves presentes en el mercado del transporte marítimo pueden ser muy diferentes entre sí, habiendo algunas que se especializan en el transporte de petróleo, como las naves de tanque petrolero, otras que se especializan en llevar vehículos, con sistemas roll in-roll out, naves de contenedores, etc. Las navieras además son las que tienen el contacto directo con las autoridades de administración portuaria.

Con el tiempo, las navieras han logrado avanzar mucho en términos tecnológicos, y han desarrollado múltiples sistemas de almacenamiento de la carga en sus bodegas, técnicas de manipulación cumpliendo con las expectativas de sus clientes e incluso subsistemas de carga y descarga procedentes de la misma nave, con el fin de mejorar tanto sus productividades como la del sistema. Debido a estos avances, los barcos son capaces además de portar diferentes tipos de carga, gracias a la estandarización de los contenedores, y ser compatibles con la totalidad de los sistemas portuarios que se encuentren, y es por esto último que el buque portacontenedores se ha convertido en el más común en el mercado. Estos buques nacieron de una modificación a los buques petroleros luego de la segunda guerra mundial, y en la actualidad pueden alcanzar capacidades de hasta 11000 TEU y esloras de hasta 397 metros, como el buque Estelle Maerks. Otro tipo de barcos especializados, aprovechando las inherentes economías de escala son los superpetroleros, que son capaces de cargar hasta 650.000 toneladas, y con esloras de más de 450 metros. La enorme envergadura de estos buques, y sus altas capacidades de carga, hacen que los contenedores sean lentos de recuperar. Es por eso que es importante para las navieras ser capaces de reponerlos de una manera medianamente rápida, logrando conseguir contenedores vacíos mientras que los contenedores de la carga inicial aún sean recuperados, pues generalmente estos siguen en la cadena de distribución, enganchándose al transporte terrestre.

Stopford (1997) analiza las diferentes variables y componentes del servicio de transporte que atañan a las navieras, respecto de las cuales deben aumentar su eficiencia y reducir costos, además de los intrínsecos gastos administrativos. Estas componentes en el corto plazo corresponden a:

-Costos de operación de las naves: Estos se refieren a los costos diarios de operación para la movilización de los buques, y se componen del costo por consumo de combustible, costos de la tripulación, mantención de la nave, depreciación tanto de los insumos como de la nave misma y costos del mantenimiento de la carga en los casos de que se requiera un tratamiento especial, como podrían ser los buques que

poseen bodegas con sistemas de refrigeración y mantención de temperaturas. De todos estos costos, el mayor corresponde al de combustible y depreciación.

-Costos portuarios: Estos se refieren a la tarifa pagada por la naviera a las autoridades portuarias por conceptos de carga y descarga, servicio de uso del muelle y servicio de uso del puerto. Generalmente estos costos son dependientes del tonelaje de carga a manipular y del volumen de las naves.

-Costos de contenedores: Estos costos se refieren tanto a la operación en la manipulación de los contenedores como a los costos de mantenimiento o arriendo de éstos. Además, la naviera debe ser capaz de operar con los contenedores disponibles de forma eficiente, recuperando sus contenedores utilizados, usando los tipos de contenedores que requiera la carga que le entregan sus clientes. En general este costo depende de si la naviera es dueña o no de los contenedores, y esto depende tanto de la capacidad de invertir en capital de las empresas navieras como a su conocimiento de la demanda futura.

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL PUERTO

El puerto es el sitio geográfico en donde se realizan las operaciones de carga y descarga principalmente, entre otras actividades relacionadas. Desde la introducción de los contenedores al sistema de transporte marítimo, los puertos han logrado especializarse de forma que la manipulación de la carga es mucho más eficiente. Para las navieras, la elección de los puertos a visitar en sus rutas marítimas depende de un compromiso entre el costo de las visitas a cada puerto del itinerario y los ingresos obtenidos debido a la realización del servicio desde un puerto a otro. Por eso, algunos puertos, en particular los que están más cercanos a los grandes centros industriales, tienen una mayor tendencia al crecimiento que los que se encuentran más aislados, pues es mayor la cantidad de rutas marítimas que los elijen dentro de sus itinerarios. Debido a esto, los puertos han tendido a ser más grandes en términos de sitios de atraque y capacidad de servicio.

Los puertos de transferencia deben contar con infraestructura tanto para recibir y atender a los barcos como para manipular la mercancía en tránsito, descargando o cargando las naves, además de poseer sistemas para servir como sitio de intercambio modal, en el sentido de transferir las cargas desde el mar hacia la tierra, y desde la tierra hacia el mar. Con la introducción de los contenedores, esta tarea resulta más directa, pues los mismos contenedores son capaces de ser acoplados en camiones o trenes.

En lo que se refiere a la estructura de un terminal portuario, este necesita, como mínimo, un canal de acceso para que las naves pasen desde mar abierto hacia los muelles, los muelles mismos, una zona de carga y descarga, un área de almacenamiento y un área de despacho. En la operación del puerto, utilizando la infraestructura disponible, existen cuatro subsistemas de operación característicos que definen las diferentes fases del intercambio modal en el transporte de contenedores, desde que la carga llega a puerto, luego de que el barco haya sido remolcado desde las cercanías del muelle hasta este mismo, utilizando barcos remolcadores especializados, hasta que es cambiada a transporte terrestre (en el sentido inverso, son los mismos cuatro sub sistemas).

-Carga y Descarga: Este sistema tiene como función actuar como agente de intercambio entre el mar y la tierra, específicamente en las funciones de carga y descarga. En este subsistema el actor principal es el buque, debido a que el sitio de transferencia debe ser capaz tanto de contener espacio suficiente como para que los buques puedan instalarse, y finalmente son estos los que dictan el tipo de infraestructura en el largo plazo (Sauri & Robusté, 2002). Debido a la intensa competencia entre los buques de contenedores, y con el fin de aprovechar mejor las inherentes economías de escala, los buques tienen una tendencia a ser cada vez más grandes, y esto se traduce en una dificultad para los terminales. La primera dificultad presente es que a veces las grúas no son lo suficientemente grandes como para alcanzar las cargas cuando los barcos poseen mangas muy grandes. Una segunda dificultad se refiere a si las dimensiones de los buques hacen que el espacio de atraque necesario sea tan alto que estos mismos no caben, y por último, exigencias por parte de las navieras a tener mayores tasas de carga y descarga, para poder

utilizar de forma eficiente las economías de escala que implican los buques más grandes. Adicionalmente, se debe considerar el calado de las naves, para comprobar si la profundidad de los muelles es suficiente como para que las naves puedan realizar sus operaciones. Para la carga y descarga, los avances tecnológicos, como la aplicación de las grúas “Gantry Panamax” y “Post Panamax” en el caso de barcos de gran envergadura, han significado un gran paso en el aumento de la eficiencia.

Entre los factores que definen la eficiencia de este subsistema, nos encontramos con la densidad del tráfico en las terminales, el tipo de tecnología de las grúas, tanto en automatización como en capacidad y velocidad de transferencia, las capacidades del personal en el sentido de hacer el trabajo lo mejor posible y la especialización del puerto para la manipulación de ciertos tipos de carga. Por eso, existen terminales especializados en la transferencia de contenedores, otros en la transferencia de combustibles, etc.

-Interconexión: Este subsistema tiene como objetivo transportar la carga desde el momento en que la carga fue manipulada hasta que pase a otro subsistema. Esto sucede en dos partes del sistema total; en el momento que la carga fue cargada y debe ser enviada a los sistemas de almacenamiento, y en el momento que esta es sacada del almacenamiento y es llevada al nuevo modo de transporte, si se está refiriendo a carga que ha llegado a su puerto de destino. En el caso de carga que se encuentra en el puerto de origen, este subsistema se presenta de forma similar entre los intervalos entre un modo de transporte y el almacenamiento.

Existen varios métodos del transporte de los contenedores entre los subsistemas (Soriguera, 2003), de forma que el tránsito sea eficiente y no se convierta en un cuello de botella en el sistema completo. Entre estos sistemas se encuentra el AGV (Automatic Guided Vehicles), un sistema de gran automatización y tecnología, vehículos como los Straddle Carriers, etc.

-Acopio y Almacenamiento: Este subsistema actúa como buffer entre que la carga es manipulada en tierra y en los sitios de atraque. Tiene una importancia capital debido a las

variabilidades que pueden ocasionarse tanto en la recepción como en el despacho de mercancía en los puertos. La gestión logística de estos sitios de almacenaje es un factor fundamental en la eficiencia del sistema, tanto en las formas que la carga se almacene y aprovechando el espacio limitado del puerto, en el sentido de la distribución física de esta, como en la forma en que se introduzca o retire de los sitios de acopio (los cuales suelen ser explanadas abiertas), existiendo varias políticas que van a depender del tipo de gestión del inventario que se utilice, mencionando entre éstas los depósitos tipo FIFO (First in First out) o LIFO (Last in First Out).

El tiempo que los contenedores se encuentren en los almacenes dependen tanto de la operación del sistema, en el sentido de que no existan atrasos a la programación de los distintos agentes de transporte que actúen en la cadena de suministro, como a decisiones propias de los dueños de la carga, tomando en cuenta que el control sobre los tiempos de llegada de sus productos puede ser tomada con una visión estratégica. Generalmente los cobros de almacenaje se realizan en función de tonelada-día.

-Despacho y recepción de contenedores: Esta componente del sistema se refiere al traspaso de la mercancía entre las bodegas y el modo de transporte terrestre correspondiente, pudiendo referirse a trenes o camiones. El tipo de tráfico que se da en este subsistema puede ser de los contenedores con o sin mercancías, o de la mercancía en forma agrupada o desagregada sin la utilización de contenedores. Además en este subsistema se realizan algunas actividades adicionales, como la comprobación de los estados de la mercancía, la entrega de documentación, el registro de entrada y salida de los contenedores según sus matriculas, entre otros de menor importancia. Para terminales que utilizan un sistema compuesto por trailers, el proceso no resulta complicado, pues está integrado en la movilización de la carga, y por lo tanto, es rápido y eficiente. Hay que mencionar también que dependiendo de la forma en que se almacenaron los contenedores, el proceso de despacho puede tardar menos o más, dependiendo de la facilidad o dificultad de acceder a los contenedores, y de la tecnología existente en los sistemas de interconexión.

En este punto del sistema, a diferencia del subsistema de carga y descarga, los vehículos de transporte suelen pertenecer a muchos clientes y poseer poca capacidad, a diferencia de la operación puerto-naviera, donde son pocos agentes y existen grandes volúmenes de carga. En el momento de la salida de la mercancía del puerto (o en el momento preciso antes de la entrada de esta), se considera terminado el sistema general de operación portuaria. En la Figura 2.1 se muestra un resumen del sistema de operación en el puerto.

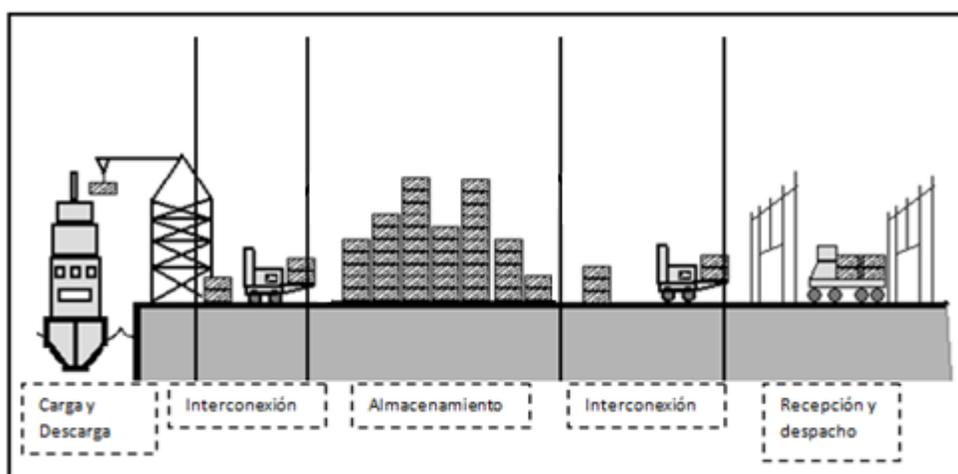


Figura 2-1: Esquema de operación en un puerto de carga y descarga.

2.3 CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

El proceso de privatización que ha tenido la industria portuaria ha afectado también al sistema de terminales. Debido a que implementar y mantener un sistema de transporte a los niveles que significan en el ámbito del transporte marítimo de carga general y uso público requiere una inversión inicial en maquinaria e infraestructura muy elevado, generalmente en los puertos el privado no es el encargado de la construcción total de la infraestructura. De hecho, los puertos en general enfrentan altos costos fijos (al igual que las navieras), que guardan relación con la construcción

de los terminales, la mantención de los caminos y obra gruesa y la compra de maquinaria. Los costos variables se refieren a la operación propia del puerto, relacionada a los distintos servicios que ofrece y que se han detallado con anterioridad. Generalmente, debido a que pocos capitales privados son capaces de tener el poder de inversión suficiente como para construir un puerto desde cero, el modelo más usado de administración e inversión es el modelo de “Landlord”. En este modelo, es el estado o una organización portuaria del estado la encargada en invertir en la construcción de la obra gruesa y la habilitación del terreno para que pueda ser utilizado como puerto, así como de la infraestructura, mientras que el privado es el encargado de la operación de los diferentes servicios que se proveen, y generalmente del suministro de la maquinaria necesaria. Existen otros modelos en los cuales el estado y las autoridades portuarias se encargan tanto de la operación como de la administración e inversión del puerto. A pesar de que el modelo Landlord es el predominante y con una tendencia al crecimiento, en algunos puertos del sur de Europa aun se utiliza un sistema netamente público.

En el caso de los puertos, generalmente la participación de capital privado suele ser comparativamente alta en relación a la inversión inicial en infraestructura en otros modos de transporte. Esto se debe a la complejidad de la operación de un terminal portuario, la que constituye una actividad poco atractiva para la administración pública, o a la existencia de economías de escala. Un contra argumento a lo recién mencionado, se refiere a que existe un inherente riesgo en la inversión de las grandes superestructuras portuarias, y por lo tanto, es más eficiente que sea el estado quien genere estas inversiones, pues tiene mayor capacidad de diversificar su riesgo (Farrel, 1999). Sin embargo, en la actualidad, los privados diversifican su riesgo invirtiendo en diferentes rubros económicos, lo que soslaya el problema. Por otro lado, debido a que los puertos son un monopolio geográfico natural, se generan atractivas oportunidades de inversión para la administración y operación.

La entrada de participantes privados es un eficaz método para aumentar las eficiencias. Debido a que privados son los que deben responder ante los clientes, y en

pos de capturar mayor demanda, existen incentivos a que el esfuerzo de la administración y operación se centre en tener mejores tasas de servicio y lograr una buena imagen ante los clientes, y debido a esto, el incentivo a invertir en mejor tecnología de menor coste y mayor eficiencia es más alto cuando la administración es privada que cuando es pública.

Generalmente el aporte del capital privado en los puertos se hace según un sistema de concesiones, donde el estado da el derecho a una firma de encargarse de las operaciones portuarias durante un determinado periodo de tiempo. De esta forma, durante el periodo de concesión se espera que la inversión privada termine siendo rentable en el mediano y largo plazo, suponiendo que existe coparticipación de los privados y del estado.

Los costos que se han mencionado hasta ahora corresponden a los costos fijos y a los variables por operación, y son los que percibe el puerto. Dentro del sistema, en el puerto existe otro costo asociado, y corresponde al costo de congestión. Este costo es percibido por las navieras, y en una última instancia, es transmitido a los usuarios del sistema. Cuando las tasas de llegada de mercancía se acercan o igualan a las tasas de atención de los puertos, éstos no dan abasto y se produce el fenómeno de la congestión. Estos costos se generan debido al capital retenido en forma de mercancía y al gasto operacional de las naves. Es por eso que el tema de la congestión portuaria es de sumo interés tanto para los operadores portuarios como para las autoridades públicas, ya que es una pérdida de eficiencia que finalmente merma el potencial de crecimiento económico.

Tanto si la forma organizacional de los puertos es con un modelo Landlord como si es netamente público o privado, hay rasgos característicos de éstos que deben ser mencionados, debido a las características físicas de la infraestructura y a la forma en la que se produce la operación (Jansson & Shneerson, 1982). Estos rasgos fundamentales que han sido observados en la práctica son:

- Cuando las terminales están sujetas a competencia, existe una tendencia a que las terminales tengan capacidades mayores a las que realmente se necesitan, en pos de reducir el efecto de congestión.
- Al existir costos fijos tan altos, la naturaleza de las inversiones hace que se produzcan economías de escala y monopolios portuarios.
- Existe una necesidad creciente por aumentar las productividades de los terminales. Esto se debe a que mayores capacidades de transferencia fomentan el uso de naves contenedoras más grandes, y naves más grandes incentivan que los terminales sean más eficientes para poder aprovechar las economías de escala.
- Existen incentivos de parte de los operadores portuarios a lograr aumentar la tasa de utilización de los muelles de atraque de las terminales, de forma que se minimicen sus costos medios. Esto puede generar costos de congestión para las navieras, debido a que éstas necesitan espacios disponibles en el momento de su llegada, y debido a que los tiempos en la realidad no son determinísticos, una alta utilización de los sitios puede hacer que lleguen naves que no tengan lugar para realizar sus labores de carga y descarga, produciéndose congestión.

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO DE TRANSPORTE MARÍTIMO EN CHILE

Dentro de las actividades económicas más importantes para el desarrollo de la región, se encuentra el mercado de las importaciones y exportaciones. De este modo, se aprovechan las distintas economías y tecnologías dentro de una localidad geográfica para producir bienes materiales a menores costos, y ser consumidos luego por las demanda no sólo locales, sino internacional. El transporte de estos bienes, debido a que se transan enormes cantidades, se realiza en medios donde se aproveche el

máximo de carga por viaje, siendo éste el transporte marítimo. Para el año 2003, las toneladas millas de mercancía transportada por la actividad marítima mundial alcanzó la cifra de 24.589 millones, siendo la principal carga el petróleo, cereales, otros productos minerales a granel (donde la suma de estos tipos de carga constituyen el 75% del transporte), y carga en contenedores (MOPTT, 2005).

En Chile, los puertos son considerados operativa y tecnológicamente eficientes, además de tener una logística razonablemente bien organizada, sin contar que el país cuenta con extensas costas. Desgraciadamente, debido a su localización, las rutas marítimas que pasan por los puertos chilenos son pocas. En toda la costa del pacífico en Sudamérica, los puertos operativos no mueven ni el 1% de la carga mundial total. A pesar de esto, la política chilena en relación a los asuntos comerciales ha intentado abrirse al comercio exterior, logrando un crecimiento económico apreciable en el país (CEPAL, 2004).

Tomando en cuenta la baja proporción del mercado de transporte marítimo que corresponde a la costa Pacífico, Chile sustenta su economía internacional principalmente gracias a la operación de transporte realizada en los puertos. Desde el año 1997 hasta el 2005, aproximadamente el 80% del transporte de productos de importación se ha realizado por medio del mar, proviniendo éstas principalmente de otras regiones de Sudamérica, y en menor medida de Asia, Estados Unidos y Oceanía. Los productos chilenos que se exportan vía marítima tienen como destino principal Asia, seguido de Estados Unidos y Sudamérica. Es importante mencionar además que más del 70% de la carga para exportación o importación se concentra en los puertos de San Antonio, especializado en carga a granel y contenedores, y Valparaíso, donde se mueve carga fraccionada y de contenedores principalmente (MOPTT, 2005). Dado que los costos finales de los productos tienen una componente que depende de los costos involucrados en la manipulación y transporte, queda a la vista que la eficiencia en pos a la reducción de estos costes es de suma trascendencia para la economía nacional, llegando los productos a menores precios finales a los consumidores, aumentando el consumo y así, el crecimiento total de la economía.

Debido a esto último, Chile ha presentado un amplio proceso de modernización en su sistema portuario.

Para lograr mejoras en la eficiencia del sector portuario, Chile a invertido parte de sus recursos tanto en estudio como en mejoras tecnológicas y económicas. La primera gran mejora para lograr este objetivo, es comenzar la eliminación de EMPORCHI (Empresa Portuaria Chilena, dependiente del ministerio de obras públicas) en 1981, que tenía el rol de ser el único encargado del proceso carga-descarga, desde el momento del desembarque hasta el almacenaje.

Para el año 1997, se termina de eliminar EMPORCHI creándose así diez empresas portuarias estatales, y se abrió a privados la operación de terminales estatales. Estas nuevas empresas portuarias estatales, a diferencia del modelo anterior, deben concesionar las terminales para operar, pagar sus impuestos correspondientes y además ser autofinanciables. Adicionalmente, los objetivos y tareas de estas empresas portuarias son, a saber:

- Formular planes de administración, crecimiento e inversión en los puertos que se administren.
- Coordinar a los agentes que operan dentro del espacio portuario, y supervisarlos.
- Garantizar una cierta rentabilidad, tal que se cubran al menos los costos
- Fijar las tarifas por servicios de carga y descarga, así como el uso de bodegas.

Para la creación de estas empresas, los principales puertos de la zona norte y centro del país fueron licitados en su administración a través de un sistema ex ante en base a la tarifa y un pago al estado (canon) durante los años 1999 y 2004. Como resultado de esta privatización, la eficiencia en los puertos concesionados ha aumentado en más

de un 100%, así como la carga total manipulada (CEPAL, 2003), reflejando una mejor imagen de los puertos chilenos en la región.

3 REVISIÓN DE LA LITERATURA ESPECIALIZADA SOBRE EL ASPECTO ECONÓMICO DE LOS PUERTOS

En este capítulo se hará una revisión a la forma en que ha sido modelado el sistema naviero de transporte de contenedores y las consideraciones generales que ha tenido la literatura especializada en el manejo económico, ya sea de inversión, administración y modelos de precio en puertos de contenedores a partir del año 1967. A pesar de esto, cabe decir que ha existido una larga línea de investigación respecto a las características operativas de la interacción puerto-naviera, ya sea en optimización de los tamaños de las naves, el tipo de rutas a recorrer por parte de las navieras, la programación y calendarización del servicio u otras decisiones al nivel operativo, que no será estudiada en esa revisión.

Durante la década de los sesenta, la investigación emergente en el ámbito económico para describir la interacción Puerto-Naviera se centra en el análisis de costos y beneficios, dado que aún no existía una medida homogénea y estándar para analizar coherentemente los comportamientos tanto de los costos, los ingresos y los niveles de producción de los puertos en general. En esta línea, existen diversos estudios enfocados en la obtención correcta de los costos que incurre el puerto (Foss, 1969), las características a tomar en cuenta al momento de invertir en servicios portuarios (Goss R. , 1967) y en análisis de costo beneficio para empresas de terminales tanto privadas como públicas (Ody, 1969).

En general, la línea de investigación predominante en el ámbito económico para el mercado portuario en esta década está impulsado por una creciente privatización de los puertos, y por ende, un creciente interés en conocer las particularidades económicas y de retornos que pudiesen eventualmente tener las inversiones en este mercado, dado el desconocimiento imperante en la materia por parte de potenciales inversionistas que quisieran hacerse cargo de los altísimos costos de entrada. Era necesario entonces, comprender las formas de estos ingresos y costos, que no había sido estudiado cabalmente en la literatura.

Para la década del setenta, la privatización de los puertos estatales ya empieza a tomar forma, y ya se han hecho grandes inversiones por parte de privados, respaldados en los estudios de la literatura económica, que les da directrices sobre el comportamiento de los costos y las demandas de estos servicios. Por lo tanto, el enfoque de la investigación se inclina a las políticas de administración que permitiesen el mejor uso de los recursos.

En la línea de eficiencia de administración y tarifas, se estudian las formas eficientes del uso de la capacidad (Weille & Ray, 1979), los efectos de la congestión dentro del puerto (Chang, et. al., 1975), la interacción entre congestión y diseño de precios (Button, 1979; Gardner, 1977), la segmentación de los diferentes tipos de tarifas (Bennathan & Walters, 1979), donde se encuentran dos grandes enfoques en cómo se habían guiado las determinaciones de tarificación portuaria, una guiada al crecimiento y desarrollo regional, fomentando aquéllas que promueven el crecimiento económico, y otra donde las tarifas son vistas como decisiones de un negocio privado.

Cabe mencionar que para este entonces, la privatización de los puertos estatales era una tendencia creciente y empieza a ser estudiada su factibilidad e implementación en los países en vías de desarrollo, donde se empieza a comparar la eficiencia entre puertos públicos y privados en países donde se había implementado el modelo (Wilder & Pender, 1979).

Los primeros indicios de estudio en la literatura sobre el campo de competencia interportuaria comienzan a mediados de la década de los ochenta. A estas alturas, los temas de eficiencia tanto privada como social ya habían sido ampliamente referidos en diversos ensayos, dándole una estructura microeconómica sólida a los posteriores estudios. Bobrovitch (1982) plantea uno de los primeros referentes a la competencia entre los puertos, tomando en cuenta de que la amplia mayoría eran monopolios geográficos. A pesar de esto, su estudio se centra en la competencia entre dos puertos separados geográficamente, donde ambos proveen el mismo servicio, pero con distintas tarifas. Según el ahorro en coste, y el trade off entre distancia y tarifa que percibiesen las navieras,

estas decidirían entre optar por el puerto más cercano o el más barato. Con esto introduce el concepto de distancia y tiempo al costo generalizado de carga/descarga, y no sólo el valor del tiempo en el viaje mismo por parte de las navieras. Particularmente, Bobrovitch inspira su estudio tomando en cuenta que los puertos:

- Tienen poder monopolístico.
- Tienen economías de escala.
- Tienen deseconomías externas, principalmente por el consumo de las instalaciones del puerto por parte de las naves.
- Existe un incremento en los costos medios de transporte por tonelada de carga, en función de la carga total.
- Existe un costo de espera dependiente de la demanda y oferta.

El caso particular del estudio de Bobrovitch reside en que el poder monopolístico puede ser local, pero en un espectro geográfico mayor, dos o más puertos pueden competir por la demanda, existiendo un punto de indiferencia. El costo incurrido por una nave en el puerto i , con K^i sitios de atraque (oferta) y con una demanda de Q^i naves corresponde a:

$$CM_i = \underbrace{T^{iL}(Q^i)}_{\text{Costo inland}} + \underbrace{AW^i(Q^i, K^i)}_{\text{Costo medio de espera}} + \underbrace{P^i}_{\text{Tarifa}} \quad (3.1)$$

En tal caso, existe un punto de indiferencia para la naviera entre elegir el puerto uno o dos, cuando se encuentra en un caso b^i portuario con una demanda total de N naves (tal que $Q^1 + Q^2 = N$):

$$T^{1L}(Q^1) + AW^1(Q^1, K^1) + P^1 = T^{2L}(Q^2) + AW^2(Q^2, K^2) + P^2 \quad (3.2)$$

Para este caso, las condiciones de optimalidad del sistema corresponden a:

$$P^i = CM^i(Q^{*i}, K^i) + Q^{*i} * \frac{\partial AW^i(Q^{*i}, K^i)}{\partial Q^i} \quad (3.3)$$

$$Q^{*i} * \frac{\partial AW^i(Q^{*i}, K^i)}{\partial K^i} = -CM^i_k(Q^{*i}, K^i) \quad (3.4)$$

Con estos resultados Bobrovitch concluye que cada nave carguera elige el puerto que minimiza su costo, y que los puertos toman la situación de su competencia como dada.

La unidad relevante de producción en un puerto es la terminal, compuesta de uno o más sitios de atraque que operan conjuntamente para manipular un tipo específico de carga. Jansson y Shneerson (1982) comentan que la elección y el compromiso entre la capacidad del puerto y los costos de espera son parte del corazón de la decisión de diseño de un puerto. Debido a esto, ellos eligen un modelo de colas para representar la función de producción de un puerto. Con esta elección en mente, el modelo de costo de largo plazo que desarrollan sigue el siguiente principio:

$$CTLP = A + cn + vL(q(n, L) + s) + \sum f_i(Q) \quad (3.5)$$

En el modelo de costo de largo plazo, A corresponde a un costo fijo de largo plazo de los canales de acercamiento, n es el número de sitios de atraque disponibles en la terminal, c es el costo de capital unitario por sitio de atraque, v es el valor del tiempo de la nave, L es la tasa de llegada de las naves a la terminal, s es el tiempo medio de servicio en el que una nave ocupa el espacio de un sitio de atraque, $f_i(Q)$ corresponde a los costos de diferentes eslabones del sistema operacional del puerto, y $q(n, L)$ corresponde al tiempo de espera esperado correspondiente a una tasa de llegada dada y la cantidad de sitios de atraque. Aplicando la condición de primer orden, optimizando en función de la cantidad de sitios de atraque disponibles en la terminal, se obtiene:

$$c = -vL \frac{dq(n, L)}{dn} \quad (3.6)$$

Esta última expresión representa el trade off entre la inversión en capacidad y los costos de las naves que eventualmente tendrán que esperar. En particular, dice que el costo marginal adicional en un sitio de atraque justifica la disminución marginal de los tiempos de espera. Es el clásico resultado de optimización donde la condición de primer orden se refiere a que los costos marginales sean iguales a los beneficios marginales.

A partir de que el número de sitios de atraque se ha definido, los costos totales de corto plazo pueden ser definidos, asociados a las condiciones de un puerto particular:

$$CTCP = F + vL(q(L) + s(L)) + \sum g_i(Q) \quad (3.7)$$

En estos costos, se puede apreciar que el tiempo de espera ya sólo depende de la tasa de llegada de las naves a los puertos. Es importante notar ahora que cuando la capacidad del puerto está dada, la tasa media de servicio ya no es una constante, sino que depende de la tasa de llegada de las naves, debido a la congestión.

Por otro lado, Slack (1985), continua en la línea de competencia entre puertos de carga y descarga de contenedores, donde las navieras pueden elegir a qué puerto ir a realizar sus operaciones. La principal diferencia con el modelo planteado por Borbotich reside en la importancia de la baja elasticidad de demanda que presentan las navieras, a pesar de que esta considere tarifa, tiempo de carga y descarga y la existencia de charters para el movimiento de carga especializada.

A partir de la década de los noventa, el tema de interés de la investigación en general coincide con los temas de imperfecciones de mercado, en especial por la alta proporción de puertos privados imperante. Las navieras empiezan a formar carteles, conocidos como conferencias, dándoles un alto poder de mercado, y transformando la situación de libre competencia en un estado de oligopolio. Debido a la identificación de las distintas características económicas que empiezan a ver luz a ojos de los expertos, Zinan (1995) compara la eficiencia de los puertos públicos y privados de los puertos británicos, obteniendo como conclusión que un puerto puramente privado no se comporta como se esperaría en el óptimo social, generando altos costos a las navieras en tiempo de espera, y por ende, costo de inventario circulante, además de los costos operacionales, mientras que un puerto enteramente público no tiene incentivos a invertir en tecnología que reduzca eventualmente los costos sociales, y por otro lado, no habría aprovechamiento de las economías de escala presentes tanto en los puertos como en las mismas naves contenedoras (Cullinane & Khanna, 1999). Se desprende entonces que la administración de un puerto debería ser privada, pero con supervisión pública, en especial en las variables de tarifas y niveles de servicio.

Se ha llegado además a la conclusión de que la eficiencia en la operación es muy importante para las autoridades portuarias, pues ésta le da una ventaja competitiva. Esto da a pie para que la privatización parcial sea una buena forma de ayudar a las autoridades portuarias a ser más competitivas. Es importante destacar que parte de la competitividad de un puerto es ser capaz de adaptarse a la demanda de los consumidores, pues los puertos finalmente son una industria de servicios, y por lo tanto, deben ser capaces de tener un buen entendimiento de las expectativas de sus clientes, y ser capaces de alcanzarlas y superarlas.

Una forma de subsanar el conflicto entre intereses públicos y privados vienen presentados por Fernández et. al. (1999), donde presentan un estudio de la forma de los costos sociales del mercado puerto-naviera, encontrando que los costos portuarios (CF_{inf}) aumentan con la cantidad de sitios de atraque disponibles, por los costos de operación y mantención de estos mismos, mientras que los costos de las navieras ($CM_{esp+serv}$) disminuyen con los el aumento de los sitios de atraque, pues mejora la tasa de servicio de la operación de carga y descarga (carga Q), disminuyendo los costos de estar a la gira. Fernández et. al. formulan entonces un canon a cobrar a los operadores portuarios que depende del costo que ellos les generan en espera a las navieras. Esta proposición es importante, pues señala una herramienta económica para que los agentes portuarios internalicen las externalidades generadas a las navieras. Entonces, dado que el costo total del sistema corresponde a:

$$CT_{sys} = CF_{inf} + CM_{esp+serv} * Q \quad (3.8)$$

donde la condición de primer orden que minimiza el costo social medio, cuando el nivel de producción es \bar{Q} , satisface:

$$\frac{CF_{inf}}{\bar{Q}} = \bar{Q} * \frac{\partial CM_{esp+serv}}{\partial Q} \quad (3.9)$$

El canon entonces a cobrar a la concesionaria del puerto, de forma que internalice la congestión corresponde a:

$$Canon = Max\{FC, CC\} \quad (3.10)$$

con FC correspondiente a un cargo fijo durante el año de operación, y CC es el costo de la externalidad de congestión concurrido durante el año.

El estudio de las tarifas portuarias ha sido un tema de discusión que se lleva dando, de una forma esporádica, desde los años setenta. Meyrick (1991) afirma que la determinación de las tarifas por los servicios aportados por los puertos públicos es el resultado de la confluencia de varios agentes con objetivos no necesariamente alineados. Generalmente, se consideran cuatro agentes en esta determinación, que son, a saber:

- Usuarios del puerto: Ellos desean que los precios cobrados reflejen los costes del servicio.
- Autoridades portuarias: Desean maximizar la cantidad de carga movilizada en los puertos, aumentando el empleo y el valor agregado.
- Economistas: Desean establecer normas para minimizar las pérdidas sociales.
- Gobierno: Desea obtener la mayor rentabilidad social de la inversión en infraestructura.

De estos objetivos se desprende que las tarifas a las que desea llegar cada agente son totalmente diferentes, y aun más si se tratasen de puertos privados con un objetivo extra; maximización de las utilidades. Hay que tomar en cuenta que generalmente la competencia que se da entre puertos geográficamente separados dentro de una misma región o país es del tipo oligopólica, siendo esto especialmente frecuente debido a la demanda y al tráfico de carga, y a la composición de las rutas marítimas predefinidas. Debido a esto, los precios son generalmente dictados desde la parte de los agentes que actúan en la oferta, que sería la autoridad portuaria en el caso de los puertos públicos, y los puertos mismos en el caso de los puertos privados, siendo generalmente basados en los costos marginales, medios, tarifas en dos partes, o tarifas óptimas con restricción de utilidades positivas, del tipo Ramsey.

El tipo de tarifa que se aplique en un puerto depende generalmente de la visión que se tenga de este, presentándose dos puntos de vista principales (Bennathan y Walters, 1979):

- El puerto como infraestructura contribuyente al desarrollo regional, y por lo tanto, la mejor tarifa es la que apunte al desarrollo económico tanto del propio puerto como al crecimiento de la región.
- El puerto es una unidad de negocio, y por lo tanto debe dar beneficios, o al menos cubrir sus costos medios.

Una pregunta muy válida, en el sentido de buscar la tarifa socialmente óptima es: ¿Por qué no cobrar un precio igual a los costos marginales? El problema de los costos marginales en el cobro de servicios portuarios proviene de la existencia de altas economías de escala presentes, en especial por el alto nivel de inversión inicial en infraestructura que se necesita. En un sentido general, los costos totales están compuestos de la suma de los costos fijos y los costos variables dependientes de la cantidad de carga manipulada, siendo de la forma:

$$CT = CF + CV(Q) \quad (3.11)$$

El término de los costos fijos (CF) en los puertos resulta ser lo suficientemente alto, debido a la naturaleza de las inversiones en superestructura y tecnología, como para generar una situación de déficit en el caso de cobrarse los costos marginales, y generalmente, éstos suelen ser menores a los costos medios. Para subsanar este conflicto, en la literatura se han dado diferentes soluciones aproximadas, como Button (1979), quien si bien rescataba la necesidad de imponer tarifas a cada usuario de forma que se cubriese a cabalidad el coste marginal generado por este, en el sentido del uso del espacio y de la infraestructura, la tarifa debería estar compuesta por el coste marginal de corto plazo y por un cargo fijo por uso de la infraestructura, de forma de cubrir los costos fijos, y de esta manera, generar una tarifa en dos partes. Otra tarifa en dos partes puede ser compuesta por un cobro por tonelada manipulada y otro cobro que reflejara el costo de oportunidad por el uso de la infraestructura (Jansson & Ryden, 1979).

Por su parte, Fox (1994) modela un caso especial de competencia oligopólica con poder de mercado por parte de las navieras, asumiendo que la demanda es cautiva. En este sentido, Fox aborda el problema asumiendo m firmas idénticas donde la conferencia que agrupa a estas m firmas debe obtener una tarifa que maximice las utilidades conjuntas. Luego de tomar esta decisión, se decide el nivel de servicio, sujeto a la tarifa obtenida, obteniéndose un juego secuencial, donde primero las navieras deciden su nivel de servicio óptimo, para que luego como conferencia decidan su tarifa óptima. Hay que ser cuidadoso en este campo cuando uno trata los niveles de servicio, pues a pesar de que sea una variable de decisión de las navieras o del puerto, al final es la percepción del usuario final la real medida de este parámetro, pues es éste quien finalmente pondera las diferentes características del servicio, tanto en tiempos de espera, confiabilidad, variabilidad y uso de la tecnología que se le ofrezca. En el modelo cada naviera enfrenta una demanda individual que viene dada por

$$q_i = \frac{a - bP}{m} + gA_i - hA_i^2 \quad (3.12)$$

Donde P es el precio convenido por el cartel y A_i es el nivel de servicio que elige ofrecer la naviera i . Nótese que en este caso las navieras no deben competir por la demanda, pues ésta es cautiva y sólo depende del precio y nivel de servicio de cada naviera en particular. Los costos y beneficios por naviera vienen dados por

$$C_i = Cq_i + A_i \quad (3.13)$$

$$\pi_i = (P - C)q_i - A_i \quad (3.14)$$

Como puede observarse, la definición de los costos no considera las inherentes economías de escala presentes en este negocio. Sin embargo, este trabajo marca la pauta a posteriores estudios sobre la competencia imperfecta en este ámbito, pero asumiendo que este poder lo poseen las conferencias navieras.

Dentro de esta década, otro aporte importante en aras al entendimiento del comportamiento tarifario apuntando a maximización de bienestar social es el realizado por Holguín Veras y Jara-Días (1999), donde estudian en específico las tarifas óptimas de almacenamiento en el puerto. Este modelo asume que llegan usuarios al puerto donde existe una tasa de entrada

de contenedores I_i con un tiempo de estadía Q_i , dependiente de la tarifa de servicio, una capacidad total N y una altura H_i donde es posible apilar contenedores uno encima de otro. De esto, se concluyen tarifas para diferentes objetivos económicos portuarios, siendo:

- Maximización de las utilidades

$$\frac{P_j - m_j}{P_j} = \frac{1}{|\varepsilon_{pj}|} + \frac{\lambda_1}{H_j P_j} \quad (3.15)$$

- Maximización irrestricta del bienestar social:

$$P_j = O'_{cj}(1 + \varepsilon'_{pj}) + m_j + \frac{\mu_1}{H_j} \quad (3.16)$$

- Maximización del bienestar social sujeto a cubrir costos:

$$P_j = \left[O'_{cj}(1 + \varepsilon'_{pj}) + (1 + \mu_2)m_j + \frac{\mu_2}{H_j} \right] \left[\frac{|\varepsilon_{pj}|}{|\varepsilon_{pj}| + \mu_2(|\varepsilon_{pj}| - 1)} \right] \quad (3.17)$$

Las tres tarifas presentadas contienen tres componentes primordiales en su composición; los costos operativos, los costos marginales y el costo por uso del espacio.

Es importante notar que todos estos precios de alguna manera discriminan la elasticidad precio demanda de las navieras, y por lo tanto, pueden resultar tarifas extremas en la aplicación, en especial en el caso de maximización de utilidades cuando se asume un flujo de entrada de contenedores constante, o inelástico.

Durante la década del dos mil, en un proceso que tomó desde el año 1999 hasta el año 2004, se aprobó una modificación del modelo Landlord para el parlamento Europeo. Este modelo consiste en la desintegración de las operaciones monopólicas dentro de un puerto, permitiendo que uno o más proveedores de servicio de carga y descarga puedan operar

competitivamente, siendo la autoridad portuaria, que además regula y coordina las directrices de operación económica y técnica dentro del puerto, la encargada de proveer infraestructura gruesa, como los sitios y las instalaciones, mientras que los operadores son quienes aportan con la administración, maquinaria y logística necesaria para la correcta operación del puerto, en base a contratos de largo plazo.

Esto disminuye las rentas y previene un abuso monopólico del eventual operador portuario (Goss, 1999). Dentro de esta misma línea, la competencia asegura diversidad tecnológica, especialización e innovación de parte de los operadores (De Langen & Pallis, 2006). Es por esto que en esta década, en especial desde el año 2004 en adelante, la competencia interportuaria adquiere un peso relevante en la literatura especializada.

Van Reeve (2010) desarrolla un modelo teórico completo respecto al modelo Landlord que considera una competencia horizontal dentro de los servicios ofrecidos por el puerto, donde la separación vertical entre la operación portuaria y el ente regulador permite una competencia que se comporta según un equilibrio de Nash. El modelo asume dos operadores en un puerto costero, separados físicamente uno del otro, pero compartiendo este borde geográfico. Las naves minimizan sus costos generalizados, y tienen capacidad de decidir con qué operador se atienden. Estas llegan a un punto x del puerto, donde x distribuye $U[0,1]$. El costo del usuario i (nave) se formaliza como $p_i = e_i + s_{i,j}$ donde e_i corresponde a la tasa portuaria cobrada por la autoridad, t a un cobro por tonelada y $s_{i,j}$ corresponde a la tarifa cobrada por el operador j . Los costos generalizados percibidos en cada puerto serían respectivamente:

$$GC_1 = p_1 + tx \quad y \quad GC_2 = p_2 + t(1 - x) \quad (3.18)$$

Para el desarrollo teórico del modelo, Van Reeve utiliza equilibrios de juego tipo Cournot, obteniendo los siguientes resultados para la demanda percibida de cada puerto:

$$q_{1,j} = \frac{e_2 - e_1 + s_2 + t - 2t \sum_1^N q_{2,j}}{2t} \quad (3.19)$$

$$q_{2,j} = \frac{e_1 - e_2 + s_1 + t - 2t \sum_1^N q_{1,j}}{2t} \quad (3.20)$$

Y los beneficios de cada uno de los operadores, siendo estos idénticos, corresponden a:

$$\pi = \frac{t(N + 1)}{2N} \quad (3.21)$$

Este beneficio resulta ser menor en conjunto al que existiría en caso monopólico, pues se da que las funciones de producción son reactivas, es decir, dependen de cuánto producirá la competencia. Sin embargo, los resultados no toman en cuenta las diferentes estrategias de colusión que pueden realizar los operadores, que pueden incluso llevar a niveles de renta monopólicos, ni tampoco existe un acercamiento a que el fenómeno de congestión puede tener como consecuencia que la elección de puerto no sea sólo por tarifas o mejores niveles de servicio, sino por disponibilidad.

Hay que tomar en cuenta que el estudio diferencia entre la competencia intra e inter puertos. Además diferencia entre los puertos verticalmente integrados o separados. En el caso de integración vertical, la autoridad portuaria entrega adicionalmente los servicios necesarios para la operación, mientras que cuando existe separación vertical, es el privado quien entrega estos servicios.

La separación vertical es la forma organizacional más común en los puertos grandes y medianos, según el Banco Mundial (2007) siendo este tipo de organización la que obtiene los mayores beneficios privados y los mayores precios de equilibrio para los consumidores. A pesar de esto, la ventaja de la separación vertical es la posibilidad de permitir competencia entre los proveedores de servicio dentro de un mismo puerto (siendo esta la competencia intra-portuaria), aunque en la práctica, esta competencia es poco frecuente, pues la industria portuaria tiene poco interés en la competencia dentro del mismo puerto, pues reduce los beneficios privados netos. Los menores beneficios privados, y por consecuencia, las menores tarifas a los usuarios, suceden cuando existe integración vertical. Sin embargo, éste no es un equilibrio de Nash, pues cada puerto en particular tenderá a relajar la competencia inter portuaria.

Es importante para la literatura verificar que estas nuevas políticas portuarias hayan tenido algún tipo de influencia positiva en los niveles de eficiencia económica. Cheon, et. al. (2010) realizan un análisis evaluativo sobre cómo las reformas institucionales afectaron al mercado portuario durante los años 1991 y el año 2004, utilizando información de los 98 puertos principales del mundo. Este estudio se desarrolla implementando el modelo MPI (Índice de productividad de Malmquist), que logra medir eficiencia en presencia de crecimientos de escala, progreso tecnológico, reformas institucionales entre otros factores de eficiencia o de falta de esta. Este estudio muestra que el cambio al modelo Landlord eventualmente mejora la productividad promedio, en particular en puertos grandes. Por otro lado, se verifica que la privatización de los puertos estatales mejora su eficiencia, ya que los incentivos a invertir en tecnología que aumente las tasas de carga y descarga a la vez que se reduzcan los costos del manejo de carga son altos. Sin embargo cuando los puertos son completamente privados sin un organismo que de directrices al comportamiento, en especial cotas inferiores y superiores a las tarifas, puede conducir a un equilibrio lejano al óptimo social (Tongzon & Heng, 2005).

En la misma línea, otros estudios (Yeo et. al., 2008) han buscado evaluar la competitividad de los puertos modernos. Debido a que los puertos de Korea y China mueven enormes cantidades de bienes, pues son grandes centros industriales, el estudio de la competitividad de estos puertos en particular puede dar grandes luces del estado del arte actual. Esta evaluación se compone de una parte cualitativa, donde se toma en cuenta la capacidad del personal de operación, y una parte cuantitativa, donde miden las tasas de transferencia y los tiempos de espera promedio. Los resultados del estudio muestran que el factor humano es de suma importancia. Esto se debe a que cada vez es más especializado el tipo de equipamiento tecnológico que se utiliza, y para ganar ventajas competitivas, la calidad del personal en términos de capacidades administrativas y técnicas resulta fundamental.

Dentro de los aportes a la literatura en estos últimos diez años, se debe mencionar a Haralambides (2002), quien estudia el aspecto económico desde el punto de vista de la competencia por espacio en el puerto cuando existe un exceso de capacidad en la

infraestructura, determinando que una variable de decisión de los puertos puede ser cómo se maneja el uso de su espacio disponible, afectando a la demanda a un nivel tan significativo como podrían ser las tarifas, siendo estas últimas calibradas en base al costo marginal de largo plazo, para subsanar el problema del déficit cuando se cobran tarifas como el costo marginal de corto plazo mencionado anteriormente.

En un estudio posterior, revela que las tarifas portuarias son en un principio estáticas, y los puertos no tienen el poder de mercado suficiente como para calibrar sus tarifas constantemente en pos de obtener continuamente altos niveles de utilidades (Haralmbides, 2004). Esto ocurre a pesar de que los puertos sean en sí un monopolio espacial generalmente, y si bien los monopolios espaciales pueden dar un poder de mercado a los productores, en el caso del mercado portuario, éste ya está diseñado de tal forma que se asume que es un monopolio espacial, y por ende, su condición no le significa una ventaja incontrolable (Anton & Gertler, 2004). A pesar de esto, la competencia con alto nivel de participantes si se da a nivel del mercado de transporte marítimo, a pesar de que exista una clusterización de las navieras en torno a conferencias (Midoro et. al., 2005).

Una reseña completa de la literatura sobre economía portuaria puede ser encontrada en Pallis et. al. (2009). Esta revisa un total de 395 publicaciones generadas entre los años 1997 y 2008, argumentando que el interés en el estudio de puertos ha estado en un constante aumento. Este crecimiento se debe a las nuevas preguntas que se generan de la investigación, generalmente con una relevancia práctica (Heaver, et. al., 2001), el aumento de complejidad en la estructura organizativa de los puertos (De Langen, Governance in seaport clusters, 2004) y la importancia que ha tomado el uso de políticas portuarias basadas en resultados teóricos, respecto a las políticas antiguas (Bichou & Gray, 2005). La Figura 3.1 muestra como ha crecido el interés en este ámbito durante los años que revisa esta reseña, siendo los cinco subcampos de estudio más importantes: 1) Estudios sobre terminales portuarias, 2) Cadenas de distribución en puertos, 3) Gobierno corporativo, 4) Planificación y desarrollo portuario y 5) Regulación y políticas.

Con un estudio bibliométrico, se sugiere además que la investigación en puertos es una pequeña pero emergente fracción del estudio en políticas económicas que crece rápidamente con un pequeño y concentrado núcleo.

La mayoría de los papers publicados sobre el tema están suscritos a un limitado número de revistas. Tanto el número de papers anuales como el número de autores ha crecido notoriamente en los últimos diez años, en especial en Europa como en Asia. Sin embargo, cabe notar que más del 70% de los autores que estudian puertos particulares provienen del país donde estos puertos están ubicados, mostrando así el carácter de “necesidad práctica” de los estudios referidos, más que en pos del desarrollo científico del tema. Aún así, en este último tiempo, existe una tendencia a la internacionalización del estudio y un enfoque hacia el lado teórico y conceptual.

Además, cabe mencionar que casi la mitad de los estudios referentes a puertos se enfocan en los aspectos administrativos, organizacionales y económicos de los terminales de contenedores, debido seguramente, tal y como sugieren Slack y Frenet (2005), a la comercialización de los puertos. El otro tipo de carga, como granel, roll-in roll-out o turismo, sólo ocupan un 5% del universo de papers, dejando ver a luz un campo de estudio que puede ser explotado aún.

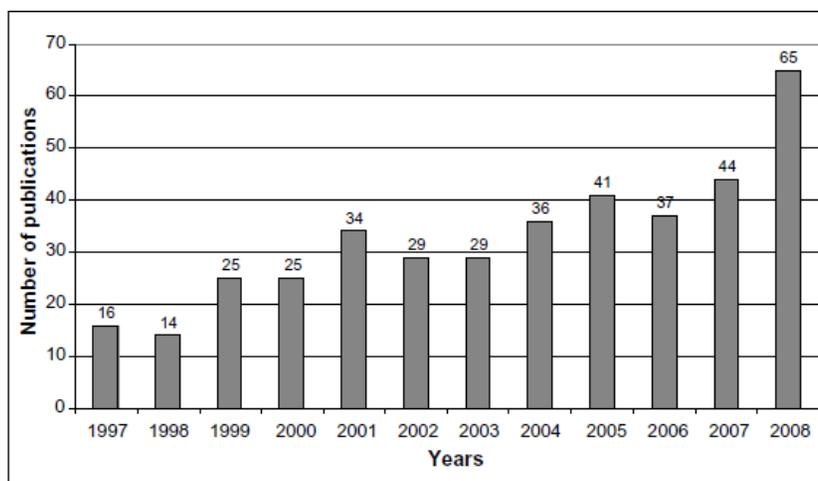


Figura 2-1: Crecimiento del número de publicaciones sobre economía portuaria, Fuente: Pallis et. al. (2007)

4 MARCO TEÓRICO SOBRE TEORÍA DE JUEGOS Y ESTRATEGIAS DETONANTES PARA ANÁLISIS ECONÓMICO.

4.1 DESCRIPCIÓN TEÓRICA GENERAL DE LA TEORÍA DE JUEGOS

4.1.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS JUEGOS DE MOVIMIENTO

ÚNICO SIMULTÁNEO (MUS)

Para el análisis de mercados en los que actúan un número limitado de actores, basados en desarrollos de teoría de juegos aplicada al análisis económico, existe una gran variedad de herramientas. La gran mayoría cumple funciones predictivas, donde se obtiene un conjunto de posibles resultados de una interacción entre varios agentes. Estos resultados difieren en general a los de correspondientes a mercados con un gran número de agentes, donde se da una competencia más cercana a la perfecta -tomando en cuenta las posibles distorsiones que pueden ocurrir, como por ejemplo, externalidades-. Cuando los agentes son limitados y existen posibilidades de cooperación, se da en general la competencia imperfecta, pues son muy pocos los agentes como para acercarse al resultado óptimo social tan sólo por mecanismos propios del mercado, sin intervención de una regulación externa. La teoría de juegos determina los distintos resultados de las acciones, definidas como estrategias, que pueden resultar de una competencia o “juego”, asumiendo que los actores son racionales. Los juegos tienen diferentes estructuras dependiendo de las características de los jugadores, como por ejemplo la información que éstos poseen, la capacidad de cooperar o no, etc. Se definirá entonces las características de un juego en pos de una posterior definición estándar de los escenarios.

Estrategia: Se refiere a una descripción completa del plan de un jugador para cualquier contingencia del juego. En términos prácticos, es la acción a tomar por el jugador en todos los pasos del juego. Generalmente dependen de la información que posee el jugador, y de lo ocurrido en pasos anteriores.

Pagos: Beneficios percibidos por los jugadores luego de seguir una determinada estrategia. Este puede ser directamente monetario, o puede ser medido en términos menos directos, como utilidad. Es importante que estos pagos puedan ser cuantificados de alguna manera, para poder hacer comparaciones.

Información Completa: La información se refiere al conocimiento que tienen los jugadores. La información es “completa” cuando cada jugador conoce los pagos en que desemboca cada estrategia, las diferentes acciones posibles de cada jugador, y que toda esta información es pública, es decir, cada jugador conoce tanto la información referente a sus pagos y estrategias disponibles como las de los demás jugadores. La información pública, se define como el completo conocimiento de las acciones posibles de todos los jugadores. Puede ser una definición un poco engorrosa, pero, básicamente, se refiere a que todos saben los pagos y estrategias del juego, y están todos conscientes de aquello.

Información Perfecta: Se refiere a cuando los jugadores se mueven de forma secuencial, y en cada instante del juego, todas las decisiones previas del juego son observables por el jugador que toma una decisión

4.1.2 DEFINICIÓN FORMAL PARA JUEGOS DE MOVIMIENTO ÚNICO SIMULTÁNEO (MUS)

La definición formal de la teoría de juegos comienza en los años cuarenta, con diversos resultados predictivos, pero sin una noción de equilibrio formal. Los métodos eran de predicción, como la inducción hacia atrás o la racionalización, pero no de equilibrio. La primera definición de equilibrio en un juego viene dada por Nash (1951), donde elabora un método para la detección de estos basada en la racionalidad de los jugadores. Antes de adentrarse en la definición del “equilibrio de Nash” para la interpretación del comportamiento económico, se entrara a formalizar algunas definiciones adicionales.

Juego Finito: Para cualquier conjunto de n jugadores, cada uno con un conjunto finito de estrategias puras, y para cada jugador i existe una función de pago p_i , que corresponde a un set de todas las estrategias puras a números reales. Los n múltiples pagos de cada jugador corresponden a los resultados interdependientes del conjunto de estrategias finales elegidas por los jugadores.

Estrategia Mixta: Una estrategia mixta s_i de un jugador i se referirá a una colección de números no negativos que tienen suma unitaria y se corresponde cada una con una estrategia pura. Se escribe:

$$s_i = \sum_q C_{iq} * \pi_{iq} \quad \text{con} \quad \sum_q C_{iq} = 1 \quad (4.1)$$

para representar una estrategia mixta, donde π_{iq} son las estrategias puras de un jugador i , y q corresponde a la estrategia pura a seguir, del conjunto $(q_1, q_2, q_3 \dots q_j)$. Nash define las estrategias mixtas como un conjunto convexo de estrategias puras, que representarían los vértices del espacio geométrico de decisión, siendo éste un proceso natural de combinación lineal.

Función de pago, p_i : Se define la función de pago como el beneficio obtenido por el resultado final de las estrategias tomadas por los n jugadores, siendo éstas puras o mixtas. En este sentido, la definición formal de la función viene de:

$$p_i(\mathbf{S}), \quad \text{donde } \mathbf{S} = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_n) \quad (4.2)$$

Por lo tanto, la función de pago no sólo depende de la decisión que tomó el jugador i , sino que también depende de la decisión que tomaron todos los demás jugadores. Denótese S_{-i} como $S_{-i} = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n)$. Ésta corresponde a la estrategia mixta de todos los jugadores, excluyendo al jugador i .

Punto de Equilibrio (o equilibrio de Nash): Utilizando la nomenclatura definida, el equilibrio de Nash se define en función de las decisiones óptimas. Formalmente, un punto es de equilibrio si y sólo si para cada jugador i :

$$p_i(\mathbf{S}) = \underbrace{\max}_{s_i \in S} [p_i(s_i; S_{-i})] \quad (4.3)$$

Es decir, el pago que recibe cada jugador es el máximo, cuando todos los jugadores también eligen una estrategia óptima. En términos simples, la estrategia de equilibrio es cuando cada jugador i maximiza su utilidad esperada dado que cada jugador $j \neq i$ elige la estrategia que maximiza a su vez la suya (Nash, 1951). Este potente concepto logra definir si una estrategia, sea pura o mixta, será el resultado de un juego simultáneo. Este equilibrio puede ser o no único, y depende de cuántos conjuntos de estrategias de todos los jugadores cumplen con 4.3. Si bien encontrar los equilibrios de Nash puede ser un arte, la utilización del concepto para chequear si una estrategia está en equilibrio es relativamente simple.

Los puntos de equilibrio cumplen con algunas propiedades importantes que facilitan su obtención:

1. Cualquier acción jugada con alguna probabilidad en un equilibrio de Nash sería resultado también del método de racionalización (es decir, eliminar las alternativas irracionales).
2. Si sólo existe un *resultado racional* (es decir, cumple con 4.3) en un juego puede darse que exista un único equilibrio, o ninguno (un resultado racional no es necesariamente un equilibrio de Nash).
3. Si existe sólo un resultado racional en un juego, y el conjunto de acciones posibles de cada jugador es finito, existe entonces sólo un equilibrio de Nash.

4.2 JUEGOS ITERATIVOS INFINITOS (SUPERJUEGOS) Y ESTRATEGIAS DETONANTES

El concepto de equilibrio de Nash puede ser utilizado en juegos repetidos. Un juego iterativo, se diferencia de los juegos de movimiento único simultáneo en que el primero se realiza en más de una instancia. En cada instancia del juego iterativo, se

juega un juego de movimiento único simultáneo. Si no existe un factor de descuento aplicado a los pagos en los juegos iterativos, siempre se debería jugar un mismo conjunto de Equilibrios de Nash en cada periodo, hasta el último. De hecho, en cualquier juego iterativo, sea finito o infinito, jugar incondicionalmente en cada periodo algún equilibrio de Nash del juego estático es siempre un equilibrio del juego iterativo para todos los jugadores. Además, si el juego estático tiene un sólo equilibrio de Nash, el único equilibrio del juego iterativo es jugar este equilibrio estático en cada periodo incondicionalmente. Estos últimos dos resultados no son ciertos si existe una valoración intertemporal diferente de los pagos. Es decir, mientras exista ésta, el equilibrio de Nash en cada juego simultáneo no es necesariamente el mismo.

Para desarrollar bien el concepto de juego iterativo con factor de descuento se necesitaron más de treinta años, cuando Abreu (1984) define una base formal para esto. Para este fin, Abreu define los resultados de un juego en términos de “camino de pagos” y “castigos”, que corresponden a un camino predefinido de estrategias en el juego iterativo, y un castigo por desviarse de este equilibrio preestablecido.

Defínase el juego de movimiento único simultáneo como $G = \{\mathbf{S}, \mathbf{P}\}$, donde \mathbf{S} es el conjunto de estrategias ya definido $(s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$, y \mathbf{P} es el conjunto de los pagos correspondientes a cada estrategia de \mathbf{S} . En la definición de Abreu, este conjunto sólo considerará estrategias puras.

Defínase además $G^\infty(\delta)$ como el juego completo de G en un juego iterativo infinito al que se le aplica un factor de descuento constante en el tiempo δ e $(0,1)$. Además, considérese $\sigma_i(t)$ como la estrategia a seguir en cada juego simultáneo en cada periodo t del juego iterativo, dada las estrategias del periodo anterior. Así, $\sigma_i(t): S^{t-1} \rightarrow s_i$.

Si un juego iterativo tiene como resultado los pagos $p_{it}(\mathbf{S}_t)$ cuando se jugó en el periodo t el mix de estrategias \mathbf{S}_t y existe una tasa de descuento constante en el tiempo δ e $(0,1)$, en el que cada periodo se juega el mismo juego (cada elemento de \mathbf{S}_t tiene siempre el mismo conjunto de pagos) entonces el pago total del juego completo, en valor presente para el jugador i corresponde a:

$$P_i(S) = \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t p_{it}(\mathbf{S}_t) \quad (4.5)$$

Con estas definiciones, es posible armar el concepto de caminos de pago y penalización. Se encuentran entonces tres caminos de juego, uno sobre seguir el camino establecido por un acuerdo coordinado, una posible desviación del acuerdo, y finalmente una penalización por esta desviación –la que generalmente se refiere a la competencia siguiendo un equilibrio de Nash- (Friedman, 1970). Estas se detallan como:

Camino de pagos coordinado: En este camino, si no existen desviaciones, cada jugador i juega la misma estrategia s_i en cada juego de movimiento único simultáneo, obteniendo el pago $p_i'(\mathbf{S})$. La estrategia es entonces invariable en el tiempo, y corresponde a un equilibrio de Nash en subjuegos perfectos. Denótese este camino como la estrategia $\sigma_i'(t): \sigma_i'(t-1) \rightarrow p_i'(\mathbf{S})$. Es decir, si en el periodo anterior se jugó la misma estrategia, se obtienen los mismos pagos.

Desviación del camino de pagos: Jugar $\sigma_i''(t): \sigma_i''(t-1) \rightarrow p_i''(\mathbf{S})$. Esto se refiere a que si en periodos anteriores se ha de jugar la estrategia $\sigma_i'(t)$, un jugador se desvía del camino preestablecido para así obtener el pago $p_i''(\mathbf{S})$ en el periodo t . Es evidente que $p_i''(\mathbf{S}) > p_i'(\mathbf{S})$, pues de otra forma el jugador i no tendría ningún incentivo para desviarse del camino de pagos.

Castigo: Jugar $\sigma_i'''(t): \sigma_i'''(t-1) \rightarrow p_i'''(\mathbf{S})$. Esto es, si en el periodo anterior se jugó por parte de un actor una desviación del camino preestablecido de pagos, el nuevo set

de estrategias de los actores lleva a un pago $p_i'''(\mathcal{S})$. El pago no debe cumplir formalmente con ninguna propiedad para que sea válido, más que corresponder a un número real, sin embargo en el caso de los oligopolios, es común que este último corresponda a una pérdida para todos los jugadores, respecto de los pagos del camino coordinado.

Entonces, la estructura de los juegos iterativos, definida de una forma más sencilla se podría expresar como: “Todos los jugadores juegan una estrategia predefinida obteniendo los pagos $p_i'(\mathcal{S})$. Si un jugador en un periodo t se desvía de este camino obtiene un pago $p_i''(\mathcal{S})$ en ese periodo, pero los jugadores reaccionan, y a partir del periodo $t+1$ el pago es $p_i'''(\mathcal{S})$.” Este tipo de juegos iterativos se conocen en la literatura como “Estrategias Detonantes (*Trigger Strategies*)”, pues tienen en su estructura un periodo donde algún actor decide una acción que cambia los pagos de los juegos definidos como de movimiento único simultaneo en cada periodo. La Figura 4.1 ejemplifica gráficamente el funcionamiento de una estrategia detonante.

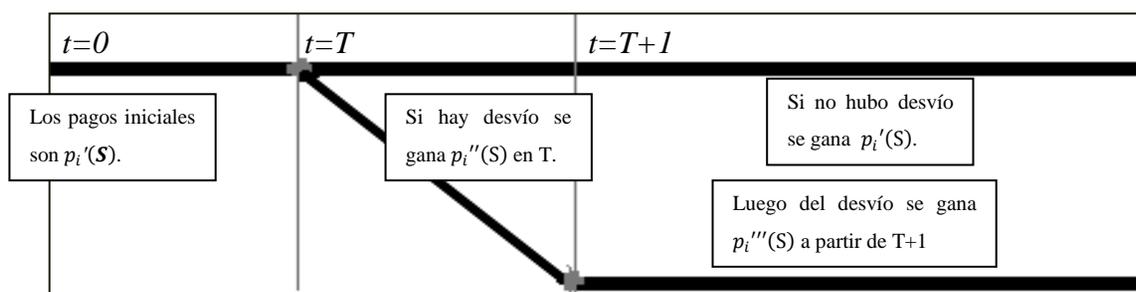


Figura 4-1: Esquema gráfico de una estrategia detonante, con desvío en T.

Una propiedad importante de este juego es el siguiente: Sea $p_i'''(\mathcal{S})$ el pago del jugador i -ésimo en su peor equilibrio de Nash para el juego de movimiento único simultáneo; existe entonces una tasa de valoración intertemporal $\delta^* \in (0,1)$ -la que corresponde a $1/(1+i)$, donde i es la tasa de descuento- tal que para todo $\delta \in (\delta^*, 1)$ jugar $\sigma_i'(t)$ es un equilibrio de Nash en subjuegos perfectos de $G^\infty(\delta)$. En otras

palabras, existe un rango de tasas de descuento en las cuales es óptimo jugar el camino de pagos coordinados sin desviaciones.

Sea $U(\sigma_i'(t), t)$ el pago total del juego cuando se sigue la estrategia de camino de pagos coordinado hasta el periodo t (recordando que $p_i'(\mathcal{S})$ es independiente del periodo), entonces:

$$U(\sigma_i'(t), t) = \sum_{k=1}^t \delta^k p_i'(\mathcal{S}) \quad (4.6)$$

Sea $V(\sigma_i'''(t), t+1)$ el pago del juego desde el periodo $t+1$ en adelante cuando existió una desviación en t del camino de pagos coordinados, entonces:

$$V(\sigma_i'''(t), t+1) = \sum_{k=t+1}^{\infty} \delta^k p_i'''(\mathcal{S}) \quad (4.7)$$

Por lo tanto, los pagos serán percibidos como:

No hay desviación: El jugador i -ésimo percibe $U(\sigma_i'(t), \infty)$.

Existe desviación en el periodo t : El jugador i -ésimo percibe $U(\sigma_i'(t), t-1) + \delta^t p_i''(\mathcal{S}) + V(\sigma_i'''(t), t+1)$.

Entonces, el equilibrio de Subjuegos Perfectos en el cual se juega $\sigma_i'(t)$ en cada periodo de los juegos de movimiento único simultáneo hasta el infinito se dará cuando:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \delta^k p_i'(\mathcal{S}) > \sum_{k=0}^{t-1} \delta^k p_i'(\mathcal{S}) + \delta^t p_i''(\mathcal{S}) + \sum_{k=t+1}^{\infty} \delta^k p_i'''(\mathcal{S}) \quad (4.8)$$

Si el factor de descuento no fuese constante, y tuviese un comportamiento en el tiempo de la forma $\Delta = (\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots \delta_{\infty})$, entonces la condición para el equilibrio de Nash mencionado se escribiría como:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \prod_{j=1}^k \delta_j p_i'(\mathcal{S}) > \sum_{k=0}^{t-1} \prod_{j=1}^k \delta_j p_i'(\mathcal{S}) + \prod_{j=0}^t \delta_t p_i''(\mathcal{S}) + \sum_{k=t+1}^{\infty} \prod_{j=1}^k \delta_j p_i'''(\mathcal{S}) \quad (4.9)$$

Esto último es solamente para mostrar que si $p_i'''(\mathcal{S}) < p_i'(\mathcal{S}) < p_i''(\mathcal{S})$, entonces cuando la tasa de descuento es constante, en el caso de ocurrir desviación, lo óptimo

es incurrir en esta en el primer periodo (Abreu, 1988). Si el factor de descuento es variable para cada periodo y conocida, entonces no es claro cuando se producirá la desviación. Para el caso en el que el desvío ocurre en el primer periodo, entonces se tiene la siguiente condición de equilibrio de Subjuegos Perfectos:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \delta^k p_i'(S) > p_i''(S) + \sum_{k=1}^{\infty} \delta^k p_i'''(S) \quad (4.10)$$

O equivalentemente:

$$\frac{p_i'(S)}{1-\delta} > p_i''(S) + \frac{\delta p_i'''(S)}{1-\delta} \quad (4.11)$$

4.3 EJEMPLO DEL USO DE ESTRATEGIAS DETONANTES PARA UN MERCADO OLIGOPÓLICO

En este espacio se desea presentar un ejemplo de cómo funcionan en un mercado oligopólico, con competencia del tipo Cournot (donde las empresas deciden la cantidad a producir), las herramientas matemáticas para detectar estrategias detonantes. Las estrategias detonantes se dan cuando existe un equilibrio de Nash, en el sentido que la estrategia que toma una empresa es óptima, siendo que todas las demás se comportan también óptimamente. Sin embargo, una empresa podría eventualmente variar su estrategia a una que en un determinado lapso de tiempo sus beneficios se vean incrementados, pero que luego esta esa penalizada por la industria. A continuación se presenta el desarrollo de un caso simple de un mercado con N empresas portuarias uniproducto que compiten por una demanda particular. Con el fin de ilustrar en una forma sencilla este tipo de comportamiento de mercado, los costos marginales serán considerados constantes, y los aspectos operativos no serán tomados en cuenta (tiempo de espera, disponibilidad de espacio, etc.).

Considérese que las empresas portuarias tienen un costo marginal de producción contante e igual a “ c ”. Por otro lado, la demanda por el uso de estas instalaciones, en

toneladas por unidad de tiempo, está dada por $P(Q)=a-Q$. La cantidad manipulada Q por la industria en general, corresponderá a la suma de las cantidades q_i manipuladas por cada dueño de los sitios de atraque particularmente, de forma que si existen N empresas en la industria, la cantidad total será:

$$Q = \sum_{i=1}^N q_i \quad (4.12)$$

Cada empresa en particular desea maximizar sus beneficios π_i (no confundir con la denominación anteriormente expuesta para éste símbolo), de tal forma que estén dados por la función de demanda inversa $P(Q)$, y sus toneladas a cargar/descargar.

De esta forma:

$$\max_{\{q_i\}} \pi_i \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) = P \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) * q_i - c * q_i \quad (4.13)$$

Sin embargo, es equivalente escribir que la función de demanda inversa por q_i en la siguiente forma;

$$P(Q) = a - Q = a - \sum_{i=1}^N q_i = a - q_i - \sum_{j \neq i}^N q_j \quad (4.14)$$

Por lo tanto:

$$\max_{\{q_i\}} \pi_i \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) = \left(a - q_i - \sum_{j \neq i}^N q_j \right) * q_i - c * q_i \quad (4.15)$$

La ecuación 4.15 indica la dependencia entre lo que se producirá por la empresa i y la producción de todas las demás empresas j del mercado, tal que $j \neq i$, pues la demanda de carga y descarga es compartida. La maximización de beneficios, considerando la interdependencia señalada en 4.15, se alcanza cuando los beneficios marginales sean cero.

$$\frac{\partial \pi_i(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j)}{\partial q_i} = a - 2q_i - \sum_{j \neq i}^N q_j - c = 0 \quad (4.16)$$

$$\frac{a - \sum_{j \neq i}^N q_j - c}{2} = q_i^* \quad (4.17)$$

La solución al problema de producción en el equilibrio de Cournot, está dada por la función de respuesta a la producción 4.17. Ya que todas las empresas portuarias tienen los mismos costos marginales (c), y además todas tienen la misma función de reacción, es de esperar que en el equilibrio todas produzcan la misma cantidad, respaldado en el supuesto que no existen costos operativos considerados (en particular, el costo percibido por los usuarios podría depender de la disponibilidad de los sitios de atraque, y de los tiempos de carga/descarga), por lo que se puede suponer que, mientras no existan estrategias de desviación, $q_i = q_j$, para todo par (i, j) del conjunto de N empresas. Por lo tanto, se desprende de 4.17 lo siguiente:

$$\frac{a - (N - 1)q^* - c}{2} = q^* \rightarrow q_c^* = \frac{a - c}{N + 1} \quad (4.18)$$

La producción en toneladas manipuladas total del puerto, siguiendo la competencia del tipo Cournot, estará dada por:

$$Q_c = \sum_{i=1}^N \frac{a - c}{N + 1} = \frac{N(a - c)}{N + 1} \quad (4.19)$$

El precio de equilibrio de mercado siguiendo Cournot será:

$$P_c = a - \frac{N(a - c)}{N + 1} = \frac{a + Nc}{N + 1} \quad (4.20)$$

Por lo tanto las empresas tendrán un beneficio total, siguiendo el equilibrio de Cournot de:

$$\pi_c \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) = P(Q) * q_i - c * q_i = \left(\frac{a + Nc}{N + 1} \right) * \frac{a - c}{N + 1} - c * \frac{a - c}{N + 1} \quad (4.21)$$

$$\pi_c \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) = \left(\frac{a - c}{N + 1} \right)^2 \quad (4.22)$$

Sin embargo, para las empresas es posible tener un beneficio mayor que el ofrecido por el equilibrio de Cournot, y es sustentando el nivel de monopolio. Eso se refiere, a cuando la industria en general produce, entre todas las empresas, una cantidad que produciría el monopolio, de forma que los beneficios prorratedos entre las N empresas sean máximos. La cantidad de monopolio se obtiene haciendo:

$$\max_{\{Q\}} \pi_Q(Q) = P(Q) * Q - c * Q = (a - Q) * Q - c * Q \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial \pi_i(Q)}{\partial Q} = a - 2Q - c = 0 \rightarrow \frac{a - c}{2} = Q_m^* \quad (4.24)$$

Cuando cada empresa produce la misma cantidad para alcanzar la renta monopólica, entonces cada una debe producir Q_m/N . De esta forma el precio es dado por $(a+c)/2$ y cada empresa tiene un beneficio de:

$$\pi_m \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) = P(Q_m) * q_i - c * q_i = \left(\frac{a + c}{2} \right) * \frac{a - c}{2N} - c * \frac{a - c}{2N} \quad (4.25)$$

$$\pi_m \left(q_i, \sum_{j \neq i}^N q_j \right) = \frac{(a - c)^2}{4N} \quad (4.26)$$

Para cualquier valor de N a partir de 2, el beneficio monopólico individual de cada empresa dado por 4.26 es mayor que el beneficio de competencia oligopólica dado en 4.22. Esto es porque a partir de $N=2$ se cumple que $4N < (N+1)^2$. Por lo tanto la estrategia de colusión para obtener la renta monopólica parece ser la mejor estrategia desde el punto de vista de las empresas.

Partiendo de la suposición que los jugadores desean sustentar la renta monopólica, un jugador i podría aprovechar esta situación para desviarse de y maximizar su beneficio por desviación (Gibbons, 1993), de la siguiente forma:

$$\max \pi_d \left(q_i \mid q_j = \frac{a - c}{2N} \forall j \neq i \right) = \left(a - q_i - \frac{(N - 1)(a - c)}{2N} \right) q_i - c * q_i \quad (4.27)$$

Derivando 4.27 con respecto a q_i , e igualando a cero para maximizar el beneficio de i , se obtiene:

$$\frac{d}{dq_i} \left[\left(a - q_i - \frac{(N - 1)(a - c)}{2N} \right) q_i - c * q_i \right] = 0 \quad (4.28)$$

$$q^* = \frac{2aN - aN + cN + a - c - 2cN}{4N} = \frac{(N + 1)(a - c)}{4N} \quad (4.29)$$

Por otro lado, es posible obtener el beneficio de desviación dado por:

$$\pi_d = \left(a - \frac{(N+1)(a-c)}{4N} - \frac{(N-1)(a-c)}{2N} \right) \frac{(N+1)(a-c)}{4N} - \frac{c(N+1)(a-c)}{4N} \quad (4.30)$$

$$\pi_d = \left(\frac{(N+1)(a-c)}{4N} \right)^2 \quad (4.31)$$

Por lo tanto, la cantidad óptima para la empresa que se desvía i , y sus beneficios de desviación son:

$$q_d = \frac{(N+1)(a-c)}{4N}, \quad \pi_d = \left(\frac{(N+1)(a-c)}{4N} \right)^2 \quad (4.32)$$

Considerando los casos analizados, una empresa puede decidir si participa o no en un acuerdo monopólico de producción. Además, puede considerar variar la cantidad transferida de forma óptima o no según una estrategia detonante, que además verifica si la producción de monopolio es un equilibrio de Nash en Subjuegos Perfectos (ENSP), y esta decisión viene dada por la expresión obtenida en 4.11:

$$\frac{p_i'(\mathcal{S})}{1-\delta} \geq p_i''(\mathcal{S}) + \frac{\delta p_i'''(\mathcal{S})}{1-\delta} \quad (4.33)$$

Donde $p_i'(\mathcal{S})$ en este caso corresponde al pago de no desviarse de la estrategia de rentas monopólicas, es decir π_m , $p_i''(\mathcal{S})$ corresponde al pago por desviarse de la estrategia monopólica, π_d , y por último $p_i'''(\mathcal{S})$ corresponde al pago por castigo a la desviación, es decir, volver al oligopolio de Cournot, π_c . Por lo tanto, y reemplazando los valores de los pagos, se obtiene que el ENSP dado por estrategias detonantes sucede cuando δ cumple que:

$$\frac{(a-c)^2}{4N(1-\delta)} \geq \left(\frac{(N+1)(a-c)}{4N} \right)^2 + \frac{\delta \left(\frac{a-c}{N+1} \right)^2}{1-\delta} \quad (4.34)$$

En términos de los pagos por estrategia, podemos escribir 4.34 de una forma más intuitiva, que representa el trade-off entre desviarse de la estrategia, y mantenerse en el acuerdo:

$$\frac{\pi_d - \pi_m}{\pi_d - \pi_c} \leq \delta \quad (4.35)$$

Reemplazando los pagos en 4.35, se obtiene:

$$\frac{\left(\frac{(N+1)(a-c)}{4N}\right)^2 - \frac{(a-c)^2}{4N}}{\left(\frac{(N+1)(a-c)}{4N}\right)^2 - \left(\frac{a-c}{N+1}\right)^2} = \boxed{\frac{(N+1)^4 - 4N(N+1)^2}{(N+1)^4 - 16N^2} \leq \delta} \quad (4.36)$$

Por lo tanto, la expresión dada por la formula 4.36 representa el mínimo valor de la tasa de descuento tal que un acuerdo monopólico corresponda a un ENSP.

De esto, se desprende que una forma de notar cuando existen posibilidades de colusión por parte de las empresas, de forma de que la producción no siga el resultado descrito por una competencia tipo Cournot, sino que tanto la tarifa como la producción sean equivalentes a las de monopolio, es verificando la tasa de descuento y la cantidad de empresas que participan en la industria.

Es posible notar que la tasa de descuento mínima se va haciendo cada vez mayor a medida que aumenta el número de empresas, asintóticamente hasta que N tienda a infinito, y el límite de 4.36 tiende a uno (pues tanto el denominador como el numerador tienen N^4 como grado máximo). Esto refleja que a medida que el mercado se hace más competitivo, es decir, llegan más y más empresas a la industria, el beneficio de desviarse es muy bajo comparado con el pago de seguir la estrategia monopólica, pues las toneladas cagadas/descargadas, y por tanto los ingresos, son menores comparativamente. Esto hace que cuando el mercado es muy grande, debe suceder que los próximos periodos sean casi tan importantes como el primero como para no desviarse, es decir, una tasa de descuento que tienda a uno. En la Figura 4.2 y la Tabla 4.1 se puede observar de la tasa de descuento mínima a medida que aumenta N .

De hecho, si $N \rightarrow \infty$ (competencia perfecta), entonces se requiere $\delta \geq 1$ para sustentar el resultado de ENSP correspondiente al nivel de producción monopólico,

lo que en otras palabras, requiere que la tasa de descuento sea menor o igual a cero, lo que es imposible.

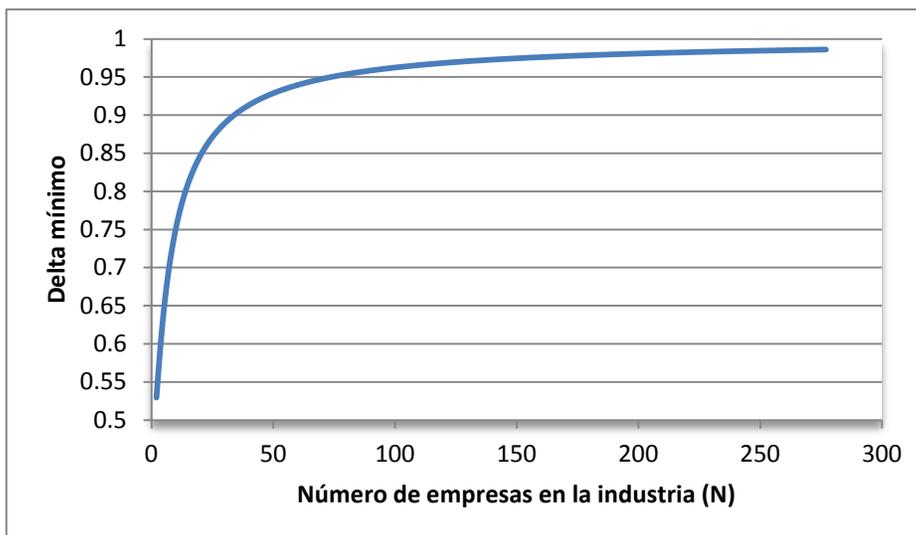


Figura 4-2: Tasa de Valoración Intertemporal Mínima para N empresas.

Empresas	Delta min	Empresas	Delta min	Empresas	Delta min	Empresas	Delta min
2	0.52941176	21	0.85211268	40	0.91309071	9999999	0.9999996
3	0.57142857	22	0.85737439	41	0.91493776		
4	0.6097561	23	0.86227545	42	0.91670798		
5	0.64285714	24	0.8668516	43	0.91840607		
6	0.67123288	25	0.87113402	44	0.92003635		
7	0.69565217	26	0.87515006	45	0.92160279		
8	0.71681416	27	0.87892377	46	0.92310907		
9	0.73529412	28	0.88247639	47	0.92455859		
10	0.7515528	29	0.88582677	48	0.92595449		
11	0.76595745	30	0.88899167	49	0.9272997		
12	0.77880184	31	0.89198606	50	0.92859693		
13	0.79032258	32	0.89482334	51	0.92984869		
14	0.80071174	33	0.89751553	52	0.93105734		
15	0.81012658	34	0.90007348	53	0.93222506		
16	0.81869688	35	0.90250696	54	0.9333539		
17	0.82653061	36	0.90482485	55	0.93444577		
18	0.83371824	37	0.90703518	56	0.93550245		
19	0.84033613	38	0.90914525	57	0.93652561		
20	0.84644914	39	0.91116173	58	0.93751683		

Tabla 4-1 Tasa de Valoración Intertemporal Mínima para N empresas.

También es posible ver estos resultados en términos de la tasa de descuento, la cual se comporta como $i = (1 - \delta)/\delta$. La Figura 4.3 y la Tabla 4.2 ilustran este comportamiento.

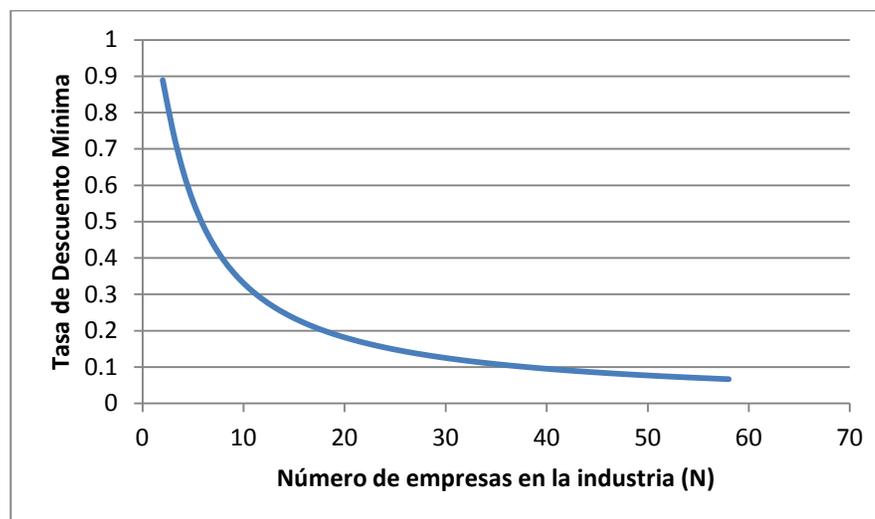


Figura 4-3: Tasa de Retorno Mínima para N empresas.

Empresas	Delta min	Empresas	Delta min	Empresas	Delta min	Empresas	Delta min
2	0.88888889	21	0.17355372	40	0.09518144	9999999	4E-07
3	0.75	22	0.16635161	41	0.09297052		
4	0.64	23	0.15972222	42	0.09085993		
5	0.55555556	24	0.1536	43	0.08884298		
6	0.48979592	25	0.14792899	44	0.08691358		
7	0.4375	26	0.14266118	45	0.08506616		
8	0.39506173	27	0.1377551	46	0.08329561		
9	0.36	28	0.13317479	47	0.08159722		
10	0.33057851	29	0.12888889	48	0.07996668		
11	0.30555556	30	0.12486993	49	0.0784		
12	0.28402367	31	0.12109375	50	0.0768935		
13	0.26530612	32	0.11753903	51	0.07544379		
14	0.24888889	33	0.11418685	52	0.07404771		
15	0.234375	34	0.11102041	53	0.07270234		
16	0.22145329	35	0.10802469	54	0.07140496		
17	0.20987654	36	0.10518627	55	0.07015306		
18	0.19944598	37	0.10249307	56	0.06894429		
19	0.19	38	0.09993425	57	0.06777646		
20	0.1814059	39	0.0975	58	0.06664752		

Tabla 4-2 Tasa de Retorno Mínima para N empresas.

5 MODELO DE COMPETENCIA INTERPORTUARIA PARA UN JUEGO ITERATIVO EN EL TIEMPO

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO

5.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA

La primera aproximación sobre el equilibrio que existirá a nivel de precios y niveles de servicio en la oferta para la relación puerto-navieras, es cuando existe un poder monopólico desregulado de parte de la empresa portuaria, es decir, esta posee la totalidad de los sitios de atraque. En este caso, ya que no existe competencia, la empresa portuaria puede decidir sus variables económicas y operativas que maximicen sus utilidades. En este sentido, la empresa portuaria va a tener sus características de operación, definidas durante el periodo de concesión, reactivas a la demanda, pero sin importarle las externalidades o disminuciones en los beneficios producidas a las navieras. Debe notarse que las navieras no sólo percibirán como costo el precio desembolsado por atenderse en la terminal para sus labores de carga y descarga, sino que además percibirán un costo de espera, cuya magnitud depende del nivel de congestión en el puerto.

A la suma del precio pagado por la naviera se le agregará entonces una componente del precio asociado al tiempo de espera, obteniéndose lo que será llamado el precio generalizado. Este precio será variable en el tiempo, en el sentido que en distintos periodos de concesión los precios y los niveles de servicio pueden ser diferentes según las decisiones estratégicas de la naviera. Se modelará de todas formas un valor del tiempo constante para las navieras, en pos de simplificar el desarrollo. Este valor constante se justificará en el sentido de que las navieras tienen un costo de oportunidad relativamente parecido de sus productos cuando estos son materias primas o bienes de consumo con precios promedio anuales similares durante el periodo de concesión (por ejemplo, transporte de frutas o semillas). Así, el precio generalizado corresponde a:

$$P_t = p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t) \quad (5.1)$$

Donde p_t es la tarifa del servicio de carga y descarga cobrada por el puerto a la naviera, θ es el valor del tiempo o costo de oportunidad de la naviera, $TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)$ corresponde al tiempo de espera de la naviera en función del número de sitios de atraque disponibles (m^t), la tasa de servicio promedio en cada sitio de atraque, en naves al año (μ^t) y la tasa de llegada de naves al puerto para ser atendidos, en naves al año (λ^t). Nótese que estos valores dependen del periodo de tiempo ($t \in [0, T]$) en el que se encuentre dentro de la duración de la concesión, por lo que la percepción del precio generalizado no es constante en el tiempo.

La demanda de las navieras también presentará una variación en el tiempo, en el sentido de ser capaz de representar los cambios en la elasticidad de la demanda, y el crecimiento económico de la industria naviera. Una función de demanda económicamente correcta debe cumplir con dos propiedades sustanciales:

- Debe ser función del precio generalizado, de la forma $X_t = g(P_t)$, donde X_t corresponde a la cantidad de naves al año que se atienden en el puerto.
- Debe ser una función decreciente al nivel de precio, es decir, a mayor precio, menor es la demanda. Matemáticamente:

$$\frac{dg(P_t)}{dP_t} < 0 \quad y \quad 0 \leq g(P_t) \leq \infty \quad (5.2)$$

Una función de demanda de las navieras (por los servicios portuarios), que cumple los requisitos mencionados, y que representa la disposición a pagar de las navieras por los servicios portuarios (y que además internaliza las variables de gestión correspondientes), es:

$$X_t = \begin{cases} a^t - b^t P_t & \text{si } \frac{a^t}{b^t} \geq P_t \\ 0 & \text{si } \frac{a^t}{b^t} < P_t \end{cases} \quad (5.3)$$

Donde a^t y b^t son constantes positivas dentro de un periodo de tiempo t , y P_t es el precio generalizado pagado por las navieras (descrito en 5.1). Por lo tanto, el beneficio percibido por parte de las navieras corresponderá al excedente del consumidor asociado al precio generalizado de equilibrio P_t^* luego de que las empresas portuarias hayan resuelto su ejercicio de optimización privada. Este beneficio corresponderá entonces a:

$$\pi_{nav} = \int_{P_t}^{\infty} X_t(u) du \quad (5.4)$$

Definido el precio percibido y los beneficios de las navieras, se procede ahora a definir las características operacionales de costos e ingresos de un puerto monopolístico. Primero, se procederá a modelar los ingresos por concepto de atención en carga y descarga, luego los costos asociados, y finalmente los beneficios. Construidas estas funciones, se procederá a definir el problema de maximización de beneficios privados de parte de las empresas portuarias.

5.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS INGRESOS PORTUARIOS

Los ingresos del puerto, para efectos del modelo, se condensarán en el concepto de carga y descarga. En resumidas cuentas, la naviera cobrará una tarifa p_t a las navieras por manipular la carga que llegue a sus instalaciones. Por lo tanto, los ingresos serán simplemente la cantidad de barcos atendidos por el precio cobrado. Se asumirá que todos los barcos que llegan son agentes idénticos, y por lo tanto, el tiempo de atención de cada uno en un sitio de atraque es idéntico y corresponde a μ^t , en Naves/Año. La justificación de este supuesto responde a la estandarización de la carga luego de la introducción del contenedor, y para no añadir complejidad adicional a los tiempos de espera. Considerando esto, el puerto percibe ingresos iguales a:

$$I_{port} = X_t * p_t \quad (5.5)$$

Reemplazando la función de demanda de las navieras en la expresión del ingreso, y considerando el precio generalizado, entonces los ingresos corresponden a:

$$I_{port} = (a^t - b^t[p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)]) * p_t \quad (5.6)$$

5.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS COSTOS PORTUARIOS

Los costos anuales corresponderán a efectos del modelo a tres componentes importantes. Primero, existe un componente por barco atendido, que corresponderá a la demanda total por el costo unitario de atención. La simplificación asumida considera un costo de atención por el total de la carga, pues el modelo asume que ésta es estandarizada e idéntica para todos los barcos, para destacar resultados globales. Si bien es cierto que en la práctica, la tarifa y los costos son por tonelada transferida, utilizando el supuesto recién mencionado, se considerará que las variables operativas son a nivel de nave. Luego existirá otra componente por la inversión anual en mejora de la infraestructura del operador, y finalmente un costo anual por mantenimiento de la infraestructura ya existente. Por lo tanto, en detalle estos costos son:

- Costo por atención unitaria: Este costo corresponde a un costo marginal constante por nave atendida, y representa los gastos operacionales en los que incurre el puerto. Se representa como $X_t * r_t$.
- Costo por inversión en infraestructura: Este costo corresponde al capital invertido por el operador en pos de mejorar la tasa de servicio. En general, el operador puede invertir en su capacidad de transferencia máxima, para aumentarla si calcula que la que tiene no es suficiente como para dar el nivel de servicio que maximiza sus utilidades. Esta inversión es a nivel de capacidad de transferencia (μ^t) y no de número de sitios de atraque disponibles, pues una inversión en aumentar la cantidad de terminales generalmente corresponde a un gasto y recursos en tiempo que escapan

a los alcances de esta tesis. El costo, entonces matemáticamente corresponde a $(\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * m^t * \tau_\mu$, donde τ_μ es el costo marginal de aumentar en una unidad el nivel de servicio, y m^t es la cantidad de sitios de atraque disponibles en el puerto. En la actualidad, el concepto de sitio de atraque es reemplazado por el de frente de atraque, el cual es la cantidad de metros disponibles en el puerto para realizar las operaciones de carga y descarga. Sin embargo, ya que el modelo considera naves idénticas, tanto en tamaño como en carga, el concepto de “sitio de atraque” es más apropiado para la resolución matemática.

- Costo de operación anual de la infraestructura: Este costo corresponde al costo implícito de las terminales y de las grúas, que es independiente del uso que se les dé, pero debe ser pagado mientras estas estén activas durante el año. Por lo tanto, si el operador desea operar con una tasa de servicio μ^t y con m^t terminales abiertos, entonces este pagará un total de $\mu^t * m^t * \theta_\mu + m^t \theta_m$, donde θ_μ y θ_m corresponden a costos de operación de la capacidad.

Finalmente, los costos totales de operación anual del puerto corresponden a la suma de todos los costos descritos (los costos de capital de la inversión se consideran costos fijos). Esto es, entonces, para un periodo t:

$$CT^t = X_t * r_t + (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * m^t \tau_\mu + \mu^t m^t \theta_\mu + m^t \theta_m \quad (5.7)$$

5.1.4 Características de los beneficios portuarios

El concepto de beneficios, corresponde simplemente a la diferencia entre los ingresos y los costos.

$$\begin{aligned} \pi_{port}^t = & (a^t - b^t [p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)]) * (p_t - r_t) - (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * m^t \tau_\mu \\ & - \mu^t m^t \theta_\mu - m^t \theta_m \end{aligned} \quad (5.8)$$

Por lo tanto, la empresa portuaria en el caso de maximización privada, maximizará sus beneficios particulares. Hay que notar que el único incentivo que tiene en dar una

calidad razonable a sus variables de operación, es decir, aumentar la tasa de carga y descarga, así como la cantidad de sitios de atraque disponibles corresponde a la disminución de la demanda derivada de un aumento en los tiempos de espera, y así en el precio generalizado, en el caso de operar con un pobre nivel de servicio. Incluso con tarifas bajas, en un escenario donde los tiempos de espera son demasiado altos es posible que no exista demanda. Esto sucedería en el caso de que:

$$\frac{a^t - b^t p_t}{\theta b^t} < TW(m^t, \mu^t, \lambda^t) \quad (5.9)$$

Una segunda consideración por parte del puerto, corresponde a sus tasas máximas de operación para el periodo de estudio, es decir, la tasa máxima de carga y descarga μ_{max}^t (es decir, funcionar a un 100% de utilización de su tecnología y personal) y la cantidad de sitios de atraque disponibles M en el área geográfica del puerto. Matemáticamente, entonces la naviera percibe dos restricciones a su operación:

$$\mu^t \leq \mu_{max}^t \quad (5.10)$$

$$m^t \leq M \quad (5.11)$$

La restricción 5.10 no siempre debe ser activa. En periodos de baja demanda, los operadores portuarios pueden decidir no optar con su máxima capacidad de transferencia, y por lo tanto, $\mu^t < \mu_{max}^t$ (y no se da que $\mu^t = \mu_{max}^t$). Esto, claramente, dependerá del costo marginal de atención θ_μ .

Adicionalmente, se considerará una restricción correspondiente a la capacidad de cambio (en ampliación o disminución) de la capacidad máxima de operación de los terminales, en el sentido de modelar la incapacidad física de hacer grandes cambios a nivel estructural, ya sea agregando grúas nuevas o cambiando algunas antiguas. Esta restricción también se aplica a la venta de capacidad (vender grúas) cuando exista un

exceso de infraestructura para la operación necesaria. Este límite estará dado por un cambio máximo permitido (Δ). Así la restricción correspondiente queda como:

$$\mu_{max}^{t-1} - \Delta \leq \mu_{max}^t \leq \mu_{max}^{t-1} + \Delta \quad (5.12)$$

A modo de resumen, los parámetros del modelo son:

- X_t : Demanda por naves en el puerto para el período t, en naves/año.
- λ^t : Tasa de llegada de las naves al puerto en naves/año. Coincide con X_t .
- μ^t : Tasa de atención en naves/año de cada sitio de atraque con la que el operador decide operar, para las operaciones de carga-descarga.
- μ_{max}^t : Tasa de atención máxima de operación de cada sitio de atraque del operador portuario, en naves/año.
- m^t : Cantidad de sitios de atraque con los que el operador portuario decide operar (que debe ser menor a M, la cantidad máxima de sitios que se pueden operar). Por lo tanto, un puerto con un solo operador tiene una capacidad de transferencia de $M * \mu_{max}^t$.
- p_t : Tarifa cobrada por el operador (\$/nave).
- r_t : Costo marginal por atención de una nave (\$/nave).
- Δ : Máximo cambio en la tasa máxima de atención que se puede realizar en un periodo.

5.2 MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE UN PUERTO MONOPÓLICO

5.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DEL PUERTO MONOPÓLICO

Considerando todos estos puntos, finalmente la naviera debe resolver el programa de optimización que corresponde a la maximización de los beneficios privados en cada periodo t, sujeto a las restricciones 5.10, 5.11 y 5.12. La condición 5.9 entra también como una restricción, pero no operativa, sino como una restricción de racionalidad, donde se pide que las empresas navieras no tengan un beneficio negativo. Este programa de optimización finalmente corresponde a:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\{m^t, \mu^t, \mu_{max}^t, p_t\}} \pi_{port}^t &= (a^t - b^t[p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)]) * (p_t - r_t) \\ &- (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * m^t \tau_\mu - \mu^t m^t \theta_\mu - m^t \theta_m \end{aligned} \quad (5.13)$$

s. a

$$\mu^t \leq \mu_{max}^t \quad (5.13.1)$$

$$m^t \leq M \quad (5.13.2)$$

$$\mu_{max}^{t-1} - \Delta \leq \mu_{max}^t \leq \mu_{max}^{t-1} + \Delta \quad (5.13.3)$$

$$\frac{a^t - b^t p_t}{\theta b^t} < TW(m^t, \mu^t, \lambda^t) \quad (5.13.4)$$

$$\mu^t, m^t, p_t \geq 0 \quad (5.13.5)$$

5.2.2 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DEL PUERTO MONOPÓLICO

Para la solución del problema de maximización de beneficios del puerto monopolístico, se procederá a obtener las condiciones de primer orden del problema planteado en 5.13. Para ello, se utilizará el método estándar de LaGrange, derivando el lagrangeano y obteniendo las condiciones de Karush Kuhn Tucker (KKT) de primer orden con la derivada respecto a cada parámetro de decisión igual a cero. Se debe mencionar que los parámetros de decisión del puerto monopolístico corresponden al set $m^t, \mu^t, \mu_{max}^t, p_t$. Entonces, el lagrangeano del problema 5.13 corresponde a:

$$\begin{aligned} L &= -(a^t - b^t[p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)]) * (p_t - r_t) + (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * m^t \tau_\mu \\ &+ \mu^t m^t \theta_\mu + m^t \theta_m + \lambda_\mu (\mu^t - \mu_{max}^t) + \lambda_m (m^t - M) \\ &+ \lambda_{\Delta 1} (-\mu_{max}^{t-1} - \Delta + \mu_{max}^t) \\ &+ \lambda_{\Delta 2} (\mu_{max}^{t-1} - \Delta - \mu_{max}^t) \end{aligned} \quad (5.14)$$

Deben notarse dos cosas importantes. Primero que la restricción 5.13.4 de racionalidad es implícita a una maximización de beneficios, pues si no existe demanda no existirá entonces el servicio, y por lo tanto, existirán sólo costos asociados y no habrá ingresos de ningún tipo. Segundo, para que el problema

quedara en su forma estándar, se reemplazó la restricción de aplicación máxima de tecnología 5.13.3 en dos restricciones independientes,

$$-\mu_{max}^{t-1} - \Delta + \mu_{max}^t \leq 0 \quad (5.15)$$

$$\mu_{max\ i}^{t-1} - \Delta - \mu_{max\ i}^t \leq 0 \quad (5.16)$$

Con multiplicadores de Lagrange $\lambda_{\Delta 1}$ y $\lambda_{\Delta 2}$ respectivamente. Armado ya el lagrangeano de este problema, recordando que el método de KKT necesita un problema de minimización (es decir de minimizar el negativo de la función objetivo) las condiciones de optimalidad se describen a continuación.

- Derivada respecto a m^t : Primero cabe mencionar que en el modelo no se consideró la restricción de variable entera de la cantidad de sitios de ataque utilizados, pues en este apartado interesa describir el comportamiento económico de las condiciones de primer orden considerando las variables de decisión del operador. En este caso $\frac{\partial TW}{\partial m^t} < 0$ y por ende, la condición que se obtiene es clásica; que el beneficio marginal por la disminución de los tiempos de espera al aumentar la cantidad de sitios de ataque justifique los costos asociados y el beneficio marginal de un aumento en los sitios máximos.

$$\frac{\partial L}{\partial m^t} = b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m^t} (p_t - r_t) + \theta_m + \mu^t \theta_\mu + \lambda_m + (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * \tau_\mu = 0 \quad (5.17)$$

$$b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m^t} (p_t - r_t) = -\theta_m - \lambda_m - \mu^t \theta_\mu - (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * \tau_\mu \quad (5.18)$$

- Derivada respecto a μ^t : Este es el similar al punto anterior, pero acá no existe un problema de variables enteras. En este caso, $\frac{\partial TW}{\partial \mu^t} < 0$, y también se obtiene el resultado clásico de que el beneficio marginal por la disminución de los tiempos de espera al aumentar la tasa de atención justifique los costos asociados y el beneficio marginal de un aumento en este.

$$\frac{\partial L}{\partial \mu^t} = b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial \mu^t} (p_t - r_t) + \theta_\mu + \lambda_\mu + m^t \theta_m = 0 \quad (5.19)$$

$$b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial \mu^t} (p_t - r_t) = -\theta_\mu - \lambda_\mu - m^t \theta_\mu \quad (5.20)$$

• Derivada respecto a μ_{max}^t : En este punto, se debe obtener el beneficio marginal respecto a aumentar la capacidad máxima de atención en el periodo, referido a la inversión en infraestructura, respetando las cotas superiores e inferiores de movimiento dada la tecnología.

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{max}^t} = m^t \tau_\mu - \lambda_\mu + \lambda_{\Delta 1} - \lambda_{\Delta 2} = 0 \quad (5.21)$$

• Derivada respecto a p^t : Para este parámetro, la derivada contiene la reacción de la demanda a un aumento de la tarifa. Debe notarse que como la demanda corresponde a un precio generalizado, a medida que se quiera aumentar el precio, este debe ir de la mano con una reducción unilateral en los tiempos de espera.

$$\frac{\partial L}{\partial p^t} = a^t - 2b^t p^t - b^t \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t) + b^t r^t = 0 \quad (5.22)$$

$$p^t = \frac{a^t + b^t r^t - b^t \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)}{2b^t} \quad (5.23)$$

Adicionalmente, deben considerarse las condiciones de KKT sobre las holguras, de forma que los precios sombra sólo tengan un valor distinto de cero cuando el operador se encuentre operando en alguno de los extremos de las restricciones. Estas condiciones corresponden a:

$$\lambda_\mu (\mu^t - \mu_{max}^t) = 0 \quad (5.24)$$

$$\lambda_m (m^t - M) = 0 \quad (5.25)$$

$$\lambda_{\Delta 1} (-\mu_{max}^{t-1} - \Delta + \mu_{max}^t) = 0 \quad (5.26)$$

$$\lambda_{\Delta 2} (\mu_{max}^{t-1} - \Delta - \mu_{max}^t) = 0 \quad (5.27)$$

5.3 MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE ÓPTIMO SOCIAL

5.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DEL ÓPTIMO SOCIAL

Descrito el problema de optimización privada del monopolio, es relativamente directo obtener el programa de maximización de beneficio social. Simplemente se

debe tomar en cuenta la suma de beneficios tanto privados de la empresa portuaria como el excedente de los consumidores, que corresponden a las navieras. En este programa, los precios y niveles de servicio no serán una decisión del operador privado, sino de un ente regulador que simultáneamente procura los máximos excedentes sociales, considerando a la sociedad como las navieras y el puerto. El beneficio social correspondiente a la suma de estos dos excedentes corresponde a:

$$Max_{\{X,P\}} BS = \pi_{port}^t + \pi_{nav}^t \quad (5.28)$$

Reemplazando en la expresión el beneficio privado de los operadores portuarios, y agregando el excedente de los consumidores, representado por el beneficio de las navieras, queda entonces el programa de maximización de beneficio social en 5.29. Nótese que la restricción 5.13.4 ya no es necesaria, pues está implícita en el problema, al considerar a las navieras como un actor al que se le optimiza su situación simultáneamente.

$$Max_{\{m^t, \mu^t, \mu_{max}^t, p_t\}} \pi_{port}^t = (a^t - b^t[p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)]) * (p_t - r_t) - (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * m^t \tau_\mu - \mu^t m^t \theta_\mu - m^t \theta_m + \int_{\rho_t}^{\infty} (a^t - b^t u) du \quad (5.29)$$

s. a

$$\mu^t \leq \mu_{max}^t \quad (5.29.1)$$

$$m^t \leq M \quad (5.29.2)$$

$$\mu_{max}^{t-1} - \Delta \leq \mu_{max}^t \leq \mu_{max}^{t-1} + \Delta \quad (5.29.3)$$

$$\mu^t, m^t, p_t \geq 0 \quad (5.29.4)$$

5.3.2 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DEL ÓPTIMO SOCIAL

La resolución de este problema, se basa en el mismo procedimiento que la resolución del modelo de monopolio; la única diferencia reside en la función objetivo. En este caso, el lagrangeano considera el excedente del consumidor de las navieras, y por lo tanto corresponde a:

$$\begin{aligned}
L = & -(a^t - b^t[p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)]) * (p_t - r_t) - (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * \tau_\mu + \mu^t \theta_\mu \\
& + m^t \theta_m - \int_{\rho_t}^{\infty} (a^t - b^t u) du + \lambda_\mu (\mu^t - \mu_{max}^t) + \lambda_m (m^t - M) \\
& + \lambda_{\Delta 1} (-\mu_{max}^{t-1} - \Delta + \mu_{max}^t) \\
& + \lambda_{\Delta 2} (\mu_{max}^{t-1} - \Delta - \mu_{max}^t)
\end{aligned} \tag{5.30}$$

La resolución del modelo se obtiene derivando las condiciones de primer orden, igual que en el caso de monopolio.

• Derivada respecto a m^t : Considerando las particularidades de m^t , y considerando que existe el nuevo término de excedente de los consumidores, se obtiene la condición de primer orden de 5.31. Debe notarse que ahora las disminuciones de los tiempos de espera tienen un doble efecto; un aumento de la demanda y una disminución del precio generalizado percibido por las navieras.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial m^t} = & b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m^t} (p_t - r_t) + \theta_m + \lambda_m + \mu^t \theta_\mu + (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * \tau_\mu \\
& + \left[a^t \frac{\partial TW}{\partial m^t} - b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m^t} (p_t + \theta * TW) \right] = 0
\end{aligned} \tag{5.31}$$

$$\begin{aligned}
& b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m^t} (p_t - r_t) + \mu^t \theta_\mu + (\mu_{max}^t - \mu_{max}^{t-1}) * \tau_\mu \\
= & -\theta_m - \lambda_m - \left[a^t \frac{\partial TW}{\partial m^t} - b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m^t} (p_t + \theta * TW) \right]
\end{aligned} \tag{5.32}$$

• Derivada respecto a μ^t : Nuevamente se presenta un doble efecto de la condición de primer orden respecto a la demanda y el precio generalizado. El efecto obtenido es similar a la condición de primer orden anterior.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial \mu^t} = & b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial \mu^t} (p_t - r_t) + m^t \theta_\mu + \lambda_\mu \\
& + \left[a^t \theta \frac{\partial TW}{\partial \mu^t} - b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial \mu^t} (p_t + \theta * TW) \right] = 0
\end{aligned} \tag{5.33}$$

• Derivada respecto a μ_{max}^t : En este caso la condición de primer orden es igual a la situación de monopolio, pues es finalmente el operador quien decidirá y percibirá los costos de un aumento en su capacidad máxima de operación. La diferencia reside en que la capacidad de operación óptima si responde al excedente de los consumidores, y por lo tanto, habrá una influencia indirecta en las capacidades máximas.

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{max}^t} = m^t \tau_\mu - \lambda_\mu + \lambda_{\Delta 1} - \lambda_{\Delta 2} = 0 \quad (5.34)$$

• Derivada respecto a p^t : En este caso existe un trade off entre los beneficios de la naviera y del puerto, pues a medida que aumenta el precio, los beneficios de las navieras disminuyen, y afectan también a la demanda. En este punto se equilibran los ingresos del puerto con los precios generalizados de las navieras.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial p^t} &= a^t - 2b^t p^t - b^t \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t) + b^t r^t - [a^t - b^t [p_t + \theta TW]] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (5.35)$$

Nuevamente se consideran las holguras, que corresponden al mismo set de condiciones que en el equilibrio monopolístico.

$$\lambda_\mu (\mu^t - \mu_{max}^t) = 0 \quad (5.36)$$

$$\lambda_m (m^t - M) = 0 \quad (5.37)$$

$$\lambda_{\Delta 1} (-\mu_{max}^{t-1} - \Delta + \mu_{max}^t) = 0 \quad (5.38)$$

$$\lambda_{\Delta 2} (\mu_{max}^{t-1} - \Delta - \mu_{max}^t) = 0 \quad (5.39)$$

5.4 MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE PUERTOS OLIGOPÓLICOS

5.4.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE PUERTOS OLIGOPÓLICOS

El caso del mercado oligopólico es diferente al de los demás casos expuestos. Esto se justifica en la cantidad de operadores que existirán dentro de un puerto, eliminando en parte el poder monopolístico e mediante la introducción de competencia entre los actores. Es importante señalar que la característica más importante del oligopolio es la reactividad entre los productores. Así, cada agente que componga la oferta deberá considerar tanto las decisiones (precio y capacidad productiva) de los demás agentes.

Para efectos del modelo, se considerará que existe un puerto particular, en el que existe una totalidad de M sitios de ataque operados por N operadores distintos. Cada operador i es dueño de M_i sitios, tal que se cumpla que $\sum_i^N M_i = M$. Además, se supondrá que la entrada y salida de operadores está bloqueada, debido a una licitación previa de los sitios de ataque. Cada operador puede tomar decisiones con respecto a sus características operativas y sus precios, y en base a eso, percibirán una porción de la demanda total, para obtener los beneficios correspondientes. Gráficamente, el funcionamiento de este mercado oligopólico de competencia intraportuaria se ejemplifica en la Figura 5.1.

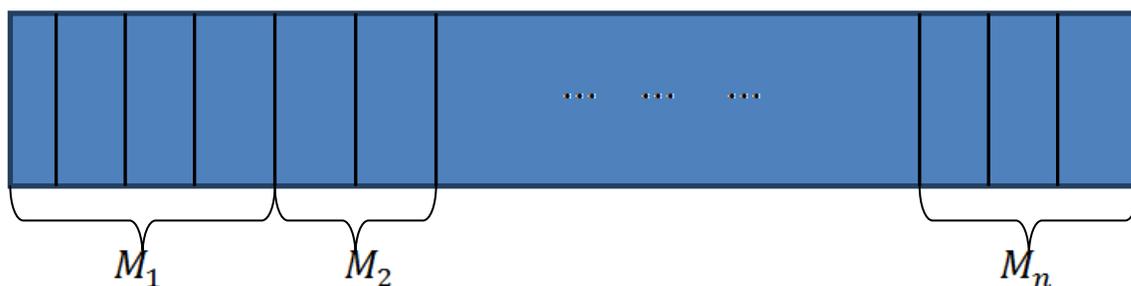


Figura 5-1: Esquema de operación de los sitios de ataque.

Tomando en cuenta la estructura de la oferta máxima en términos de sitios de ataque que tiene cada operador, este puede tomar una decisión sobre sus precios y aspectos operativos. Las variables de decisión de cada operador i en el periodo de operación t entonces corresponden a:

- Sitios de ataque operativos (m_i^t): Se refiere a la cantidad de sitios de ataque con los que piensa funcionar el operador. La decisión de cerrar alguno de sus sitios de ataque al funcionamiento viene dada por el costo de operación y administración por tener un nuevo sitio funcionando, en especial cuando percibe que la demanda no es lo suficientemente alta como para que la congestión producida por tener un determinado número de sitios de ataque menos disminuya sustancialmente sus

ingresos. Debe considerarse que el rango de sitios de ataque disponibles para el operador se sitúa entre $[0, M_i]$.

- Capacidad de transferencia operativa en un sitio de ataque (μ_i^t): Esta capacidad se refiere a la capacidad de atención de los sitios de ataque en naves/año. El operador portuario puede decidir no utilizar su máxima capacidad disponible para evitar costos derivados de este ítem, y al igual que en el caso de la cantidad de sitios operativos, puede evaluar como varía su demanda percibida con este factor. La capacidad de operación de cada terminal está acotada a un máximo definido por la capacidad máxima de estos, y por lo tanto, está acotada entre $[0, \mu_{max\ i}^t]$.

- Capacidad máxima de transferencia en un sitio de ataque ($\mu_{max\ i}^t$): Esta corresponde a la capacidad máxima de operación de los sitios de ataque. Está es una decisión que el operador puede tomar a principio del periodo de operación, en pos de aumentar su capacidad máxima en el sentido de invertir en maquinaria (grúas y mano de obra). Lo que aumente tendrá en consideración la capacidad máxima de operación en el periodo anterior $\mu_{max\ i}^{t-1}$, y una restricción tecnológica que limita el tamaño del cambio entre el periodo de estudio y el periodo anterior. Por lo tanto, esta variable está acotada, al igual que en el caso de monopolio, al rango $[\mu_{max\ i}^{t-1} - \Delta, \mu_{max\ i}^{t-1} + \Delta]$.

- Precio por atender una nave en sus instalaciones (p_i^t): Este es el precio que cada operador decida cobrar por sus servicios al realizar el servicio de carga-descarga en \$/nave. Dado que se asume que todas las naves son iguales y tienen la misma carga, este precio es fijo por nave, y sólo varía por operador. Este vendrá dado e la maximización de beneficios individuales de cada operador, y sólo está acotado a ser no negativo.

Definidas ya las variables de operación de cada operador, al ser este un caso oligopólico se debe considerar que las decisiones de cada operador estarán

influenciadas por las decisiones de los demás operadores. Así, cada operador maximiza sus beneficios asumiendo que los demás operadores así lo hacen. Esta condición se sostiene en que se asumirá que en este mercado no existe un líder, en el sentido que un operador decide sus características de precio y operacionales, y luego los demás operadores maximizan sus benéficos tomando en cuenta las decisiones de este operador, sino que se tratará como un juego de movimiento único simultaneo. Debido a que este es un juego entonces donde todos los operadores deciden simultáneamente sus características, con información completa y perfecta sobre la demanda y las características de operación de la competencia (es decir, todos los operadores conocen los parámetros de costos de cada uno de los operadores), el precio generalizado de equilibrio debe cumplir con pareto eficiencia. En otras palabras, el precio generalizado percibido por las navieras debe ser igual para cada operador, pues si uno subiese sus precios, perdería demanda que se iría a los demás operadores, y no sería un equilibrio de Nash. En este sentido, el equilibrio de Nash se aplicará cuando cada operador maximice sus beneficios, tomando en cuenta que los demás operadores también así lo hacen. Matemáticamente, esta condición se materializa en la condición:

$$P_t = p_i^t + \theta * TW(m_i^t, \mu_i^t, \lambda_i^t) = p_j^t + \theta * TW(m_j^t, \mu_j^t, \lambda_j^t) \quad \forall i \neq j \quad (5.40)$$

Queda calcular cual es la demanda percibida por cada operador, pues sus ingresos corresponderán al precio por la demanda percibida. Hay que tomar en cuenta que la demanda total de la industria naviera en el puerto (X_t) para un periodo de estudio corresponderá a la suma sobre las demandas de todos los operadores, de la forma $\sum_i^N x_i^t = X_t$. Por ende, la demanda particular del operador corresponderá a:

$$x_i^t = X_t - \sum_{j \neq i}^N x_j^t \quad (5.41)$$

Reemplazando la en la función de demanda X_t , se obtiene que la demanda percibida del operador i corresponde a:

$$x_i^t = a^t - b^t \rho_t - \sum_{j \neq i}^N x_j^t \quad (5.42)$$

O equivalentemente, a sabiendas que el precio generalizado corresponde al mismo independiente del operador en que una nave se atienda:

$$x_i^t = a^t - b^t [p_i^t + \theta * TW(m_i^t, \mu_i^t, \lambda_i^t)] - \sum_{j \neq i}^N x_j^t \quad (5.43)$$

Considerando todos estos aspectos, el operador i debe maximizar sus propios beneficios, considerando todas las restricciones, las demandas percibidas por los demás operadores, y la condición de pareto eficiencia para el precio generalizado, por lo tanto, el programa de maximización de beneficios del operador i corresponde a:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\{m_i^t, \mu_i^t, \mu_{\max i}^t, p_i^t\}} \pi_{\text{port } i}^t \\ & = \left(a^t - b^t [p_i^t + \theta * TW(m_i^t, \mu_i^t, \lambda_i^t)] - \sum_{j \neq i}^N x_j^t \right) * (p_i^t - r_i^t) \\ & \quad - (\mu_{\max i}^t - \mu_{\max i}^{t-1}) m_i^t * \tau_\mu - m_i^t \mu_i^t \theta_\mu^i - m_i^t \theta_m^i \quad (5.45) \end{aligned}$$

s. a

$$\mu_i^t \leq \mu_{\max i}^t \quad (5.45.1)$$

$$m_i^t \leq M_i \quad (5.45.2)$$

$$\mu_{\max i}^{t-1} - \Delta \leq \mu_{\max i}^t \leq \mu_{\max i}^{t-1} + \Delta \quad (5.45.3)$$

$$\mu_i^t, m_i^t, p_i^t \geq 0 \quad (5.45.4)$$

Del problema 5.45 se puede desprender que cuando el operador maximice sus beneficios, este tendrá en cuenta la repartición de la demanda de los demás operadores. Este concepto es importante, pues muestra que los operadores son reactivos a la competencia.

5.4.2 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE PUERTOS OLIGOPÓLICOS

Lo primero a considerar es que la solución se formulará para el operador i . Para tener una solución general de equilibrio se debe resolver el problema para todos los N operadores portuarios, pues los beneficios de cada operador dependen de las decisiones de los demás operadores. Por lo tanto, se planteará el problema del operador i , y junto a la condición 5.40 se puede resolver para el mercado en general. Por lo tanto el lagrangeano del problema 5.45 corresponde a:

$$\begin{aligned}
L = & - \left(a^t - b^t [p_i^t + \theta * TW(m_i^t, \mu_i^t, \lambda_i^t)] - \sum_{j \neq i}^N x_j^t \right) * (p_i^t - r_i^t) \\
& + (\mu_{\max i}^t - \mu_{\max i}^{t-1}) m_i^t \tau_\mu + m_i^t \mu_i^t \theta_\mu^i + m_i^t \theta_m^i + \lambda_\mu^i (\mu_i^t - \mu_{\max i}^t) \\
& + \lambda_m^i (m_i^t - Mi) + \lambda_{i\Delta 1} (-\mu_{\max i}^{t-1} - \Delta + \mu_{\max i}^t) \\
& + \lambda_{i\Delta 2} (\mu_{\max i}^{t-1} - \Delta - \mu_{\max i}^t)
\end{aligned} \tag{5.46}$$

Las condiciones de primer orden para la maximización de beneficio del operador i corresponden entonces a las derivadas respecto a sus variables de decisión que son particulares, m_i^t , μ_i^t , $\mu_{\max i}^t$, p_i^t .

- Derivada respecto a m_i^t : Es interesante notar que en este caso se obtiene una expresión idéntica al caso de monopolio. Esto hace pensar que en el mercado oligopólico, cada operador maximiza sus beneficios respecto a sus aspectos operacionales solamente según su demanda percibida.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial m_i^t} &= -b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m_i^t} (p_i^t - r_i^t) - \theta_m^i + \lambda_m^i + (\mu_{\max i}^t - \mu_{\max i}^{t-1}) \tau_\mu + \mu_i^t \theta_\mu^i \\
&= 0
\end{aligned} \tag{5.47}$$

$$-b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial m_i^t} (p_i^t - r_i^t) + (\mu_{\max i}^t - \mu_{\max i}^{t-1}) \tau_\mu + \mu_i^t \theta_\mu^i = \theta_m^i - \lambda_m^i \tag{5.48}$$

- Derivada respecto a μ_i^t : Nuevamente la expresión es similar a la del caso monopolístico. El resultado es equivalente, de beneficio marginal igual a costo de oportunidad marginal.

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_i^t} = -b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial \mu_i^t} (p_i^t - r_i^t) - m_i^t \theta_\mu^i + \lambda_\mu^i = 0 \quad (5.49)$$

$$-b^t \theta * \frac{\partial TW}{\partial \mu_i^t} (p_i^t - r_i^t) = m_i^t \theta_\mu^i - \lambda_\mu^i \quad (5.50)$$

- Derivada respecto a $\mu_{max\ i}^t$: En este caso se obtiene una condición lineal respecto a los precios sombra y el costo marginal del aumento en capacidad máxima. Los parámetros son particulares para cada operador.

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{max\ i}^t} = -\tau_\mu - \lambda_\mu^i + \lambda_{i\Delta 1} - \lambda_{i\Delta 2} = 0 \quad (5.51)$$

- Derivada respecto a p_i^t : En este punto se aprecia una diferencia importante respecto a los casos anteriores, en relación al comportamiento de la tarifa óptima del operador i . Cabe notar que el precio es reactivo a la demanda percibida por los demás operadores, y tomando en cuenta de que los precios generalizados son siempre los mismos, independiente del operador, esta corresponde a una curva de reacción entre precio y la repartición de la demanda.

$$\frac{\partial L}{\partial p_i^t} = a^t - 2b^t p_i^t - b^t \theta * TW(m_i^t, \mu_i^t, \lambda_i^t) + b^t r_i^t - \sum_{j \neq i}^N x_j^t = 0 \quad (5.52)$$

$$p_i^t = \frac{a^t + b^t r_i^t - b^t \theta * TW(m_i^t, \mu_i^t, \lambda_i^t) - \sum_{j \neq i}^N x_j^t}{2b^t} \quad (5.53)$$

Se agregan además las condiciones de las variables de holgura para el operador particular. Añadiendo estas condiciones, y resolviendo el problema para todos los operadores tomando en cuenta la condiciones de pareto eficiencia 5.40, se obtiene la demanda de cada operador, y sus características de operación, además del beneficio de los consumidores.

$$\lambda_\mu^i (\mu_i^t - \mu_{max\ i}^t) = 0 \quad (5.54)$$

$$\lambda_m^i (m_i^t - Mi) = 0 \quad (5.55)$$

$$\lambda_{i\Delta 1} (-\mu_{max\ i}^{t-1} - \Delta + \mu_{max\ i}^t) = 0 \quad (5.56)$$

$$\lambda_{i\Delta 2} (\mu_{max\ i}^{t-1} - \Delta - \mu_{max\ i}^t) = 0 \quad (5.57)$$

5.5 EQUILIBRIOS POSIBLES A LO LARGO DEL PERIODO DE CONCESIÓN.

Retomando la idea de estrategias detonantes descritas en el capítulo 4, y obteniendo los beneficios directos asociados a los equilibrios de monopolio, óptimo social y oligopolio, es necesario entender cuando se dará cada equilibrio. Evidentemente, el óptimo social no se dará espontáneamente, pues las empresas portuarias buscarán maximizar sus propios beneficios. Por lo tanto, se darán dos escenarios posibles. El primero, donde existen las N empresas que compiten por el mercado, actuando según la regla de oligopolio, obteniendo entonces los beneficios derivados de las condiciones de la resolución de beneficios particulares del punto 5.4.2, con las ecuaciones 5.48 a 5.57.

La segunda alternativa corresponde a un escenario donde las empresas portuarias se coordinan para cobrar las tarifas y operar con los niveles de servicio monopólicos. En este sentido, finalmente cada empresa se reparte los beneficios correspondientes a la cantidad de sitios de atraque totales que cada una posea. En realidad, pueden darse formas intermedias de colusión, por ejemplo donde sólo algunos operadores se unan como uno sólo para obtener mayor poder de mercado, pero para los alcances de esta tesis no serán considerados. Por lo tanto, los beneficios de cada agente (navieras y operadores portuarios), se identificarán en la Tabla 5.1.

	Colusión de puertos monopolítico	Máximo Beneficio social	Competencia oligopólica
Beneficio Operador i	π_{Pi}^M	π_{Pi}^S	π_{Pi}^O
Beneficio Naviera	π_N^M	π_N^S	π_N^O

Tabla 5-1: Nomenclatura de beneficios según tipo de equilibrio.

Debe considerarse que para el caso de competencia oligopólica el beneficio de cada empresa corresponde a simplemente el $\pi_{port i}^t$ descrito en el apartado 5.4, y entonces, a efectos de la nomenclatura, $\pi_{port i}^t = \pi_{Pi}^O$. Para los casos de π_{Pi}^M y π_{Pi}^S , estos corresponden al beneficio de los operadores en los casos de monopolio y óptimo social respectivamente, ponderados por la cantidad de sitios de atraque que opere el concesionario i . Esto corresponde a:

$$\pi_{Pi}^M = \frac{Mi}{M} * \left[\pi_{monopolico}^{t \quad port} \right] \quad (5.58)$$

$$\pi_{Pi}^S = \frac{Mi}{M} * \left[\pi_{maxsocial}^{t \quad port} \right] \quad (5.59)$$

Los esquemas de estrategias detonantes para modelar el comportamiento o no de colusión se formularán en dos diferentes resultados posibles, cada uno castigando la colusión a niveles monopolíticos de dos formas distintas. El primer esquema impondrá una multa a las empresas por no competencia, y un segundo método obligará a las empresas a producir al nivel de óptimo social en el caso de colusión. A continuación se explicarán estos esquemas con mayor detalle.

Es importante mencionar que para ambos esquemas, es necesario que las decisiones sean compartidas por todos los operadores, por ejemplo, si los operadores deciden coludirse, esta decisión debe ser óptima para todos los operadores simultáneamente.

1) Multa por colusión.

Primero, se supone que sin regulación los operadores se comportarán según la competencia monopólica, con beneficios $\pi_{P_i}^O$. En este esquema, existe un ente regulador el cual con una probabilidad p es capaz de detectar una colusión de parte de las empresas portuarias tal que ellas son capaces de producir a niveles monopólicos, y sus beneficios entonces corresponden a $\pi_{P_i}^M$.

Cuando la colusión es detectada, entonces los productores se ven obligados a volver a competir oligopólicamente y se les cobra a cada uno una multa \mathbf{M} . Por lo tanto, para cada operador i , la decisión de coludirse o no vendrá dada por que le conviene más, arriesgarse a la multa para obtener beneficios monopólicos, o seguir en una competencia de mercado. Si el ente regulador demora m periodos en darse cuenta de la colusión, entonces no coludirse será óptimo sólo si

$$\sum_{k=0}^T \delta^k \pi_{P_i(k)}^O > \sum_{m=0}^T \left[\sum_{k=0}^{L-1} \delta^k \pi_{P_i(k)}^M - \delta^L \mathbf{M} + \sum_{k=L}^T \delta^k \pi_{P_i(k)}^O \right] P(m=L) \quad (5.60)$$

2) Castigo de beneficio social por colusión.

Nuevamente, se supone que sin regulación los operadores se comportarán según la competencia monopólica, con beneficios $\pi_{P_i}^O$. También existe un ente regulador que con una probabilidad p es capaz de detectar una colusión de parte de las empresas portuarias tal que ellas son capaces de producir a niveles monopólicos, y sus beneficios entonces corresponden a $\pi_{P_i}^M$. Cuando la colusión es detectada, el ente regulador obliga a las empresas a producir al nivel de máximo beneficio social, obteniendo estos un beneficio $\pi_{P_i}^S$. Nuevamente, si el operador demora m periodos en detectar la colusión, la competencia oligopólica será óptima sólo si

$$\sum_{k=0}^T \delta^k \pi_{P_i(k)}^O > \sum_{m=0}^T \left[\sum_{k=0}^{L-1} \delta^k \pi_{P_i(k)}^M + \sum_{k=L}^T \delta^k \pi_{P_i(k)}^S \right] P(m=L) \quad (5.61)$$

6 RESOLUCIÓN DE LOS MODELOS DE COMPETENCIA INTRAPORTUARIA

6.1 SUPUESTOS Y PARÁMETROS DE LOS MODELOS

6.1.1 SUPUESTOS MATEMÁTICOS DE LOS MODELOS

En esta sección se mostrará el resultado de los modelos propuestos en el capítulo anterior, aplicando valores para los parámetros, obteniéndose una resolución numérica. Cabe destacar que para la solución numérica de los modelos hay que tomar consideraciones adicionales a las tomadas a la solución analítica, en especial con respecto a las capacidades de servicio de cada uno de los operadores. Adicionalmente, existen particularidades en las soluciones de los modelos que pueden arrojar resultados irrealistas, como por ejemplo demandas negativas, si no existe un cuidado adicional para la modelación. En primer lugar se resolverán los modelos de optimización referentes a los objetivos de maximización de beneficio privado, maximización de beneficio social y competencia oligopólica, y luego de una discusión de los resultados obtenidos, se evaluarán estos en pos de determinar si la competencia intraportuaria es un equilibrio de Nash de largo plazo, o si por el contrario, la tendencia será a una colusión por parte de las empresas para producir el servicio y cobrar a niveles monopólicos.

Por otro lado, para que la resolución numérica pueda ser resuelta con métodos numéricos que no requieran una potencia computacional demasiado elevada, se han propuesto una serie de supuestos simplificadores, de forma que la resolución de los modelos no contengan elementos que compliquen la solución innecesariamente. Los principales supuestos y consideraciones que se tomaron fueron los siguientes:

- Supuestos sobre la función de tiempo de espera: La función de tiempo de espera utilizada en el modelo corresponde a la función clásica del modelo M/M/s, el cual toma llegadas a la terminal portuaria con una tasa de llegada λ (*barcos/año*), una

tasa de atención μ (barcos/año) en cada uno de los sitios de atraque y m sitios de atraque en la terminal portuaria. Tanto la tasa de llegada como de atención para este modelo se asumen markovianas, es decir, que siguen una distribución del tipo Poisson. La fórmula del tiempo de espera, tomando en cuenta tanto el tiempo en cola como el tiempo en la operación de carga y descarga corresponde a:

$$TW(\mu, m, \lambda) = \frac{[\lambda/\mu]^2}{\lambda * m * m! * \left[1 - \frac{\lambda}{m * \mu}\right]^2} * Po(\mu, m, \lambda) + \frac{1}{\mu} \quad (6.1)$$

donde Po representa la probabilidad de que el sistema se encuentre desocupado, y tiene como expresión correspondiente:

$$Po(u, m, \lambda) = \left[\sum_{s=0}^{m-1} \left[\frac{[\frac{\lambda}{\mu}]^s}{s!} \right] + \frac{[\frac{\lambda}{\mu}]^m}{m! \left(1 - \frac{\lambda}{m * \mu}\right)} \right]^{-1} \quad (6.2)$$

Para que esta función de tiempos de espera tenga un comportamiento correcto, es necesario que se cumpla la condición de $m * \mu > \lambda$, pues a medida de que la tasa de atención se acerca a la tasa de llegada, los tiempos de espera se acercan asintóticamente a infinito, y en el caso de que la tasa de atención sea menor a la tasa de llegada, la función arroja tiempos de espera negativos o sin sentido. Por lo tanto, la elección óptima de las tasas de atención y la cantidad de sitios de atraque para los problemas de optimización deben cumplir esta restricción operativa adicional.

- Sobre la tasa de llegada en el periodo t: El supuesto que se tomó para estos efectos, es que la tasa de llegada de barcos al puerto para el periodo t corresponde a la demanda total del periodo $t-1$. Este supuesto se basa en dos razones. La primera, es que el tiempo de espera corresponde a una función de los parámetros de tasa de atención, tasa de llegada y sitios de atraque disponibles. El problema reside en que la demanda es una función del tiempo de espera, y la tasa de llegada al puerto en el periodo t corresponde a la demanda del periodo t , por lo que la resolución se torna en

un problema de punto fijo, donde la demanda depende de sí misma. La resolución de un problema de punto fijo es computacionalmente difícil de resolver y tomando en cuenta la complejidad de las funciones de tiempo de espera, este problema requiere una capacidad computacional muy elevada y algoritmos de solución demasiado complejos. Tomando en cuenta que los parámetros de demanda son relativamente poco oscilatorios en el tiempo, asumir que la tasa de llegada corresponde a la demanda del periodo anterior no tiene altos impactos en los resultados generales del modelo, y soluciona el problema del punto fijo, pues significa que la demanda del periodo $t-1$ es conocida, y por lo tanto lo es la tasa de llegada del periodo t . Por lo tanto, la función de demanda para el periodo t queda como:

$$X_t = \begin{cases} a^t - b^t P & \text{si } \frac{a^t}{b^t} \geq P_t \\ 0 & \text{si } \frac{a^t}{b^t} < P_t \end{cases} \quad \text{con } P_t = P_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, X^{t-1}) \quad (6.3)$$

• Sobre la integralidad de los sitios de ataque m^t : Para el número de sitios de ataque, se debe considerar, más que ser un supuesto, que estos corresponden a un número entero. Analíticamente, es posible derivar las funciones de beneficio con respecto a este parámetro para obtener el número de sitios de ataque óptimo. Sin embargo, la función de tiempo de espera no tiene una derivada continua con respecto a m^t , pues este es una cota de una sumatoria. Por lo tanto, para la resolución del modelo, se resolvieron los problemas de maximización con respecto a las demás variables dejando fijo el número de sitios de ataque utilizados, y obteniendo los parámetros óptimos de precio, y capacidades de atención para cada número de sitios de ataque. Por lo tanto, el valor óptimo de m^t corresponderá al que genere mayores beneficios tomando en cuenta que el parámetro $m^t \in Z^+$. Analíticamente, la resolución corresponderá a:

$$\pi^*(m^t, \tilde{\mu}^t, \tilde{p}_t, \tilde{\mu}_{max}^t) = \text{Max}_i \pi^*(i, \tilde{\mu}^t, \tilde{p}_t, \tilde{\mu}_{max}^t) \quad \text{con } m^t = i \quad (6.4)$$

• Crecimiento lineal de los parámetros a^t , b^t y r^t : Para el valor de los parámetros de la función de demanda de las navieras y el parámetro de costo marginal por atención unitaria de los puertos, se tomó un valor inicial para cada uno que crece porcentualmente en un valor $(1 + \varphi_k)$ constante en el tiempo. Por ende, los valores de estos parámetros en cualquier instante del tiempo se obtienen como:

$$a^t = a^0 * (1 + \varphi_a)^{t-1} \quad (6.5)$$

$$b^t = b^0 * (1 + \varphi_b)^{t-1} \quad (6.7)$$

$$r^t = r^0 * (1 + \varphi_r)^{t-1} \quad (6.8)$$

6.1.2 SUPUESTOS SOBRE LOS PARÁMETROS UTILIZADOS

Los parámetros utilizados para la resolución de los modelos corresponden a una serie de valores que fuesen lo suficientemente simples como para no entorpecer la comprensión de los resultados de cada modelo, y que sus magnitudes fueran realistas. Estos valores no corresponden a valores reales tomados de algún estudio anterior, por lo que no representan el estado económico de un puerto en particular, y tienen sólo fines ilustrativos. La idea de estos valores es que hagan que la comprensión de los resultados sea lo más evidente al lector, de manera de que si así lo desea, pueda utilizar el modelo para representar algún caso con valores reales, cuando este los posea.

En detalle, se asumió un puerto con un total de doce sitios de atraque, donde existen dos operadores distintos. El primer operador (operador uno) tiene a su disposición un total de siete sitios, mientras que el segundo operador (operador dos) maneja los cinco sitios restantes. Existe un set de datos correspondientes a $t=0$, en la Tabla 6.1, que dictan la evolución de los periodos posteriores. Este set es fundamental pues se necesitan los valores de μ_{max}^0 y de λ^0 para poder resolver los modelos. Para los valores de los parámetros de la demanda, se eligió un intercepto de 4,380 (a^0) mientras que la componente b^0 es de 0.3218. Estos parámetros fueron elegidos bajo el supuesto de que el precio generalizado máximo a pagar por las navieras para su

operación es de a^0/b^0 , es decir cuando la demanda intercepta con el eje del precio, y corresponde a un precio generalizado máximo de 13,611\$. El valor del máximo de naves, es decir el intercepto con el eje de la cantidad demandada, de 4,380 naves al año, se justifica en que este es el máximo de barcos que llegarían al puerto ocupando los doce sitios de atraque, si la tasa de atención es de un día, durante los 365 días del año. En ese caso, la tasa de atención sería igual a la tasa de llegada, y por lo tanto, el sistema colapsaría.

El crecimiento de los valores a, b y r será a un 1% constante durante todo el periodo de concesión, que se tomó de 20 años. La tasa de descuento para la obtención de los valores actuales netos de los beneficios durante el periodo de concesión se tomó de un 10%. El valor del tiempo de espera se asumió de 1,000\$ por día de espera. Si bien es cierto que el valor es relativamente bajo considerando los costos de oportunidad de las naves, el valor resulta útil para que el análisis se pueda comprender con valores simples, que resulten fáciles de comparar con los precios generalizados y las tarifas.

El costo marginal de atención de los operadores portuarios corresponde a 2,000\$ por nave (r), independiente del operador, mientras que los costos de operar con un nivel de servicio μ o inversión en aumentar el nivel de servicio máximo a μ_{max}^t corresponde a \$200 por unidad de capacidad anual. El costo anual de mantener un sitio de atraque operativo corresponde a 20,000\$, por los conceptos de mantención y administración. Por último, el valor máximo del cambio de capacidad de atención máxima durante un año se fijó en 150 naves anuales (Δ) para introducir una variable de capacidad tecnológica que pueda tener impacto en las capacidades de atención futuras. Una consideración importante es que independiente del operador los parámetros de costos son los mismos, de forma que las diferencias en las soluciones de cada uno se deban solamente al comportamiento oligopólico y no a diferencias en sus parámetros operativos. El resumen de los parámetros utilizados se puede consultar en la Tabla 6.1.

Parámetro	Unidades	Valor
a^0	[Naves/Año]	4,380
b^0	[Naves/(Año*\$)]	0.3218
r^0	[\$/Nave]	\$2,000
φ_a	Sin unidad	0.01
φ_b	Sin unidad	0.01
φ_r	Sin unidad	0.01
θ	[\$/Día]	\$1,000
Δ	Sin unidad	150
τ_μ	[\$/(Naves/Año)]	\$200
θ_μ	[\$/(Naves/Año)]	\$200
θ_m	[\$/Sitio]	\$20,000
μ_{max}^0	[Naves/Año]	1,200
λ^0	[Naves/Año]	2,000

Tabla 6-1: Lista de parámetros a utilizar en el modelo.

6.2 MÉTODO DE RESOLUCIÓN

Para la resolución de los modelos se utilizó la herramienta de manejo matemático “Maple 14” de la compañía Maplesoft. Con este fin se realizó un cálculo iterativo para todo el periodo de concesión, y un algoritmo de búsqueda de ceros en un sistema de ecuaciones con aritmética de punto flotante. El algoritmo de solución se detalla a continuación, y la aplicación computacional del mismo puede consultarse en los Anexos A.1, A.2 y A.3.

Paso 1: Fijar el periodo de estudio T .

Paso 2: Fijar el número de sitios de atraque a utilizar m (o m_1 y m_2 en el caso de duopolio).

Paso 3: Con los parámetros de costos y operacionales del periodo T , calcular con aritmética de punto flotante la solución a las condiciones de KKT para cada uno de los modelos. De acá se obtienen los precios, capacidades de operación, demandas y beneficios para el periodo. Además se toma la capacidad máxima del periodo anterior para crear el Lagrangiano.

Paso 4: Revisar para que cantidad de sitios de atraque m se obtienen los mayores beneficios, mientras cumplan las condiciones de consistencia para los tiempos de espera, $u^*m > \lambda$. Los parámetros óptimos se guardan en una lista, y se hace $\lambda(T + 1) = X(T)$.

Paso 5: Avanzar a $T+1$ y volver al paso 1.

La aplicación de este algoritmo arroja finalmente el set de precios, sitios de atraque y tasa de atención operacional y máxima óptima, que son las decisiones del operador, junto a los multiplicadores de LaGrange correspondientes para cada periodo de operación. Adicionalmente, la consistencia está asegurada debido a que las funciones de beneficios son convexas, y a que se elige la cantidad de sitios de atraque a utilizar mediante una comparación simple, y así obteniendo m^t . Con esto es posible calcular los beneficios portuarios, los excedentes de las navieras, la demanda de naves, los beneficios sociales y los tiempos de espera promedio.

6.3 RESOLUCIÓN DE LOS MODELOS

6.3.1 RESOLUCIÓN DEL MODELO CON PUERTO MONOPÓLICO

Primero se aplicó el algoritmo en el caso de maximización privada de beneficios a nivel monopólico. De esto se obtuvo una tarifa promedio en el periodo de concesión de 7,829\$. Como se puede observar en la Figura 6.1, estos precios tienden a crecer en el tiempo con una tasa bastante poco variable. Este precio es relativamente alto comparado con los costos marginales de operación, siendo aproximadamente un 355% por ciento mayor. En promedio existieron aproximadamente 8 sitios de atraque abiertos para operación, lo que corresponde a un 66.6% de utilización del máximo

de sitios disponibles. Este valor se debe a que debido a que los precios de atención por nave son tan altos, la única forma de no perder la demanda es manteniendo bajos los tiempos de espera, debido a que el costo de realizar esta acción se compensa en los ingresos extra por el ítem de ingresos por naves servidas. Los pequeños saltos que se observan corresponden a los cambios en la cantidad de sitios de atraque utilizados (ver Anexo B.1)

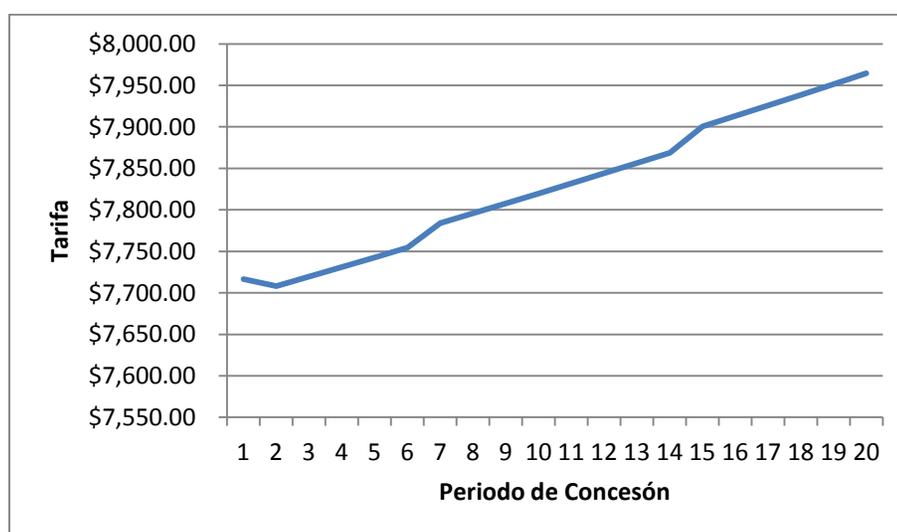


Figura 6-1: Evolución del precio en puerto monopolístico.

Como era de esperar, los beneficios portuarios son altos, en comparación a los beneficios de las navieras. En la Figura 6.2 se muestran los beneficios actuales netos obtenidos por cada agente, y los beneficios sociales durante todo el periodo de concesión. Los tiempos de espera promedio fueron de 0.54 días, mientras que la demanda promedio fue de 1,939 naves anuales. La tasa de atención resultó ser de 676.21 barcos al año por sitio de atraque, y tomando en cuenta la cantidad de sitios de atraque, la capacidad de atención total del puerto corresponde a 5,376 barcos al año. La evolución de las tasas de atención se puede consultar en la Figura 6.3, donde los saltos en ésta se deben a los cambios en la cantidad de sitios operativos. La Tabla 6.2 resume los principales resultados promedios durante el periodo de concesión y

los beneficios totales, mientras que los resultados específicos por periodo se pueden consultar en el Anexo B.1.

Ítem	Valor
Beneficios puerto	\$ 82,807,445.35
Beneficios Navieras	\$ 46,865,687.13
Beneficio Social	\$ 129,673,132.47
Tarifa	\$ 7,828.80
Tasa de atención	676.211
Tasa máxima	1,042.500
Demanda	1939.81
Tasa de Ocupación Promedio	66.25%
Tiempo de espera	0.54

Tabla 6-2: Resultados principales en puerto monopolístico.

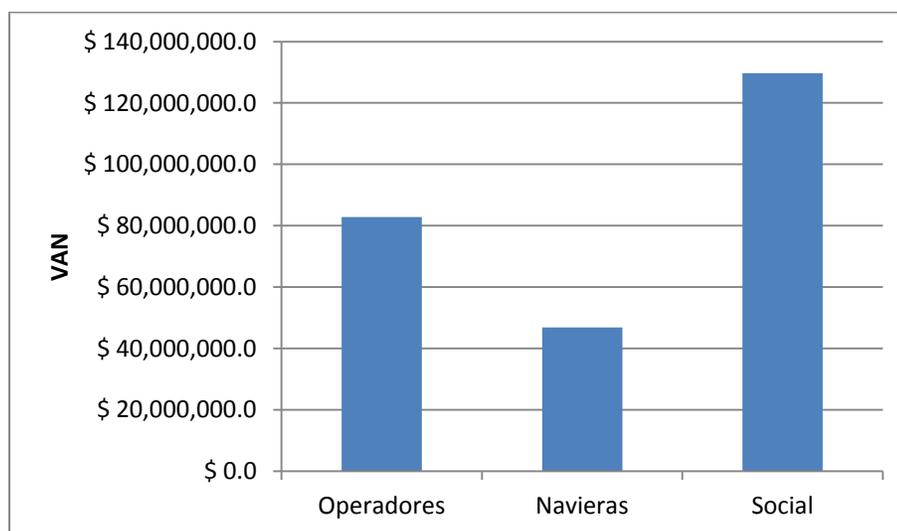


Figura 6-2: Beneficios netos en puerto monopolístico.

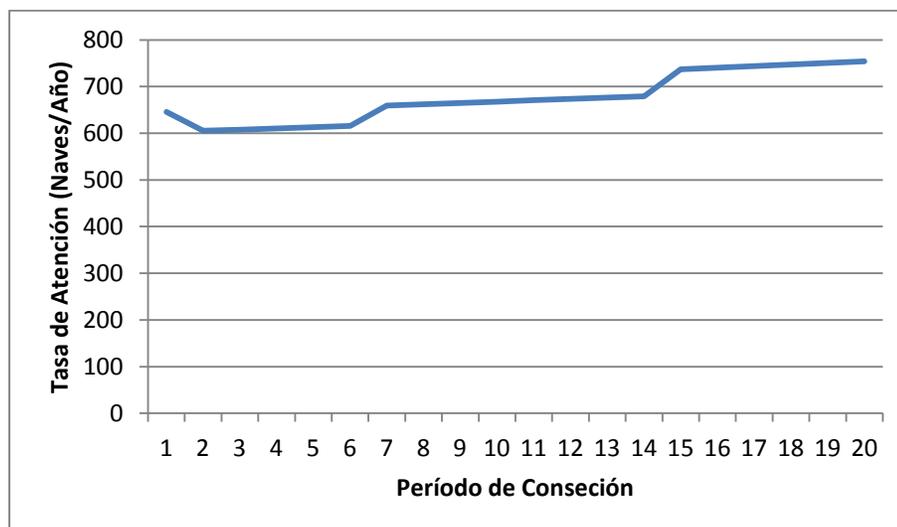


Figura 6-3: Evolución de la tasa de atención en puerto monopolístico.

6.3.2 RESOLUCIÓN DEL MODELO CON MÁXIMO BENEFICIO SOCIAL

Aplicando el algoritmo de solución al problema de máximo beneficio social, es decir que la suma de los beneficios de los operadores portuarios y las navieras sea máxima, se obtuvieron los resultados para cada periodo de concesión. La tarifa promedio para este escenario resultó ser de 2,201\$, siendo considerablemente bajo tomando en cuenta los costos marginales de operación. La evolución de estos precios se puede consultar en la Figura 6.4. La tendencia de crecimiento se observa lineal sin sobresaltos, debido a que no hay cambios en la cantidad de sitios de atraque operativos a lo largo del tiempo (sólo en el primer período existe un cambio). Es observable además que estos precios tienen una tendencia de crecimiento muy similar a los costos marginales, y sus valores son muy parecidos al costo marginal. Este es uno de los resultados clásicos para la maximización de beneficio social, donde el precio corresponde al costo marginal, sólo con pequeñas desviaciones debido a las componentes de operación y tiempos de espera.

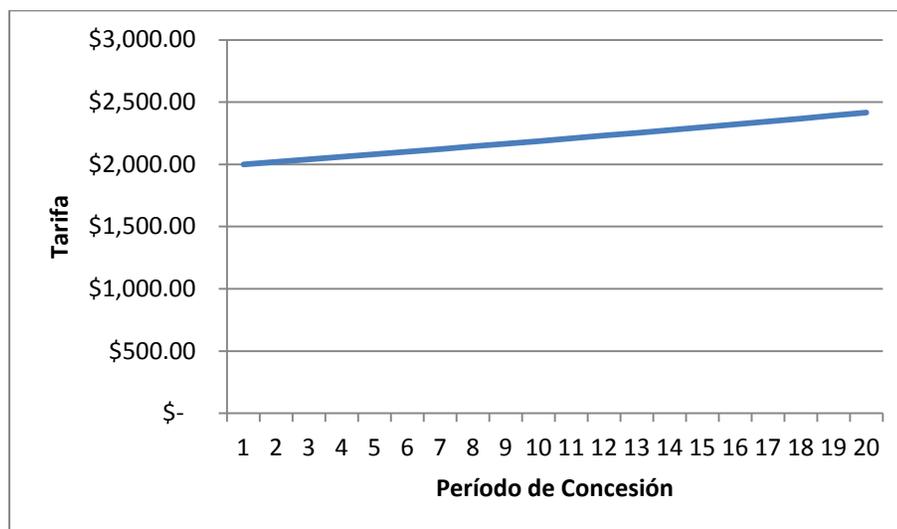


Figura 6-4: Evolución del precio por máximo beneficio social.

Los beneficios actuales netos obtenidos por cada agente, y los beneficios sociales pueden consultarse en la Figura 6.5. Destaca el hecho de que los beneficios portuarios son negativos, significando esto que en escenario de máximo beneficio social los puertos no alcanzan a cubrir sus costos, en particular por las economías de escala que existen, y como se explicó anteriormente, los altos costos fijos implican que los costos marginales son menores a los costos medios, y por lo tanto, los puertos no pueden autofinanciarse. Es posible alcanzar una solución de Second Best aplicando una restricción adicional de que los beneficios de los puertos no pueden ser menores a cero, y esto se puede lograr con tarifaciones en dos partes o tarifaciones del tipo Ramsey, las cuales han sido abordadas ampliamente en la literatura. Una importante consideración es que la tasa de atención óptima es bastante alta, pero no existe una utilización máxima de los sitios de atraque. De hecho, la tasa es tan alta que justifica la inversión en el aumento de capacidad máxima, siendo este un costo extra para las empresas portuarias.

En promedio, la tasa de atención resultó ser de 1,208 barcos al año, con aproximadamente 5 sitios de atraque utilizados en promedio, lo que es menor al 41% de la capacidad disponible. En este caso, es más barato aumentar las capacidades que mantener nuevos sitios en costos anuales. La capacidad operativa del puerto resulta ser de 5.921 barcos anuales, con tiempos de espera promedio de 0.36 días y la demanda promedio corresponde a 3,941 barcos al año. En la Figura 6.7 se puede apreciar la evolución de las tasas de servicio, la que tiene un tiempo de ajuste en los primeros periodos al cambiarse la cantidad de sitios de atraque operativos, hasta lograr una tasa de crecimiento constante, mientras que los principales resultados se exponen en la Tabla 6.3. Los resultados desagregados para todo el periodo de concesión se encuentran en el Anexo B.2.

Item	Valor
Beneficios puerto	-\$ 10,976,372.59
Beneficios Navieras	\$ 193,900,784.39
Beneficio Social	\$ 182,924,411.80
Precio	\$ 2,201.90
Tasa de atención	1208.414
Tasa máxima	1208.414
Tasa de Ocupación Promedio	40.83%
Demanda	3940.80
Tiempo de espera	0.36

Tabla 6-3: Resultados principales por máximo beneficio social.

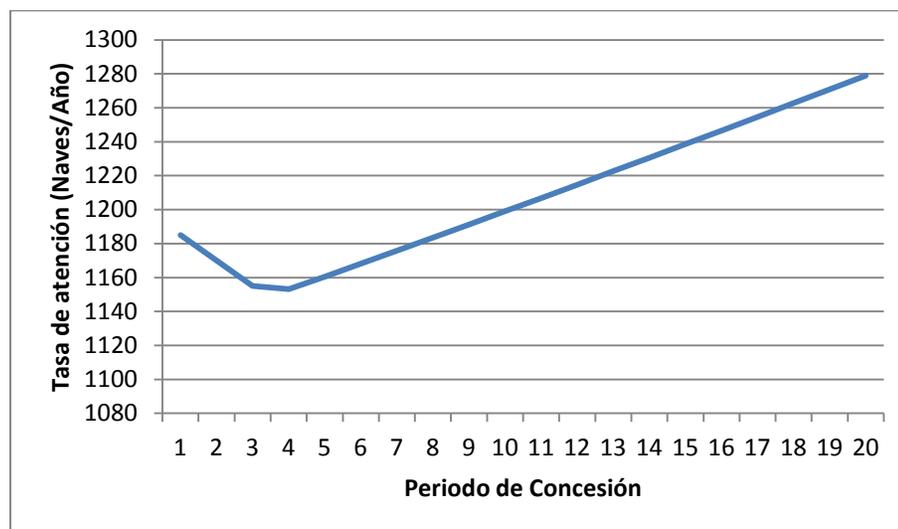


Figura 6-6: Evolución la tasa de atención por máximo beneficio social.

6.3.3 RESOLUCIÓN DEL MODELO CON COMPETENCIA OLIGOPÓLICA

La solución de este modelo es un tanto más complicada desde el punto de vista computacional, pues por cada operador extra, se dobla la cantidad de ecuaciones a resolver por el sistema de punto flotante. Éste es el motivo principal por el cual se tomaron sólo dos operadores para representar la situación de oligopolio. A pesar de eso, los resultados obtenidos representan suficiente información como para obtener conclusiones importantes respecto al comportamiento oligopólico en puertos.

Primero, se puede observar en este caso que los beneficios de cada operador son positivos, es decir, la competencia induce a que los operadores de todas formas se encuentren en una situación de maximización de beneficio privado, donde la mayor diferencia con respecto al caso monopólico es que sus variables operativas son reactivas a las decisiones tomadas por la competencia. En la Figura 6.8 se puede observar la suma total de los beneficios para ambos operadores, las navieras y el beneficio social.

La tarifa promedio de atención corresponde a 6,050\$ para el operador uno y 5,889\$ para el operador dos. Se puede apreciar que las tarifas son bastante similares, y las

diferencias se dan fundamentalmente por la tasa de llegada inicial, que se repartió proporcionalmente a los sitios de atraque máximos disponibles por cada operador. En la Figura 6.7 se presenta la evolución de los precios de atención para cada operador, donde se puede notar nuevamente el ajuste de la tasa de atención en el operador dos, correspondiente a la apertura de nuevos sitios de atraque operativos, en los períodos dos y cinco, respectivamente.

En lo referente a los tiempos de espera, estos resultaron en promedio de 0.41 y 0.58 días para el operador uno y el operador respectivamente. El operador uno tuvo 2 sitios de atraque operativos en promedio con una tasa de atención promedio de 1,230.4 barcos al año, mientras que el operador dos tuvo en promedio 3.75 sitios abiertos a la operación con una tasa de atención promedio de 714 barcos al año. Esto da una capacidad total de atención del puerto de 5,138 barcos al año. En la Figura 6.8 se puede apreciar la evolución de estas tasas a lo largo del tiempo, donde los aumentos de sitios de atraque operativos del operador dos explican sus caídas de las tasas de atención. Los resultados promedio principales se encuentran en la Tabla 6.4, mientras que los resultados desagregados para todo el ejercicio se encuentran en el anexo B.3

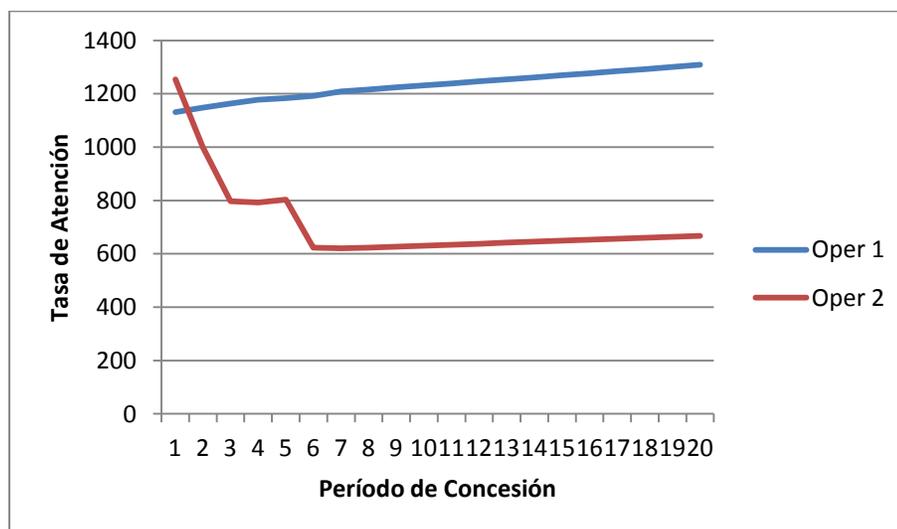


Figura 6-7: Evolución la tasa de atención en competencia oligopólica.

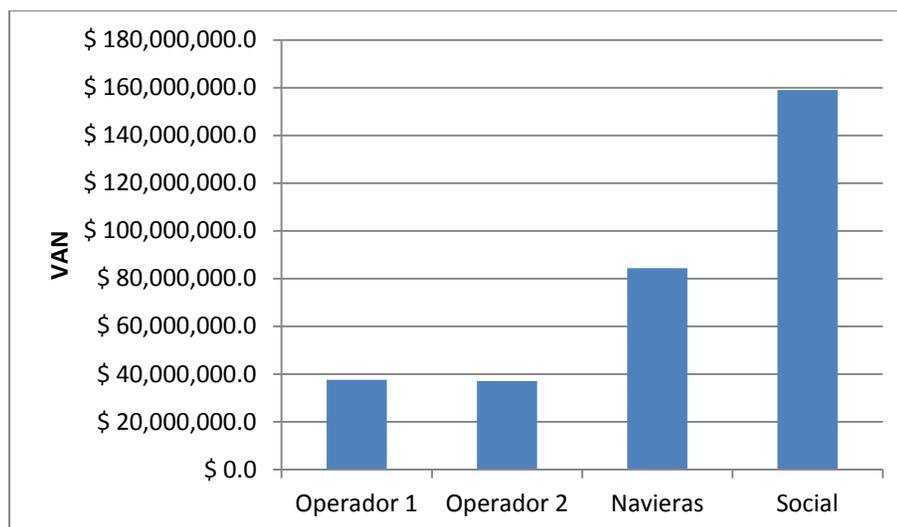


Figura 6-8: Beneficios netos en competencia oligopólica.

Item	Valor
Beneficios Operador 1	\$ 37,550,516.51
Beneficios Operador 2	\$ 37,085,188.70
Beneficios Navieras	\$ 84,424,305.18
Beneficio Social	\$ 159,060,010.38
Precio Operador 1	\$ 6,050.00
Precio Operador 2	\$ 5,889.02
Tasa de atención Op 1	1230.42
Tasa de atención Op 2	714.05
Tasa máxima Op 1	1230.42
Tasa máxima Op 2	727.70
Tasa de Ocupación Promedio Op1	28.57%
Tasa de Ocupación Promedio Op2	75.00%
Demanda Op 1	1325.09
Demanda Op 2	1268.44
Tiempo de espera Op 1	0.41
Tiempo de espera Op 2	0.58

Tabla 6-4: Resultados principales en competencia oligopólica.

6.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Primero, cabe destacar que los resultados numéricos obtenidos se ajustan a la teoría en el aspecto de los beneficios (eso era de esperarse). Los mayores beneficios sociales se dieron en el caso de optimización por máximo beneficio social, seguidos por los beneficios por competencia oligopólica y finalmente los beneficios sociales resultaron menores en el caso de colusión monopólica. El orden de los beneficios de los operadores portuarios es el inverso, donde la situación de monopolio es donde sus beneficios son máximos, mientras que los más bajos se dan al nivel de máximo beneficio social, correspondiendo estos a pérdidas financieras por parte de los operadores. Una particularidad interesante es que los resultados en términos de beneficios de las navieras son bastante similares en el caso de competencia monopólica y en competencia oligopólica, siendo solamente un 10.9% mayores en el primer caso que en segundo, pero los beneficios sociales tienen una diferencia importante, de un 22.66%. Esto puede apuntar a que pasar de competencia monopólica a competencia oligopólica sugiere una disminución no tan alta en los beneficios del puerto, pero traduciéndose en un gran aumento del beneficio social. En la Figura 6.9 se pueden verificar los beneficios comparativos de los tres modelos.

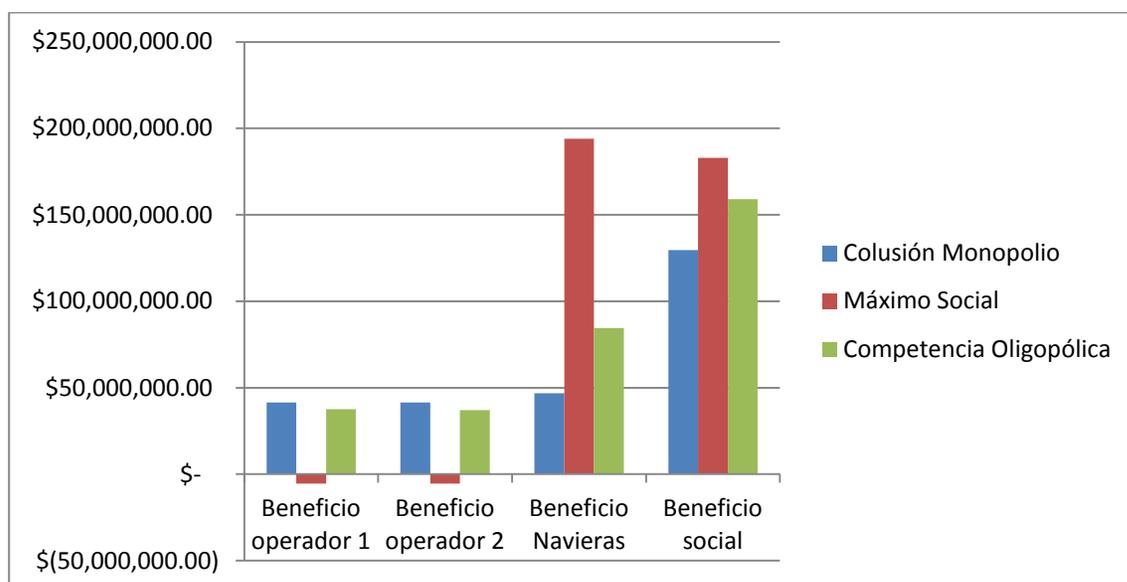


Figura 6.9: Resultados financieros por escenario.

En otros aspectos, las tarifas resultaron ser bastante constantes en el tiempo, y siguiendo una tendencia al aumento que rondó el 1.001% para el caso de máximo beneficio social, un 0.1670% para el caso monopolístico y un 0.2117% para el caso oligopólico. Los precios más altos se encontraron en el escenario de máximo beneficio monopolístico, con una tarifa promedio de 7,828\$, la cual resultó ser 355% más alta que la tarifa mínima, correspondiente a 2,202\$, del caso de máximo beneficio social. Las tarifas de cada operador oligopólico se encontraron en un punto intermedio entre estas dos tarifas extremas, siendo estos de 6,050\$ para el operador uno y 5.899\$ para el operador dos, y corresponden a un 77.2% y 75.2% de la tarifa de monopolio, respetivamente. La evolución comparativa éstas se puede consultar en la Figura 6.10.

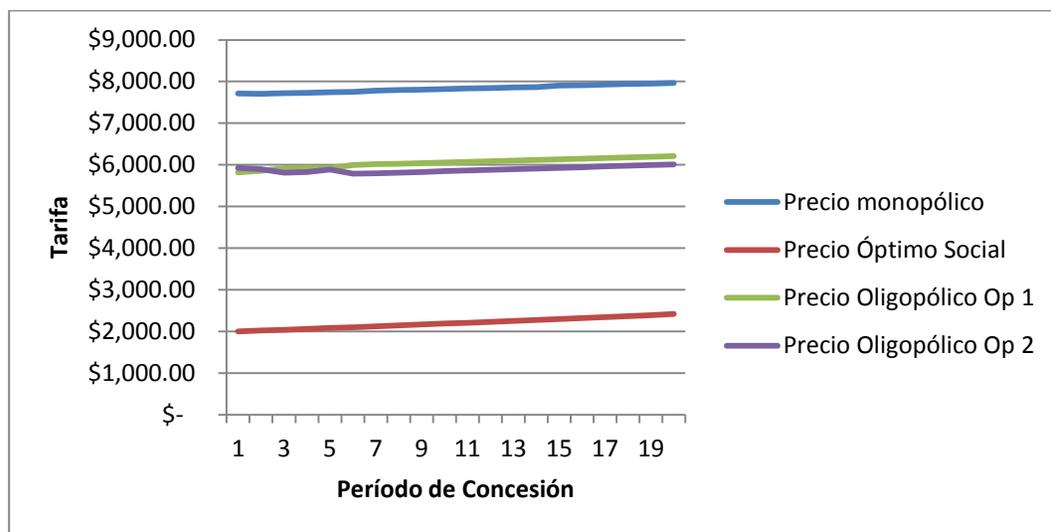


Figura 6-10: Evolución de los precios por escenario.

Respecto a los tiempos de espera, existe un fenómeno contra intuitivo. Se esperaba que los mayores tiempos de espera existiesen en el mercado monopolístico, sin embargo estos se encuentran en el escenario de de competencia oligopólica. Esto sucede porque el precio percibido es el generalizado, y por lo mismo, menores precios pueden ser compensados con mayores tiempos de espera, pues existe un trade off entre ambos factores. De hecho, para el operador dos los tiempos de espera son los menores, incluso más bajos que en los del escenario de máximo beneficio social.

En resumen, los tiempos de espera en el oligopolio son menores para un operador y mayores que el otro sensiblemente, y esto se origina en el hecho de que el precio generalizado percibido debe ser idéntico para cada operador como un supuesto del modelo, y por lo tanto, el que cobre mayores tarifas debe tener menores costos por concepto de espera. La evolución de los tiempos de espera se encuentra en la Figura 6.11. La cantidad de sitios operativos en el puerto para cada situación se exhiben en la Figura 6.12, donde se puede apreciar que la situación de máximo beneficio

privado es la que requiere una mayor capacidad en el puerto, mientras que la menor es la correspondiente a la situación de máximo beneficio social.

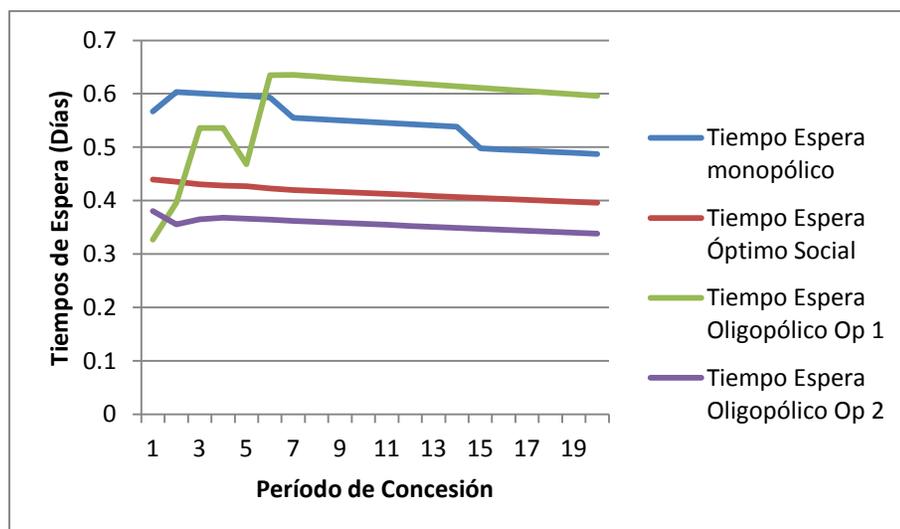


Figura 6-11: Evolución de los tiempos de espera por escenario.

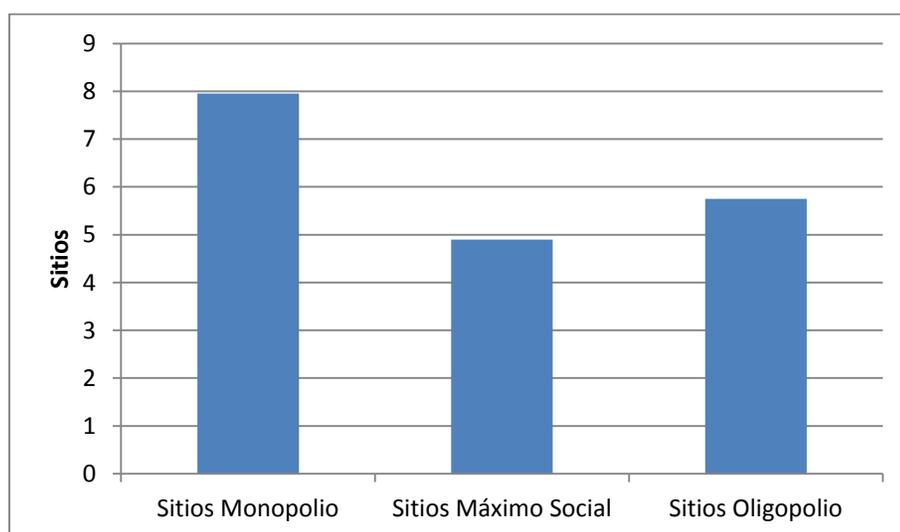


Figura 6-12: Sitios de atraque operativos por escenario.

Como un último resultado, se puede observar que la demanda total es máxima para el caso de máximo beneficio social, mientras que en el caso de oligopolio y monopolio las demandas son menores, y todo esto sustentado en los diferentes precios generalizados que se perciben. Estas demandas se encuentran en la Figura 6.13. Las demandas promedio en el caso de monopolio difieren en un 10.9% con las demandas de la situación de máximo beneficio social y en un 5.17% con las demandas de la situación de competencia oligopólica.

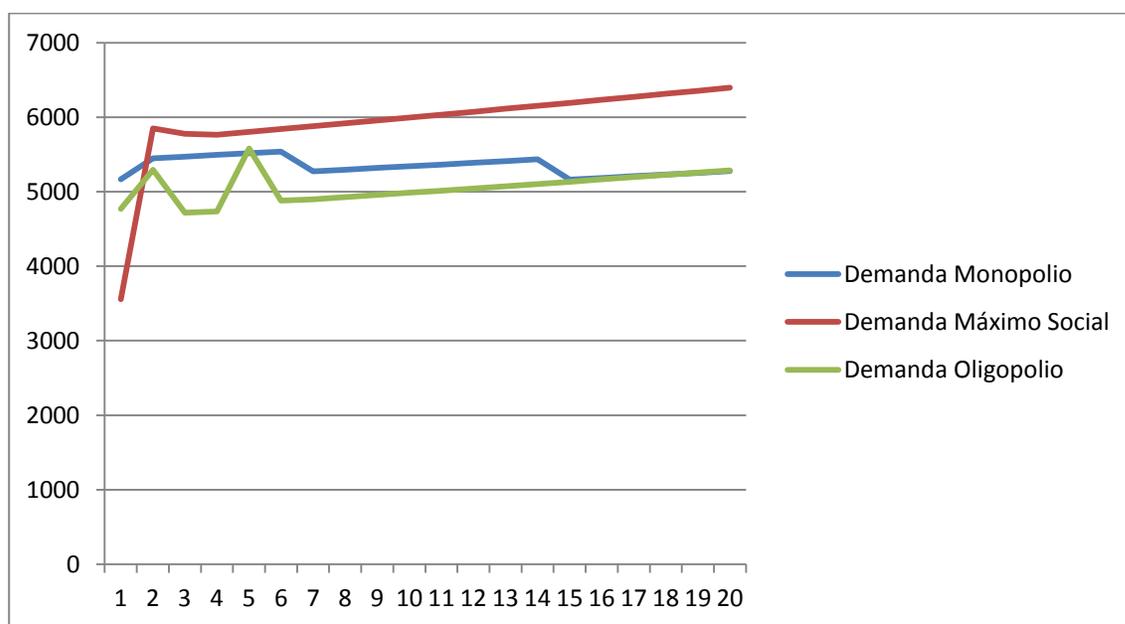


Figura 6-13: Evolución de la demanda por escenario.

6.5 VERIFICACIÓN DE COLUSIÓN POR ESTRATEGIAS DETONANTES

Para verificar si existe o no colusión, se utilizaron las desigualdades 5.60 y 5.61, con la tasa de descuento del 10%. Es decir, se revisará si el beneficio de competir oligopólicamente es mayor o no que el beneficio esperado por mantener una

colusión que opere entre los dos operadores al nivel monopólico. Si el beneficio es mayor en el escenario de oligopolio, entonces la competencia entre las empresas es un equilibrio de Nash para subjuegos perfectos, y en el caso contrario, coludirse es una estrategia detonante, y un equilibrio de Nash.

Se asumió inicialmente una probabilidad de un 15% de descubrir la colusión por parte de una entidad fiscalizadora, que finalmente penaliza a las empresas con una multa M , y luego obliga a los operadores a volver a competir en tarifas y tiempos de espera en un caso, y otro caso donde los operadores no reciben multa, sino que son obligados a operar al nivel de máximo beneficio social. Por lo tanto, la distribución de la cantidad de periodos que se necesita para que el ente fiscalizador pueda identificar la colusión corresponde a una distribución geométrica, donde:

$$P(X = x) = p(1 - p)^{x-1} \quad (6.9)$$

Para los valores indicados se obtuvo que la mínima multa por colusión para que la competencia sea un equilibrio de Nash debe ser de 2,251,759\$ de manera que para el operador uno el beneficio de competir sea mayor que el de coludirse, tal y como se muestra en la Figura 6.14. No es extraño que el monto no sea tan elevado, pues finalmente la diferencia de beneficios entre la colusión y la competencia para las navieras no es muy alta. Para que el operador dos decida no coludirse la multa debe ser de 2,541,822\$, por lo que basta con el primer valor para que no haya colusión por parte de ningún agente. Cuando tanto la tasa de descuento es una variable como lo es la multa, entonces existe una región de colusión, siendo esta una función de M y la tasa de descuento, y se muestra en la Figura 6.15.

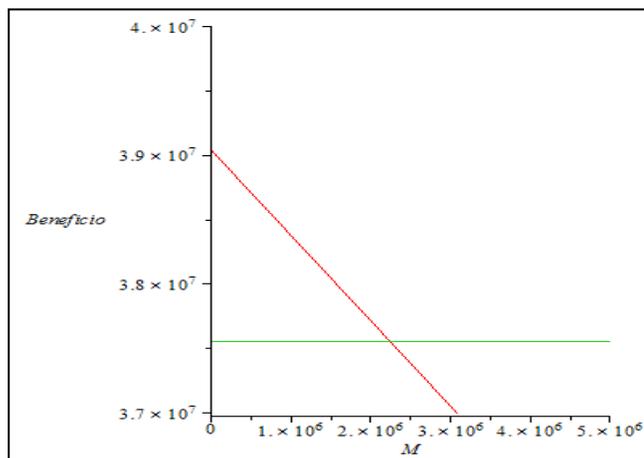


Figura 6-14: Beneficios netos de colusión y competencia respecto a M .

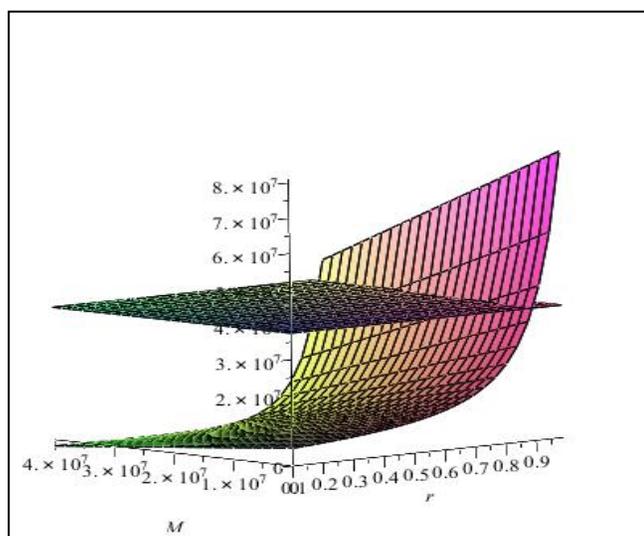


Figura 6-15: Beneficios netos de colusión y competencia respecto a M y Δ .

Para el caso de la segunda forma de penalización, en donde se obliga a los operadores portuarios a actuar según el máximo beneficio social, el probar si existe o no colusión con una tasa de descuento constante no indicará muchas luces respecto al

comportamiento del mercado, y por lo tanto, lo que se probó fue verificar para que tasas de descuento existirá la colusión. Por lo tanto, en la Figura 6.16 se puede ver el comportamiento de los beneficios actuales netos, en el caso de colusión y sin colusión, para una tasa de descuento variable. De esto se obtuvo que, para los valores de beneficios obtenidos en las simulaciones que se han presentado, sólo para una tasa de descuento menor a 28,8% la colusión es un equilibrio de Nash.

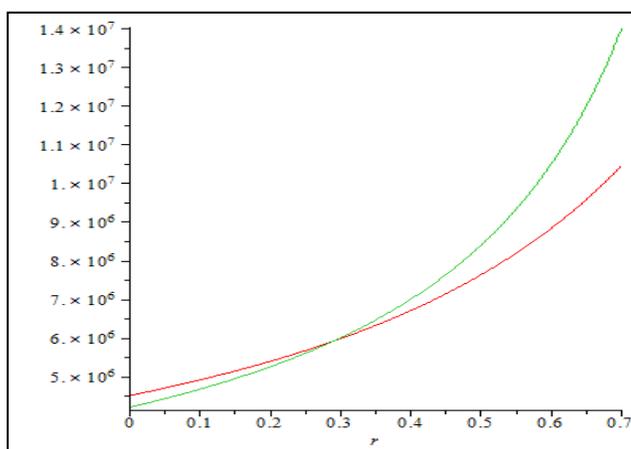


Figura 6-16: Beneficios netos de colusión y competencia según la tasa de descuento.

7 RESUMEN Y CONCLUSIONES

7.1 RESUMEN

En el presente trabajo se abordan varios aspectos de las decisiones y características económicas de una terminal portuaria concesionada. En primer lugar, se presentó un modelo de maximización de beneficios para tres casos particulares, donde los puertos tenían como variables de decisión la tarifa cobrada a las navieras por atenderse en sus terminales, la tasa de carga y descarga con la que operaría cada sitio de atraque, la cantidad de sitios de atraque con la que desea operar y la cantidad a invertir en la capacidad de atención, si, según los objetivos económicos, es deseable operar a una mayor capacidad que la disponible. El primer caso corresponde a un puerto con poder monopólico, donde el operador portuario actúa como el único oferente, y percibe la demanda por parte de las navieras para atender sus operaciones de carga y descarga. Este puerto tiene la capacidad de maximizar sus propios beneficios sin tomar en cuenta los beneficios de las navieras, e intenta que la demanda se maximice la diferencia entre costos e ingresos.

En un segundo caso, se modeló un escenario de maximización de beneficio social, entendiendo este beneficio como la suma del excedente del consumidor por parte de las navieras más los beneficios de los operadores portuarios. Para este caso, el puerto sigue siendo operado por un sólo agente económico.

En un tercer escenario, existen varios operadores que comparten la operación del terminal portuario, cada uno administrando una cantidad determinada de sitios de atraque, y decidiendo sus variables de operación individualmente. Este último escenario tiene como particularidad de que los operadores portuarios son reactivos no sólo a la demanda, sino que también a las decisiones operativas y de precio de los otros operadores en competencia. Para todos estos casos se consideró que las naves perciben un precio generalizado, y este se compone tanto de la tarifa cobrada por los puertos como el costo por tiempo de espera, que representa el costo de oportunidad

por uso del tiempo de las naves y de la carga que ellas llevan y por lo tanto, la demanda de las naves responde a este precio generalizado, y no sólo a la tarifa.

Para modelar efectivamente estos escenarios se obtuvieron las expresiones matemáticas de los costos e ingresos de los puertos respecto a las variables de decisión correspondientes, tomando en cuenta las restricciones tecnológicas de estos, que correspondían a una cota máxima del tiempo que demoran las operaciones de carga y descarga, la cantidad de sitios de atraque disponibles máximos, y una capacidad tecnológica sobre cuánto es posible aumentar las tasas máximas de servicio en un periodo. También se modeló la dependencia intertemporal entre las decisiones tomadas en los periodos de operación pasados con los resultados de la optimización respecto a los objetivos económicos del escenario. En otras palabras, el modelo retiene las implicancias de que la concesión tenga una duración en el tiempo, y por lo tanto, la modelación no podía solamente reflejar las decisiones portuarias de un sólo periodo.

El objetivo central de obtener los resultados económicos de la operación (tanto en las variables de decisión como en los beneficios de los agentes involucrados para los escenarios de monopolio, máximo beneficio social y competencia oligopólica para todos los periodos que durase la concesión) es lograr identificar bajo qué condiciones existirá competencia, y cuando existirá colusión por parte de los operadores portuarios. Para esto, se asumió la existencia de un ente regulador que promueve la competencia entre los operadores portuarios, y que si detecta colusión, en la determinación de las variables de precio y operativas (a fin de actuar como un monopolio), entonces los operadores reciben una penalización económica.

En el desarrollo de este trabajo, se propusieron dos sistemas de penalización. En el primero, cuando el ente regulador detecta una colusión monopólica con cierta probabilidad, entonces cobra una multa a los operadores portuarios, y luego los obliga a operar bajo competencia oligopólica. En el segundo caso el ente regulador al

detectar la colusión, obliga a las empresas a producir sus servicios y cobrar tarifas que corresponden al máximo beneficio social. Ambas formas de penalizar la colusión tienen en común que el ente regulador debe tomar en cuenta la tasa de valoración intertemporal de las empresas portuarias y conocer los beneficios que estas van a percibir en cada escenario y en cada periodo de concesión. Entonces, el objetivo del ente regulador es proponer un sistema de penalización tal que para las empresas portuarias en el largo plazo sea más conveniente competir que coludirse, es decir, que la competencia sea un equilibrio de Nash en el largo plazo. Para esto, en el trabajo se presenta un marco teórico sobre teoría de juegos donde las estrategias del ente regulador para asegurar esta competencia reciben el nombre de estrategias detonantes.

Una vez planteados los modelos matemáticos como maximización de una función objetivo sujeta a restricciones, tomando en cuenta los objetivos económicos de cada escenario, se procedió a realizar una simulación de los modelos. En esta simulación se obtuvieron los resultados más importantes de los problemas de optimización presentados, obteniendo resultados respecto de los precios, sitios de atraque utilizados, tasas de atención portuarias, tiempos de espera percibidos por las navieras, demanda total percibida y los beneficios de cada agente económico, entre otros. Los resultados obtenidos, antes de entrar al tema de las posibles colusiones, arrojaron varias luces sobre las características particulares de cada escenario.

7.2 CONCLUSIONES

En relación a los beneficios de las empresas portuarias, el máximo se obtuvo en el caso de monopolio, como era de esperar, seguidos por el caso de oligopolio y finalmente resultando menores para el caso de máximo beneficio social. En este último escenario, debido a que no existía una restricción de beneficios positivos para los operadores, los resultados económicos de éstos resultaron en pérdidas, lo que viene dado por los altos costos fijos que debe cubrir el puerto para producir su operación. Los beneficios de las navieras fueron en el sentido contrario, siendo estos

mayores en el escenario de máximo beneficio social, seguidos por los beneficios de competencia oligopólica y finalmente siendo más bajos en el caso de puerto monopolístico. Cuando se asumió un puerto oligopólico, los beneficios de las empresas portuarias no resultaron ser muy diferentes a los percibidos en el caso de monopolio, y aún así, se mostro un gran incremento en los beneficios sociales, lo que hace concluir que la competencia oligopólica resulta atractiva para los operadores portuarios, en particular si los agentes involucrados son pocos (como en el caso estudiado, dos).

Las tarifas cobradas también siguieron una lógica que continúa la línea clásica, donde los mayores precios se vieron en el caso del puerto monopolístico y los menores en el caso de máximo beneficio social. Los precios percibidos en competencia oligopólica se situaron relativamente en un punto medio entre los dos escenarios anteriores. Los resultados que realmente son interesantes tienen que ver con los tiempos de espera y los sitios de atraque utilizados.

En la literatura, siempre se ha asumido que en una terminal de servicio operada por varios agentes, los altos tiempos de espera y pocos sitios de atraque disponibles es un signo de colusión y comportamiento monopolístico, mientras que bajos tiempos de espera y muchos sitios de atraque disponibles son productos de una sana competencia. Esta idea no es particular del mercado portuario, sino que es usada en general en sistemas donde existen variables de tiempo involucradas. Sin embargo, a pesar de esta idea, los resultados de la simulación muestran que esto no siempre se cumple. Al resolverse numéricamente los modelos, se obtuvo que los mayores tiempos de espera se daban en uno de los operadores en competencia oligopólica, siendo estos aun mayores a los de la situación de monopolio. Aún más, en relación a los sitios de atraque los resultados resultaron ser contra intuitivos, donde es el monopolio quien opera con la mayor cantidad de sitios, mientras que en el máximo beneficio social es donde se opera con menos sitios. Este fenómeno, es producto de la forma en que las navieras perciben el precio. Hay que recordar que el precio generalizado tiene la forma $\rho_t = p_t + \theta * TW(m^t, \mu^t, \lambda^t)$, y por lo tanto, existirá un trade off entre la tarifa y los tiempos de espera.

En el caso del monopolio, al cobrar altas tarifas, para poder generar mayor demanda debe mantener tiempos de espera que no sean tan altos, pues si no dejará de percibir los ingresos por la demanda adicional. Por lo tanto, altos tiempos de espera no siempre son un resultado de la situación de monopolio, pues el incentivo que tiene el operador a disminuir los tiempos de espera de su sistema van de la mano con las altas tarifas, y con el consecuente beneficio por aumento de demanda. En el caso de la competencia monopolística, el operador que tuvo los tiempos de espera más altos debió compensar esto con el cobro de una tarifa más baja, debido a la condición de equilibrio, donde los precios generalizados percibidos por las navieras deben ser los mismos para cualquier operador donde se atiendan. Otra conclusión importante de este punto es que el operador que obtuvo mayores beneficios era el que poseía más sitios de atraque. A pesar de no usarlos todos, y de hecho, usar una baja proporción de estos, el tener a su disposición más alternativas (es decir, mas combinaciones posibles entre precio, tasas de servicio y sitios de atraque), esto le da un poder de mercado del cual puede aprovecharse.

Una vez obtenidos los beneficios de los agentes para cada escenario y periodo de tiempo, se procedió a verificar usando estos resultados las condiciones para que la competencia sea un equilibrio de Nash. De esto, se obtuvo una multa para el primer mecanismo de penalización descrito, y una tasa de valorización intertemporal máximo para el segundo mecanismo (obligación a operar al máximo beneficio social). Para chequear las condiciones, fue necesario conocer todos los beneficios para todos los periodos de la concesión y todos los escenarios. Esto puede ser bastante difícil para el regulador, pues generalmente la información de costos corresponde a datos privados de las empresas portuarias, y sin ese conocimiento, el ente regulador no puede tener un conocimiento exacto sobre las tasas de valorización intertemporal o la multa óptima que se necesite para prevenir colusión. Lo que el ente regulador puede hacer es estimar costos elevados, de forma que la multa pueda ser de todas formas persuasiva.

Lo importante de estos resultados son dos puntos fundamentales. Primero, siempre existe un rango de tasas de valorización intertemporal tal que la colusión es un

equilibrio de Nash en subjuegos perfectos. Entre menor es la tasa de valorización intertemporal, es decir, mientras menos valor tienen los beneficios futuros con respecto a los presentes, más probable es que las empresas decidan sacrificar sus ingresos futuros por altos ingresos presentes. Esto quiere decir que la competencia no es de por sí un equilibrio de Nash en cualquier set de condiciones. Por otro lado, una multa cobrada a las empresas por coludirse también debe ser suficientemente alta como para compensar los beneficios extra debidos a la colusión. Si la multa es demasiado baja, la coordinación entre las empresas para producir a niveles monopólicos será un equilibrio de Nash. Un segundo aspecto sobre la multa, es que esta debe estar definida, ser fija y ser conocida a priori, y no ser aplicada ex post a una colusión. Una multa que no es conocida a priori no podrá ser incluida en las decisiones racionales al principio de los periodos de competencia, y por ende, ser aplicada para la detección de estrategias detonantes.

A continuación, se señalan algunas pautas para la realización de futuros trabajos de investigación respecto al tema.

En primer lugar, en esta tesis no se resolvió el problema de punto fijo, tomando en cuenta la interconexión entre la demanda y los tiempos de espera. Debido a que los parámetros de la demanda eran relativamente estables en el tiempo, esto no generó grandes desvíos respecto a las conclusiones generales, pero si la demanda no fuese estable (por ejemplo una demanda que sea por estaciones o periodos del año), el problema de punto fijo no puede ser evadido, y se requiere un mayor esfuerzo computacional y matemático para la resolución de los modelos.

Como segunda consideración, cuando los valores del tiempo de espera de las naves es demasiado alto, puede resultar conveniente no sólo invertir en capacidad de transferencia en carga y descarga, sino que también invertir en nuevos sitios de ataque, de forma que la cantidad máxima permitida en un periodo aumente. Esto también podrá arrojar luces sobre las condiciones en que la inversión en infraestructura es óptima, y de que depende. También se podría aplicar el modelo a los grandes puertos que han decidido en sus periodos de concesión invertir en nuevos

sitios de atraque, como por ejemplo los de Hong Kong, y verificar si el modelo sirve como herramienta predictiva para estos casos.

Un tercer nivel de detalle a agregar corresponde a la utilización de distintos tipos de naves, con diferentes tamaños y niveles de carga, pues en el modelo descrito en este trabajo, se asumen las naves como entes idénticos en todo sentido. Esto además debería influir en el uso del concepto de frente de atraque y no en sitios de atraque, pues la cantidad de naves que se pueda atender dependerá además de las características físicas de éstas. Para estos efectos, se deberá considerar la demanda en toneladas de transferencia, y los frentes de atraque en superficie de atención.

Por último, en este modelo se asumió que la demanda viene dada por las navieras. Esto es una simplificación de la realidad, pues en la práctica la demanda de las navieras corresponde a una demanda derivada, donde son los usuarios de las navieras (clientes que desean transportar mercancía desde un origen a un destino) que contratan los servicios portuarios. Ya existen estudios relativamente nuevos sobre la interacción de los usuarios, las navieras y los puertos, pero aun no se ha considerado que pasa cuando en el puerto opera un sistema oligopólico, y como esto se transfiere a la demanda de los usuarios finales.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu, D. (1984). Infinitely Repeated Games with Discounting: A General theory. *Institute for Mathematics and its Applications, University of Minnesota* .
- Abreu, D. (1988). On The Theory of Infinitely Repeated Games with Discounting. *Econometrica*, V56, N2 , 383-396.
- Anton, J. J., & Gertler, P. J. (2004). Regulation, Local Monopolies and Spatial Competition. *Journal of Regulatory Economics*, V25, N2 , 115-141.
- Banco Mundial. (2007). World Bank Report.
- Bennathan, E., & Walters, A. (1979). Port Pricing and Investment Policy for Developing Countries. *Oxford University Press* .
- Bichou, K., & Gray, R. (2005). A critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research A*, V39, N1 , 75–92.
- Bobrovitch, D. (1982). Decentralised Planning and Competition in a National Multi-Port System. *Journal of Transport Economics and policy*, V16 , 31-42.
- Button, K. (1979). The Economics of Port Pricing. *Journal of Maritime Economics* , 201-207.
- CEPAL. (2003). El pago por el uso de la infraestructura de transporte vial, ferroviaria y portuaria, concesionaria al sector privado. www.eclac.cl/transporte/perfil .
- CEPAL. (2004). *Puerto y transporte en América Latina y el Caribe: un*. Santiago: www.eclac.cl/transporte/perfil.
- Chang, W., Lee, L., & Vandervoort, G. (1975). Harbour Expansion and Harbour Congestion Charges. *Journal of Transport Economics and policy*, V9 , 209-229.
- Cheon, S., Dowall, D. E., & Song, D.-W. (2010). Evaluating impacts of Institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor productivity changes of world container ports. *Transportation Research Part E* 46 , 546-561.
- Cullinane, K., & Khanna, M. (1999). Economies of Scale in Large Container Ships. *Journal of Transport Economics and Policy*, V33 , 185-207.
- De Langen, P. W. (2004). Governance in seaport clusters. *Journal of Maritime Economics and Logistics*, V6, N2 , 141–156.

De Langen, P. W., & Pallis, A. A. (2006). Analysis of the benefits intra-port competition. *International Journal of Transport Economics*, V33, N1 , 69–85.

Farrel, S. (1999). Financing European Transport Infrastructure. *MacMillan Press* .

Fernandez, J. E., De Cea, J., & Fernandez, J. (1999). Port privatization in developing countries: The case of Container Terminals. *International Journal of Transport Economics*, V26 N2 , 293-314.

Foss, B. (1969). A Cost Model for Coastal Shipping: A Norwegian Example. *Journal of Transport Economics and policy*, V3 , 195-221.

Fox, N. (1994). An Oligopoly model for ocean Liner Shipping. *Review of industrial Organization*, N9, V3 , 343-355.

Friedman, J. (1970). A Non-cooperative Equilibrium for Supergames. *University of Rochester* .

Gardner, B. (1977). Port Pricing. An alternative Approach. *Department of Maritime Studies. University of Wales* .

Gibbons, R. (1993). *Un primer curso de teoría de juegos*. Northwestern: Traducción de Paloma Calvo y Xavier Vila, Universidad de Northwestern.

Goss, R. (1999). On the distribution of economic rent in seaports. *Journal of Maritime Economics and Logistics*, VI , 1–9.

Goss, R. (1967). Toward an Economic Appraisal of Port Investments. *Journal of Transport Economics and policy*, VI , 249-272.

Haralambides, H. (2002). Competition, Excess Capacity and the Pricing of Port Infrastructure. *International Journal of Maritime Economics*, V4 N4 , 323-347.

Haralambides, H. (2007). Structure and Operation in the Liner Shipping Industry. *Handbook of Transport Modelling* .

Haralmbides, H. (2004). Determinants of Price and Price Stability in Linner Shipping. *Workshop on The Industrial Organization of shipping and Ports, National University of Singapore 5-6 March* .

Heaver, T., Meersman, H., & Van de Voorde, E. (2001). Co-operation and competition in international container transport: strategies for ports. *Maritime Policy and Management*, V28, N3 , 293–305.

-
- Holguin-Veras, J., & Jara-Diaz, S. (1999). Optimal space allocation and pricing for priority service at container ports. *Transportation Research Part B*, V33, N2 , 81-106.
- Jansson, J., & Ryden, I. (1979). *Swedish Seaports: Economics and policy*. Stockholm: Stockholm School of Economics.
- Jansson, J., & Shneerson, D. (1982). *Port Economics*. MIT Press.
- Meyrick, S. (1991). How far does economic theory really take us? *Proceeding from New Thinking in Port Pricing*. Univeristy of Wollongong .
- Midoro, R., Musso, E., & Parola, F. (2005). Maritime Liner Shipping and the Stevedoring Industry: Market Structure and Competition Strategies. *Maritime Policy and Management* V32, N2, , 86-106.
- Montford, A. (2001). Gestión y explotación de terminales de contenedores. *Primer encuentro Iberoamericano sobre intercambio Tecnológico Portuario* .
- MOPTT. (2005). *Sistema Portuario de Chile*. Santiago: Camara Portuaria Chilena.
- Muñoz, José Andrés (2009). *Modelos de tarificación en servicios portuarios*. Tesis para optar al grado de magister en ciencias de la Ingeniería, Universidad de Chile, Santiago.
- Nash, J. (1951). Non-Cooperative Games. *The Annals of Mathematics, Second series*, V54, N2 , 286-295.
- Nash, J. (1950). Two-Person Cooperative Game. *U.S. Airforce RAND Proyect* , 1-12.
- Ody, J. (1969). Application of Cost-Benefit Analysis to Airports. *Journal of Transport Economics and policy*, V3 , 322-332.
- Pallis, A. A., Vitsounis, T. K., & De Langen, P. W. (2009). Port Economics, Policy and Management: Review of an Emerging Research. *Transport Reviews*, V30, N1 , 115 — 161.
- Sauri, S. (2006). Modelización y regulación óptima de las concesiones de terminales portuarias de contenedores. *Tesis de doctorado de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona* .
- Sauri, S., & Robusté, F. (2002). Operaciones y Colas de los Barcos en los Puertos. *Tesina de especialidad de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona* .
- Slack, B. (1985). Containerisation, Interport Competition and Port Selection. *Journal of Maritime and Policy Managment*, V12, N4 , 293-303.

- Slack, B., & Fremont, A. (2005). Transformation of port terminal operations: from the local to the global. *Transport Reviews*, V25, N1 , 117–130.
- Soriguera, F. (2003). Optimización de la Internonección de una terminal marítima de contenedores mediante teoría de colas. *Tesina de especialidad de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona* .
- Stopford, M. (1997). *Maritime Economics*. New York: Routledge.
- Tongzon, J., & Heng, W. (2005). Port privatization, Efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports. *Transportation Research Part A* 39 , 405-421.
- UNCTAD. (2008). *Review of Maritime Transport*. United Nations.
- Van Reeve, P. (2010). The Effect of Competition on Economic Rents in Seaports. *Journal of Transport Economics and Policy*, V44 , 79-42.
- Weille, J. d., & Ray, A. (1979). The Optimum Port Capacity. *Journal of Transport Economics and policy*, V8 , 244-259.
- Wilder, R. P., & Pender, D. R. (1979). Economic Behaviour of Public Ports in the United States. *Journal of Transport Economics and policy*, V13 , 169-181.
- Yeo, G. T., Roe, M., & Dinwoodie, J. (2008). Evaluating the competitiveness of container ports in Korea and China. *Transportation Research Part A*, V42, N6 , 910-921.
- Zinan, L. (1995). The Comparative Performance of Public and Private Enterprises: The Case of British Ports. *Journal of Transport Economics and Policy*, V29 , 263-274.

ANEXOS

ANEXO A.1

Este anexo corresponde al código del programa Maple utilizado para resolver el problema de máximo beneficio con puerto monopolístico.

```
> aa := array(1..21) :
> aa[1] := 4380 :
  for Ta from 2 to 21 do
    aa[Ta] := aa[Ta - 1]·1.01 :
  end do

> bb := array(1..21) :
> bb[1] := 0.312857143 :
  for Tb from 2 to 21 do
    bb[Tb] := bb[Tb - 1]·1.01 :
  end do

> rt := array(1..21) :
> rt[1] := 2000 :
  for Tr from 2 to 21 do
    rt[Tr] := rt[Tr - 1]·1.01 :
  end do
```

$$Po(u, m, L) := \left(\sum_{s=0}^{m-1} \left(\frac{\left(\frac{L}{u}\right)^s}{s!} \right) + \frac{\left(\frac{L}{u}\right)^m}{m! \cdot \left(1 - \frac{L}{m \cdot u}\right)} \right)^{-1}$$

```
> TW(u, m, L) := \frac{\left(\frac{L}{u}\right)^{m+1}}{L \cdot m \cdot m! \cdot \left(1 - \frac{L}{m \cdot u}\right)^2} \cdot Po(u, m, L) + \frac{1}{u}
```

```
> j := array(1..20, 1..20);
> datos := rtable(1..6, 1..20);
> timeval := 1000·365 :
>
> Delt := 150 :
>
> Tauu := 200 :
> Thetam := 20000 :
> Thetau := 200 :
>
> umax[1] := 1200 :
```

```

> Lambd[1] := 2000 :
>
> epsil := 10 :

```

```

for t from 1 to 20 do

```

```

  L := Lambd[t];

```

```

  a := aa[t];

```

```

  b := bb[t];

```

```

  cost := rt[t];

```

```

  uma := umax[t];

```

```

for i from 1 to 12 do

```

```

  limi := i·uma + epsil :

```

```

if limi > L then

```

```

  gener(p, u, i, L) := p + timeval·TW(u, i, L) :

```

```

  FO(p, u, i, L, um) := (a - b·(p + timeval·TW(u, i, L)))·(p - cost)
    - (um - uma)·i·Tauu - u·i·Thetau - i·Thetam +

```

$$\int_{\frac{a}{b}}^{\frac{a}{b}} (a - b \cdot x) dx :$$

```

  Lag(p, u, i, L, um) := -FO(p, u, i, L, um) + lambdau·(u - um)
    + lamuno·(uma - Delt - um) + lamdos·(um - Delt - uma) :

```

```

  sol := fsolve( { {  $\frac{\partial}{\partial u}$  Lag(p, u, i, L, um) = 0,  $\frac{\partial}{\partial um}$  Lag(p, u, i, L, um)
    = 0,  $\frac{\partial}{\partial p}$  Lag(p, u, i, L, um) = 0, lambdau·(u - um) = 0, lamuno

```

```

    ·(uma - Delt - um) = 0, lamdos·(um - Delt - uma) = 0 }, {u,

```

```

    um, lambdau, p, lamuno, lamdos}, u = (  $\frac{L}{i} + \frac{epsil}{i}$  ) ..(10000),

```

```

    um = (uma - Delt) ..(uma + Delt) );

```

```

  j[1, i] := rhs(sol[1]);

```

```

  j[2, i] := rhs(sol[2]);

```

```

  j[3, i] := rhs(sol[3]);

```

```

  j[4, i] := rhs(sol[4]);

```

```

  j[5, i] := rhs(sol[5]);

```

```

  j[6, i] := rhs(sol[6]);

```

```
Espera := TW( rhs(sol[2]), i, L) · 365;  
Pgn[i] := rhs(sol[1]) + 1000 · 360 · TW( rhs(sol[2]), i, L);  
X[i] := a - b · (rhs(sol[1]) + 1000 · 360 · TW( rhs(sol[2]), i, L));  
if rhs(sol[2]) · i > L and rhs(sol[2]) ≤ rhs(sol[3]) then q[i] := 1  
  else q[i] := 0 end if;
```

```
Ben[i] := q[i] · FO( rhs(sol[1]), rhs(sol[2]), i, L, rhs(sol[3]));  
else Ben[i] := 0; end if;
```

end do;

```
Beneficio[t] := max( Ben[1], Ben[2], Ben[3], Ben[4], Ben[5],  
  Ben[6], Ben[7], Ben[8], Ben[9], Ben[10], Ben[11], Ben[12] );
```

for k **from** 1 **to** 12 **do**

```

if Beneficio[t] = Ben[k] then print(j[1, k], j[2, k], j[3, k], j[4, k], j[5,
    k], j[6, k]) :
print(k, X[k]) :
tasa[t] := j[2, k] :
precio[t] := j[1, k] :
maxim[t] := j[3, k] :
sitios[t] := k :
demanda[t] := X[k] :
Lambd[t + 1] := X[k] :
umax[t + 1] := j[3, k] :

```

$$nav[t] := \int_{Pgn[k]}^{\frac{a}{b}} (a - b \cdot x) dx$$

```

else end if; end do;

```

```

end do;

```

```

datos := rtable(1..7, 1..20);

```

```

for g from 1 to 20 do

```

```

print(beneficios para el periodo);
print(Beneficio[g], precio[g], tasa[g], maxim[g], demanda[g],
    sitios[g], g);
datos[1, g] := Beneficio[g] :
datos[2, g] := precio[g] :
datos[3, g] := tasa[g] :
datos[4, g] := maxim[g] :
datos[5, g] := sitios[g] :
datos[6, g] := demanda[g] :
datos[7, g] := nav[g] :

```

```

end do;

```

```

with(ExcelTools) :
Export(datos, "sbest3.xls") :

```

ANEXO A.2

Este anexo corresponde al código del programa Maple utilizado para resolver el problema de máximo beneficio social.

```
> aa := array(1..21) :
> aa[1] := 4380 :
  for Ta from 2 to 21 do
    aa[Ta] := aa[Ta - 1]·1.01 :
  end do
```

```
> bb := array(1..21) :
> bb[1] := 0.312857143 :
  for Tb from 2 to 21 do
    bb[Tb] := bb[Tb - 1]·1.01 :
  end do
```

```
>
> rt := array(1..21) :
> rt[1] := 2000 :
  for Tr from 2 to 21 do
    rt[Tr] := rt[Tr - 1]·1.01 :
  end do
```

$$> Po(u, m, L) := \left(\sum_{s=0}^{m-1} \left(\frac{\left(\frac{L}{u}\right)^s}{s!} \right) + \frac{\left(\frac{L}{u}\right)^m}{m! \cdot \left(1 - \frac{L}{m \cdot u}\right)} \right)^{-1}$$

$$> TW(u, m, L) := \frac{\left(\frac{L}{u}\right)^{m+1}}{L \cdot m \cdot m! \cdot \left(1 - \frac{L}{m \cdot u}\right)^2} \cdot Po(u, m, L) + \frac{1}{u}$$

```
> j := array(1..20, 1..20);
> datos := rtable(1..6, 1..20);
> timeval := 1000·365 :
> cost := 300 :
> Delt := 150 :
>
> Tauu := 200 :
> Thetam := 20000 :
> Thetau := 200 :
>
```

```

> umax[1] := 1200 :
> Lambd[1] := 2000 :
>
> epsil := 10 :

```

```

for t from 1 to 20 do

```

```

  L := Lambd[t];

```

```

  a := aa[t] :

```

```

  b := bb[t] :

```

```

  cost := rt[t] :

```

```

  uma := umax[t] :

```

```

for i from 1 to 12 do

```

```

  limi := i·uma + epsil :

```

```

if limi > L then

```

```

  gener(p, u, i, L) := p + timeval·TW(u, i, L) :

```

```

  FO(p, u, i, L, um) := (a - b·(p + timeval·TW(u, i, L)))·(p - cost)
    - (um - uma)·i·Tauu - u·i·Thetau - i·Thetam +

```

$$\int_{\frac{a}{b}}^{gener(p, u, i, L)} (a - b \cdot x) dx :$$

```

  Lag(p, u, i, L, um) := -FO(p, u, i, L, um) + lambdau·(u - um)
    + lamuno·(uma - Delt - um) + lamdos·(um - Delt - uma) :

```

```

  sol := fsolve( { {  $\frac{\partial}{\partial u}$  Lag(p, u, i, L, um) = 0,  $\frac{\partial}{\partial um}$  Lag(p, u, i, L, um)
    = 0,  $\frac{\partial}{\partial p}$  Lag(p, u, i, L, um) = 0, lambdau·(u - um) = 0, lamuno
    ·(uma - Delt - um) = 0, lamdos·(um - Delt - uma) = 0 } }, {u,
    um, lambdau, p, lamuno, lamdos}, u = (  $\frac{L}{i} + \frac{epsil}{i}$  )..10000 );

```

```

  j[1, i] := rhs(sol[1]);

```

```

  j[2, i] := rhs(sol[2]);

```

```

  j[3, i] := rhs(sol[3]);

```

```

  j[4, i] := rhs(sol[4]);

```

```

  j[5, i] := rhs(sol[5]);

```

```

  j[6, i] := rhs(sol[6]);

```

```
Espera := TW( rhs(sol[2]), i, L) · 365;
Pgn[i] := rhs(sol[1]) + 1000 · 360 · TW(rhs(sol[2]), i, L);
X[i] := a - b · (rhs(sol[1]) + 1000 · 360 · TW(rhs(sol[2]), i, L));
if rhs(sol[2]) · i > L and rhs(sol[2]) ≤ rhs(sol[3]) then q[i] := 1
    else q[i] := 0 end if;

Ben[i] := q[i] · FO(rhs(sol[1]), rhs(sol[2]), i, L, rhs(sol[3]));
else Ben[i] := 0; end if;

end do;

Beneficio[t] := max(Ben[1], Ben[2], Ben[3], Ben[4], Ben[5],
    Ben[6], Ben[7], Ben[8], Ben[9], Ben[10], Ben[11], Ben[12]);

or k from 1 to 12 do

    if Beneficio[t] = Ben[k] then print(j[1, k], j[2, k], j[3, k], j[4, k], j[5,
        k], j[6, k]) :
```

```

print(k, X[k]) :
tasa[t] := j[2, k] :
precio[t] := j[1, k] :
maxim[t] := j[3, k] :
sitios[t] := k :
demanda[t] := X[k] :
Lambd[t + 1] := X[k] :
umax[t + 1] := j[3, k] :

nav[t] :=  $\int_{Pgn[k]}^{\frac{a}{b}} (a - b \cdot x) dx$ 
else end if; end do;

```

end do:

```
datos := rtable(1..7, 1..20);
```

for g from 1 to 20 do

```

print(beneficios para el periodo);
print(Beneficio[g], precio[g], tasa[g], maxim[g], demanda[g],
      sitios[g], g);
datos[1, g] := Beneficio[g] :
datos[2, g] := precio[g] :
datos[3, g] := tasa[g] :
datos[4, g] := maxim[g] :
datos[5, g] := sitios[g] :
datos[6, g] := demanda[g] :
datos[7, g] := nav[g] :

```

end do;

```

with(ExcelTools) :
Export(datos, "social3.xls") :

```

ANEXO A.3

Este anexo corresponde al código del programa Maple utilizado para resolver el problema de competencia oligopólica.

```
> aa := array(1..21) :
> aa[1] := 4380 :
  for Ta from 2 to 21 do
    aa[Ta] := aa[Ta - 1]·1.01 :
  end do
```

```
> bb := array(1..21) :
> bb[1] := 0.312857143 :
  for Tb from 2 to 21 do
    bb[Tb] := bb[Tb - 1]·1.01 :
  end do
```

```
> rt := array(1..21) :
> rt[1] := 2000 :
  for Tr from 2 to 21 do
    rt[Tr] := rt[Tr - 1]·1.01 :
  end do
```

$$> Po(u, m, L) := \left(\sum_{s=0}^{m-1} \left(\frac{\left(\frac{L}{u}\right)^s}{s!} \right) + \frac{\left(\frac{L}{u}\right)^m}{m! \cdot \left(1 - \frac{L}{m \cdot u}\right)} \right)^{-1}$$

$$> TW(u, m, L) := \frac{\left(\frac{L}{u}\right)^{m+1}}{L \cdot m \cdot m! \cdot \left(1 - \frac{L}{m \cdot u}\right)^2} \cdot Po(u, m, L) + \frac{1}{u}$$

```
> j := array(1..20, 1..20, 1..20);
> datos := rtable(1..12, 1..20);
> timeval := 1000·365 :
> cost := 2000 :
> Delt := 150 :
> Tauu := 200 :
> Thetam := 20000 :
> Thetau := 200 :
> umax1[1] := 1200 : umax2[1] := 1200 :
> Lambd1[1] :=  $\frac{2000 \cdot 7}{12}$  : Lambd2[1] :=  $\frac{2000 \cdot 5}{12}$  :
```

> *epsil* := 10 :

a := *aa*[*t*] :
b := *bb*[*t*] :
cost := *rt*[*t*] :
uma1 := *umax1*[*t*] :
uma2 := *umax2*[*t*] :

for *i* **from** 1 **to** 7 **do**
for *j* **from** 1 **to** 5 **do**

limi := *i* · *uma1* + *epsil* :
limj := *j* · *uma2* + *epsil* :
if *limi* > *L1* **and** *limj* > *L2* **then**

gener1(*p1*, *u1*, *i*, *L1*) := *p1* + *timeval* · *TW*(*u1*, *i*, *L1*) :
gener2(*p2*, *u2*, *j*, *L2*) := *p2* + *timeval* · *TW*(*u2*, *j*, *L2*) :

FO1(*p1*, *u1*, *i*, *L1*, *um1*, *x2*) := (*a* - *b* · (*p1* + *timeval* · *TW*(*u1*, *i*, *L1*))
- *x2*) · (*p1* - *cost*) - (*um1* - *uma1*) · *i* · *Tauu* - *u1* · *i* · *Thetau* - *i*
· *Thetam* :
FO2(*p2*, *u2*, *j*, *L2*, *um2*, *x1*) := (*a* - *b* · (*p2* + *timeval* · *TW*(*u2*, *j*, *L2*))
- *x1*) · (*p2* - *cost*) - (*um2* - *uma2*) · *j* · *Tauu* - *u2* · *j* · *Thetau* - *j*
· *Thetam* :

Lag1(*p*, *u*, *i*, *L*, *um1*, *x2*) := -*FO1*(*p1*, *u1*, *i*, *L1*, *um1*, *x2*) + *lambdau1*
· (*u1* - *um1*) + *lamuno1* · (*uma1* - *Delt* - *um1*) + *lamdos1* · (*um1*
- *Delt* - *uma1*) :
Lag2(*p*, *u*, *j*, *L*, *um2*, *x1*) := -*FO2*(*p2*, *u2*, *j*, *L2*, *um2*, *x1*) + *lambdau2*
· (*u2* - *um2*) + *lamuno2* · (*uma2* - *Delt* - *um2*) + *lamdos2* · (*um2*
- *Delt* - *uma2*)

```

sol := fsolve( {  $\frac{\partial}{\partial u1} \text{Lag1}(p1, u1, i, L1, um1, x2) = 0,$ 
 $\frac{\partial}{\partial um1} \text{Lag1}(p1, u1, i, L1, um1, x2) = 0,$   $\frac{\partial}{\partial p1} \text{Lag1}(p1, u1, i, L1,$ 
 $um1, x2) = 0,$   $\text{lambdau1} \cdot (u1 - um1) = 0,$   $\text{lamuno1} \cdot (\text{uma1} - \text{Delt}$ 
 $- um1) = 0,$   $\text{lamdos1} \cdot (um1 - \text{Delt} - \text{uma1}) = 0,$   $\frac{\partial}{\partial u2} \text{Lag2}(p2,$ 
 $u2, j, L2, um2, x1) = 0,$   $\frac{\partial}{\partial um2} \text{Lag2}(p2, u2, j, L2, um2, x1) = 0,$ 
 $\frac{\partial}{\partial p2} \text{Lag2}(p2, u2, j, L2, um2, x1) = 0,$   $\text{lambdau2} \cdot (u2 - um2)$ 
 $= 0,$   $\text{lamuno2} \cdot (\text{uma2} - \text{Delt} - um2) = 0,$   $\text{lamdos2} \cdot (um2 - \text{Delt}$ 
 $- \text{uma2}) = 0,$   $\text{gener1}(p1, u1, i, L1) = \text{gener2}(p2, u2, j, L2), x1$ 
 $+ x2 = a - b \cdot \text{gener2}(p2, u2, j, L2), \{u1, um1, \text{lambdau1}, p1,$ 
 $\text{lamuno1}, \text{lamdos1}, x1, u2, um2, \text{lambdau2}, p2, \text{lamuno2}, \text{lamdos2},$ 
 $x2\}, u1 = \left( \frac{L1}{i} + \frac{\text{epsil}}{i} \right) ..(\text{uma1} + \text{Delt}), u2 = \left( \frac{L2}{j} + \frac{\text{epsil}}{j} \right)$ 
 $..(\text{uma2} + \text{Delt}), x1 = 0 ..a, x2 = 0 ..a, um1 = (\text{uma1} - \text{Delt})$ 
 $..(\text{uma1} + \text{Delt}), um2 = (\text{uma2} - \text{Delt}) ..(\text{uma2} + \text{Delt}) \} ;$ 
print(sol[1], sol[2], sol[3], sol[4], sol[5], sol[6], sol[7], sol[8],
sol[9], sol[10], sol[11], sol[12], sol[13], sol[14]);
print(FO1(rhs(sol[1]), rhs(sol[3]), i, L1, rhs(sol[5]), rhs(sol[7])),
FO2(rhs(sol[2]), rhs(sol[4]), j, L1, rhs(sol[6]), rhs(sol[8])));
print(i, j);

```

```

j[1, i, j] := rhs(sol[1]) :
j[2, i, j] := rhs(sol[2]) :
j[3, i, j] := rhs(sol[3]) :
j[4, i, j] := rhs(sol[4]) :
j[5, i, j] := rhs(sol[5]) :
j[6, i, j] := rhs(sol[6]) :
j[7, i, j] := rhs(sol[7]) :
j[8, i, j] := rhs(sol[8]) :
j[9, i, j] := rhs(sol[9]) :
j[10, i, j] := rhs(sol[10]) :
j[11, i, j] := rhs(sol[11]) :
j[12, i, j] := rhs(sol[12]) :
j[13, i, j] := rhs(sol[13]) :
j[14, i, j] := rhs(sol[14]) :

```

```

Espera1 := TW( rhs(sol[3]), i, L1) · 365;
Espera2 := TW( rhs(sol[4]), j, L2) · 365;

Pgn[i, j] := rhs(sol[1]) + 1000 · 360 · TW( rhs(sol[3]), i, L1);

X1[i, j] := rhs(sol[7]);
X2[i, j] := rhs(sol[8]);

Ben1[i, j] := FO1( rhs(sol[1]), rhs(sol[3]), i, L1, rhs(sol[5]),
  rhs(sol[7]));
Ben2[i, j] := FO2( rhs(sol[2]), rhs(sol[4]), j, L1, rhs(sol[6]),
  rhs(sol[8]));
Bent[i, j] := Ben1[i, j] + Ben2[i, j] :

```

end if:

end do:

end do:

```

Benef[t] := max( Bent[1, 1], Bent[2, 1], Bent[3, 1], Bent[4, 1],
  Bent[5, 1], Bent[6, 1], Bent[7, 1], Bent[1, 2], Bent[2, 2], Bent[3,
  2], Bent[4, 2], Bent[5, 2], Bent[6, 2], Bent[7, 2], Bent[1, 3],
  Bent[2, 3], Bent[3, 3], Bent[4, 3], Bent[5, 3], Bent[6, 3], Bent[7,
  3], Bent[1, 4], Bent[2, 4], Bent[3, 4], Bent[4, 4], Bent[5, 4],
  Bent[6, 4], Bent[7, 4], Bent[1, 5], Bent[2, 5], Bent[3, 5], Bent[4,
  5], Bent[5, 5], Bent[6, 5], Bent[7, 5]) :

```

for h from 1 to 7 do

for w from 1 to 5 do

if Bent[h, w] = Benef[t] then

precio1[t] := j[1, h, w] :

precio2[t] := j[2, h, w] :

tasal[t] := j[3, h, w] :

```

tasa2[t] := j[4, h, w] :
tasam1[t] := j[5, h, w] :
tasam2[t] := j[6, h, w] :
sitios1[t] := h :
sitios2[t] := w :
dem1[t] := X1[h, w] :
dem2[t] := X2[h, w] :
Benm1[t] := Ben1[h, w] :
Benm2[t] := Ben2[h, w] :

```

```

nav[t] :=  $\int_{Pgn[h, w]}^{\frac{a}{b}} (a - b \cdot x) dx$  :
Lambd1[t + 1] := X1[h, w] :
umax1[t + 1] := j[5, h, w] :
Lambd2[t + 1] := X2[h, w] :
umax1[t + 1] := j[6, h, w] :

```

```

else end if:
end do:
end do:

```

```

print(Benm1[t], Benm2[t], nav[t], sitios1[t], sitios2[t], precio1[t],
      precio2[t]);
end do:

```


ANEXO B.1

En ese espacio se presentan los resultados de la simulación para cada uno de los periodos de operación en el caso de puerto monopolico.

Item	1	2	3	4	5
Beneficios puerto	\$ 9.054.432,80	\$ 8.981.775,94	\$ 9.047.374,00	\$ 9.112.979,84	\$ 9.178.597,38
Precio	\$ 7.716,56	\$ 7.708,26	\$ 7.719,63	\$ 7.731,10	\$ 7.742,67
Tasa de atención	645,9004575	605,1997667	607,7546978	610,3485441	612,9478053
Tasa máxima	1050	900	750	610,3485441	612,9478053
Cantidad de Sitios	8	9	9	9	9
Demanda	1790,895838	1800,021651	1815,191883	1830,454268	1845,804551
Beneficios Navieras	\$ 5.125.834,54	\$ 5.126.937,38	\$ 5.162.098,22	\$ 5.197.297,46	\$ 5.232.507,50
Tiempo de espera	0,566881819	0,60347645	0,600941759	0,598398743	0,595872266
Beneficio Social	\$ 14.180.267,34	\$ 14.108.713,32	\$ 14.209.472,23	\$ 14.310.277,30	\$ 14.411.104,88
Item	6	7	8	9	10
Beneficios puerto	\$ 9.244.214,93	\$ 9.452.713,38	\$ 9.518.753,26	\$ 9.584.792,45	\$ 9.650.781,75
Precio	\$ 7.754,33	\$ 7.784,14	\$ 7.795,96	\$ 7.807,85	\$ 7.819,84
Tasa de atención	615,552367	659,1101443	662,0299953	664,8780885	667,7327166
Tasa máxima	615,552367	659,1101443	662,0299953	664,8780885	667,7327166
Cantidad de Sitios	9	8	8	8	8
Demanda	1861,242278	1882,598486	1898,255829	1913,991785	1929,813435
Beneficios Navieras	\$ 5.267.722,38	\$ 5.335.941,96	\$ 5.371.354,27	\$ 5.406.710,03	\$ 5.442.046,10
Tiempo de espera	0,593362295	0,55476088	0,552357929	0,550017566	0,547692314
Beneficio Social	\$ 14.511.937,31	\$ 14.788.655,34	\$ 14.890.107,52	\$ 14.991.502,47	\$ 15.092.827,86
Item	11	12	13	14	15
Beneficios puerto	\$ 9.716.707,84	\$ 9.782.557,11	\$ 9.848.315,64	\$ 9.913.969,15	\$ 10.133.289,05
Precio	\$ 7.831,93	\$ 7.844,12	\$ 7.856,42	\$ 7.868,82	\$ 7.900,60
Tasa de atención	670,5938892	673,4615052	676,335459	679,2156418	737,2095548
Tasa máxima	670,5938892	673,4615052	676,335459	679,2156418	737,2095548
Cantidad de Sitios	8	8	8	8	7
Demanda	1945,720175	1961,711353	1977,786279	1993,944226	2016,925517
Beneficios Navieras	\$ 5.477.355,84	\$ 5.512.632,34	\$ 5.547.868,56	\$ 5.583.057,27	\$ 5.655.935,10
Tiempo de espera	0,545382069	0,543086796	0,540806462	0,538541032	0,497744498
Beneficio Social	\$ 15.194.063,67	\$ 15.295.189,45	\$ 15.396.184,20	\$ 15.497.026,42	\$ 15.789.224,15
Item	16	17	18	19	20
Beneficios puerto	\$ 10.199.080,06	\$ 10.264.819,47	\$ 10.330.392,80	\$ 10.395.783,75	\$ 10.460.975,94
Precio	\$ 7.913,21	\$ 7.925,87	\$ 7.938,65	\$ 7.951,53	\$ 7.964,53
Tasa de atención	740,6656892	743,9199709	747,1821912	750,4527558	753,7315227
Tasa máxima	740,6656892	743,9199709	747,1821912	750,4527558	753,7315227
Cantidad de Sitios	7	7	7	7	7
Demanda	2033,312205	2049,763004	2066,293964	2082,904203	2099,592747
Beneficios Navieras	\$ 5.691.299,72	\$ 5.726.499,79	\$ 5.761.622,36	\$ 5.796.659,55	\$ 5.831.603,06
Tiempo de espera	0,495522248	0,49341077	0,491313204	0,48922929	0,487159011
Beneficio Social	\$ 15.890.379,78	\$ 15.991.319,26	\$ 16.092.015,16	\$ 16.192.443,30	\$ 16.292.579,00

Tabla A.1: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo un puerto monopolico.

ANEXO B.2

En ese espacio se presentan los resultados de la simulación para cada uno de los periodos de operación en el caso máximo beneficio social.

Item	1	2	3	4	5
Beneficios puerto	\$ (780.945,48)	\$ (1.272.890,83)	\$ (1.258.520,06)	\$ (1.270.041,33)	\$ (1.286.648,30)
Precio	\$ 2.000,00	\$ 2.020,00	\$ 2.040,20	\$ 2.060,60	\$ 2.081,21
Tasa de atención	1185	1170	1155	1153,115273	1160,447225
Tasa máxima	1185	1170	1155	1153,115273	1160,447225
Cantidad de Sitios	3	5	5	5	5
Demanda	3636,918171	3674,719714	3701,935518	3731,48959	3762,713325
Beneficios Navieras	\$21.139.318,82	\$21.367.366,24	\$21.470.337,99	\$ 21.598.534,12	\$ 21.744.062,97
Tiempo de espera	0,380357778	0,355484049	0,365283636	0,368079811	0,366157225
Beneficio Social	\$20.358.373,34	\$20.094.475,41	\$20.211.817,93	\$ 20.328.492,79	\$ 20.457.414,67
Item	6	7	8	9	10
Beneficios puerto	\$ (1.294.648,09)	\$ (1.302.424,58)	\$ (1.310.237,02)	\$ (1.318.087,47)	\$ (1.325.975,61)
Precio	\$ 2.102,02	\$ 2.123,04	\$ 2.144,27	\$ 2.165,71	\$ 2.187,37
Tasa de atención	1168,084989	1175,764022	1183,481673	1191,237645	1199,031644
Tasa máxima	1168,084989	1175,764022	1183,481673	1191,237645	1199,031644
Cantidad de Sitios	5	5	5	5	5
Demanda	3794,129549	3825,723984	3857,495511	3889,443055	3921,565483
Beneficios Navieras	\$21.889.778,73	\$22.035.502,26	\$22.181.206,83	\$ 22.326.866,42	\$ 22.472.454,41
Tiempo de espera	0,36420714	0,362271474	0,360350556	0,358444347	0,356552802
Beneficio Social	\$20.595.130,64	\$20.733.077,68	\$20.870.969,81	\$ 21.008.778,95	\$ 21.146.478,80
Item	11	12	13	14	15
Beneficios puerto	\$ (1.333.901,14)	\$ (1.341.863,71)	\$ (1.349.862,96)	\$ (1.357.898,53)	\$ (1.365.970,01)
Precio	\$ 2.209,24	\$ 2.231,34	\$ 2.253,65	\$ 2.276,19	\$ 2.298,95
Tasa de atención	1206,863365	1214,732484	1222,63866	1230,581538	1238,560742
Tasa máxima	1206,863365	1214,732484	1222,63866	1230,581538	1238,560742
Cantidad de Sitios	5	5	5	5	5
Demanda	3953,861586	3986,330086	4018,969632	4051,778796	4084,756074
Beneficios Navieras	\$22.617.943,51	\$22.763.305,80	\$22.908.512,65	\$ 23.053.534,79	\$ 23.198.342,23
Tiempo de espera	0,354675878	0,352813533	0,350965726	0,349132414	0,347313558
Beneficio Social	\$21.284.042,37	\$21.421.442,09	\$21.558.649,69	\$ 21.695.636,26	\$ 21.832.372,22
Item	16	17	18	19	20
Beneficios puerto	\$ (1.374.076,99)	\$ (1.382.219,03)	\$ (1.390.395,69)	\$ (1.398.606,52)	\$ (1.406.850,98)
Precio	\$ 2.321,94	\$ 2.345,16	\$ 2.368,61	\$ 2.392,29	\$ 2.416,22
Tasa de atención	1246,575882	1254,626546	1262,712307	1270,832715	1278,987302
Tasa máxima	1246,575882	1254,626546	1262,712307	1270,832715	1278,987302
Cantidad de Sitios	5	5	5	5	5
Demanda	4117,899881	4151,208548	4184,680329	4218,313387	4252,105795
Beneficios Navieras	\$23.342.904,29	\$23.487.189,56	\$23.631.165,96	\$ 23.774.800,64	\$ 23.918.059,98
Tiempo de espera	0,345509116	0,343719049	0,341943318	0,340181885	0,338434712
Beneficio Social	\$21.968.827,30	\$22.104.970,53	\$22.240.770,27	\$ 22.376.194,12	\$ 22.511.209,00

Tabla A.2: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo maximización del beneficio social.

ANEXO B.3

En ese espacio se presentan los resultados de la simulación para cada uno de los periodos de operación en el caso de competencia oligopólica.

Item	1	2	3	4	5
Beneficios Operador 1	\$ 4.225.074,02	\$ 4.188.997,55	\$ 4.158.429,79	\$ 4.183.596,66	\$ 4.244.017,43
Precio Operador 1	\$ 5.815,99	\$ 5.854,92	\$ 5.918,35	\$ 5.933,62	\$ 5.925,38
Tasa de atención Op 1	1131,200558	1148,319783	1162,985242	1177,735325	1183,521794
Tasa máxima Op 1	1131,200558	1148,319783	1162,985242	1177,735325	1183,521794
Cantidad de Sitios Op 1	2	2	2	2	2
Demanda Op 1	1193,860884	1211,77981	1237,695139	1248,416549	1251,510798
Beneficios Operador 2	\$ 4.153.967,95	\$ 4.128.452,85	\$ 4.196.263,74	\$ 4.158.416,61	\$ 4.155.142,56
Precio Operador 2	\$ 5.928,46	\$ 5.894,61	\$ 5.812,93	\$ 5.825,84	\$ 5.884,40
Tasa de atención Op 2	\$ 1.254,32	\$ 999,86	\$ 796,97	\$ 793,01	\$ 803,40
Tasa máxima Op 2	\$ 1.254,32	\$ 1.104,32	\$ 954,32	\$ 804,32	\$ 803,40
Cantidad de Sitios Op 2	2	3	3	3	4
Demanda Op 2	1229,046704	1224,321144	1204,050199	1213,677016	1238,169969
Beneficios Navieras	\$ 9.396.642,20	\$ 9.405.135,72	\$ 9.355.167,63	\$ 9.417.498,64	\$ 9.534.331,78
Tiempo de espera Op 1	0,43955283	0,435551629	0,430764956	0,428123149	0,427248184
Tiempo de espera Op 2	0,327086738	0,395862068	0,536186878	0,535897092	0,468226233
Beneficio Social	\$ 17.775.684,17	\$17.722.586,12	\$17.709.861,17	\$17.759.511,91	\$17.933.491,77
Item	6	7	8	9	10
Beneficios Operador 1	\$ 4.198.647,70	\$ 4.219.194,36	\$ 4.251.301,19	\$ 4.280.106,45	\$ 4.308.781,98
Precio Operador 1	\$ 5.997,79	\$ 6.013,77	\$ 6.028,19	\$ 6.042,70	\$ 6.057,36
Tasa de atención Op 1	1191,953194	1208,45796	1216,193584	1223,695785	1231,223601
Tasa máxima Op 1	1191,953194	1208,45796	1216,193584	1223,695785	1231,223601
Cantidad de Sitios Op 1	2	2	2	2	2
Demanda Op 1	1280,992455	1292,127109	1302,763825	1313,444985	1324,184129
Beneficios Operador 2	\$ 4.152.911,76	\$ 4.162.129,87	\$ 4.185.216,88	\$ 4.213.792,59	\$ 4.242.469,39
Precio Operador 2	\$ 5.785,73	\$ 5.798,51	\$ 5.814,06	\$ 5.829,81	\$ 5.845,69
Tasa de atención Op 2	\$ 623,62	\$ 620,18	\$ 623,58	\$ 627,15	\$ 630,74
Tasa máxima Op 2	623,616393	620,1829728	623,5763396	627,1467853	630,7367813
Cantidad de Sitios Op 2	4	4	4	4	4
Demanda Op 2	1211,261978	1220,640174	1230,940885	1241,319704	1251,755553
Beneficios Navieras	\$ 9.459.434,40	\$ 9.520.516,35	\$ 9.583.952,40	\$ 9.647.420,45	\$ 9.710.856,80
Tiempo de espera Op 1	0,422726654	0,420028912	0,418101772	0,416210265	0,41433282
Tiempo de espera Op 2	0,634791992	0,63528347	0,632226825	0,629107713	0,626008767
Beneficio Social	\$ 17.810.993,86	\$17.901.840,58	\$18.020.470,47	\$18.141.319,49	\$18.262.108,17

Tabla A.3: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo competencia oligopólica, periodos 1-10.

Item	11	12	13	14	15
Beneficios Operador 1	\$ 4.337.419,60	\$ 4.366.015,78	\$ 4.394.564,40	\$ 4.423.059,12	\$ 4.451.493,49
Precio Operador 1	\$ 6.072,16	\$ 6.087,10	\$ 6.102,19	\$ 6.117,43	\$ 6.132,82
Tasa de atención Op 1	1238,783381	1246,374973	1253,99805	1261,652268	1269,337266
Tasa máxima Op 1	1238,783381	1246,374973	1253,99805	1261,652268	1269,337266
Cantidad de Sitios Op 1	2	2	2	2	2
Demanda Op 1	1334,981207	1345,835809	1356,747493	1367,715792	1378,740213
Beneficios Operador 2	\$ 4.271.113,81	\$ 4.299.716,64	\$ 4.328.271,64	\$ 4.356.772,46	\$ 4.385.212,63
Precio Operador 2	\$ 5.861,70	\$ 5.877,85	\$ 5.894,13	\$ 5.910,55	\$ 5.927,12
Tasa de atención Op 2	\$ 634,34	\$ 637,96	\$ 641,60	\$ 645,25	\$ 648,92
Tasa máxima Op 2	634,3423124	637,9631253	641,5990527	645,2499216	648,9155504
Cantidad de Sitios Op 2	4	4	4	4	4
Demanda Op 2	1262,24749	1272,79505	1283,397751	1294,055087	1304,766527
Beneficios Navieras	\$ 9.774.248,14	\$ 9.837.582,10	\$ 9.900.846,05	\$ 9.964.027,04	\$10.027.111,83
Tiempo de espera Op 1	0,412468856	0,410618327	0,408781202	0,406957446	0,405147029
Tiempo de espera Op 2	0,622931958	0,619877302	0,616844766	0,613834316	0,610845921
Beneficio Social	\$ 18.382.781,55	\$18.503.314,52	\$18.623.682,09	\$18.743.858,61	\$18.863.817,95
Item	16	17	18	19	20
Beneficios Operador 1	\$ 4.479.860,87	\$ 4.508.154,51	\$ 4.536.367,47	\$ 4.564.492,68	\$ 4.592.522,90
Precio Operador 1	\$ 6.148,35	\$ 6.164,04	\$ 6.179,88	\$ 6.195,88	\$ 6.212,03
Tasa de atención Op 1	1277,052666	1284,798074	1292,57308	1300,377256	1308,210156
Tasa máxima Op 1	1277,052666	1284,798074	1292,57308	1300,377256	1308,210156
Cantidad de Sitios Op 1	2	2	2	2	2
Demanda Op 1	1389,820237	1400,955316	1412,144878	1423,38832	1434,68501
Beneficios Operador 2	\$ 4.413.585,53	\$ 4.441.884,37	\$ 4.470.102,24	\$ 4.498.232,03	\$ 4.526.266,53
Precio Operador 2	\$ 5.943,82	\$ 5.960,67	\$ 5.977,66	\$ 5.994,80	\$ 6.012,09
Tasa de atención Op 2	\$ 652,60	\$ 656,29	\$ 660,00	\$ 663,72	\$ 667,46
Tasa máxima Op 2	652,5957501	656,2903216	659,9990583	663,7217434	667,4581518
Cantidad de Sitios Op 2	4	4	4	4	4
Demanda Op 2	1315,53151	1326,349448	1337,219725	1348,141694	1359,114679
Beneficios Navieras	\$ 10.090.086,86	\$10.152.938,27	\$10.215.651,86	\$10.278.213,13	\$10.340.607,22
Tiempo de espera Op 1	0,40334992	0,401566091	0,399795511	0,398038154	0,396293993
Tiempo de espera Op 2	0,60787955	0,604935174	0,602012765	0,599112297	0,596233743
Beneficio Social	\$ 18.983.533,26	\$19.102.977,15	\$19.222.121,57	\$19.340.937,84	\$19.459.396,64

Tabla A.4: Resultados principales del ejercicio durante el periodo de concesión asumiendo competencia oligopólica, periodos 11-20.