

UN ANÁLISIS MICROECONÓMICO DE LA ESTRUCTURA TARIFARIA EN PUERTOS DE CONTENEDORES

Leonardo Basso Sotz, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Blanco Encalada #2002, Santiago, Chile
ljbasso@ing.uchile.cl

Sergio Jara-Díaz, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Blanco Encalada #2002, Santiago, Chile
jaradiaz@ing.uchile.cl

José Muñoz-Figueroa, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Blanco Encalada #2002, Santiago, Chile
jomunozf@gmail.com

ABSTRACT

El transporte marítimo de contenedores es uno de los medios más utilizados en el intercambio de mercancías entre países, con gran impacto en el desarrollo económico global. Los principales agentes que participan en este mercado son usuarios, navieras y puertos, donde ocurre el traspaso de mercancías entre mar y tierra. Los países poseen cierto nivel de injerencia sobre sus puertos, pudiendo inducir regulaciones o políticas públicas dirigidas a aumentar el bienestar social producto del intercambio comercial.

En este trabajo se propone y resuelve un modelo microeconómico de interacción entre usuarios, una naviera monopólica y un puerto en el transporte marítimo de contenedores, considerando explícitamente la tecnología de transporte involucrada con sus restricciones operativas. Se considera las interacciones entre el puerto y la naviera, y entre la naviera y los usuarios. Se plantea encontrar las tarifas óptimas para los diferentes servicios portuarios bajo dos objetivos: maximizar utilidades y maximizar el bienestar social, con y sin restricción de costos, reflejando así distintos paradigmas desde un punto de vista normativo.

Los resultados obtenidos muestran un fuerte compromiso entre el objetivo del puerto y de la naviera, debido al fuerte subsidio que se debe realizar para que la naviera produzca en el nivel socialmente óptimo.

Palabras claves: tarificación, transporte marítimo, estructura vertical

Número de palabras: 5.822

1. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo de contenedores es uno de los ejes de la globalización y del desarrollo económico de los países, al ser el medio de transporte preferido en los intercambios comerciales de alto valor (intrínseco y/o logístico), como lo son las manufacturas o los productos sensibles al tiempo y la temperatura. Hay dos líneas de investigación económica en torno al mercado de transporte marítimo: una que enfatiza la relación de las navieras con los usuarios, y otra que estudia la relación de puertos con navieras. En el primer caso se suele reconocer la importancia de la calidad de servicio pero no se representa adecuadamente la tecnología de transporte utilizada. En el área de interacción navieras-puertos, los trabajos de modelación económica más relevantes son los de Holguín-Veras y Jara-Díaz (1999, 2006, 2009). Sin embargo, en la realidad, el puerto provee insumos esenciales a las navieras –servicios portuarios–, que son las que venden el producto final –transporte– a los usuarios. Esto implica que las decisiones del puerto, que está en la cima de la cadena productiva, definirán la forma en que se distribuyen los beneficios de los diferentes agentes; lo anterior solo puede ser capturado mediante un modelo que considere explícitamente las interacciones entre todos los agentes.

En este trabajo planteamos un modelo analítico de estructura vertical para el mercado de contenedores, en donde hay un puerto que escoge las tarifas por sus servicios de acceso, descarga y despacho (necesarios para transbordar la carga), y luego una naviera monopólica que escoge sus cargos y niveles de servicio (frecuencia y uso grúas) para servir a usuarios con demandas sensibles al tiempo y a la tarifa. La naviera busca maximizar sus utilidades, mientras que para el puerto se consideraron tres posibles objetivos: maximizar ganancias y maximizar el bienestar social, con y sin restricción de cobertura de costos. La congestión es un elemento central pues se consideran explícitamente las restricciones operacionales de capacidad de los barcos y del puerto (muelle de atraque y área de despacho). El objetivo es explorar las estructuras óptimas de precios en los servicios portuarios de carga en contenedores bajo los distintos objetivos económicos, considerando las características tecnológicas de navieras y puertos y las inter-relaciones económicas y logísticas entre los tres actores del sistema.

Los resultados obtenidos muestran un evidente compromiso entre los beneficios de la naviera y del puerto. La existencia de diferentes tarifas permite a un puerto privado usar algunas de ellas (descarga y despacho) para inducir niveles de producción que maximicen las ganancias de la cadena productiva, mientras que las restantes (acceso) son usadas para extraer excedente. Cuando el puerto maximiza el bienestar social, utiliza las tarifas de los servicios de descarga y despacho para subsidiar la operación de la naviera, lo que aumenta los niveles de servicio de la misma, mientras que la tarifa de acceso es utilizada para extraer parte del excedente adicional percibido por la naviera; cuando es necesario auto-financiarse, el puerto utiliza la tarifa de acceso para asegurar cobertura de costos, pero evitando ineficiencias asignativas.

2. EL TRANSPORTE MARÍTIMO

Un 80% del total de intercambios comerciales utiliza en alguna de sus etapas el transporte marítimo (UNCTAD, 2008; Haralambides, 2007; Stopford, 1997), donde concurren astilleros, operadores comerciales, *brokers*, banqueros, navieros, estibadores, transportistas terrestres y otros agentes económicos que interactúan en una serie de sub-mercados específicos. En este artículo nos concentraremos en la interacción entre tres agentes económicos

fundamentales: usuarios o clientes, navieras (proveedoras de transporte) y puertos (operadores de terminales).

Los usuarios – que deciden cuánto enviar y cómo hacerlo – son las firmas que usan el transporte marítimo para proveer insumos o despachar mercancías, los que constituyen la carga a ser desplazada. Las navieras son las firmas que proveen el transporte por mar, y se han especializado en el transporte y manejo de determinados tipos de carga, principalmente de acuerdo a las características físicas y logísticas de la misma. Desde una perspectiva operacional, el principal insumo que necesitan las navieras para hacer transporte marítimo son las embarcaciones. Sin embargo, además de los barcos, también es necesario que las navieras contraten los servicios de las instalaciones portuarias que visiten para poder transferir las cargas de un modo de transporte a otro. El papel de interfaz entre tierra y mar hace de los puertos un elemento crucial (Cullinane, 2000; Haralambides, 2004; Midoro, 2005).

Los puertos y navieras han especializado sus servicios, desarrollando complejos sistemas de manipulación y almacenamiento para diversos tipos de carga, con el objetivo de aumentar no solo su propia productividad, sino también la del sistema en su conjunto. Dentro de esta amplia gama de servicios, los puertos realizan tres prestaciones fundamentales para lograr la transferencia de carga desde el transporte marítimo al terrestre y viceversa: acceso/salida de la instalación portuaria, carga/descarga del barco, y despacho/recepción de la carga vía transporte terrestre. Dejando de lado los requerimientos de tiempo y el manejo físico de las diversas cargas, el volumen a transportar es un aspecto que divide el transporte marítimo en dos grandes sectores: el transporte a granel (*bulk shipping*), y el transporte de carga general (*liner shipping*) (Stopford, 1997; Haralambides, 2004, 2007; Zerby, 1978; Sjostrom, 2004). Las diferencias operativas, económicas y organizacionales entre ambos rubros son tan profundas, que incluso se ha llegado a decir que se trata de dos industrias independientes, cuya única similitud sería el uso del mar.

Las navieras presentes en el servicio de transporte a granel ofrecen transporte basado en la demanda. Los principales sectores productivos a los que sirve este sector son los combustibles, productos agrícolas, industria de metales, productos químicos, y materias primas. Estos sectores representaron durante el 2007 alrededor del 71% del volumen total transportado por mar (UNCTAD, 2008). Este es un rubro altamente competitivo (Pirrong, 1992; Haralambides, 2007), en donde las tarifas de flete sufren vaivenes prácticamente a diario. Por otra parte, el rubro del transporte de carga general atiende a usuarios cuyos volúmenes de mercancías no son lo suficientemente grandes como para justificar una operación de transporte de graneles con un servicio basado en la oferta. El principal nicho de este sector lo constituyen las manufacturas, y ahí radica su papel predominante en el desarrollo económico mundial ya que, en términos de valor, este sector transporta más del 70% del total del transporte marítimo (Haralambides, 2007).

La introducción del *contenedor*, unidad estándar para el empaquetamiento de la carga, generó una verdadera revolución tecnológica a mediados de los años 60, estimulando una nueva infraestructura naviera y portuaria orientada al manejo eficiente de las nuevas unidades (Stopford, 1997; Sjostrom, 1989, 2004; Notteboom, 2004; Gilman, 1976; Haralambides, 2004, 2007). Hoy en día, el transporte de carga general en contenedores es el principal mercado dentro de este sector, con una participación relativa de más de un 80%

(UNCTAD, 2008). La introducción del contenedor tuvo así profundos impactos en la eficiencia del proceso de transporte y en la estructura de mercado, en donde resalta la concentración económica de navieras y operadores portuarios (ECLAC, 1998).

3. MODELACIÓN

3.1. Representación de los agentes

La modelación desarrollada en este trabajo comparte ciertas características con el enfoque de estructura vertical para transporte aéreo (ver Basso y Zhang, 2007), en el sentido que la demanda que enfrentan los puertos también resulta ser derivada de un equilibrio en el nivel inferior (navieras-usuarios). Las diferencias con la modelación usual en transporte aéreo es que estamos considerando que el puerto provee más de un servicio con su propia tarifa. Además, en el nivel inferior la naviera escoge simultáneamente tarifas, frecuencia y uso de grúas, variables que influyen la demanda, tanto de forma directa (tarifas) como en términos de la calidad de servicio (variables operacionales). En la modelación se considerará un único par origen-destino, en donde una naviera monopólica provee un servicio directo de transporte de contenedores; se asumirá que el proceso previo a la llegada de los contenedores al puerto de origen no recibe influencia de la naviera. En la figura 1 se representa visualmente el problema a modelar, constituido por la cadena de servicios (terrestres, portuarios y marítimos) y los gastos de tiempo asociados al transporte “puerta-a-puerta” de un contenedor.



Figura 1 – Esquema logístico del proceso de transporte “puerta-a-puerta” para un contenedor

En este rubro los usuarios buscan un servicio de transporte barato, rápido y confiable (Stopford, 1997). La forma en que será capturado este fenómeno será a través de la tarifa generalizada ρ , definida para cada usuario como la tarifa por el servicio, p_i , más la valoración en dinero del tiempo que toma realizar el transporte “puerta-a-puerta”. Se tiene entonces que

$$\rho_i = p_i + VT_i t_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Donde VT_i es el valor del tiempo por contenedor y t_i es el tiempo total de transporte. Así, la demanda x_i , flujo diario de contenedores con carga tipo i , será representada como

$$x_i \equiv F_i(\rho_i) \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

El beneficio que percibe cada usuario producto de utilizar el transporte marítimo está dado por el excedente Marshalliano del consumidor, es decir:

$$BU_i = \int_{\rho_i}^{\infty} F_i(\omega) d\omega \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Por otro lado, los gastos de la naviera son

$$CN(\mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) = f(C_0 + \theta t_c + R + (Dm + E)td) + \sum_i P_i Q_i x_i \quad (4)$$

donde f es la frecuencia de operación, C_0 es el gasto en combustible por viaje completo de ida y vuelta, θ es el gasto diario de mantención de cada barco, t_c el tiempo de ciclo, R la tarifa de acceso, D es la tarifa por grúa al día, E es el cargo diario por ocupar un sitio de atraque, td es el tiempo de descarga, P_i es la tarifa diaria de despacho para la carga tipo i (correspondencia 1-a-1 usuario con su carga), Q_i es el tiempo de despacho, y \mathbb{p} es el vector de tarifas portuarias, es decir, $\mathbb{p} = (R, D, E, \mathbf{P})$. Es claro que los ingresos de la naviera son $\sum_i p_i x_i$, por lo que las utilidades son:

$$\Pi_n(\mathbf{p}, \mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) \equiv \sum_i p_i x_i - CN(\mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) \quad (5)$$

Los gastos del puerto son

$$CP \equiv CMA_0 + f(CI_0 + (\tau m + \nu)td) + \sum_i \omega_i Q_i x_i = CP(\mathbf{x}, f, m) \quad (6)$$

donde CMA_0 son costos fijos, CI_0 son los costos de drenaje del canal de acceso, τ es el gasto diario de cada grúa, m son las grúas utilizadas por la naviera, ν es el costo diario de mantención de cada sitio de atraque, y ω_i es el costo de mantención de un contenedor tipo i al día. Ahora bien, de los gastos de la naviera (4) se deduce que los ingresos del puerto serán iguales a

$$I_p(\mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) \equiv f(R + (Dm + E)td) + \sum_i P_i Q_i x_i \quad (7)$$

Así, de (6) y (7) se obtiene la función de utilidades portuarias, que resulta ser igual a

$$\Pi_p(\mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) \equiv f(R - CI_0 + ((D - \tau)m + E - \nu)td) + \sum_i (P_i - \omega_i) Q_i x_i - CMA_0 \quad (8)$$

En el caso del bienestar social, se deben considerar los beneficios de los tres tipos de agentes que participan en la industria: usuarios, naviera y puerto, es decir:

$$BS(\mathbf{p}, \mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) = \Pi_n(\mathbf{p}, \mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) + \Pi_p(\mathbf{x}, f, m, \mathbb{p}) + \sum_i BU_i(\mathbf{p}, \mathbf{x}, f, m) \quad (9)$$

Por último, es necesario representar la tecnología asociada al transporte de contenedores. Se considerará un único tipo de barco, caracterizado a través de su capacidad K_0 . Dado que los barcos tienen un tamaño fijo, se debe imponer una restricción operacional para no saturar el barco, dada por:

$$\sum_i x_i - K_0 f \leq 0 \quad (10)$$

Se reconocen cuatro gastos de tiempo, debidos a: espera en el origen, viaje por mar, estadía en puerto (que agrupa tiempo de acceso, descarga y despacho), y envío final al destino. El primero de estos tiempos, por definición, comprende desde que la carga es enviada al puerto de origen hasta que el barco zarpa de dicha instalación; es claro que este tiempo está acotado superiormente por el tiempo entre zarpes sucesivos. Así, para cada tipo de carga i , el tiempo de espera en el origen será denominado LDT_i (sigla de *Land Delay Time*), y dependerá solo del inverso de la frecuencia de operación:

$$LDT_i \equiv \frac{d_i}{f} \quad \forall i, \quad \text{con } 1 \geq d_i > 0 \quad \forall i \quad (11)$$

El tiempo de viaje por mar t_v^0 se considerará independiente de la carga. Una vez que los barcos arriban al puerto de destino, la naviera debe contratar de manera secuencial los servicios de acceso, descarga y despacho. El tiempo de descarga será igual a:

$$td(\mathbf{x}, f, m) \equiv \alpha \frac{\sum_i x_i}{fm} + \beta m \quad (12)$$

En donde α son los días necesarios descargar un contenedor, y $\beta = \frac{\alpha K_0}{m_K^2}$ es un parámetro de congestión entre grúas. El tiempo de acceso tendrá la siguiente forma funcional, derivada de la ley de Little:

$$ta(\mathbf{x}, f, m) \equiv \begin{cases} \gamma \left(\varphi_0 + \frac{f}{N_0} td(\mathbf{x}, f, m) \right) & \text{si } f td(\mathbf{x}, f, m) - N_0(1 - \varphi_0) \leq 0 \\ \infty & \text{si no} \end{cases} \quad (13)$$

donde φ_0 es la tasa de ocupación base del muelle y N_0 el total de sitios de. La condición en (13) indica que la expresión es finita mientras no se sature el muelle de atraque. Finalmente, el tiempo de despacho Q_i será considerado constante por tipo de carga, e incluye el tiempo final a destino. Ya introducidos los tiempos involucrados, se está en condiciones de dar una expresión precisa para el tiempo de transporte t_i . En efecto, de (11), (12) y (13) se tiene que

$$t_i(\mathbf{x}, f, m) = \frac{d_i}{f} + t_v^0 + \gamma \varphi_0 + \left(1 + \frac{\gamma f}{N_0} \right) td(\mathbf{x}, f, m) + Q_i \quad \forall i \quad (14)$$

Finalmente, los elementos introducidos permiten también calcular de manera explícita el tiempo de ciclo, que participa en los costos de la naviera. En efecto, de (12) y (13) se tiene que

$$t_c(\mathbf{x}, f, m) \equiv 2t_v^0 + ta + td = 2t_v^0 + \gamma \varphi_0 + \left(1 + \frac{\gamma f}{N_0} \right) td(\mathbf{x}, f, m) \quad (15)$$

3.2. Modelo de mercado

El proceso será modelado como un juego secuencial de información completa. Por ende, el concepto de equilibrio de mercado es el equilibrio perfecto en sub-juegos, y lo que se está buscando es identificar la forma en que usuarios, naviera y puerto se van a comportar dado lo que los otros agentes hacen. El *timing* económico del juego es el siguiente: i) el puerto de destino fijará las tarifas por los distintos servicios que ofrece, en base a su objetivo económico (privado, público, mixto); ii) a la luz de estas tarifas, la naviera decide las tarifas a cobrar a cada usuario, la frecuencia de zarpe desde el origen, y el número de grúas que serán utilizadas en la descarga; iii) finalmente, los usuarios deciden cuánto enviar en función de las variables de servicio percibidas directamente de la operación de la naviera.

Así, bajo *backward induction*, el primer agente a considerar son los usuarios, para los cuales se determina su función de reacción ante las decisiones de la naviera. Luego se plantea la función de reacción de la naviera ante las decisiones del puerto y finalmente se derivan las tarifas óptimas el puerto, tomando en cuenta las reacciones de usuarios y naviera.

3.2.1. Interacción usuarios – naviera

La demanda de cada usuario es función de la tarifa generalizada, definida en (1). Sin embargo, se tiene por (15) que el tiempo total de transporte es función, entre otras cosas, de las demandas de todos los usuarios, configurándose así una relación de punto fijo dada por

$$x_i = F_i \left(p_i + VT_i \left(\frac{d_i}{f} + t_v^0 + \gamma \varphi_0 + \left(1 + \frac{\gamma f}{N_0} \right) td(\mathbf{x}, f, m) + Q_i \right) \right) \equiv \Psi_i(\mathbf{x}, \mathbf{p}, f, m) \quad \forall i \quad (16)$$

La solución de este problema será una función $\mathbf{x}^e = \mathbf{x}^e(\mathbf{p}, f, m)$, denominada función de demanda efectiva, que representa la demanda que enfrenta la naviera cuando interactúa con los usuarios, y cuya existencia, unicidad y continuidad estarán garantizadas bajo ciertas condiciones¹. La demanda efectiva permite plantear el modelo de máxima ganancia para la naviera, incorporando las restricciones tecnológicas en (10) y (13):

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{p}, f, m} \Pi_n(\mathbf{p}, \mathbf{x}^e(\mathbf{p}, f, m), f, m, \mathbf{p}) \\ & \text{s. a.} \\ & \Sigma_i x_i^e - f K_0 \leq 0 \quad (\lambda) \\ & ftd(\mathbf{x}^e, f, m) - N_0(1 - \varphi_0) \leq 0 \quad (\mu) \\ & m \in \{1, 2, \dots, m_{max}\} \end{aligned} \quad (17)$$

De la resolución del problema (17) se obtienen las tarifas óptimas \mathbf{p}^* , la frecuencia óptima de operación f^* y las grúas óptimas m^* . Evidentemente, todos estos valores dependen de los parámetros del problema \mathbf{u} y del vector de tarifas portuarias \mathbf{p} , es decir

$$\begin{aligned} \mathbf{p}^* & \equiv \mathbf{p}^*(\mathbf{u}, \mathbf{p}) \\ f^* & \equiv f^*(\mathbf{u}, \mathbf{p}) \\ m^* & \equiv m^*(\mathbf{u}, \mathbf{p}) \end{aligned} \quad (18)$$

Al evaluar la demanda efectiva \mathbf{x}^e en el óptimo (18) se obtiene una nueva función (que depende de \mathbf{p}), la cual será denominada función de demanda derivada, es decir:

$$\mathbf{x}^e(\mathbf{p}^*, f^*, m^*) = \mathbf{x}^e(\mathbf{p}^*(\mathbf{u}, \mathbf{p}), f^*(\mathbf{u}, \mathbf{p}), m^*(\mathbf{u}, \mathbf{p})) \equiv \mathbf{x}^d(\mathbf{u}, \mathbf{p}) \quad (19)$$

La importancia de esta función radica en que corresponde a la función de demanda que enfrenta el puerto cuando interactúa con la naviera. Como notación, las variables derivadas serán escritas utilizando el superíndice d .

3.2.2. Interacción naviera – puerto

El puerto se ve sujeto a restricciones de capacidad en los insumos, los cuales son los sitios de atraque, las grúas y el área de despacho. Las dos primeras ya fueron consideradas por la

¹ La existencia, unicidad y continuidad estarán garantizadas por el *Teorema de la función implícita*, si se consideran ciertas las siguientes hipótesis

1. $G \in \mathcal{C}^\infty(\mathbb{R}^{(2N+2)}, \mathbb{R}^N)$.
2. La curva $\{(\mathbf{x}, \mathbf{p}, f, m) \mid G(\mathbf{x}, \mathbf{p}, f, m) = 0\}$ es continua.
3. La matriz $D_x^G \equiv [(\partial G / \partial x_i)(\mathbf{x}, \mathbf{p}, f, m)]$ es invertible en todo el dominio de G .

naviera al momento de interactuar con los usuarios, por lo que ya están capturadas. Para el área de despacho, la restricción a considerar será:

$$\sum_i \frac{x_i^d Q_i^2}{H_i} + \sum_i \frac{x_i^d Q_i}{f^d H_i} \leq E_0 \quad (20)$$

donde H_i es el alto de la pila de contenedores clase i y E_0 es el tamaño (en sitios) del área de despacho. Además de esta restricción operativa, cada criterio de tarificación tiene asociado restricciones económicas. En efecto, un puerto que maximiza ganancias debe hacerlo de tal manera de que la naviera pueda cubrir sus costos, ya que de lo contrario lo mejor para ella es abandonar el rubro. Así, el modelo de comportamiento para este tipo de puerto está dado por

$$\begin{aligned} \max_{\mathbb{P}} \quad & \Pi_p(\mathbf{x}^d, f^d, m^d, \mathbb{P}) \\ \text{s. a.} \quad & \sum_i \frac{x_i^d Q_i^2}{H_i} + \sum_i \frac{x_i^d Q_i}{f^d H_i} - E_0 \leq 0 \quad (\tau) \\ & -\Pi_n(\mathbf{p}^d, \mathbf{x}^d, f^d, m^d, \mathbb{P}) \leq 0 \quad (\eta) \end{aligned} \quad (21)$$

Por otro lado, cuando se considera el caso en que el puerto desea maximizar el bienestar social cubriendo sus costos, se considera la restricción financiera de cubrir los costos portuarios, expresada como obtener utilidades no negativas. Así, el modelo de comportamiento para este caso es

$$\begin{aligned} \max_{\mathbb{P}} \quad & BS(\mathbf{p}^d, \mathbf{x}^d, f^d, m^d, \mathbb{P}) \\ \text{s. a.} \quad & \sum_i \frac{x_i^d Q_i^2}{H_i} + \sum_i \frac{x_i^d Q_i}{f^d H_i} - E_0 \leq 0 \quad (\tau) \\ & -\Pi_p(\mathbf{x}^d, f^d, m^d, \mathbb{P}) \leq 0 \quad (\kappa) \end{aligned} \quad (22)$$

Para la maximización del bienestar irrestringido, el problema analítico a estudiar es idéntico al problema (22), sin considerar la restricción de cubrir costos por parte del puerto. De la resolución de cada uno de estos problemas se obtienen las tarifas portuarias óptimas \mathbb{P}^* , que a su vez determinan completamente el equilibrio de mercado. En efecto, la naviera, en función de \mathbb{P}^* , escogerá su estrategia óptima (tarifas, frecuencia y uso de grúas), y en base a estas decisiones los usuarios escogerán la cantidad de carga que desean transportar.

4. APLICACIÓN Y DISCUSIÓN

4.1. Simulación y resultados

Como se vio en la sección anterior, la forma de plantear analíticamente el modelo de mercado es mediante el concepto de *backward induction*. Así, lo primero que se realiza es el cálculo de las funciones de demanda efectiva (Paso 1). A continuación, se resuelve la interacción entre naviera y usuarios, condicional en las tarifas portuarias, obteniéndose la estrategia óptima para la naviera, y las funciones de demanda derivada (Paso 2). Finalmente, se resuelve el óptimo del puerto, asumiendo que este conoce las demandas

derivadas y la estrategia óptima de la naviera, obteniéndose así las tarifas portuarias de equilibrio (Paso 3). El proceso descrito es resumido por el siguiente esquema:

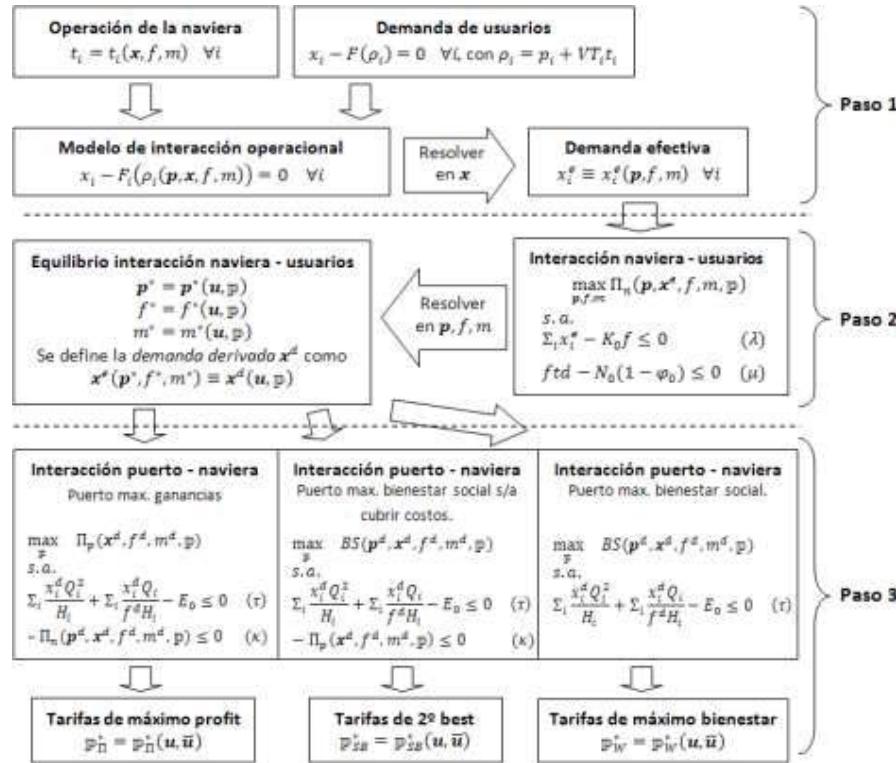


Figura 2 – Esquema de resolución analítica del modelo

Los parámetros de entrada del modelo fueron extraídos de varias fuentes, tratando de emular las características económicas y logísticas de una ruta comercial directa entre los puertos de New Jersey y Rotterdam, servida por la compañía naviera *Maersk*. Además, el valor de E_0 se escogió para que la restricción (20) sea estrictamente menor a cero en todo el dominio del problema. Los valores a utilizar se muestran en la tabla I.

Tabla I – Valores numéricos de los parámetros de entrada del modelo.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
VT_1	270	t_v^0	11	H_1	5	a	2.000
VT_2	250	m_{max}	4	H_2	5	b	0,2
Q_1	1	C_0	1.476.000	E_0	2.000	K_0	4.800
Q_2	1	θ	80.000	CMA_0	15.000	γ	0,175
d_1	0,5	α	0,00138	CI_0	10.500	φ_0	0,85
d_2	0,5	β	0,12	τ	18.500	N_0	4
v	3.000	ω_1	200	ω_2	200		

Fuente: Muñoz-Figueria (2009).

Con estos valores, se resolvió el mercado para los objetivos portuarios de maximizar ganancias, maximizar el bienestar social sujeto a cubrir los costos (*second best*), y maximizar el bienestar social irrestringido. Además, se consideró el caso de un puerto gratis (i.e. $\bar{p} \equiv 0$), ya que es equivalente a una situación en que la interacción con el puerto es solo operacional. Los resultados en cuanto a tarifas portuarias óptimas, estrategia óptima para la

naviera, demandas de equilibrio y beneficios de cada agente, y ocupación del sistema de transporte se presentan en las tablas II, III, IV y V, para cada función objetivo del puerto.

Tabla II – Tarifas portuarias óptimas de cada servicio portuario

	Acceso		Descarga		Despacho	
	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>P</i> ₁	<i>P</i> ₂	
	<i>US \$</i> <i>barco</i>	<i>US \$</i> <i>grúa · día</i>	<i>US \$</i> <i>barco · día</i>	<i>US \$</i> <i>contenedor · día</i>	<i>US \$</i> <i>contenedor · día</i>	
Máxima ganancia	4.369.515	52.762	663.612	1.488	1.721	
Second best	812.500	1.716	87.500	12	38	
Puerto gratis	0	0	0	0	0	
Máximo bienestar	401.937	-88.204	-234.259	-3.003	-3.325	
Costos relevantes	10.500	18.500	3.000	200	200	

Tabla III – Decisiones óptimas de la naviera y demandas de equilibrio

	Tarifa usuario 1	Tarifa usuario 2	Frecuencia	Grúas	Demanda usuario 1	Demanda usuario 2
	<i>US \$</i> <i>contenedor</i>	<i>US \$</i> <i>contenedor</i>	<i>barcos</i> <i>día</i>	<i>grúas</i> <i>barco</i>	<i>contenedores</i> <i>día</i>	<i>contenedores</i> <i>día</i>
Máxima ganancia	3.627	3.932	0,1110	4	259,14	273,44
Second best	3.040	3.215	0,2391	4	513,59	543,53
Puerto gratis	3.056	3.214	0,2759	4	533,50	565,17
Máximo bienestar	2.445	2.445	0,2809	4	641,98	706,34

Tabla IV – Beneficios por agente y bienestar social

	Naviera	Puerto	Usuario 1	Usuario 2	Bienestar social
	<i>US \$</i> <i>día</i>				
Máxima ganancia	87.785	1.407.281	167.880	186.927	1.849.857
Second best	2.228.111	0	659.447	738.569	3.626.127
Puerto gratis	2.510.045	-277.016	711.558	798.556	3.743.143
Máximo bienestar	6.852.735	-4.850.093	1.030.331	1.247.288	4.280.261

Tabla V – Rendimiento del sistema de transporte y multiplicadores naviera

	Tasa ocupación			Tiempo transporte (días)	λ	μ
	Barco	Muelle	Área despacho			
Máxima ganancia	1	0,909	0,533	18,8	9,174	0
Second best	0,92	0,970	0,548	16,27	0	0
Puerto gratis	0,83	0,978	0,508	15,84	0	0
Máximo bienestar	1	1	0,615	16,09	85,71	4.850.961

4.2. Análisis

4.2.1. Tarifas portuarias óptimas

Al ver los resultados presentados en la tabla II, se aprecia que a medida que el puerto se aleja del objetivo de maximizar utilidades, todas y cada una de las tarifas portuarias se ven reducidas, algunas incluso hasta alcanzar valores negativos bajo máximo bienestar. Las diferencias entre las configuraciones de mercado son dramáticas. Entre *second best* y máxima ganancia hay variaciones en algunas tarifas de más del 10.000%, como la tarifa de despacho para los contenedores tipo 1 (varía 12.400%). Para máximo bienestar estas diferencias son aún más profundas, ya que la mayoría de las tarifas portuarias pasan a ser negativas, a excepción de la tarifa de acceso *R*.. Esto muestra el papel que puede jugar *R* como instrumento económico portuario: *R* es la tarifa que permite el mayor traspaso de excedente desde la naviera al puerto, afectando en la menor medida posible sus decisiones marginales. Así. El puerto usa las otras tarifas para inducir al puerto a generar un mejor servicio para los consumidores –bajando artificialmente los costos de la naviera– pero luego recupera las utilidades que generó en la naviera a través de *R*.

4.2.2. Decisiones óptimas de la naviera y demandas de equilibrio.

En la tabla III se reportan las decisiones económicas (cargos) y operacionales (frecuencia, grúas) óptimas de la naviera para las distintas configuraciones de mercado. Con respecto a los cargos por transporte, estos disminuyen a medida que el puerto se aleja del objetivo de maximizar utilidades, así como también se ve reducida la diferencia entre ambos. En efecto, se sabe que para máxima ganancia las tarifas portuarias explican prácticamente la mitad de los cargos por transporte, mientras que para *second best* su participación es del orden del 2%, y finalmente bajo máximo bienestar representan un subsidio del orden del 60% (obviamente para el puerto gratis su participación es cero). Lo anterior habla de un *trade-off* entre el objetivo económico del puerto y el poder de mercado ejercido por la naviera.

En cuanto a la frecuencia de operación, se tiene que esta aumenta al alejarse el puerto del objetivo de maximizar utilidades. Lo anterior se explica por el monto del gasto portuario en los costos de la naviera. En efecto, a medida que las tarifas portuarias empiezan a descender, los costos relacionados a proveer el servicio de transporte también bajan, y por ende la naviera es capaz de ofrecer mejores niveles de servicio. El aumento más dramático ocurre al pasar del objetivo de máxima ganancia a *second best*, con un aumento de un 215,4%, lo que junto a menores cargos por transporte propulsa las demandas de equilibrio, que aumentan un 198,19% y un 198,77% respectivamente. Para el caso de máximo bienestar, las tarifas negativas del puerto propician un aumento artificial de la frecuencia, ya que la naviera tiene incentivos para ofrecer un servicio más frecuente dado que recibe un pago neto por el uso de la instalación portuaria.

4.2.3. Beneficios de cada agente y bienestar social.

Lo primero que salta a la vista es el marcado aumento del bienestar social entre los objetivos portuarios de *second best* y máxima ganancia, con un crecimiento relativo del 96,02%. Al mirar en detalle los beneficios de cada agente, se aprecian enormes variaciones,

en especial para la naviera, que ve incrementada sus ganancias en más de 25 veces (de 87.786 a 2.228.111 dólares diarios), e incluso aumenta más que el beneficio perdido por el puerto. Esto se explica por el poder de mercado que posee el puerto sobre la naviera, puesto que al comparar este aumento de bienestar con las tarifas portuarias se concluye que la naviera es la que absorbe gran parte del “golpe” que significa pasar de una situación de *second best* a una situación en la cual el puerto maximiza ganancias. Los usuarios también ven incrementado su bienestar de manera importante, con una variación relativa de 292,8% y 295,11% respectivamente, lo que se explica por el importante aumento de frecuencia y la disminución de los cargos y los tiempos de transporte entre ambas configuraciones de mercado.

También resulta interesante el hecho de que una configuración de puerto gratis se logre un mejor bienestar social que el alcanzado bajo *second best*, lo cual dice que en términos sociales resulta más conveniente implementar un puerto gratis cuyo déficit sea cubierto por el resto de los agentes de manera directa que imponer una situación en la cual el puerto debe cubrir sus costos a través de sus tarifas portuarias, si es que no se permite la entrega de subsidios. La pérdida de bienestar neto entre ambas situaciones es debido a la utilización de las tarifas portuarias como herramientas para cubrir costos. En todo caso, si se supone que es la naviera quien debe cubrir la totalidad del déficit portuario, es fácil ver de la tabla IV que esta logra utilidades superiores que para el caso de *second best*, lo que puede traducirse como incentivos a implementar un terminal dedicado. El punto aquí es que esta opción regeneraría un mejor bienestar no solo para la naviera, sino que también para los usuarios.

4.2.4. Rendimiento del sistema de transporte

Finalmente, se comparará el uso del sistema de transporte logrado por las distintas configuraciones de mercado, y reportados en la tabla V. Es fácil ver que a medida que el puerto abandona el objetivo de maximizar ganancias, el grado de ocupación del muelle de atraque aumenta, mientras que el nivel de carga al interior de los barcos disminuye, excepto para máximo bienestar, en donde los barcos se ocupan a capacidad. Lo anterior se explica por la saturación del sistema de transporte, y en especial del muelle de atraque, lo que finalmente no permite que la naviera pueda incrementar la frecuencia hasta el punto que desee. Los multiplicadores asociados a las restricciones operacionales del sistema de transporte muestran que efectivamente las ganancias marginales de la naviera serían muchísimo mayores ampliando el muelle de atraque más que aumentando el tamaño de los barcos. Así también, se aprecia que a medida que el puerto se hace “más público” el tiempo total de transporte disminuye, aunque el menor de los tiempos se logra bajo el puerto gratis, debido a la baja ocupación de los barcos. A pesar de que bajo un puerto público irrestricto las cargas demoren un poco más, los cuantiosos subsidios logran que los usuarios perciban un bienestar mucho mayor que para un puerto gratis, como se ve en la tabla IV.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de la simulación indican que un puerto privado exhibe las tarifas portuarias más altas (en todos los servicios); debido a lo anterior, el equilibrio del mercado naviera-usuarios se caracteriza por exhibir una baja frecuencia de operación y altos cargos por transporte. Además, el beneficio social es el menor dentro de los tipos de puerto

considerados. Esto no hace más que obedecer a una situación de doble marginalización, en la cual dos monopolios secuenciales tratan de extraer el máximo bienestar en su mercado; aún con la utilización de 5 tarifas distintas, esta configuración provoca el mismo tipo de ineficiencias que aparecen al considerar solo una tarifa. Así, al tener más herramientas disponibles, el monopolio líder (puerto) logra no solo extraer beneficios al monopolio subordinado (naviera), sino que además a los agentes que este último tiene a su vez cautivos.

Por el contrario, un puerto público auto-financiado (*second best*) presenta una estructura tarifaria caracterizada por cobros por debajo del costo relevante para los servicios de uso de grúas y despacho, y altos cobros para el acceso y la estadía en puerto. La motivación detrás de esto es cubrir los costos portuarios a expensas de la naviera, buscando al mismo tiempo afectar lo menos posible a los usuarios. El equilibrio del mercado naviera-usuarios exhibe una frecuencia de operación mucho mayor que para un puerto privado, así también como menores cargos de transporte, ambos factores que impulsan la demanda por el servicio. El beneficio social aumenta considerablemente en comparación con un puerto privado, siendo el agente más beneficiado la naviera, con un aumento significativo en sus utilidades. Lo anterior es reflejo de que para poder beneficiar a los usuarios, se debe beneficiar también a la naviera, dada su condición monopólica.

Un puerto público sin restricción financiera subsidia los servicios de descarga y despacho a través de tarifas negativas, mientras que el servicio de acceso es tarificado de forma positiva, y por sobre el costo relevante. La motivación para lo anterior va en reducir de manera artificial los costos de la naviera (relacionados con las cargas), para así aumentar los niveles de servicio (junto con subsidiar fuertemente a los usuarios). Además, el cobro de una tarifa de acceso positiva tiene por objetivo recuperar parte de los beneficios que la naviera no transfiere a los usuarios, dada su condición monopólica. El equilibrio del mercado naviera-usuarios se caracteriza por una alta frecuencia de operación, que lleva a un uso completo del muelle de atraque, y por cargos de transportes iguales entre usuarios, lo que dice que el poder de mercado de la naviera es anulado. La distorsión entre los beneficios obtenidos por la naviera y por el puerto es máxima, presentando cuantiosas utilidades y profundos déficit respectivamente. El beneficio de los usuarios también es máximo, gracias a las mejores condiciones operacionales.

El caso de puerto gratis muestra que si los requerimientos de volumen son bajos, se logra un bienestar social mayor al alcanzado bajo *second best*, lo que dice que es mejor socialmente poner un puerto gratis, que pedirle al puerto que lo haga cubriendo sus costos. Además, si se supone que la naviera asume la totalidad del déficit portuario, se concluye que obtiene más utilidades que bajo la influencia de un puerto público auto-financiado, por lo que hay incentivos para la naviera de implementar un terminal dedicado, lo que es sinónimo de integración vertical. Lo interesante de este último resultado es que sigue siendo cierto si las dimensiones del sistema son pequeñas, en cuyo caso el bienestar social logrado es menor que para *second best*. Es decir, siempre será atractivo para la naviera implementar un terminal dedicado, a pesar de que para la sociedad no es lo mejor si el sistema de transporte se encuentra a capacidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por FONDECYT (proyectos 1080140 y 1090187) y el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ICM P-05-004-F, CONICYT FBO16).

6. REFERENCIAS

- Basso, L.J. and Zhang, A. (2007) An interpretative survey of analytical models of airport pricing, in D. Lee (Ed.), *Advances in Airline Economics*, vol. 2: The Economics of Airline Institutions, Operations and Marketing, Elsevier, 89-124.
- Basso L.J., Zhang A. (2008) On the relationship between airport pricing models, *Transportation Research Part B*, Vol. 42, Nº 9, pp. 725-735.
- Christiansen M., Fagerholt K., Ronen D. (2004) Ship routing and Scheduling: Status and Perspectives, *Transportation Science*, Vol. 38, Nº 1, pp. 1-18.
- Cullinane K., Khanna M. (2000) Economics of scale in large containerships: optimal size and geographical implications, *Journal of Transport Geography*, Vol. 8, Nº 3, pp 181-195.
- ECLAC (1998) Concentration in Liner Shipping, United Nations.
- Gilman S., Williams G.F. (1976) The Economics of Multi-Port Itineraries for Large Container Ships, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 10, Nº 2, pp. 137-149.
- Haralambides H.E. (2004) Determinants of price and price stability in liner shipping, Workshop on The Industrial Organization of Shipping and Ports, National University of Singapore, 5-6 March 2004, Singapore.
- Haralambides H. (2007) Structure and operation in the liner shipping industry, *Handbook of Transport Modelling*, Edited by Hensher D.A. and Button K.J., Elsevier Ltd.
- Holguín-Veras J., Jara-Díaz S.R. (1999) Optimal space allocation and pricing for priority service at container ports. *Transportation Research Part B*, Vol. 33, Nº 2, pp. 81-106.
- Holguín-Veras J., Jara-Díaz S.R. (2006) Preliminary insights into Optimal pricing and space allocation at Intermodal Terminals with elastic arrivals and Capacity Constraint. *Networks and Spatial Economics*, Vol. 6, Nº 1, pp. 25-38.
- Holguín-Veras J., Jara-Díaz S. R. (2008) Optimal two-part pricing and capacity allocation with multiple user classes and elastic arrivals at constrained transportation facilities, *Networks and Spatial Economics*, doi10.1007/s11067-008-9075-6.
- Kim K.H., Kim K.Y. (2007) Optimal price schedules for storage of inbound containers, *Transportation Research Part B*, Vol. 41, Nº 8, pp. 892-905.

- Midoro R., Musso E., Parola F. (2005) Maritime liner shipping and the stevedoring industry: market structure and competition strategies, *Maritime Policy & Management*, Vol. 32, Nº 2, pp. 89-106.
- Muñoz-Figueroa J. (2009) Modelos de tarificación en modelos portuarios, Master's Thesis, Universidad de Chile.
- Notteboom T.E. (2004) Container Shipping and Ports: An Overview, *Review of Networks Economics*, Vol. 3, Nº 2, pp. 86-106.
- Pirrong S.C. (1992) An Application of Core Theory to the Analysis of Ocean Shipping Markets, *Jounal of Law and Economics*, Vol. 35, Nº 1, pp. 89-131.
- Sjostrom W. (1989) Collusion in Ocean Shipping: A Test of Monopoly and Empty Core Models, *The Journal of Political Economy*, Vol. 97, Nº 5, pp. 1160-1179.
- Sjostrom W. (2004) Ocean Shipping Cartels: A Survey, *Review of Networks Economics*, Vol. 3, Nº 2, pp. 107-134.
- Stopford M. (1997) *Maritime Economics*, Routledge, New York.
- UNCTAD (1998) *Concentration in Liner Shipping*, United Nations.
- UNCTAD (2008) *Review of maritime transport 2008*, United Nations.
- Zan, Yang (1999) Analysis of container port policy by the reaction of an equilibrium shipping market, *Maritime Policy Management*, Vol. 26, Nº 4, pp. 369-381.