

# Congestión Portuaria y Racionamiento Eficiente en la Transferencia de Carga

Claudio Agostini \* y Eduardo Saavedra \*\*

13 de Marzo de 2011

## Resumen

*El sistema de precios difícilmente puede eliminar la congestión en la transferencia de carga portuaria en períodos peak, pues el uso del puerto no depende tanto de factores estacionales sino que principalmente de la llegada simultánea de barcos, situación que lleva a racionar el uso de esta infraestructura. En este artículo se muestra que el racionamiento eficiente (en segundo mejor) debe hacerse de acuerdo al valor de la carga transferida más que seguir el criterio de orden de llegada o 'first-come-first-served'. Se muestra que un racionamiento eficiente es dando prioridad a la carga en contenedores, luego a la carga fraccionada y por último a la carga en graneles. Se aplican estos resultados a la transferencia de carga en el puerto concesionado San Antonio Terminal Internacional (STI) de Chile.*

**Palabras Claves:** Congestión, Racionamiento Eficiente, *First-come-first-served*, Regulación de Puertos

**Clasificación JEL:** L90, L23, D45, D22

---

\* Escuela de Gobierno, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile. E-mail: [Claudio.agostini@uai.cl](mailto:Claudio.agostini@uai.cl)

\*\* ILADES-Universidad Alberto Hurtado, Chile. Correspondencia a este autor; E-mail: [saavedra@uahurtado.cl](mailto:saavedra@uahurtado.cl); Dirección: Erasmo Escala 1835, Santiago, Chile; Teléfono: (562)8897354; Fax: (562)6920303.

# 1 Introducción

Las transferencias de carga portuaria utilizan una infraestructura que, por el monto y lo largo del tiempo de maduración de su inversión, puede caracterizarse como una facilidad esencial que presenta severas restricciones en su capacidad en períodos *peak* o de alta demanda. Tradicionalmente la teoría económica propone que las congestiones deben ser eliminadas usando el sistema de precios. Este mecanismo lamentablemente no puede aplicarse a los puertos, como sí puede hacerse al consumo eléctrico o de agua potable, ya que el uso de la infraestructura portuaria no depende tanto de factores estacionales sino que de la llegada casi simultánea de un excesivo número de barcos que demandan usar esa infraestructura. Esto plantea la necesidad de racionar el uso del puerto, generando colas vía la espera de algunos de estos barcos fuera del recinto portuario.

El cómo llevar a cabo el racionamiento es un tema en disputa. Si bien el criterio más conocido para racionar es uno por orden de llegada o 'first-come-first-served', la literatura económica ha mostrado la alta ineficiencia de este criterio dado que la disposición a pagar de los operadores racionados difiere fuertemente de acuerdo al valor de la carga transportada (Stranden y Wolfstetter, 2004; Button, 1979), generando de paso mayores costos en la operación del puerto (Imai et al., 1997).

Conforme a la literatura, en este artículo se muestra teórica y empíricamente que es socialmente deseable que se asigne todo el racionamiento a las actividades que tienen menor valor agregado. Este menor valor agregado se mide en forma abstracta por la caída en el valor de la carga transportada cuando ésta es racionada. Este resultado se mantiene si se incorporan al modelo compensaciones a las empresas racionadas o la capacidad de embarque del puerto se ve afectada de acuerdo a qué tipo de servicio se raciona. El criterio de racionamiento que se utiliza en este trabajo es por valor de la carga, distinguiendo la carga en contenedores de aquella en graneles. Ambos tipos de carga presentan fuertes diferencias en su valor así como en el costo para el operador del puerto, en términos de tiempos de operación y uso de facilidad portuaria principalmente.

Este trabajo está motivado por una disputa presentada en Chile ante el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia (TDLC) en el año 2007. La empresa Terquim S.A. acusó a San Antonio Terminal Internacional (STI) y Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) de

abuso de posición dominante al utilizar prioridades de atención a las naves en el puerto que difieren del criterio de 'first-come-first-served'. Contrario a lo planteado por Terquim, y en consistencia con este trabajo, el TDLC desechó la acusación en Enero de 2010, veredicto ratificado por la Corte Suprema en Septiembre de ese mismo año.<sup>1</sup>

Sin embargo, más allá de esa disputa de libre competencia en lo puntual, los argumentos económicos para racionar la infraestructura portuaria en un período particular son aplicables a cualquier puerto, así como también lo es la metodología propuesta en este artículo.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente forma. La sección dos describe el marco institucional respecto a la propiedad público/privada de los puertos en Chile, las particularidades del Puerto de San Antonio y las dos empresas que allí operan (STI y EPSA), y la principal carga a granel que transfiere STI (ácido sulfúrico). La sección tres revisa la literatura de racionamiento en puertos y describe la naturaleza de facilidad esencial de la infraestructura portuaria. La sección cuatro presenta un modelo económico que muestra por qué un racionamiento por valor de la carga es más eficiente que un racionamiento por orden de llegada. La sección cinco muestra estimaciones comparativas de seguir un criterio y otro para el Puerto de San Antonio, utilizando información de STI del año 2007. Finalmente, la sección seis concluye.

## **2 ANTECEDENTES**

### **2.1 La Operación Privada de los Puertos en Chile**

Durante los 80s y 90s la Empresa Portuaria de Chile (Emporchi) operaba los diez puertos propiedad del Estado, mediante un sistema de operación llamado multioperador. Bajo este sistema, la empresa estatal administraba la infraestructura portuaria y varias empresas privadas realizaban las labores de carga y descarga de naves en los puertos.<sup>2</sup> Una de las

---

<sup>1</sup> Para mayores detalles ver el Reporte Técnico de Claudio Agostini y Eduardo Saavedra "Racionamiento Eficiente en una Facilidad Esencial: el Caso de Puerto San Antonio", del 15-abr-2008. La sentencia 96/2010 del TDLC y el fallo de la Corte Suprema caratulado como Rol 1933/2010. Todos estos documentos se encuentran disponibles en [www.tdlc.cl](http://www.tdlc.cl) (revisado el 18-abr-2011).

<sup>2</sup> La ley 19.542 define el esquema multioperador como el sistema de operación portuaria donde las distintas empresas de muellaje pueden prestar sus servicios en un mismo frente de atraque.

grandes desventajas de este sistema es que divide la carga entre varias empresas en un mismo puerto, lo que limita seriamente los incentivos para invertir en equipos de transferencia e impide el uso eficiente de la infraestructura portuaria.

Dado el fuerte crecimiento experimentado por el comercio internacional en Chile, la gestión portuaria se comenzó a transformar en un cuello de botella y a fines de los 90s el gobierno tomó la decisión de modernizar el sector portuario estatal. Los objetivos centrales de la reforma fueron impulsar y dinamizar el proceso de inversión en infraestructura, tecnología y gestión portuaria. Para ello, se propuso reemplazar el sistema multioperador por un sistema monopropietario, en el cual una sola empresa se hace responsable de la operación y mantenimiento de un terminal portuario; y promover la competencia en el sector. Es así como se planteó una reforma consistente en dividir Emporchi, incorporar la participación de privados en el desarrollo de puertos estatales a través del mecanismo de concesiones y modernizar la gestión laboral de los puertos.<sup>3</sup>

La reforma fue aprobada en 1998 y desde entonces la Ley 19.542 rige a las empresas portuarias chilenas. Se crearon así diez empresas portuarias estatales autónomas, cada una dueña de un puerto, con el objetivo explícito de administrar, explotar, desarrollar y conservar sus respectivos puertos y terminales. Adicionalmente, la ley establece como misión de cada una de estas empresas el promover la competencia entre puertos y al interior del puerto, e incorporar la participación del sector privado para incrementar la eficiencia y la inversión. Para ello, las empresas portuarias pueden licitar la concesión a privados para la operación y la realización de inversiones en cada uno de los terminales portuarios de su propiedad. Bajo el esquema de concesión, cada empresa portuaria estatal se mantiene como dueña de la infraestructura y fiscaliza el contrato de concesión, recibiendo como ingresos una renta mínima anual por parte del concesionario junto a un porcentaje de sus ingresos.

En 1999 se llamó a licitación para concesionar los tres principales terminales

---

<sup>3</sup> Al permitir la gestión e inversión privada en los puertos estatales, esta reforma permitió aumentar la capacidad portuaria de Chile. Ello por cuanto los puertos estatales tienen ventajas de ubicación geográfica, al estar emplazados en zonas abrigadas que son escasas en la costa chilena, por lo que resulta más eficiente invertir y desarrollar estos puertos que invertir en los puertos privados existentes, que consisten generalmente en muelles de penetración.

portuarios en Chile: San Antonio, Valparaíso y San Vicente (Talcahuano), los cuales sumados representaban del orden de 50% del total de carga transferida por Emporchi. La licitación contempló dos criterios de adjudicación: i) por un índice tarifario que se calcula a partir de las tarifas de muellaje a la nave, muellaje a la carga, transferencia de contenedores y transferencia de carga fraccionada; y ii) por un pago al Estado o canon anual. En caso que más de un oferente optara por las tarifas mínimas, la licitación se adjudica al oferente que ofreciera un mayor pago al estado.

## **2.2 Las Empresas Portuarias Pública y Privada en San Antonio**

La estatal Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) posee cuatro frentes de atraque con un total de 9 sitios y una superficie total 495 hectáreas, de las cuales 353 corresponden a áreas marítimas, y 142 a áreas terrestres. La poza de abrigo tiene una superficie de 75 hectáreas y los cuatro terminales son el Molo Sur (sitios de atraque 1, 2 y 3); Espigón (sitios de atraque 4, 5, 6 y 7); Terminal Norte (sitio 8 especializado en graneles sólidos); y Sitio 9, especializado en graneles líquidos.

El proceso de licitación del Puerto de San Antonio contempló las concesiones del Molo Sur y el Terminal Norte. El Molo Sur fue adjudicado a San Antonio Terminal Internacional (STI) con un índice tarifario de 7.05 dólares la tonelada, un pago *upfront* de US\$10 millones, un canon anual que considerando el tonelaje movilizado en el año 2007 alcanzó a US\$11,050,606 y un pago adicional de US\$121,252,062. El Terminal norte fue adjudicado a Puerto Panul con un índice tarifario de US\$2.72 por tonelada, un pago *upfront* de US\$ 1 millón, un canon anual de US\$4,246,598 y un pago adicional de US\$8,369,123. Ambas concesiones se realizaron bajo el esquema monoperador de administración y operación exclusiva de cada terminal, incorporando además la responsabilidad por la mantención y desarrollo del frente concesionado. En los cinco sitios restantes no concesionados, y por lo tanto administrados por EPSA, se mantuvo y sigue en vigencia el esquema multioperador. El Terminal Vopak (sitio 9), especializado en líquidos, es operado en contrato de operación por Vopak Terminal San Antonio Ltda.

STI es la empresa concesionaria que opera y administra el Terminal Molo Sur, especializado en contenedores. Para estos efectos cuenta con 769 metros de muelle

continuo, 12 metros de profundidad a lo largo de su frente de atraque al momento de la concesión (STI aumentó a 15 metros la profundidad posteriormente para atender barcos con contenedores), cuatro grúas porta contenedores del tipo *Gantry*, 31 hectáreas de las cuales 25 están destinadas para el acopio de contenedores y cargas a granel, grúas del tipo RTG, *Reach Stacker*, Camiones, *Terminal Tractors*, para la manipulación de contenedores y cargas dentro del terminal, un área para consolidación y desconsolidación de contenedores, 5,000 metros cuadrados de almacenaje techado para carga, 1,700 conexiones *reefer* disponibles, acceso de ferrocarriles hasta el costado de las naves y zonas de carguío de contenedores y romana para el pesaje de camiones con carga a granel o contenedores.

El contrato de concesión establece velocidades de transferencia y tiempos de espera que deben cumplirse o si no hay multas asociadas al incumplimiento para el concesionario. Adicionalmente, hay reglas establecidas para una mejoría progresiva en el servicio que presta el concesionario a lo largo del contrato. De esta forma, se incentiva la inversión necesaria por parte del concesionario para mantener y mejorar el estándar de servicio sin la necesidad de imponer inversiones específicas o montos de inversión. Las tarifas básicas están fijadas en el contrato de concesión, sin embargo, el concesionario puede cobrar tarifas especiales por servicios adicionales que provea previa solicitud del usuario. Esto incentiva al concesionario a invertir de acuerdo a la evolución tanto del progreso técnico en operaciones portuarias como de la demanda de sus clientes de diferentes tipos, los cuales requieren diferentes niveles de servicio.

Tal como se mencionó previamente, los principales puertos concesionados son puertos especializados en carga transportada en contenedores y uno de los objetivos de la licitación era precisamente que se realizaran inversiones que permitieran aumentar la capacidad y la eficiencia de la transferencia de la carga en contenedores. A nivel mundial, el transporte de carga en contenedores ha experimentado un cambio tecnológico importante en el transporte marítimo de carga durante los últimos 20 años. El uso de contenedores ha producido una reducción importante en los costos de manejo de la carga, aumentando como resultado el cabotaje nacional e internacional (Clark, Dollar y Micco, 2004; Blonigen y Wilson, 2006). Estos últimos autores estiman que la baja en costos es mayor para productos de mayor valor y menor para productos de mayor peso. De igual forma muestran

que la eficiencia del puerto reduce en forma importante los costos de transporte marítimo.

El puerto de San Antonio, no ha sido la excepción en esta tendencia mundial a transportar carga en contenedores. El Gráfico 1 muestra el número de atraques en cada terminal por tipo de barco. Se aprecia que el número de barcos que transportan contenedores no sólo es mayor sino que además ha aumentado en mayor proporción que los barcos que transportan líquidos. Si bien esto último ocurre en mayor magnitud en el Molo Sur que en el espigón, el hecho de que ocurra en ambos refleja que esto es una tendencia que no está sólo asociada a tener un frente de atraque concesionado.

[Gráfico 1 acá]

De igual forma, tal como se muestra en la Gráfico 2, el total de carga transferida por tipo de barco es sustancialmente mayor en los barcos de contenedores que en los de líquidos, tanto en el Molo Sur (STI) como en el espigón (EPSA).

[Gráfico 2 acá]

Finalmente, si consideramos el rendimiento de distintos tipos de carga transferida en los puertos, medido como el total de toneladas transferidas dividido por el número de horas de estadía de la nave, es posible observar en el Gráfico 3 la mayor eficiencia de la carga en contenedores respecto a los graneles líquidos, y para ambos tipos de carga se observa la mayor eficiencia de STI por sobre EPSA además.

[Gráfico 3 acá]

La evolución que ha tenido la carga en los últimos años, reflejada en las figuras anteriores, muestra no sólo la tendencia hacia una mayor contenedorización sino que también la mayor eficiencia portuaria que se obtiene con el uso del contenedor. Por ello, la especialización de frentes de atraque en carga contenedorizada permite obtener ganancias de eficiencia respecto a frentes de atraque que mezclan graneles y contenedores. Esto es importante, ya que puertos ineficientes pueden reducir en forma importante el volumen de comercio y el impacto puede ser aún mayor para países pequeños y en desarrollo (Blonigen y Wilson, 2006).

Una consideración adicional respecto al tipo de naves que atiende un puerto se refiere a que las naves que transportan contenedores, a diferencia de las naves que transportan ácido sulfúrico, atienden servicios de tráfico regular, es decir, tienen itinerarios establecidos con recaladas fijas. Por ello necesitan grados de certeza

importantes respecto a los horarios de recalada y tiempos de espera en cada puerto en el cual recalán, con el objeto de dar cumplimiento a su programa de viaje.

Los sitios de atraque son un bien de uso público, lo cual implica tarifas públicas no discriminatorias, atención de naves y movilización de carga. Por ello, en todos los puertos concesionados existe un reglamento interno de uso de frentes de atraque que tiene por objetivo el uso eficiente de la infraestructura portuaria y la libre elección de los usuarios. El manual establece las normas y los procedimientos para las prioridades en el atraque de naves, estableciendo que la programación de atraque se hace en base a regla de prioridad técnica objetiva, lo cual implica un uso eficiente-económico de sitios. La Tabla 1 muestra las prioridades establecidas en los 3 sitios de atraque concesionados a STI. Estas prioridades reflejan preferencias por tipos de carga con mayores rendimientos de transferencia y de servicios que operan naves regularmente en el puerto. Estas preferencias son eficientes desde el punto de vista económico, son consistentes con el tipo de inversiones realizadas en el puerto y consideran el costo de oportunidad del tipo de carga y de la frecuencia con que operan las naves.

[Tabla 1 acá]

### **2.3 Cadena Logística del Ácido Sulfúrico**

El transporte del ácido sulfúrico desde la mina de El Teniente de Codelco hasta el embarque en el Puerto de San Antonio se realiza en tres etapas secuenciales, mediante camiones, ferrocarril y, ya en San Antonio, se almacena en estanques y se embarca. Esta última etapa es realizada completamente por Terquim, ya que STI sólo provee el muelle. Un 97% de las transferencias de Terquim son de ácido sulfúrico.

A pesar de que el Molo Sur es puerto fundamentalmente para contenedores, Terquim tiene la concesión para operar en el puerto, la que establece explícitamente la posibilidad que tiene EPSA de alterar, disminuir y ampliar la superficie y también la de reemplazar la ubicación de los terminales de Terquim por resolución fundada.

Si bien STI no sigue la política de reserva de sitios y, por lo tanto, no se compromete a priorizar naves en desmedro de otras más allá de lo estipulado en el Manual de Servicios, el contrato entre STI y Codelco hace responsable a STI de los problemas ambientales que

produciría el copamiento de los terminales de Terquim si hay indisponibilidad de sitio de atraque. Así, el contrato busca minimizar los tiempos de espera a la gira de las naves que transportan ácido sulfúrico para Codelco y para ello compromete al concesionario con tiempos de espera máximos para la atención de estas naves. En el sentido estrictamente legal, se entiende entonces que Codelco no tiene el derecho de atracar sino el derecho a ser compensado por demoras excesivas de parte de STI en el atraque de los barcos de ácido sulfúrico.

Para estos efectos, el tiempo empieza a correr desde que el buque arriba a la estación de prácticos hasta el momento que comienzan las maniobras para su atraque independiente del nivel de stock de ácido sulfúrico. Las multas fijadas en el contrato y vigentes al año 2007 eran de US\$20,000 diarios (a prorrata si los tiempos son menores) Adicionalmente, el costo de sacar el buque a la gira es de STI (remolcadores, tiempo, etc.) si decide hacerlo. A cambio de estas multas que establece el contrato por las demoras ocasionadas por el racionamiento eficiente que se hace de las instalaciones portuarias, Codelco paga una tarifa fija por tonelada de ácido, la que a Abril de 2008 llegaba a los US\$1.05.

El contrato fija tres niveles de stocks de ácido sulfúrico en los estanques y el compromiso de espera máxima de parte de STI para la atención de las naves dependiendo del nivel de stock. Los niveles de stock y espera máxima son: nivel verde, consistente en menos de 26.000 toneladas y espera máxima de 48 horas; nivel amarillo, entre 26.000 y 33.000 toneladas y espera máxima de 24 horas; y nivel rojo, más de 33.000 toneladas y espera máxima de 6 horas.

Este contrato es una solución económica eficiente. Por un lado, le da ciertas garantías a Codelco que los estanques de ácido sulfúrico no se llenan y tengan siempre capacidad de recibir el ácido que produce su fundición, ya que de lo contrario Codelco tendría que paralizar sus operaciones. Por esta razón Codelco tienen una mayor disposición a pagar que se refleja en la tarifa establecida. Por otro lado, STI tiene un costo alternativo al no poder utilizar un sitio de atraque para un barco con contenedores porque el sitio está siendo utilizado por un barco de ácido sulfúrico. Dicho costo alternativo se refleja también en la tarifa establecida en el contrato y STI paga por mantener un barco de ácido esperando más allá del tiempo estipulado en el contrato.

El efecto económico que tiene este contrato es precisamente dar las señales adecuadas para racionar en forma eficiente el uso de un frente de atraque que tiene capacidad limitada. El costo potencial en multas que impone a STI lo incentiva a hacerse cargo de los potenciales problemas de seguridad para la población de San Antonio que significarían episodios de rebalse de los estanques de ácido sulfúrico propiedad de Terquim.

### **3 REVISIÓN DE LA LITERATURA**

Revisamos a continuación la literatura de racionamiento del uso de un bien, y en particular el de infraestructura portuaria. Luego, por las características propias del bien que se congestiona, revisamos al literatura sobre facilidades esenciales.

#### **3.1 Racionamiento y Racionalidad Económica**

La necesidad de racionar el uso de un bien se produce cuando es costoso modificar los precios (en restaurantes es preferible hacer esperar a nuevos clientes 10 a 15 minutos que variar el costo del menú de acuerdo a la demanda), cuando el racionamiento señala calidad (atención médica o bienes de lujo), o cuando hay aumentos temporales de demanda y existen costos de cambio para los consumidores. Como resultado, observamos mercados en los cuales el exceso de demanda no lleva a un aumento de precios sino que un racionamiento de los consumidores. Esto es cierto en mercados tan diversos como restaurantes, componentes electrónicos, semiconductores, computadores personales, metales, dióxido de titanio, polipropileno, petroquímicos, discos compactos y juguetes de niños.<sup>4</sup>

A partir de esta evidencia en distintos mercados, la literatura económica se ha concentrado tanto en tratar de explicar la existencia de racionamiento por tiempo (colas) como una situación de equilibrio, como también en determinar los mecanismos óptimos de racionamiento cuando no es posible o deseable el ajuste vía aumento de precios.

En uno de los artículos seminales en esta literatura, Barzel (1974) estableció la

---

<sup>4</sup> Entre otras referencias, ver Mackinnon y Olewiler (1980), Ghemawat (1986), Basu (1987), Carlton (1991), Slade (1991), Ungem-Sternberg (1991), Haddock y McChesney (1994) y DeGraba (1995).

racionalidad económica detrás del racionamiento mediante espera por orden de llegada o 'first-come-first-served', al señalar que la espera en una cola simplemente establece un costo adicional para los consumidores de un bien. Cuando un bien está disponible en cantidades limitadas, la combinación tiempo-precio juega el mismo rol que el precio monetario cuando no hay restricción de cantidad. De esta forma, el equilibrio en el mercado consiste en un precio consistente en un precio monetario que reciben los productores más el valor del tiempo de espera, por lo que se produce una brecha entre el precio total pagado por los consumidores y el recibido por los productores. Como resultado hay una pérdida de eficiencia respecto al equilibrio con sólo precio monetario. En el caso en el que no hay limitaciones en la disponibilidad del bien pero hay rigidez de precios, la lógica es equivalente a la de Barzel y el tiempo de espera juega simplemente el rol de reducir el exceso de demanda hasta equilibrarlo con la oferta del bien (Alderman, 1987).

Sin embargo, incluso en el caso en que no hay rigideces de precios puede ser óptimo para una empresa racionar en vez de aumentar los precios. Bose (1996) considera un restaurante en que se requiere reservar mesa o esperar en una cola para ser atendido. Debido a este requerimiento, consumidores interesados en una comida casual o rápida tienen una demanda baja por el restaurante y consumidores interesados en una comida social con amigos o familia tienen una demanda más alta. Los resultados del modelo muestran que los consumidores que deciden esperar en una cola para obtener mesa en un restaurante son los que tienen una demanda mayor y por lo tanto una mayor disposición a pagar. Como resultado, existe un equilibrio con racionamiento en el cual para el restaurante es más rentable racionar consumidores que cobrar precios más altos para equilibrar el mercado.

Más allá de las distintas explicaciones teóricas que se han dado en la literatura para explicar la existencia de racionamiento como una situación de equilibrio en un mercado, lo relevante para este caso es considerar la optimalidad de los distintos mecanismos de racionamiento. Sin duda, el mecanismo más conocido es el de 'first-come-first-served' que consiste simplemente en entregar el bien o servicio por orden de llegada, por lo que la pregunta relevante consiste en determinar la optimalidad de esa regla.

Una primera contribución en este sentido fue realizada por Greenberger (1966), quién señaló que el sistema de prioridades óptimo depende del objetivo, ya que existe un

conflicto entre minimizar el tiempo de espera promedio y la varianza de los tiempos de espera. Es así como una regla que prioriza la atención de consumidores que requieren menos tiempo de atención permite minimizar la media de espera y el número de consumidores esperando, pero a costa de aumentar la varianza. Por el contrario, una regla de 'first-come-first-served' permite controlar la varianza de los tiempos de espera.

Ambos criterios de racionamiento consideran que el costo de la espera es el mismo para todos los consumidores. Si ese supuesto no se cumple, surgen otras alternativas más eficientes para establecer prioridades de acuerdo a la importancia o la urgencia que tengan distintos tipos de consumidores. Es así como en los aeropuertos se establece prioridad para los aviones que aterrizan por sobre los aviones que despegan, independiente de qué avión pidió permiso primero a la torre de control.

Al considerar distintas reglas para la atención de computadores, Greenberger (1966) establece que el óptimo es atender a los usuarios de acuerdo al costo de espera de cada uno, atendiendo primero a los que tienen un mayor costo de espera. Este resultado es similar al que ya habían obtenido Cox y Smith (1961), que mostraron que cuando hay heterogeneidad en los costos de atraso en el servicio, el costo promedio por el atraso para los consumidores se minimiza atendiéndolos en orden descendente en el ranking de prioridad, el cual se define como el costo de espera por unidad de tiempo dividido por el requerimiento de servicio esperado.

Posteriormente, Naor (1969) mostró que la regla de 'first-come-first-served' con una población homogénea de consumidores genera un grado de congestión que excede el socialmente óptimo, por lo que es necesario aumentar el precio (o cobrar una tarifa adicional) a un nivel que reduzca la congestión. Este resultado fue posteriormente extendido por Balachandran y Schaefer (1979) para el caso en que hay consumidores heterogéneos (varias clases o tipos de consumidores distintos).

De igual forma, Pestalozzi (1964) y Likens (1976) muestran que utilizar un índice de prioridad para los aeropuertos es más eficiente que atender utilizando un sistema de 'first-come-first-served'. En particular, Pestalozzi utiliza un modelo de simulación numérica para mostrar que si el objetivo es minimizar la demora promedio el óptimo es establecer prioridad de los aterrizajes sobre los despegues, pero si se quiere minimizar el costo de la demora promedio (y por lo mismo el costo total de las demoras), es óptimo

introducir además prioridades por tipo de avión entre los aviones que aterrizan y entre los aviones que despegan, manteniendo la regla de que los aterrizajes mantienen prioridad sobre los despegues. Es importante destacar que en todos los casos simulados, la regla de 'first-come-first-served' nunca resulta óptima.

El trabajo de Sherman y Visscher (1982), considera la estrategia de precios óptimos junto a mecanismos de racionamiento cuando la demanda por el servicio es estocástica. Sus resultados muestran que un mecanismo de racionamiento basado en darle prioridad a los consumidores con mayor disposición a pagar, implica un precio óptimo igual para todos los consumidores. Por el contrario, un mecanismo de racionamiento que da prioridad a los consumidores que valoren menos el servicio, implica precios óptimos discriminatorios cobrando precios mayores a los consumidores con mayor disposición a pagar.

Estos resultados son relevantes para el caso del puerto, ya que muestran que cuando no es posible cobrar precios distintos a distintos tipos de consumidores y se obliga a cobrar un sólo precio no discriminatorio, es óptimo racionar el exceso de demanda en orden descendente a la disposición a pagar.

En cuanto a la literatura sobre racionamiento específica a puertos, la gran mayoría de la literatura concuerda que el mecanismo de 'first-come-first-served' es ineficiente a no ser que todos los arribos sean idénticos (tanto barcos como carga), dando pie para justificar una discriminación por racionamiento eficiente.

Strandeness y Wolfstetter (2005) señalan que *"El procedimiento estándar usado por puertos marítimos es 'first-come-first-served', un procedimiento horario que es altamente ineficiente en términos económicos, ya que no refleja los costos de espera relativos de los barcos. La regla descarta el costo de espera y la disposición a pagar tarifas portuarias más altas para aumentar la velocidad y reducir el costo de capital para el dueño de la carga".*<sup>5</sup>

De igual forma Imai, Nagaiwa y Chan (1997) concluyen que con el objetivo de lograr alta productividad portuaria un mecanismo de asignación óptima de sitios de atraque nunca debe considerar el mecanismo de 'first-come-first-served'.

Por razones de eficiencia entonces, un puerto debiera discriminar mediante peajes (tarifas adicionales) u otros mecanismos. Jansson y Ryden (1979) sugirieron utilizar una

---

<sup>5</sup> Esta y otras son traducciones libres de los autores.

tarifa en dos partes. De esta forma la tarifa se dividiría en un cargo que refleje el costo de oportunidad de utilizar la facilidad puerto y otro cargo por tonelada el cual estaría diferenciado en base a la elasticidad de la demanda. En forma similar, Button (1979) evalúa el diseño de un sistema económico de precios que considere como criterio el que los usuarios de un puerto paguen el costo de oportunidad social marginal de los recursos que utilizan. El resultado es que los puertos deben cobrar una tarifa en dos partes consistente en un cobro por carga, basado en el costo de oportunidad marginal social, y en un cobro fijo por el derecho a utilizar el puerto, basado en la frecuencia y el tiempo de ocupación del puerto. Bajo este sistema los usuarios regulares del puerto tienen prioridad sobre los usuarios infrecuentes, ya que el sistema 'first-come-first-served' no refleja la demanda efectiva que tiene cada barco por servicios portuarios.

Siguiendo esta última línea de argumentación, Ghosh (2002) muestra que es óptimo otorgar prioridad a los barcos que más valoran el servicio y propone para ello un sistema de remate secuencial de sitios de atraque. A partir de esta idea y aplicando el mecanismo de Clark-Grove-Vickrey, Strandenes y Wolfstetter (2005) proponen un sistema de licitación de sitios de atraque mediante un mecanismo que asegura que las ofertas en la licitación revelan el verdadero valor que tiene para cada barco atracar en el sitio y hora que se licita.

Más allá de las consideraciones teóricas y el consenso en la literatura respecto a la ineficiencia de utilizar el sistema de 'first-come-first-served' para asignar sitios de atraque, en la práctica sistemas de priorización han sido crecientemente utilizados en distintos puertos en todo el mundo. Tal como lo menciona Imai et al. (2004): *"la asignación de sitios que toma en cuenta consideraciones de prioridad es de alta importancia para los operadores de puertos que funcionan en un contexto de competencia, ya que les permite ser más flexibles en las decisiones que toman y les entrega un rango de alternativas a considerar para servir a sus clientes"*.

En consecuencia, algunos puertos usan el tamaño del barco o el volumen de carga como criterio de prioridad. A modo de ejemplo, las autoridades portuarias en Japón, Singapur y Noruega asignan en algunos puertos prioridad a los barcos con mayor volumen de contenedores (respectivamente Imai et al, 1997; Imai et al, 2004; y Svendsen, 1967).

### 3.2 Los Puertos como Facilidad Esencial

Conceptualmente, una facilidad esencial o infraestructura esencial se puede entender como el insumo básico para abastecer a empresas que participan en segmentos competitivos – o al menos en competencia imperfecta – de una industria, en donde este insumo básico es provisto bajo condiciones monopólicas o con poder de mercado. Es interesante notar que el poder de mercado derivado de la propiedad o del control en la operación de los activos denominados esenciales no necesariamente requieren ser monopólicos, basta con que el operador de estos activos pueda sin regulación alguna imponer un precio límite que le deje rentas extranormales en su operación.<sup>6</sup>

Entender adecuadamente el concepto de facilidad esencial pasa primero por comprender que toda industria tiene una estructura vertical, esto es el mercado que atiende a los consumidores requiere necesariamente acceder al insumo básico pues insumos alternativos no existen o no son viables económicamente.<sup>7</sup> La Figura 1 muestra esquemáticamente cómo se entiende la facilidad esencial en la actividad portuaria tratándose de un monopolio natural regulado.

[Figura 1 acá]

En dicha figura se asume que N empresas navieras ofrecen el servicio de transporte de carga, sea en contenedores, granel o fraccionado; y que existen M usuarios indirectos del puerto (productores o consumidores de los bienes transportados). Adicionalmente, se cuenta con la participación de otros actores en la actividad de transporte de carga portuaria, como la autoridad marítima y los prácticos navieros previo/posterior a la llegada/salida de una nave al sitio de atraque, y de aduanas y agencias de aduanas, y el Servicio Agrícola y Ganadero posterior/anterior a esto.

Lo segundo que se debe entender es que no todo tipo de facilidad esencial requiere ser regulado. Es posible encontrar industrias con bajos costos hundidos y bajo poder de mercado en que se da competencia por facilidades esenciales, en donde dos o más

---

<sup>6</sup> Para efectos de regulación económica basta con que exista dominancia de mercado, lo que es cierto cuando i) las tarifas por acceder a la facilidad esencial son reguladas o ii) el precio límite es suficientemente alto de forma tal que la facilidad esencial es 'casi' como un monopolio natural (Serra, 2001).

<sup>7</sup> En rigor la industria portuaria sí presenta sustitutos imperfectos en la facilidad esencial (existencia de otros puertos más alejados dentro del país o un puerto estatal en el mismo lugar). Estos sustitutos son imperfectos pues se puede acceder a ellos a un costo mayor, ya sea por el mayor costo de transporte terrestre previo/posterior a la transferencia portuaria o por la mayor demora en proveer el servicio.

empresas optan por construir su propia facilidad esencial, dando incluso acceso pagado pero determinado libremente por el mercado a sus rivales en el mercado del cliente final. Ejemplo de esto sería una industria de salud liberalizada (Robinson y Casalino, 1996), o la de las telecomunicaciones (Valetti y Cambini, 2005; Mancero y Saavedra, 2006). Alternativamente, existen industrias con mayores costos hundidos en donde dos o más competidores comparten sus facilidades esenciales, incluso como resultado de mercado ante la entrada de un nuevo competidor, como podría ser la industria de combustibles líquidos (Balmaceda y Saavedra, 2006) o la del transporte aéreo (Agostini, 2008).

Si se ha optado por regular el acceso a la facilidad esencial, en tarifas y en calidad, aparecen dos elementos interesantes de analizar. Primero, al momento de diseñar la subasta de la privatización o de la concesión portuaria se debe ser cauteloso en las condiciones ex-post que rijan la operación misma de las instalaciones (Engel, Fischer y Galetovic, 2004); debiendo cuidar las condiciones sobre la propiedad de las operadoras privadas, la estructura horizontal de la industria, la regulación tarifaria, y la regulación de la calidad del servicio a prestar.

En segundo lugar, si se opta por no separar verticalmente la industria, el operador portuario puede tener intereses comerciales en el mercado naviero, por lo que podría sabotear a los rivales por la vía de reducir la calidad del servicio prestado vis a vis sus propias naves.<sup>8</sup> Por estos riesgos, en Chile explícitamente se fijan normas de prioridades de servicio, demora en la espera y estándares de calidad que son supervisadas por el regulador correspondiente.

En suma, la concesión de la operación de la infraestructura portuaria es económicamente eficiente, pues el proceso de licitación junto con el de regulación emula al mercado competitivo al entregar las señales correctas de tarificación, calidad de servicio y sobretodo de inversión al operador. En consecuencia, no está en disputa si las inversiones portuarias han sido las adecuadas, pues congestión con precios dados se va a producir igual en algún momento, precisamente cuando se requiere tener una respuesta de cómo se manejará el racionamiento.

---

<sup>8</sup> La literatura de sabotaje es ahora extensa, siendo seminales los trabajos de Mandy (2000) y Beard, Kaserman y Mayo (2001).

## 4 UN MODELO DE RACIONAMIENTO EFICIENTE EN PUERTOS

### 4.1 Modelo Básico

Dadas las decisiones tomadas por el Estado previo a la licitación de los puertos, en particular las referidas a las restricciones de propiedad y de la estructura de la industria así como la decisión de tarifas a los diversos servicios, el operador portuario se enfrenta a la necesidad de racionar el uso de la facilidad esencial en períodos de alta demanda por el servicio. En términos simples, cualquiera sea el volumen de inversión necesario, lo óptimo y real es que hay períodos del año en que la infraestructura portuaria dará abasto para atender todo tipo de carga y, óptimamente, habrá períodos también en que se saturarán las instalaciones por exceso de demanda.

En el modelo a continuación se muestra teóricamente que el racionamiento eficiente se logra asignando toda la actividad portuaria en períodos de alta demanda al servicio de contenedores, dejando la capacidad residual para otros servicios con menor valor agregado. Ello ocurre por tres razones: ganancias en términos de mayor excedente para los demandantes de servicios portuarios, mayores beneficios para el concesionario del puerto y mayor capacidad portuaria disponible para los servicios prestados en períodos de alta demanda.<sup>9</sup>

Supondremos por simpleza que la actividad portuaria se restringe a solo dos actividades: transferencia de contenedores ( $C$ ) y transferencia de buques graneleros ( $G$ ); sólo tres períodos son relevantes, el primero en donde no hay racionamiento pues la demanda total por ambas actividades es menor a la capacidad instalada ( $K$ ), el segundo período en donde la demanda por transferencia de contenedores crece a tal punto que la demanda total supera a la capacidad instalada ( $D_1 > K$ ), y el tercero en donde la demanda vuelve a su nivel normal y se atiende además la demanda racionada en el período previo. Asimismo, los precios por estos servicios están regulados exógenamente y por lo tanto son iguales a ( $p^C$ ) y ( $p^G$ ), y los costos respectivamente son  $c^C$  y  $c^G$ , en donde  $p^C > p^G > c^G > c^C$ . Esto

---

<sup>9</sup> La mayor capacidad portuaria se entiende como la rapidez con que es servida la transferencia de carga de buques que transportan un mismo tonelaje. Así, aumenta la capacidad del puerto cuando un barco es servido más rápido que otro, manteniendo constante el tonelaje transferido.

último capta el hecho de que el margen que obtiene la concesionaria por el servicio a contenedores es mayor que el margen que obtiene por graneles.

Las demandas por ambos servicios en los períodos 1 y 3 son iguales entre sí y dadas por  $p^C = a - b \cdot Q^C$  y  $p^G = a - b \cdot Q^G$ , siendo la misma para la actividad de graneles en el segundo período, y creciendo la demanda para el servicio de contenedores en el segundo período a  $p^C = a + a - b \cdot Q^C$ . La Figura 2 resume la estructura de esta hipotética industria para los períodos 1 y 2, siendo la del período 3 similar al primero.

[Figura 2 acá]

El bienestar de la sociedad es igual a la suma de los excedentes de los demandantes más los beneficios de la empresa portuaria. Es importante subrayar la pertinencia de incorporar en el beneficio social las rentas de la empresa portuaria porque i) con ello paga la inversión en la infraestructura y ii) la actividad portuaria ha sido concesionada y por ende las rentas esperadas de este negocio ya fueron capturadas por el fisco al momento de licitar el puerto con el canon anual y el pago *upfront* requerido. No obstante, como veremos pronto los resultados cualitativos no cambian si sólo se considera el excedente de los demandantes del servicio.

Si llamamos  $U_t^C$  y  $U_t^G$  respectivamente a los excedentes netos de los demandantes de transferencia de contenedores y de graneles ( $t = 1, 2, 3$ ), el bienestar social es:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad \text{con}$$

$$= \sum_{t=1}^3 (U_t^C + U_t^G + \pi_t^C + \pi_t^G)$$

Hay que notar que a pesar de tener la misma demanda en los tres períodos, los excedentes de los usuarios graneleros difieren en tanto se racione el servicio en el segundo período y se satisfaga (total o parcialmente) esa demanda en el tercer período. Para comprender de mejor forma cuáles son estos excedentes que componen el bienestar social, la Figura 3 ilustra los cuatro excedentes o ganancias que corresponderían al segundo período. Por simpleza, suponemos sólo para esta figura que no hay restricción de capacidad.

[Figura 3 acá]

Volviendo al caso general, con racionamiento en el segundo período, suponemos

que una proporción  $\theta$  del racionamiento es asignada a la actividad de graneles, mientras que  $(1 - \theta)$  de ese racionamiento se asigna a la actividad de contenedores. La carga racionada es totalmente servida en el período siguiente, pero el usuario recibe una proporción del excedente solamente:  $\delta^C$  y  $\delta^G$ . Visto que en la práctica la actividad de contenedores es sustancialmente más importante para la economía del país y de los propios mandantes de servicios portuarios, suponemos razonablemente que son éstos los que más pierden con un racionamiento, lo que capta el modelo suponiendo que  $0 < \delta^C < \delta^G \leq 1$ . Hay que aclarar que no hay descuento de los flujos entre períodos, pues suponemos que el racionamiento es muy corto, por lo cual  $\delta^C$  y  $\delta^G$  sólo representan el costo de oportunidad por no ser otorgado el servicio cuando es requerido. Por último, suponemos que la empresa portuaria compensa en una proporción  $(1 - f)$  de sus ganancias a un cliente cada vez que lo racione.

Se revisa en primer lugar el caso en que la capacidad portuaria instalada, en términos de atención de buques, es fija e independiente del parámetro  $\theta$ . Más adelante suponemos que esa capacidad instalada para servicios portuarios en un período determinado aumenta en tanto se asigne más racionamiento a la actividad de graneles, esto es  $\frac{\partial K}{\partial \theta} > 0$  donde  $K \in [K, \bar{K}]$ .

## 4.2 Bienestar Social y Racionamiento con $K$ Fijo

Los excedentes de usuarios y del puerto para los tres períodos son:

$$\begin{aligned}
 W_1 &= U_1^C + U_1^G + \pi_1^C + \pi_1^G \\
 &= \frac{1}{2} \cdot (a - p^C) \cdot Q_1^C + \frac{1}{2} \cdot (a - p^G) \cdot Q_1^G + (p^C - c^C) \cdot Q_1^C + (p^G - c^G) \cdot Q_1^G \\
 &= -\frac{1}{2 \cdot b} \cdot \left[ (a - p^C)^2 + (a - p^G)^2 \right] + \frac{1}{b} (a - c^C)(a - p^C) + \frac{1}{b} (a - c^G)(a - p^G)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_2 &= U_2^C + U_2^G + \pi_2^C + \pi_2^G \\
&= \frac{1}{2} \cdot (a + \alpha - p^C) \cdot Q_2^C - (1 - \theta) \cdot \frac{b}{2} \cdot (Q_2 - K)^2 \\
&\quad + \frac{1}{2} \cdot (a - p^G) \cdot Q_2^G - \theta \cdot \frac{b}{2} \cdot (Q_2 - K)^2 \\
&\quad + (p^C - c^C) \cdot Q_2^C - (1 - \theta) \cdot (p^C - c^C) \cdot (Q_2 - K) \\
&\quad + (p^G - c^G) \cdot Q_2^G - \theta \cdot (p^G - c^G) \cdot (Q_2 - K) \\
&= -\frac{1}{2 \cdot b} \cdot \left[ (a + \alpha - p^C)^2 + (a - p^G)^2 \right] \\
&\quad + \frac{1}{b} (a + \alpha - c^C)(a - p^C) + \frac{1}{b} (a - c^G)(a - p^G) \\
&\quad - \frac{1}{2 \cdot b} \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)^2 \\
&\quad - \frac{1}{b} \cdot [(p^C - c^C) - \theta \cdot [(p^C - c^C) - (p^G - c^G)]] \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_3 &= U_3^C + U_3^G + \pi_3^C + \pi_3^G \\
&= \frac{1}{2} \cdot (a - p^C) \cdot Q_3^C + \delta^C \cdot (1 - \theta) \cdot \frac{b}{2} \cdot (Q_2 - K)^2 \\
&\quad + \frac{1}{2} \cdot (a - p^G) \cdot Q_3^G + \delta^G \cdot \theta \cdot \frac{b}{2} \cdot (Q_2 - K)^2 \\
&\quad + (p^C - c^C) \cdot Q_3^C + f \cdot (1 - \theta) \cdot (p^C - c^C) \cdot (Q_2 - K) \\
&\quad + (p^G - c^G) \cdot Q_3^G + f \cdot \theta \cdot (p^G - c^G) \cdot (Q_2 - K) \\
&= W_1 + \frac{1}{2 \cdot b} \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)^2 \cdot [\delta^C + \theta \cdot (\delta^G - \delta^C)] + \\
&\quad \frac{f}{b} \cdot [(p^C - c^C) - \theta \cdot [(p^C - c^C) - (p^G - c^G)]] \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)
\end{aligned}$$

Es posible separar el bienestar social en aquella parte que no depende de cómo se raciona de aquella que depende del racionamiento. Así, si llamamos  $W(a, \alpha, p^C, p^G, c^C, c^G)$  a la porción del bienestar social que no depende ni del racionamiento ni de la capacidad instalada, el bienestar social total quedará entonces expresado como:

$$\begin{aligned}
W &= W(a, \alpha, p^C, p^G, c^C, c^G) + \\
&\quad \frac{1}{2 \cdot b} \cdot (1 - [\delta^C + \theta \cdot (\delta^G - \delta^C)]) \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)^2 + \\
&\quad \frac{(1-f)}{b} \cdot [\theta \cdot [(p^C - c^C) - (p^G - c^G)] - (p^C - c^C)] \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)
\end{aligned}$$

Luego, el efecto de asignar más racionamiento al servicio de graneles es siempre socialmente beneficio, pues:

$$\begin{aligned}\frac{\partial W}{\partial \theta} &= \frac{1}{2 \cdot b} \cdot (\delta^G - \delta^C) \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)^2 + \\ &\quad (1 - f) \cdot \frac{1}{b} \cdot [(p^C - c^C) - (p^G - c^G)] \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K) \\ &> 0\end{aligned}$$

El primer término muestra el cambio en el bienestar de los usuarios producto de asignar marginalmente más racionamiento al servicio de menor valor agregado, lo cual se refleja en que  $\delta^G > \delta^C$ . Esto es así porque los usuarios de barcos con contenedores pierden significativamente más que los usuarios de barcos graneleros al atrasarse su embarque o desembarque de carga. El segundo término sólo es significativo en tanto la empresa portuaria deba compensar a un usuario racionado ( $f < 1$ ).

Producto de este resultado, dado que el racionamiento es permitido en tanto los precios no se ajustan a la demanda en un momento puntual en que se entregan los servicios portuarios, es eficiente asignar todo el racionamiento a la actividad de embarque de graneles; es decir, es eficiente fijar  $\theta = 1$ .

### 4.3 Bienestar Social y Racionamiento con $K$ Endógeno

Como el tiempo destinado a la transferencia de carga de barcos graneleros es mayor que el tiempo que se requiere para servir a un barco con contenedores de igual tamaño, lo que mostramos con evidencia empírica más adelante, es correcto entonces suponer que la capacidad portuaria es endógena a la decisión de racionamiento. En términos de nuestro modelo, la capacidad del puerto crece en tanto se traspasa racionamiento desde contenedores a graneles o matemáticamente  $K = K(\theta)$ , con  $\frac{\partial K}{\partial \theta} > 0$ . Suponemos que  $K(0) = \underline{K}$  y  $K(1) = \bar{K}$ . Con todo, aunque se asignara todo el racionamiento a la actividad a granel aún persistirá el racionamiento, lo que significa que  $Q_2 > \bar{K}$ . Tomando los resultados del apartado previo, el efecto de un aumento de  $\theta$  sobre el bienestar social es:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial W}{\partial \theta} &= \frac{1}{2 \cdot b} \cdot (\delta^G - \delta^C) \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K)^2 + \\
&\quad (1 - f) \cdot \frac{1}{b} \cdot [(p^C - c^C) - (p^G - c^G)] \cdot (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K) + \\
&\quad (2 \cdot a + \alpha - (p^C + p^G) - b \cdot K) \cdot (1 - [\delta^C + \theta \cdot (\delta^G - \delta^C)]) \cdot \frac{\partial K}{\partial \theta} + \\
&\quad (1 - f) \cdot [\theta \cdot (p^G - c^G) + (1 - \theta) \cdot (p^C - c^C)] \cdot \frac{\partial K}{\partial \theta} \\
&> 0
\end{aligned}$$

en donde los últimos dos términos son nuevos y captan el impacto de un menor racionamiento en tanto se asigne éste a la carga/descarga de graneles. En consecuencia, los efectos directos de favorecer la carga en contenedores como los efectos indirectos en mayor capacidad portuaria elevan el bienestar social inambiguamente al seguir esta regla de priorización de la actividad portuaria.

Como todo modelo, la abstracción es tal que bajo consideraciones adicionales muy específicas el resultado acerca del racionamiento eficiente sin duda podría cambiar, como sería el caso en que la carga de granel se hace imperiosa por razones de seguridad (por ejemplo, ácido sulfúrico almacenado a capacidad plena). Como situaciones así son fáciles de verificar, basta con que el protocolo de racionamiento considere dicha posibilidad.

## **5 APLICACIÓN DE CRITERIOS DE PRIORIDAD EN EL PUERTO DE SAN ANTONIO, CHILE**

Con el objeto de considerar cómo funciona un racionamiento por tipo de carga en la práctica, se analiza a continuación lo ocurrido con cada uno de los barcos de transporte de líquidos que arribaron al Puerto de San Antonio y utilizaron las instalaciones de STI durante el año 2007. Luego se estima la eficiencia de racionar a favor de la carga en contenedores y carga fraccionado, por sobre la de usar el criterio del ‘first-come-first-served’ para racionar.

### **5.1 Caracterización de las Esperas por Racionamiento Eficiente**

El Gráfico 4 muestra la distribución de los tiempos de espera totales para los barcos de ácido sulfúrico, cuantificados desde el arribo a la estación de prácticos hasta la primera

espía en un sitio de atraque. Se observa que durante el año 2007 arribaron 41 barcos para el transporte de ácido sulfúrico, de los cuales 15 tuvieron una espera mayor a la que hubieran tenido en caso de ser atendidas inmediatamente y sin interrupciones. Sin embargo, sólo 9 de esos 15 casos son atribuibles al reglamento de prioridades, ya que en cuatro oportunidades la espera se debió a que los sitios estaban ocupados por barcos que arribaron primero, tal como operaría un puerto si siguiera el criterio de 'first-come-first-served', y en dos casos fue Codelco el que solicitó sacar el barco a la gira por falta de ácido sulfúrico para cargar.

[Gráfico 4 acá]

El Gráfico 5 muestra la distribución de los tiempos totales de espera por parte de los barcos de ácido sulfúrico, distinguiendo las razones que causaron la espera. Las barras de color rojo muestran las esperas causadas por la aplicación del reglamento de prioridades, las barras de color amarillo muestran los casos en que Codelco solicitó sacar los barcos a la gira por falta de ácido y las barras verdes muestran los casos en que había barcos que arribaron antes que el barco de ácido ocupando los sitios. Es decir, las esperas correspondientes a las barras verdes y amarillas hubieran ocurrido aunque el reglamento de prioridades estableciera que se atienden los barcos por orden de llegada. El efecto de aplicar racionamiento por tipo de carga, enviando barcos graneleros a la gira, fue que ello aconteció en un 22% de los embarques de ácido sulfúrico en STI en el año 2007.

[Gráfico 5 acá]

El caso de otros líquidos distintos al ácido sulfúrico no es muy diferente. El Gráfico 6 muestra la distribución de los tiempos de espera totales para el año 2007 para estos barcos. Se observa que ese año arribaron al puerto 22 barcos para el transporte de otros líquidos, de los cuales sólo cinco tuvieron que esperar producto del reglamento de prioridades de STI (barras rojas), es decir, un 22,7% de los barcos. Adicionalmente, dos de ellos esperaron porque los sitios se encontraban en uso por naves que arribaron con anterioridad (barras verdes).

[Gráfico 6 acá]

En resumen, el análisis de la información de esperas en STI durante el año 2007 permite concluir que, más allá de la eficiencia en el uso del puerto que genera el uso del criterio de racionamiento por tipo de carga, el número de naves que transportan líquidos

que fueron afectadas por una espera mayor a la que tendrían bajo un sistema 'first-come-first-served' es de sólo una de cada cinco naves arribadas.

## 5.2 Costo de Oportunidad del Racionamiento Eficiente

Es muy importante conocer cuál es el costo de oportunidad de la política de racionamiento eficiente o, en otras palabras, cuál es el valor estimado de la carga en contenedores y fraccionada que tuvo prioridad sobre el ácido sulfúrico u otros líquidos. Esta información cuantificaría cuánto gana la sociedad siguiendo la regla de prioridades descrita en lugar de seguir un racionamiento por orden de llegada. Ciertamente no se trata del bienestar social en tanto no se está estimando la demanda por cada producto, sino se cuantifica cuánto vale la carga a los precios de equilibrio de mercado. Como lamentablemente no fue posible conocer el valor *fob* de la carga de los barcos que tuvieron prioridad en los 9 casos reportados para el año 2007 en que se aplicó esta política para el ácido sulfúrico, como tampoco fue el caso para los 5 barcos de otro líquidos racionados en el uso del puerto, realizamos aproximaciones por la vía de información agregada de las exportaciones chilenas.

### Estimaciones Ideales

La carga de graneles (**G**) tiene un valor bruto en una cierta fecha  $t$  igual a  $v_t^G = p_t^G \cdot q_t^G$ . Idealmente esa información se podría obtener del valor *fob* de la carga transportada. En tal caso el valor bruto del embarque de graneles para dicho barco sería simplemente igual a  $v_t^G = fob_t^G$ . Similarmente, la carga por contenedores y la carga fraccionada (**C**) tienen un valor por cada barco transportado que está dado por igual producto de precios y cantidades. Como en estos barcos la carga es heterogénea, la mejor forma de aproximarse al valor bruto de la carga transportada en cada barco  $i$  en cada momento del tiempo  $v_{jt}^C$  es simplemente tomando su valor *fob*. Luego, si se raciona a un barco de granel para que de paso a  $J$  barcos con contenedores y/o con carga fraccionada, el valor bruto para la sociedad de priorizar a los barcos que transportan este tipo de carga es  $\sum_{j=1}^J v_{jt}^C = \sum_{j=1}^J fob_{jt}^C$ .

Como los costos de atender a cualquier tipo de barco son fundamentalmente fijos, pues el mayor costo es el de oportunidad de la infraestructura hundida (inversión en

muelles, grúas, *manifold* de carga, entre otros), no basta con conocer el espacio ocupado por cada barco en el puerto sino además el tiempo en que demora ese barco en ser cargado o descargado, según corresponda (*hrs*). En consecuencia, la comparación correcta es:

$$\frac{fob_t^G}{hrs_t} \quad \text{versus} \quad \sum_{j=1}^J \frac{fob_{jt}^C}{hrs_{jt}} \cdot \left( \frac{q_{jt}^C}{\sum_{j=1}^J q_{jt}^C} \right)$$

es decir, se pondera cada operación media por los tonelajes relativos de transferencia de carga de ese barco.

Por último, podría ser de mayor interés conocer en cuánto fue esta diferencia en un año en particular, para lo cual bastaría con calcular el promedio (ponderado) de estas toneladas por hora para todo un año determinado:

$$\sum_{t=1}^T \frac{fob_t^G}{hrs_t} \cdot \left( \frac{q_t^G}{\sum_{t=1}^T q_t^G} \right) \quad \text{versus} \quad \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{j=1}^J \frac{fob_{jt}^C}{hrs_{jt}} \cdot \left( \frac{q_{jt}^C}{\sum_{j=1}^J q_{jt}^C} \right) \right] \cdot \left( \frac{\sum_{j=1}^J q_{jt}^C}{\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J q_{jt}^C} \right)$$

donde *T* en este caso se refiere a todos los barcos graneleros racionados en un año en particular y, como se aprecia, se deben ponderar las transferencias medias para cada caso.

De todas variables necesarias de contar con información, no hay información pública de los valores *fob* de las transferencias realizadas, por lo que se utilizan variables de mercado o agregadas.

### **Priorización y Eficiencia: Acido Sulfúrico (*as*)**

A falta de información acerca de  $fob_t^{as}$  se usa como alternativa  $p_t^{as} \cdot q_t^{as}$ . Se cuenta con el tonelaje de cada barco de ácido sulfúrico racionado para el año 2007 ( $q_t^{as}$ ), y se usa el precio promedio de este líquido pagado por los importadores chilenos, cuyo último valor CIF disponible al año 2008 era el precio promedio del año 2006:  $p_t^{as} = 57.1$  dólares la tonelada.<sup>10</sup> El resto de información relevante para los embarques de Acido Sulfúrico para el año 2007 fue provisto por STI y las variables relevantes a este cálculo se entregan en la Tabla 2:

[Tabla 2 acá]

<sup>10</sup> Corresponde al valor CIF (Coquimbo, 2007).

Se aprecia que un barco racionado demora poco menos de 30 horas en ser atendido desde que llega al puerto. Dicha cifra media es 2.5 veces mayor a la demora media en comenzar a embarcar ácido de los 41 barcos de este tipo que arribaron a este puerto en el año 2007, tiempo que fue de 11.76 horas. Asimismo, la carga embarcada de ácido sulfúrico en STI ese año fue de 573.5 toneladas por hora en cada barco racionado (promedio ponderado por los embarques de cada barco). Con todo, para el año 2007 el valor medio de los embarques de ácido sulfúrico que transportaban estos barcos racionados por el puerto ascendería a 292, 549 dólares por tonelada/hora de embarque.

En cuanto a los barcos a los cuales se les dio prioridad, en desmedro de los que hemos llamado racionados, como se desconoce el valor *fob* de cada carga y los tonelajes y precios de ellas, se utiliza el precio promedio implícito de las exportaciones e importaciones chilenas a partir de información del Banco Central de Chile (valor FOB de importaciones y exportaciones para el año 2006) y de la Cámara Marítima de Chile (cantidades totales importadas y exportadas en dicho año). A partir de esto, se estima el precio promedio para el año 2006,  $p^{co} = 1,215$  dólares la tonelada.<sup>11</sup>

La Tabla 3 entrega información general acerca de cuántos barcos se priorizaron, sus toneladas transferidas, sus tiempos de uso del puerto en estas tareas, y en las dos columnas finales, los cálculos de tonelada por hora (de acuerdo a las fórmulas anteriores) y el valor de dichas transferencias.

[Tabla 3 acá]

Las principales conclusiones que se derivan respecto del uso eficiente del puerto son las siguientes:

- Al comparar la eficiencia del puerto en atender embarque de ácido versus el de la carga priorizada, de las cuales la principal es el transporte en contenedores, se encuentran resultados consistentes con aquellos predichos por el modelo teórico que hemos desarrollado. Así, el puerto es más eficiente transfiriendo tonelaje de carga por contenedores y fraccionada que embarcando ácido: las toneladas de carga de los barcos priorizados por cada hora de uso de la infraestructura portuaria fue de

---

<sup>11</sup> Este precio representa un límite inferior al verdadero precio promedio para ese año pues este *proxy* incorpora el precio ponderado de la carga a granel que es menor que el de la carga en contenedores y fraccionada.

773.35 en promedio (ponderado) para el año 2007; mientras que igual carga promedio por hora para barcos de ácido sulfúrico alcanzó a 573.62 toneladas por hora. Podemos concluir en consecuencia que el puerto es más eficiente transfiriendo tonelaje de carga por contenedores y fraccionada que embarcando ácido, pues este último representa sólo un 74.16% de efectividad respecto de la actividad priorizada (o alternativamente las transferencias de contenedores y carga fraccionada es un 34.8% más eficiente en el uso de las instalaciones portuarias que las transferencias de ácido sulfúrico).

- Al mirar la eficiencia de las dos actividades comparadas desde el punto de vista de cómo la sociedad valora su uso, lo que hacemos con algunos supuestos acerca de los precios de los bienes transportados, se encuentra que la transferencia de contenedores y fraccionada tiene un valor de 26.59 veces superior al de la actividad de embarque de ácido sulfúrico. En efecto, se encuentra que el valor de la carga de contenedores y fraccionada priorizada por STI en el año 2007 alcanzó a los 7,780,285 dólares por hora; mientras que el valor de la carga de ácido sulfúrico racionada por STI en el año 2007 alcanzó a sólo 292,549 dólares por hora. En consecuencia, por la diferencia en órdenes de magnitud resultante, no hay duda alguna de la conveniencia social de priorizar el uso de la infraestructura portuaria en favor de la carga en contenedores.

### **Priorización y Eficiencia: *Otros Líquidos***

Lamentablemente por la heterogeneidad de la carga transferida como Otros Líquidos, no es posible conocer el precio medio de estos productos para el año 2007. Lo que sí es posible mostrar es que en términos de eficiencia de tonelaje por hora de uso de la infraestructura portuaria es correcta una regla que otorgue prioridad a la carga en contenedores y fraccionada por sobre la de otros líquidos. Así, de acuerdo la información relevante para transferencias de Otros Líquidos para el año 2007, provista por STI y mostrada en la Tabla 4, se observa que la regla de priorización seguida por STI afectó negativamente a cinco barcos de Otros Líquidos, de un total de 22 barcos de este tipo que usaron el puerto ese año. Los barcos racionados debieron esperar casi 44 horas en promedio, cifra que es 3.8 veces la espera media de un barco de estas características para este puerto en el año 2007.

La misma tabla muestra que la velocidad de transferencia de carga en las naves racionadas fue de 135.4 toneladas por hora (promedio ponderado por los embarques de cada barco).

[Tabla 4 acá]

En cuanto a los barcos a los cuales se les dio prioridad, en desmedro de los que hemos llamado racionados, la Tabla 5 muestra información de las fechas en que ocurrió este racionamiento, el número de barcos priorizados, sus toneladas transferidas, sus tiempos de uso del puerto, y las toneladas por hora despachadas.

[Tabla 5 acá]

Al igual que para el transporte de ácido sulfúrico, para el año 2007 la regla de priorización hecha por STI fue eficiente en términos de uso de la infraestructura portuaria. En efecto, la carga priorizada tuvo un uso de 821.33 toneladas por hora en promedio, lo que significa que el puerto es poco más de un 500% más eficiente moviendo tonelaje de carga por contenedores y fraccionada que transfiriendo otros líquidos. No es posible conocer información de precio promedio de estos otros líquidos, pero para que esa carga fuese igualmente valorada por la sociedad que la carga priorizada, se requeriría que el precio de los otros líquidos fuese en promedio al menos de 7,370 dólares la tonelada; es decir equivalente a 5.9 veces el precio promedio de las exportaciones e importaciones de Chile, y a 129 veces el precio promedio de la tonelada de ácido sulfúrico en el año 2007.

## **6 Conclusiones**

La literatura económica que analiza la congestión en puertos establece consistentemente que el mecanismo de 'first-come-first-served' es ineficiente, con la excepción del caso en que todos los arribos sean idénticos. En consistencia, es eficiente desde un punto de vista de asignación de recursos utilizar mecanismos de discriminación que permitan racionar en forma eficiente un recurso escaso. En la aplicación que hemos presentado, se muestra que STI, el puerto concesionado de San Antonio en Chile, al igual que en muchos otros puertos en el mundo, utiliza un reglamento de prioridades que permite utilizar en forma eficiente los sitios de atraque, priorizando la carga en contenedores y la fraccionada por sobre la carga de graneles.

Este trabajo utiliza un modelo teórico simple que captura los hechos estilizados

relevantes del puerto. Este modelo abstracto permite sacar conclusiones respecto de los beneficios de aplicar una regla de prioridad en la atención portuaria diferente a la regla alternativa de atención por orden de llegada. Es así como sus resultados muestran que, dada la inflexibilidad del sistema de precios en las concesiones portuarias, se hace necesario disponer de un criterio para asignar el racionamiento de manera eficiente. Tal criterio muestra que es socialmente deseable tanto para las empresas usuarias del puerto como para la empresa concesionaria, que se asigne todo el racionamiento a las actividades que tienen menor valor agregado. Este menor valor agregado ha sido medido en forma abstracta por la caída en el valor de la carga transportada cuando ésta es racionada. Este resultado se mantiene si adicionalmente se incorporan compensaciones a las empresas racionadas o se supone que la capacidad de transferencia del puerto se ve afectada de acuerdo a qué tipo de servicio se raciona.

La evidencia empírica de los sitios concesionados a STI es consistente con los resultados teóricos. Las estimaciones de la eficiencia de STI en la transferencia de ácido sulfúrico y otros líquidos, respecto de contenedores y carga fraccionada, concluyen que el puerto es definitivamente más eficiente moviendo tonelaje de carga por contenedores y fraccionada por hora de uso del puerto. Nuestras estimaciones muestran que la eficiencia en la operación de los barcos con contenedores y carga fraccionada alcanza a un 34.84% por sobre la de ácido sulfúrico que desplaza según el manual de prioridades de este puerto.

Más aún, esta eficiencia, medida como el rendimiento en el uso de las facilidades portuarias, es de un 500% comparada a los barcos que cargan otros líquidos y a los cuales desplazaron según este mismo manual de prioridades. Similar conclusión se encuentra cuando se mide el valor de la carga transportada, siendo para el caso de ácido sulfúrico 26.6 veces menor que el valor de la carga que le desplazó.

Estos resultados nos permiten concluir que el criterio de racionamiento por valor de la carga transportada es perfectamente consistente con la eficiencia económica, medida ésta como el uso eficiente de la infraestructura portuaria. Más aún, la evidencia muestra que el impacto en los barcos que transportan líquidos es menor, pues sólo el 22% de estos barcos tuvieron esperas superiores a las que ocurrirían en un ineficiente sistema 'first-come-first-served'.

## Referencias Bibliográficas

- Agostini, C. (2008). "La Organización Industrial del Transporte Aéreo en Chile", *Revista de Análisis Económico* 23(1): 35-84.
- Alderman, H. (1987). "Allocation of Goods through Non-Price Mechanisms: Evidence on Distribution by Willingness to Wait", *Journal of Development Economics* 25: 105-124.
- Balmaceda, F. y E. Saavedra (2006). "Vertical Integration and Shared Facilities in Unregulated Industries", *Journal of Industrial Economics* (Notes & Comments) LIV(4), December.
- Balachandran K. y E. Schaefer (1979). "Class Dominance Characteristics at a Service Facility", *Econometrica* 47: 515-519.
- Barzel, Y. (1974). "A Theory of Rationing by Waiting", *Journal of Law and Economics* 17(1): 73-95.
- Basu, K. (1987). "Monopoly, Quality Uncertainty and 'Status' Goods", *International Journal of Industrial Organization* 5: 435-446.
- Beard, T., D. Kaserman y J. Mayo (2001). "Regulation, Vertical Integration, and Sabotage", *Journal of Industrial Economics* 49: 319-333.
- Blonigen, B. y W. Wilson (2006). "New Measures of Port Efficiency Using International Trade Data", NBER Working Paper 12052.
- Bose, P. (1996). "Adverse Selection, Waiting Lists and Restaurant Rationing", *International Journal of Industrial Organization* 15: 335-347.
- Button, K. J. (1979). "The Economics of Port Pricing", *Journal of Maritime Policy and Management* 6 (3): 201-207.
- Carlton, D. (1991). "The Theory of Allocation and its Implications for Marketing and Industrial Structure: Why Rationing is Efficient", *Journal of Law and Economics* 34: 231-262.
- Clark, X., D. Dollar y A. Micco (2004). "Port Efficiency, Maritime Transport Costs, and Bilateral Trade", NBER Working Paper 10353.
- COCHILCO (2007). "El Mercado del Acido Sulfúrico en Chile Proyectado al año 2015", estudio DE/001/2007. Disponible en <http://www.cochilco.cl/anm/articlefiles/614->

[INFORMEASULF2006 VersionFINAL.pdf](#) (consulta: 12-marzo-2008).

- Cox, D. y W. Smith (1961). *Queues*. John Wiley, NY.
- DeGraba, P. (1995). "Buying Frenzies and Seller-Induced Excess Demand", *The RAND Journal of Economics* 26(2): 331-342.
- Engel, E., R. Fischer y A. Galetovic (2004). "How to Auction a Bottleneck Monopoly when Underhand Vertical Agreements are Possible", *Journal of Industrial Economics* 52(3): 428-455.
- Ghemawat, P. (1986). "Sustainable Advantage", *Harvard Business Review* (Sept--Oct): 53-58.
- Ghosh, M. (2002). "Bidding for a Berth: An Action Based Queue Management Mechanism for Ports", *Singapore Port & Maritime Journal* 162-169.
- Greenberger, M. (1966). "The Priority Problem and Computer Time Sharing", *Management Science* 12(11): 888-906.
- Haddock, D. y F. McChesney (1994). "Why do Firms Contrive Shortages? The Economics of Intentional Mispricing", *Economic Inquiry* 32(4): 562-582.
- Imai, A., K. Nagaiwa y W. Chan (1997). "Efficient Planning of Berth Allocation for Container Terminals in Asia", *Journal of Advanced Transportation* 31: 75-94.
- Imai, A., E. Nishimura y S. Papadimitriou (2004). "Berth Allocation with Service Priority", Japan: Department of Transportation and Information System Engineering.
- Jansson, J. e I. Ryden (1979). *Swedish Seaports: Economics and Policy*, The Economic Research Institute, Stockholm School of Economics, Suecia.
- Mancero, X. y E. Saavedra (2006). "Un Modelo de Entrada y Competencia en Telecomunicaciones", *Revista de Análisis Económico* 21(1): 29-57.
- Mandy, D. (2000). "Killing the Goose that May Have Laid the Golden Egg: Only the Data Knows whether Sabotage Pays", *Journal of Regulatory Economics* 17: 157-172.
- MacKinnon, J. y N. Olewiler (1980). "Disequilibrium Estimation of the Demand for Copper", *Bell Journal of Economics* 11: 197-211.
- Likens, J. (1976). "The Welfare Cost of NonOptimal Airport Utilization", *Journal of Public Economics* 5: 81-102.
- Naor, P. (1969). "The Regulation of Queue Size by Levying Tolls", *Econometrica* 37: 15-24.
- Petalozzi, G. (1964). "Priority Rules for Runway", *Operations Research* 12 (6): 941-950.
- Robinson, J. y L. Casalino (1996). "Vertical Integration and Organizational Networks in

- Healthcare”, *Health Affaires* 15(1): 7-22.
- Sherman, R. y Visscher, M. (1982). “Non-price Rationing and Monopoly Price Structures when Demand is Stochastic”, *The Bell Journal of Economics* 13(1): 254-262.
- Slade, M. (1991). “Strategic Pricing with Customer Rationing: The Case of Primary Metals”, *Canadian Journal of Economics* 24: 70-100.
- Strandenes, P. y E. Wolfstetter (2005). “Efficient (re-)Scheduling: An Auction Approach”, *Economics Letters* 89: 187-192.
- Svendsen, A. S. (1967). “Does the Traditional Set-up of Port Charges Favour Old and Un-modern Ships?”, Institute of Shipping Research, Bergen, Noruega.
- Ungem-Sternberg, T. (1991). “Rationing in Restaurants”, *International Journal of Industrial Organization* 9: 291-30.
- Valetti, T. y C. Cambini (2005). “Investments and Network Competition,” *RAND Journal of Economics* 36(2): 446-468.

	<b>Sitio 1</b>	<b>Sitio 2</b>	<b>Sitio 3</b>
<b>1°</b>	Naves de Contenedores de servicio regular	Naves de Contenedores de servicio regular	Naves de Contenedores
<b>2°</b>	Naves de Carga Fraccionada de servicio regular	Naves de servicio regular que embarquen más de 10.000 toneladas de carga homogénea	Naves que embarquen más de 10.000 toneladas de carga homogénea
<b>3°</b>	Naves Graneleras	Naves de Carga Fraccionada de servicio regular	Naves de Carga Fraccionada de servicio regular
<b>4°</b>	Otras Naves	Naves Graneleras	Naves Graneleras
<b>5°</b>		Otras Naves	Otras Naves

Tabla 1. Prioridades Establecidas para Sitios de STI

Arribo	Hrs. Espera	Hrs. Carga <i>hrs<sub>t</sub></i>	Tonelaje <i>q<sub>t</sub><sup>as</sup></i>	Tons/Hrs	Valor (por Ton/hora)
2-ene	57,15	44,15	25.020	566,70	32.359
14-ene	28,70	48,05	25.023	520,77	29.736
19-feb	25,78	20,73	11.766	567,49	32.404
10-mar	65,45	47,50	26.018	547,75	31.276
21-mar	15,13	44,75	26.025	581,56	33.207
4-may	33,00	39,60	26.018	657,02	37.516
16-ago	8,08	22,95	11.925	520,36	29.713
12-oct	24,50	43,55	26.019	597,45	34.114
17-dic	10,90	26,63	15.030	564,33	32.223
Promedio	29,86	37,54	21.427	573,52	
				<i>Valor Total :</i>	292,549

Tabla 2: Barcos Ácido Sulfúrico, Racionados año 2007

Arribo	N° Barcos $J$	Hrs. Carga $\sum_{j=1}^J hrs_{jt}$	Tonelaje $\sum_{j=1}^J q_{jt}^{CO}$	Tons/Hrs (ponderado)	Valor (por Ton/hora)
2-ene	3	41,98	20.131	568,96	711.732
14-ene	3	75,42	41.515	684,96	856.832
19-feb	2	33,47	28.559	875,24	1.094.857
10-mar	6	96,00	84.606	956,45	1.196.443
21-mar	2	53,42	24.086	534,39	668.481
4-may	2	43,95	41.964	1.063,72	1.330.628
16-ago	2	44,38	28.664	824,46	1.031.333
12-oct	3	179,92	76.249	556,84	696.569
17-dic	1	20,92	3.234	154,61	193.410
Promedio	2,67	65,49	38.779	773,35	
				<i>Valor Total :</i>	7,780,285

Tabla 3: Barcos Priorizados al Ácido Sulfúrico, año 2007

Arribo	Hrs. Espera	Hrs. Carga	Tonelaje	Tons/Hrs
		$hrs_t$	$q_t^{otros}$	
10-mar	58,75	8,72	786	90,17
10-mar	96,25	17,25	1.420	82,32
30-jun	19,97	16,75	3.122	186,39
25-nov	14,42	11,00	948	86,18
28-dic	30,50	12,25	1.649	134,61
Promedio	43,98	13,19	1.585	135,44

Tabla 4: Barcos Otros Líquidos, Racionados año 2007

Arribo	N° Barcos $J$	Hrs. Carga $\sum_{j=1}^J hrs_{jt}$	Tonelaje $\sum_{j=1}^J q_{jt}^{co}$	Tons/Hrs (ponderado)	Valor (por Ton/hora)
10-mar	2	19,08	13.821	733,93	918.086
10-mar	5	71,42	57.368	893,76	1.118.027
30-jun	1	17,28	17.257	998,46	1.249.002
25-nov	1	14,70	2.931	199,42	249.459
28-dic	1	30,60	18.043	589,64	737.596
Promedio	2,67	30,62	21.884	821,33	
<i>Valor Total :</i>					4,272,171

Tabla 5: Barcos Priorizados a Otros Líquidos, año 2007

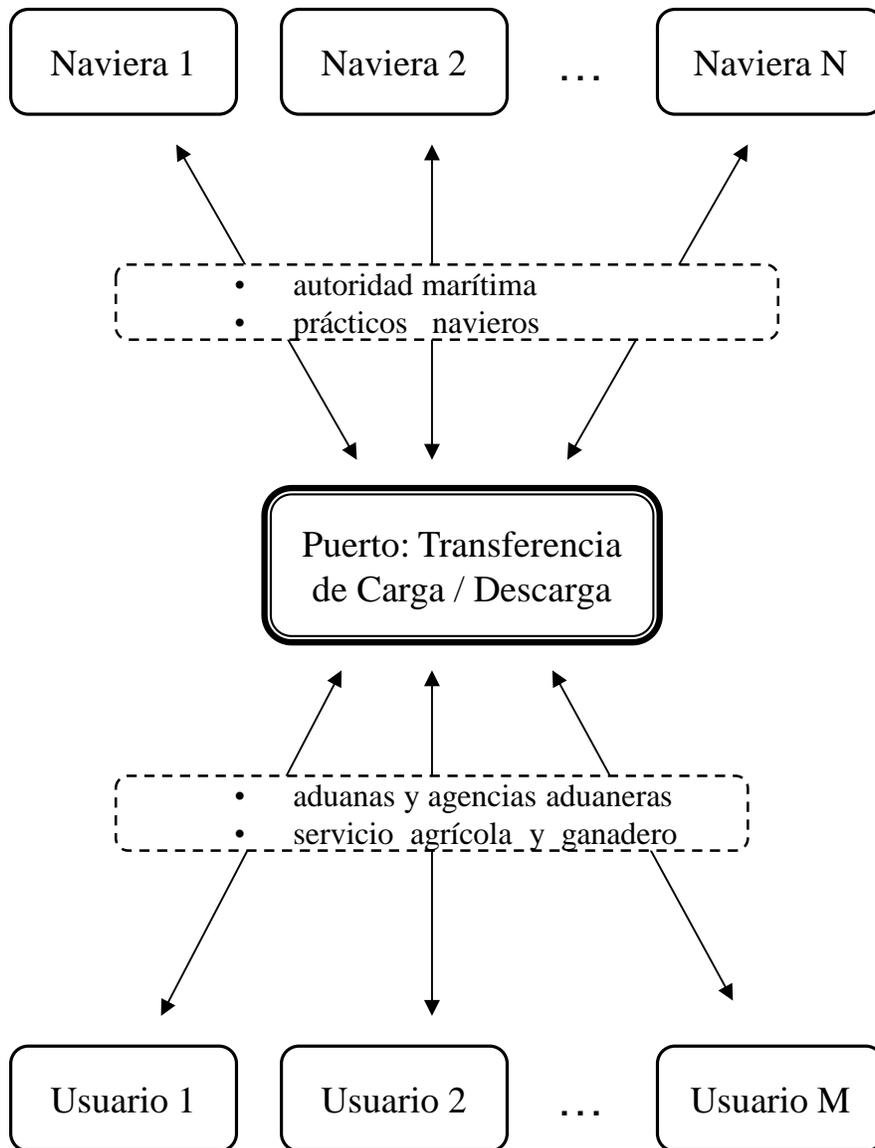


Figura 1. Estructura de Facilidad Esencial en la Industria Portuaria

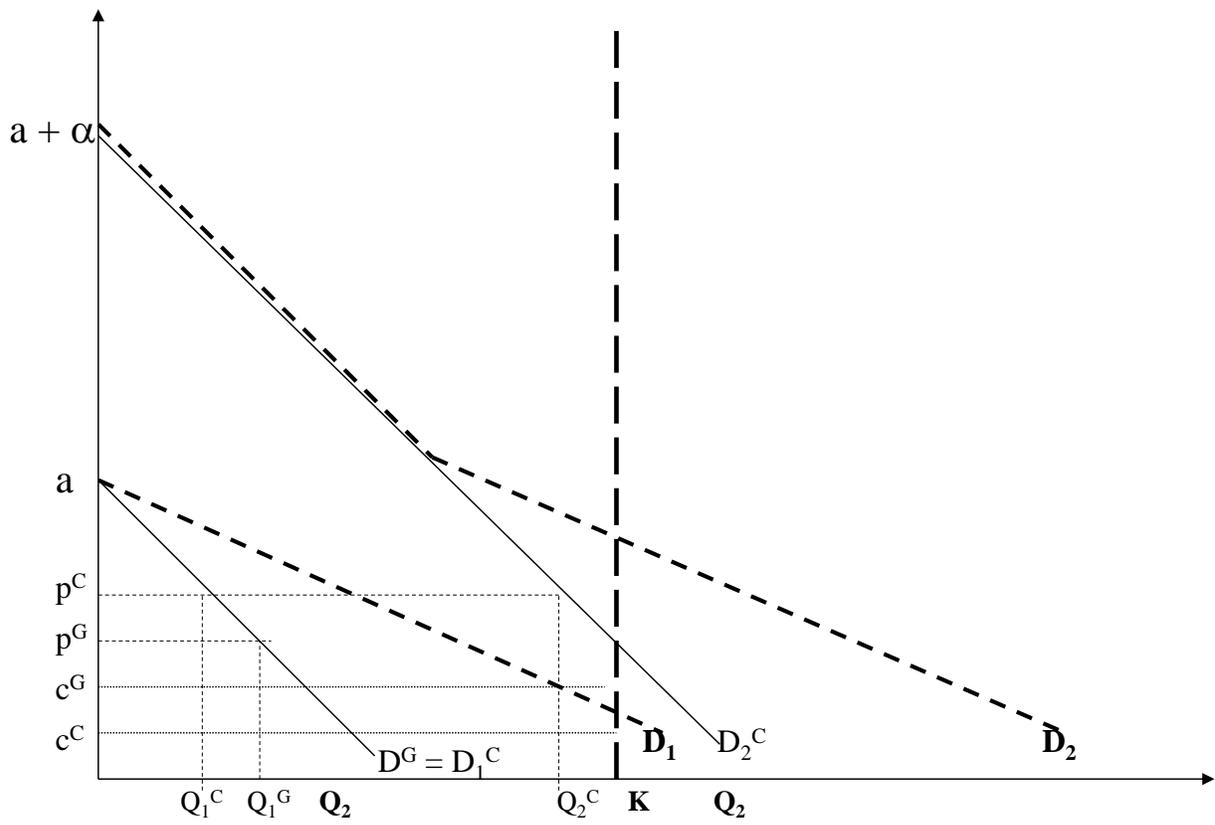


Figura 2. Mercados de Contenedores y Granel en Períodos de Baja y Alta Demanda

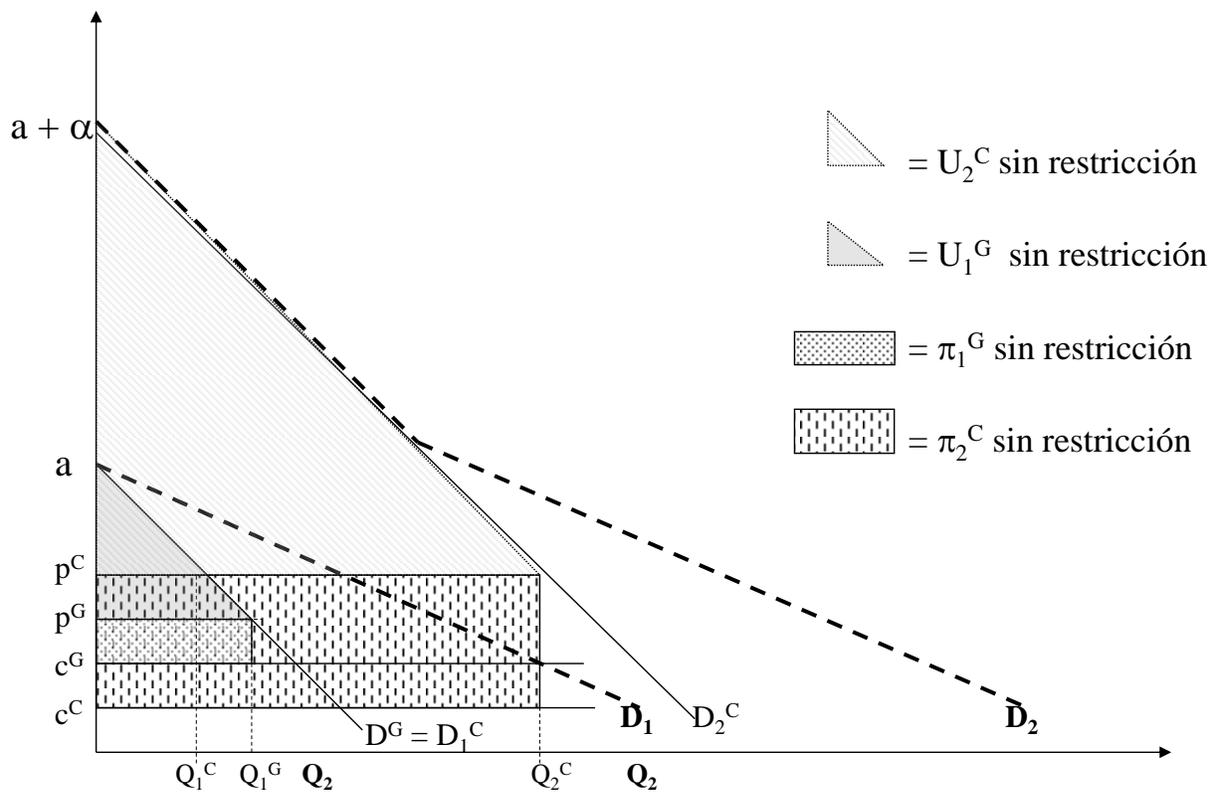


Figura 3. Bienestar Social en Período 2 Sin Racionamiento

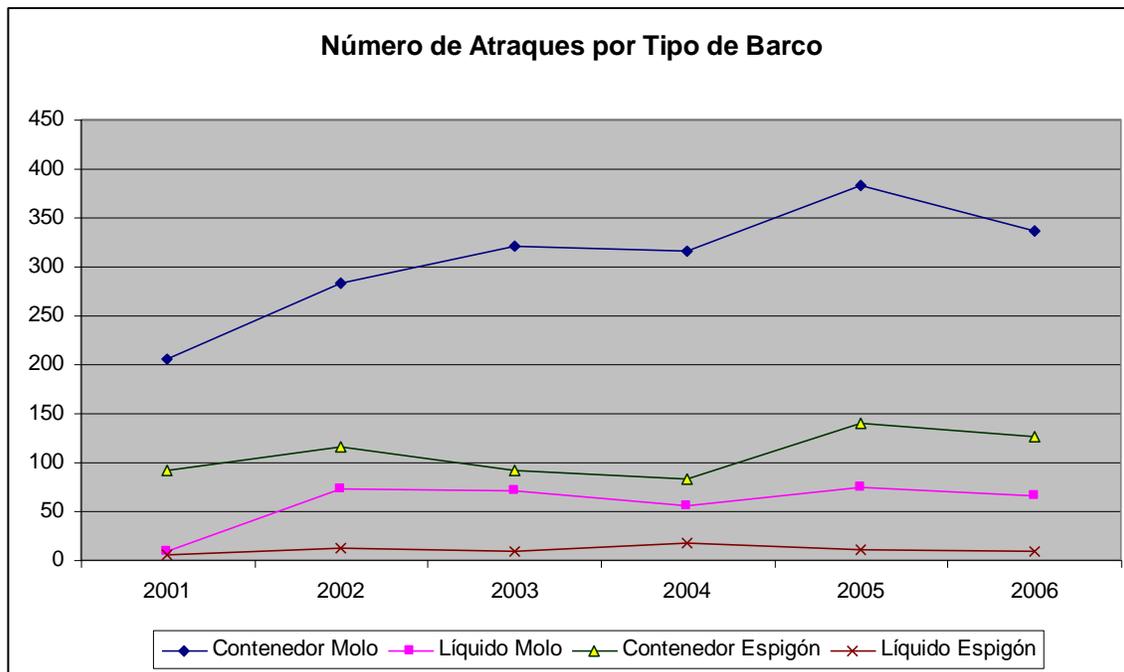


Gráfico 1. Número de Atraques por Tipo de Barco

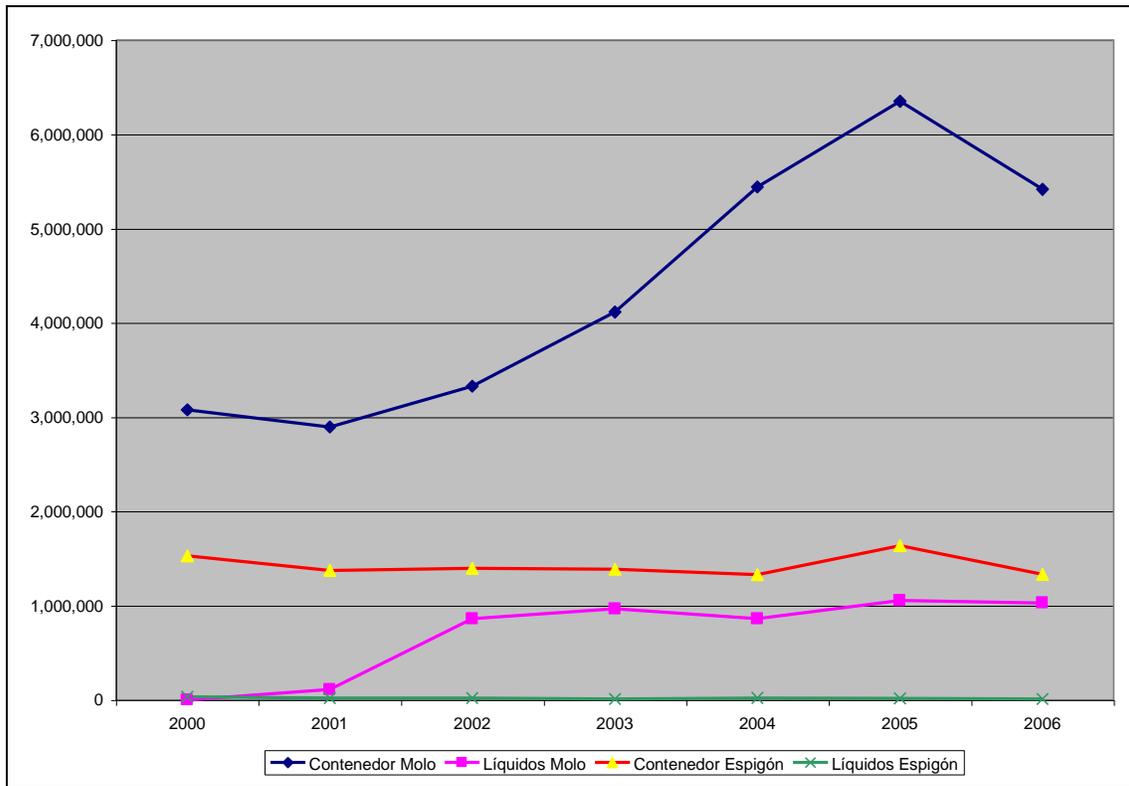


Gráfico 2. Toneladas Transferidas por Tipo de Carga

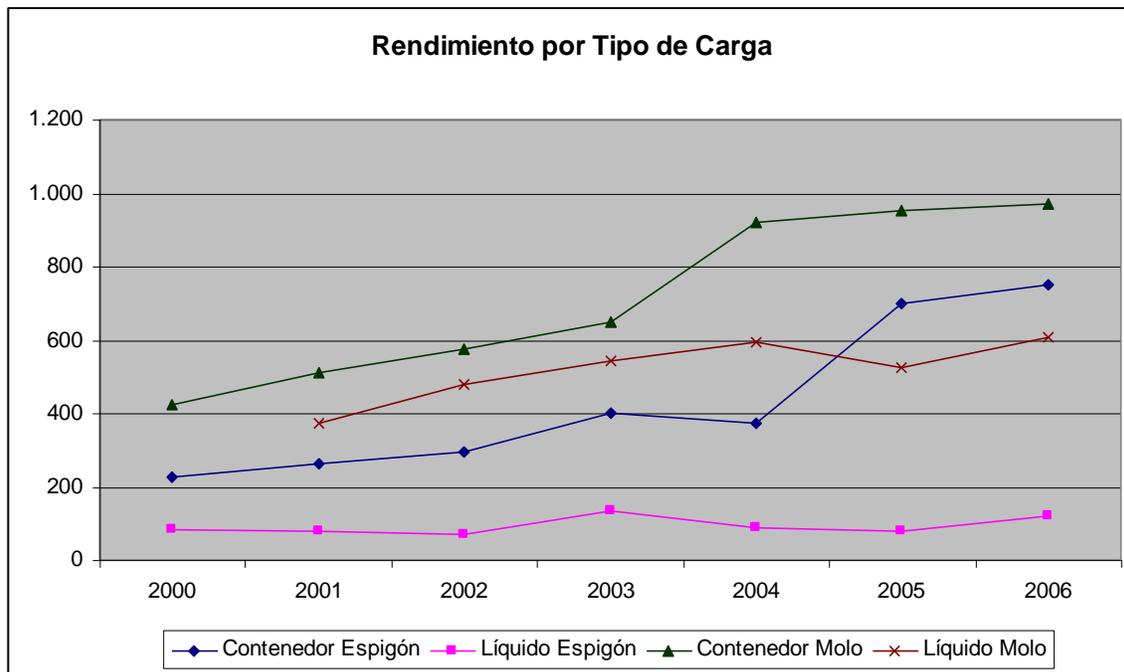


Gráfico 3. Rendimiento por Tipo de Carga (tons/hora)

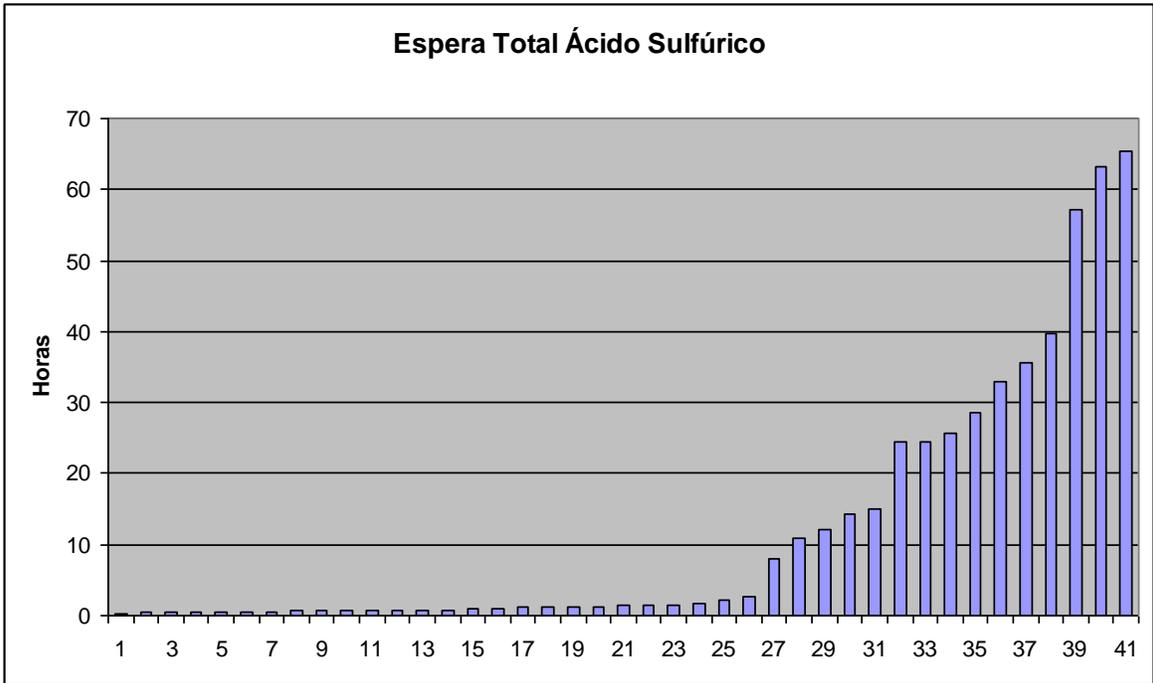


Gráfico 4. Tiempos de Espera para Barcos de Ácido Sulfúrico

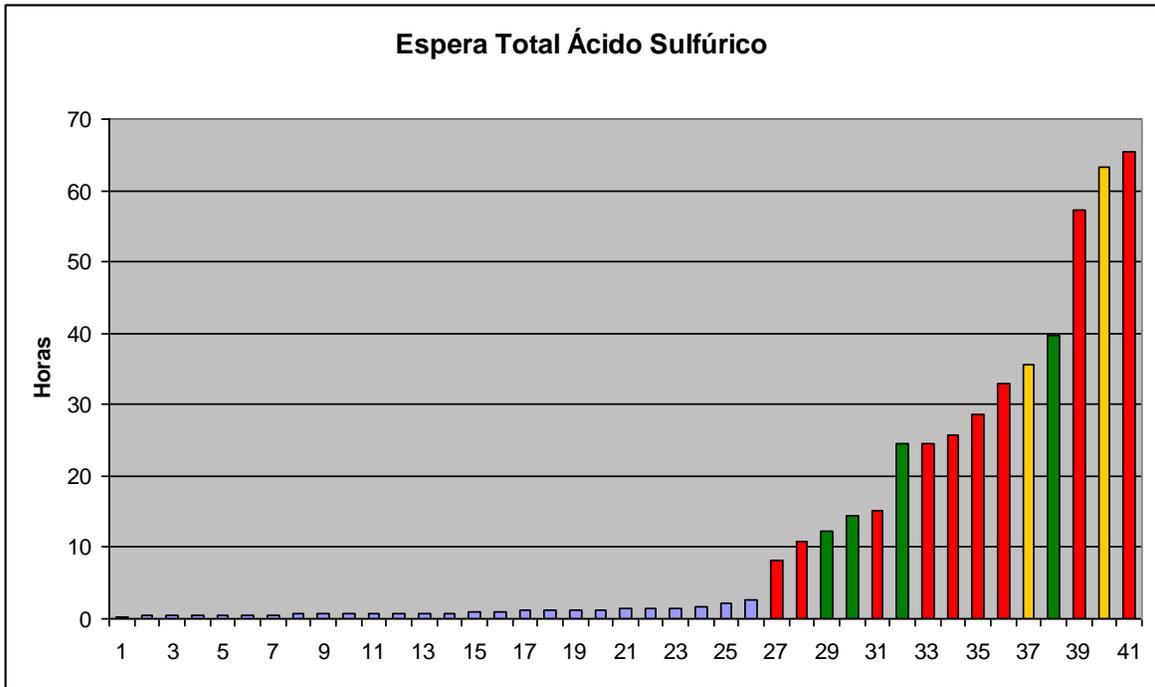


Gráfico 5. Causas de Espera para Barcos de Ácido Sulfúrico

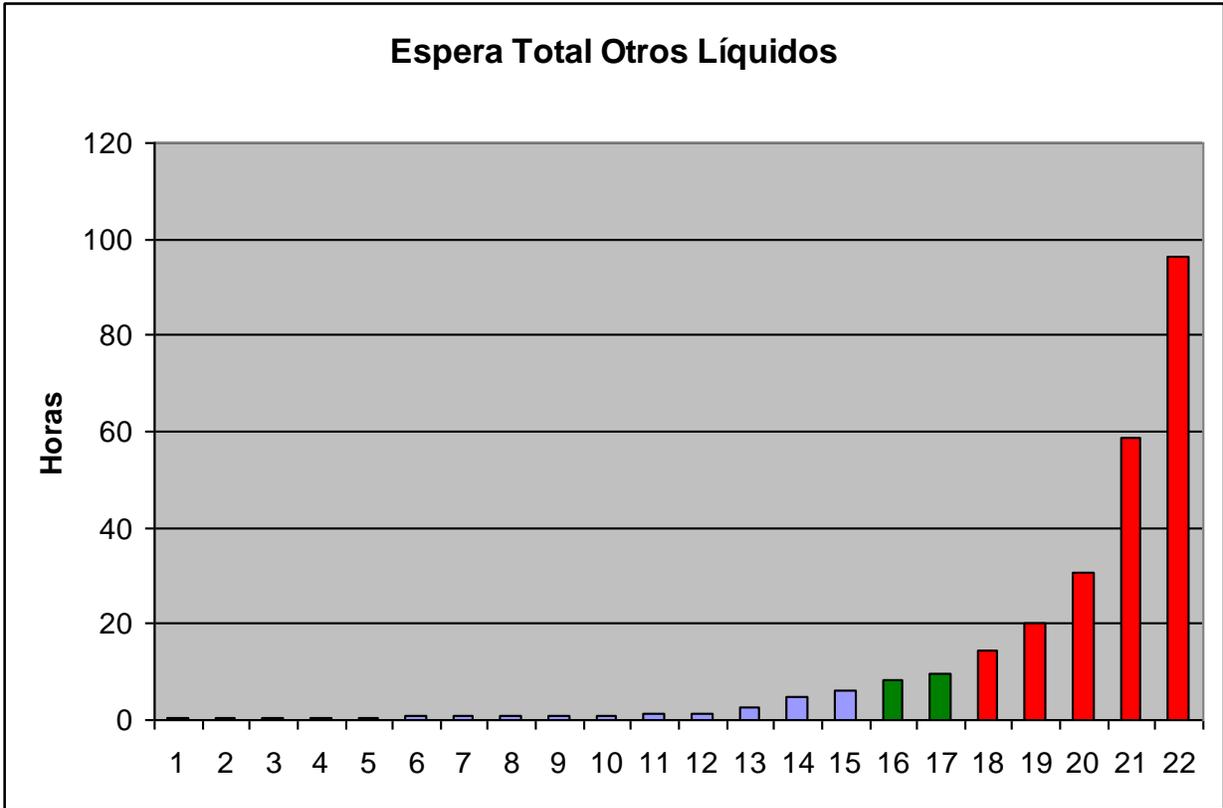


Gráfico 6. Tiempos y Causas de Espera para Barcos con Otros Líquidos