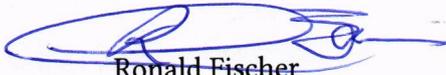


996

Presentación ante el TDLC del modelo de negocios del
Puerto de Gran Escala de San Antonio



Ronald Fischer

14 de marzo de 2018

Resumen Ejecutivo

1. Este trabajo describe el proyecto de Puerto de Gran Escala (PGE) de la Empresa Portuaria de San Antonio (EPSA), su efecto sobre la competencia en el mercado relevante y aspectos de las Bases de Licitación que podrían impactar la competencia. Las conclusiones que se desprenden de este trabajo son relevantes para el Informe del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia que se requiere antes de proceder a la subasta de concesiones monooperadas sobre los frentes de atraque del PGE.
2. El PGE será un puerto con una capacidad de 6 MM Teus anuales, lo que más que dobla la capacidad actual en la Región. Requerirá la construcción del primer molo de abrigo estatal en casi un siglo. La nave de diseño para el PGE tiene una eslora de 397 mts, y un calado de 16,02 mts, por lo que no puede ser atendido por los terminales actuales en condiciones de plena carga. Se eligió esta nave de diseño considerando las tendencias al crecimiento de tamaño de las naves que atienden a la costa Oeste de Sudamérica. Sin embargo, siempre hay una distribución de tamaños de naves, y los demás frentes de atraque pueden atender a naves algo menores a la nave de diseño, por lo que pueden ejercer presión competitiva sobre PGE.
3. La V región necesita un puerto como el PGE, pues las estimaciones de crecimiento de la demanda por transferencia de contenedores indican que los frentes de atraque actuales alcanzarán su capacidad en 2026-2027, que es cuando la primera de cuatro etapas del PGE comenzaría a operar. De no ingresar este primer frente de atraque, la congestión en la V región aumentaría, elevando los costos de transporte en forma directa e indirecta. El efecto indirecto se debe a que, ante las mayores esperas de atención, las navieras tenderán a enviar naves de menor tamaño y menos eficientes a nuestros puertos, lo que aumenta los costos de transporte.
4. El trabajo describe el mercado relevante como el de transferencia de contenedores de la V región, que tendrá 6 actores cuando el PGE esté plenamente desplegado. Se estima que habrá intensa competencia en la Región, lo que podría tener efectos disciplinadores sobre la competencia en Regiones aledañas, como la IV región.
5. El argumento para asegurar que habrá competencia intensa en el Puerto es que incluso con dos competidores como TPS y STI, la competencia entre terminales llevó a trasposos de clientes y reducciones de tarifas mientras hubo capacidad excedentaria. Por ejemplo, el índice tarifario efectivo de STI ha sido sustancialmente inferior al Índice tarifario ofrecido en la licitación. Actualmente hay tres terminales concesionados modernos en la Región, y capacidad excedentaria, lo que ha generado una mayor intensidad de competencia. Por lo tanto, se espera que cuando ingresen los frentes del PGE, la intensidad de competencia vuelva a aumentar.
6. El modelo de negocios del PGE incluye tres aspectos que son relevantes para el Informe del TDLC. Primero, el PGE tendrá dos terminales concesionados con capacidad de 3 MM Teus/año. Segundo, se solicita licitar con un tope mínimo al índice tarifario. Tercero, se solicita relajar las restricciones de integración vertical al menos a un 60 % y preferentemente a un 80 %. En lo que sigue se resumen los argumentos en favor de estos aspectos.

7. La razón principal para tener terminales de 3MM Teus/año, una capacidad que supera en más de 100 % a las de los terminales existentes, es porque esto aumenta la eficiencia portuaria en un monto equivalente a disponer de un terminal adicional de más de 1MM Teus/año en la Región, y posiblemente más. EPSA contrató al Instituto de Sistema Complejos de Ingeniería (ISCI) para evaluar la pérdida de capacidad al dividir cada terminal en dos concesiones, respecto al caso de mantenerlos como una unidad. Las fuentes de pérdidas son: problemas unitarios cuando un concesionario no tiene espacio para atender una nave pero el otro concesionario podría atenderla, o cuando un concesionario tiene espacio pero no suficiente en un terminal y el otro dispone del saldo de espacio necesario; mejor operación al interior del puerto; una operación ineficiente del sistema de trenes de carga debido a interferencias entre los concesionarios.
8. El estudio de ISCI analizó solo el primer factor de pérdida de eficiencia, usando modelos de teorías de colas y de simulación. De los estudios se obtuvieron pérdidas de eficiencia de entre 27-50 %, dependiendo de la distribución de tamaños de naves y de lo que se considera una calidad de servicio aceptable. Esto significa que las pérdidas de eficiencia pueden llegar a más de 2MM Teus/año en algunas condiciones cuando ambos terminales del PGE estén en operación.
9. Contra el aumento de capacidad que resulta de licitar dos concesiones de frentes de atraque de 3MM Teus/año cada uno, se debe considerar el efecto sobre la competencia de tener solo dos participantes adicionales en el mercado y no cuatro, es decir, reducir el número de competidores en la V región de 8 a 6. El análisis se realiza primero, estudiando el efecto en los márgenes de Lerner. Se muestra que los márgenes son mayores –especialmente cuando la elasticidad de la demanda es baja– con menos competidores, pero que son inferiores a los que existen actualmente en los terminales concesionados de la V región. Además, estos márgenes son necesarios para pagar los costos hundidos de construcción de los frentes de atraque y de equipamiento.
10. Segundo, se estudia si se facilita la colusión cuando se reduce de 8 a 6 competidores en la V región. Se muestra que al ser las capacidades más heterogéneas las dificultades para coludirse aumentan, pese al menor número de competidores. Además, la mayor heterogeneidad de costos dificulta la colusión.
11. Se concluye del análisis que las ventajas en términos de mayor capacidad y de mayores dificultades para coludirse superan largamente los costos de mayores márgenes debido al mayor poder de mercado cuando solo hay dos concesionarios en el PGE.
12. La propuesta de licitar con un tope mínimo al índice tarifario se debe a las desventajas teóricas y observadas cuando no se usan topes mínimos. Primero, se observa que la competencia ex ante (es decir sin tope mínimo) tiene importancia cuando se entrega un monopolio, pero no cuando se entrega una concesión que operará en condiciones de competencia, como será el caso de la V región. La competencia ex post es más robusta que la competencia ex ante, por lo que en el mejor de los casos esta última puede replicarla.
13. La competencia ex ante replica la competencia ex post bajo condiciones de neutralidad al riesgo, sin maldición del ganador y sin renegociación del contrato (Williamson 1987). Si hay incertidumbre, se exige una mayor prima de riesgo al no poder ajustarse ante condiciones cambiantes, a diferencia

de la competencia ex post. Además, la competencia ex ante es susceptible a una forma nociva de la maldición del ganador, pues la empresa ganadora puede ofrecer un precio tan bajo que la lleva a la quiebra. En si mismo esto no sería un problema, salvo en la transición previa a la quiebra, período en que no se realizan inversiones y a menudo mantenimiento. El problema principal es que con un índice tarifario demasiado bajo, no hay interesados en reemplazar al concesionario.

14. Una licitación con un piso inferior (basado en una estimación de la rentabilidad necesaria para pagar los costos de operación, mantenimiento e inversión) le da espacio a la empresa para poder reducir el precio en la competencia posterior entre concesionarios de la Región. En caso de alcanzarse el mínimo, las empresas postulantes compiten mediante un pago de desempate. Si la maldición del ganador las hace ofrecer un pago demasiado elevado y quiebran, la concesión sigue siendo atractiva para nuevos interesados. Tampoco importa demasiado si el valor del tope mínimo es demasiado elevado: las empresas saben que posteriormente, la competencia reducirá el valor efectivo de las tarifas. Sin embargo, un valor adecuado del tope máximo al índice tarifario es importante para prevenir los efectos de colusión entre los postulantes.
15. Respecto al relajamiento de las restricciones verticales, se observa que se han relajado las restricciones a 60 % en algunos terminales concesionados de la V región. En el ambiente más competitivo que habrá en el futuro, no se deberían volver a imponer las condiciones que se impusieron al inicio del sistema, cuando había temores sobre el funcionamiento del esquema concesionado monooperador. Las restricciones de este tipo tienen un costo en términos de eficiencia que se debe contrastar con el potencial efecto sobre la competencia, que es bajo en un contexto con 6 participantes y capacidad excedentaria. Una ventaja adicional de relajar estas condiciones es que puede ser más atractivo para empresas navieras internacionales, lo que daría origen a subastas más competitivas. En efecto el negocio del transporte marítimo ha evolucionado hacia la integración entre empresas navieras y portuarias.

1000

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. Oferta portuaria V región	3
2.2. Crecimiento de la demanda de carga general	7
2.3. Determinación de la nave de diseño	9
2.4. Proyecto	11
2.5. Reglas del juego	12
2.5.1. Restricciones horizontales	12
2.5.2. Restricciones verticales	14
2.5.3. Adjudicación	14
2.6. Definición del mercado relevante	15
2.7. Características del mercado relevante	16
2.8. Principales actores del mercado relevante	17
2.8.1. Competencia y tarifas	19
2.9. Tarificación y costos de transferencia por Teu	24
2.10. Evolución futura de la carga y de las holguras	27
3. El modelo de negocios y la competencia	28
3.1. Condición 1: Terminales de 3 millones de Teus/año	29
3.1.1. Mayor eficiencia de terminales de 3 millones de Teus/año	29
3.1.2. El costo en términos de menor competencia	31
3.1.3. Costos de eficiencia de dividir los frentes en PGE	37
3.2. Mecanismo de adjudicación: Licitación con tope mínimo al Índice Tarifario	41
3.3. Restricciones verticales	44
4. Conclusión	45
A. Anexo: Análisis y Evaluación del Impacto de la División de los Terminales del Puerto de Gran Escala de San Antonio (PGE)¹	47
A.1. Introducción	47
A.2. Marco Teórico	49
A.2.1. Teoría de Colas: El Modelo Erlang	49
A.2.2. Extensiones del Modelo Erlang	54

¹Este informe fue encargado por EPSA al Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), y fue elaborado por el Prof. Marcelo Olivares (Académico U. de Chile) y Pablo Jofré (Ingeniero Industrial, U. de Chile). Ha sido formateado con el estilo del resto del documento.

1001

A.2.3. Modelos de Simulación de Eventos Discretos	55
A.3. Evaluación de Pérdidas de Eficiencia Mediante Modelos de Colas	55
A.4. Evaluación de pérdidas de eficiencia mediante métodos de simulación de eventos discretos	59
A.5. Conclusiones	61
B. Apéndice	62
B.1. Tabulación Resultados Modelos de Colas	62
B.2. Tabulación Resultados Simulación	62

1. Introducción

Los artículos 14 y 23 de la Ley N°19.542 de Modernización del Sector Portuario Estatal (en adelante Ley de Puertos) señalan que en caso de concesionar un frente de atraque bajo el esquema monooperador y no haber otro frente de atraque en la Región que pueda atender a la nave de diseño, la empresa debe solicitar un informe a la Comisión Preventiva Central, hoy reemplazada por el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia.²

La Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) planea construir el Puerto de Gran Escala (PGE), para suplir la falta de capacidad del sistema portuario de la V región que se espera ocurra hacia 2026. Este puerto de grandes dimensiones tendrá dos frentes de atraque lineales de 1.730 metros cada uno, con capacidades de entre 2.5-3.0MM Teus, dependiendo del esquema de negocios que se adopte.³ La figura 1 muestra el proyecto y sus accesos viales y ferroviarios, así como los terminales existentes en el Puerto de San Antonio.⁴ Debido al tiempo que tarda la construcción de un puerto de estas características, que incluye la construcción del primer molo de abrigo en muchas décadas, es necesario licitar el proyecto de construcción del puerto antes del fin de 2019. Este proyecto involucra tanto a agentes públicos (que construyen el molo de abrigo) y a privados que licitarían frentes de atraque concesionados mediante esquemas de tipo monooperador. Estos concesionarios construirían, operarían y mantendrían los terminales durante el período de concesión.

Dado que no habrá otro frente de atraque de la Región que pueda atender la nave de diseño del PGE (salvo el otro frente de atraque del PGE), se aplican las condiciones de los artículos 14 y 23 de la Ley de Puertos y es necesario solicitar un informe al Tribunal de Defensa de la Libre Competencia (TDLC). Ese informe determina las condiciones bajo las que se debe regir el modelo de negocios que se les ofrecerá a los participantes en la subasta por los frentes de atraque. El modelo de negocios finalmente adoptado y que será licitado debe respetar las condiciones que impone el TDLC en materias relacionadas con competencia, en particular aquellas relacionadas con la integración horizontal y vertical permisible en los nuevos terminales, así como las reglas que debe satisfacer la subasta por las concesiones.

Este documento presenta los fundamentos económicos del diseño de negocio que formula

²Art. 14, inc. 2do. "Tratándose de frentes de atraque, la participación de terceros sólo se efectuará a través de concesiones portuarias. Para que proceda otorgarlas, en los puertos o terminales estatales de la Región deberá existir otro frente de atraque capaz de atender la nave de diseño de aquel frente objeto de la concesión portuaria; de lo contrario, el directorio deberá contar con un informe de la Comisión Preventiva Central, [...]". Art. 23, Inc. 2do: "No obstante lo señalado en el inciso anterior, el directorio de la empresa podrá, mediante licitación pública, implementar un esquema monooperador en dichos frentes de atraque, concesionados de conformidad a lo dispuesto en esta ley. Para ello, en los puertos o terminales estatales de la región deberá existir otro frente de atraque capaz de atender la nave de diseño de aquel frente objeto de la licitación, operado bajo un esquema multioperador; de lo contrario, el directorio deberá contar con un informe de la Comisión Preventiva Central, [...]"

³Teu: *Twenty foot equivalent unit*. Medida estándar de contenedores.

⁴La sección 2.4 describe en detalle el proyecto.

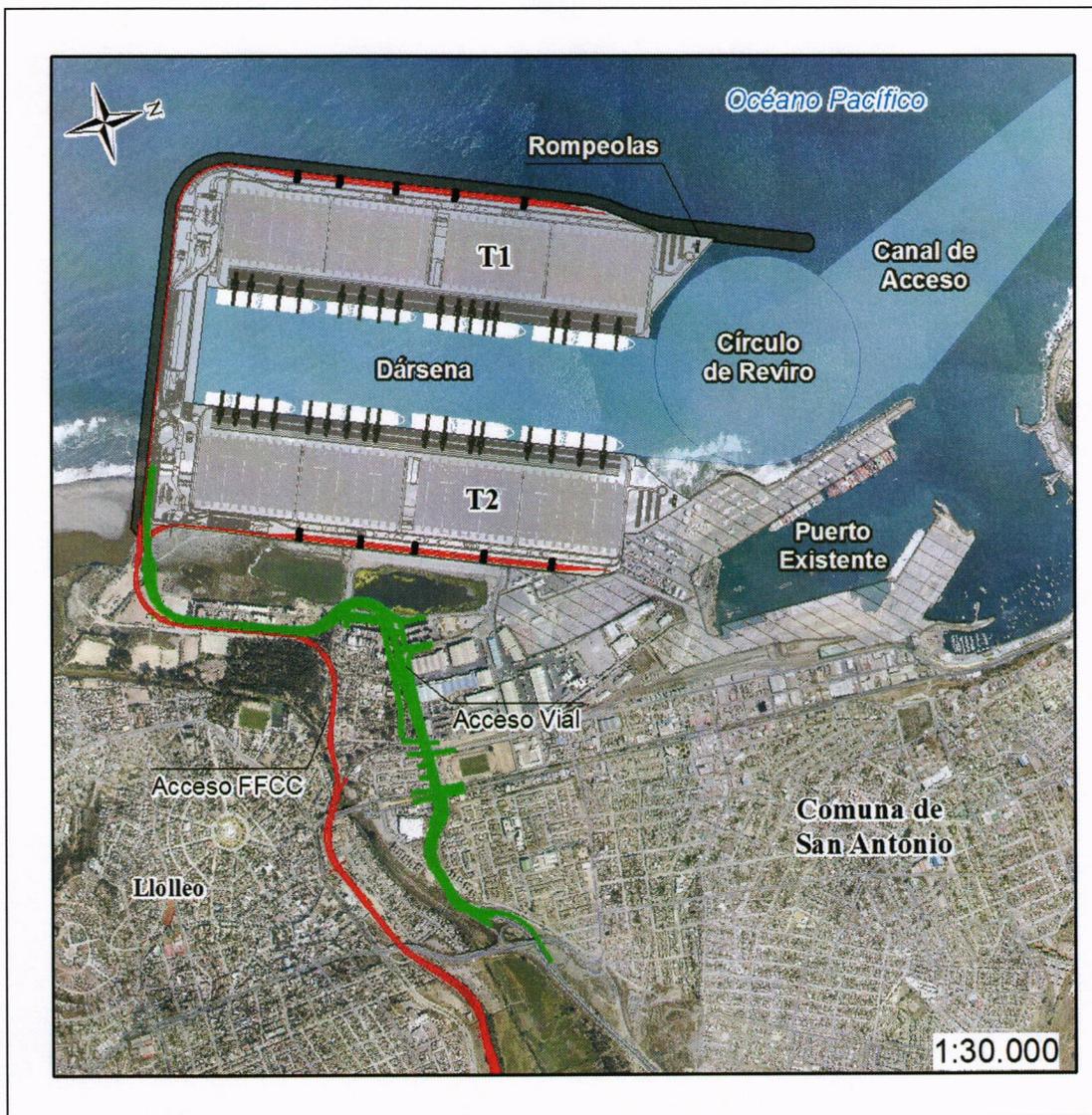


Figura 1: Proyecto PGE en San Antonio

EPSA, y muestra que éste favorece la eficiencia en el uso de los terminales portuarios de la V región, al tiempo que se preserva la competencia *ex post* en el sistema. Esto significa que la formulación del plan de negocios es concordante con el objetivo de mantener bajos costos de transporte marítimo y de transferencia portuaria en la V región, en el mediano y largo plazo.

En este trabajo se describe el mercado de la V región en la actualidad y las razones por la que se requiere un puerto especializado en la transferencia de contenedores como el PGE. A continuación, se muestra que la nave de diseño del PGE no puede ser atendida por otros frentes de atraque de la Región. Se define el mercado relevante como la transferencia de contenedores en la V región y sus principales actores. Se muestra que incluso cuando había solo dos actores, ha existido competencia en el mercado relevante, la que fue más intensa en los períodos en que había capacidad excedentaria. Finalmente, se presenta el esquema propuesto por EPSA para la subasta y operación de los frentes de atraque del PGE, y se examinan sus efectos sobre la eficiencia y sobre la competencia en el mercado de transferencias de carga de la V región.

2. Antecedentes

En esta sección se describen las condiciones actuales de los puertos de carga general de la V región, estimaciones del crecimiento de la demanda y la necesidad de un nuevo puerto de gran escala. Asimismo se determinarán las naves de diseño para mediados y fines de la década de 2020, y el proyecto de puerto de Gran Escala (PGE) que construirá la Empresa Portuaria de San Antonio. A continuación se describe el mercado relevante actual y sus actores, así como la evolución esperada del mercado, y la intensidad de competencia histórica.

2.1. Oferta portuaria V región

La carga portuaria puede clasificarse en carga de graneles (secos y líquidos) y carga general, gran parte de la cual se transporta en contenedores. Es esta última categoría la esencial al considerar la oferta portuaria, porque el tráfico de contenedores, para ser eficiente, requiere condiciones tales como aguas abrigadas y amplias áreas de acopio con equipos apropiados para realizar en forma rápida la carga y descarga y el movimiento de contenedores al interior del puerto. Todo esto requiere altas inversiones, mayores de las que requiere un puerto granelero que moviliza un tonelaje similar.

Usualmente la capacidad portuaria de un terminal de contenedores se determina en base a tres parámetros, los cuales pueden tener distintos niveles de eficiencia:⁵

- El Largo de Muelle y el Calado determinan la capacidad de muelle, medido como el número

⁵Ver Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE Informe Final – Versión Definitiva.

de contenedores-año por metro lineal de muelle (TEUs/ml/año).⁶

- El área de acopio y la altura de stacking determinan la capacidad del patio, la que se mide en términos de TEUS año/ha.
- Un tercer parámetro utilizado es el número de TEUS año/grúa, que mide el número de operaciones que realiza cada grúa.

Dos puertos con igual área de acopio y altura de stacking, longitud de muelle, calado y número de grúas pueden tener distinta capacidad, ya que su eficiencia operacional puede ser distinta. Es por ello que la capacidad se determina considerando tanto la infraestructura y el equipamiento que posee, así como la eficiencia con la que se usan. Una forma de determinar la capacidad de las inversiones portuarias es considerando la eficiencia comparativa de estos parámetros para puertos de tipo similar en el mundo. En Chile, el factor determinante es generalmente el largo del frente de atraque. Por ejemplo, para determinar la capacidad esperada del terminal en la subasta del frente Costanera Espigón (PCE), EPSA utilizó el parámetro de capacidad de 1.450 TEUs anuales por metro lineal de muelle. Este valor es el promedio de la productividad de puertos tipo Gateway⁷, con arribos mixtos, tarifas reguladas y un tamaño de terminal entre mediano y grande.

Las tablas 1 y 2 muestran la capacidad de los puertos de San Antonio y de Valparaíso, una vez que termine la construcción del segundo terminal en Valparaíso y las expansiones y ajustes de terminales en San Antonio. Los cálculos se hicieron utilizando el criterio anterior.

Existen también limitaciones de capacidad en el movimiento de graneles, pero los puertos especializados en graneles requieren menos inversión, los graneles limpios de Panul se pueden descargar en los terminales concesionados PCE y STI de San Antonio una vez que el PGE comience a operar, y para los demás graneles existe la alternativa de descargarlos en la Bahía de Quintero además de otras alternativas en PCE y STI. Por estos motivos los graneles no se consideran un factor limitante en el transporte marítimo de la V región, por lo que no serán analizados en lo que sigue.

En noviembre de 2016 se completó el terminal principal de PCE en San Antonio, con 700 metros de longitud, y a mediados de 2017 STI completó su extensión a 900 metros lineales de frente, su expansión opcional para alargar el plazo de concesión. Por su parte, el Terminal 2 de

⁶El calado interviene porque determina el tamaño de las naves que pueden atracar, y naves más grandes permiten mayores velocidades de transferencia, si el equipamiento del terminal (en términos de grúas y otros equipos), lo permite.

⁷El puerto Gateway es un tipo de puerto intermedio. Cuenta con un hinterland importante que le proporciona carga de importación o exportación, lo que permite mantener servicios marítimos directos con los grandes centros de producción y/o consumo mundiales. Puede desarrollar funciones de trasbordo, pero no de forma relevante, y actuar como puerto feeder. Fuente: INHA (2009): "Análisis del Proyecto de Ingeniería Frentes de Atraque Puerto San Antonio". Esto lo diferencia de los puertos hub y puertos feeder.

1006

Cuadro 1: Capacidad Actual de Transferencia Puerto San Antonio (2017)

Terminal	Frente m	Sitio	Longitud m	Calado Máx. m	Profundidad m	Superficie ha	Rendimiento TEUs/m/año	Capacidad TEUs/año	Capacidad TEUs/ha/año
Molo Sur (STI)	900	1	390	13,50	15,00				
		2		13,50	15,00	38,00	1.450	1.305.000	34.342
		3	510	13,50	15,00				
Costanera Espigón	1.256	CE		13,50	15,00		1.450	1.015.000	
		CE	700	13,50	15,00				
		5	235	12,00	11,34				
		6		7,93	8,50	29,41			34.512
		7	321	6,28	7,00				
Total	2.156					67,41		2.320.000	34.416

Fuente: Gerens 2013, citado en "Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE", enero 2017, en adelante Gerens 2013.

Cuadro 2: Capacidad Puerto Valparaíso con Terminal 2 Concesionado en Operación

Terminal	Frente m	Sitio	Longitud m	Calado Máx m	Profundidad m	Superficie ha	Rendimiento TEUs/m/año	Capacidad TEUs/año	Capacidad TEUs/ha/año
Terminal 1 (TPS)	1.003	1		13,80	14,50		1.450	1.073.000	56.188
		2	740	13,80	14,50	15,6			
		3		13,80	14,50				
		4		9,40					
		5	383	8,50					
Terminal 2 (TCVAL)	785	6	382,5	15,30	16,00	12,00	1.465	1.150.000	95.833
		7	382,5	15,30	16,00				
Total	1.788					27,60		2.223.000	80.544

Fuente: Gerens 2013, actualizado con datos de las páginas web de TPS y TCVAL.

Valparaíso (TCVAL) aún no se construye. Se observa que la capacidad de carga de contenedores de la V región una vez construido el segundo terminal en Valparaíso alcanzaría a 4,40 millones de Teus/año, lo que podría aumentar a 4,65 millones de Teus/año si PCE concreta su propio proyecto de expansión. Durante 2016, EPSA señala haber transferido 1,287 millones de Teus y Valparaíso señala 0,884 millones de Teus, es decir 2,171 millones de Teus fueron transferidos en la V región ese año. En consecuencia, ya se realizan transferencias equivalentes al 46 % de la capacidad máxima del sistema, en caso que PCE realice su proyecto de expansión.

Es bien sabido además que es ineficiente alcanzar más de un porcentaje de la ocupación máxima del muelle, pues las esperas en giro de las naves aumentan y con ello sus costos, lo que hace menos atractivos los puertos en que ello ocurre. La razón para este aumento de costos se debe a que, pese a que la mayor parte de las naves pertenece a servicios regulares, tanto los tiempos de viaje como el tiempo de descarga y carga son afectados por muchos factores que hacen que las naves arriben en forma estocástica al puerto. Si llegan y no tienen disponibilidad pronta de sitios de atraque, las naves tendrán que esperar a la gira. Esto tiene un costo muy elevado, que es función del valor de la nave y de la carga que lleva, pues ésta tiene un costo de capital asociado. En el caso del puerto de Rotterdam, Dekker (2005, pag. 110) lo estima en €6,43/Teu/día.

Por ejemplo, en el caso del puerto de Rotterdam, las estimaciones de Dekker et al (2008) obtenidas con un sofisticado proceso de optimización muestran que las tasas de utilización que gatillan las expansiones del puerto son de entre 64-70 % de la capacidad.⁸ Tasas superiores de ocupación aumentan los costos de transporte en forma rápida, como lo muestra la figura 2, proveniente de Dekker (2005), que muestra cómo los tiempos de servicio aumentan rápidamente al acercarse el flujo Q a la capacidad máxima K .⁹ En un estudio de Agerschou (2004)¹⁰ se estudian las capacidades máximas de frentes de atraque usando métodos analíticos. Estudia la capacidad máxima de un frente dependiendo del número de sitios, así como la calidad del servicio, la que se define como la razón entre el tiempo de espera y el tiempo de servicio. Llega a la conclusión que la tasa de ocupación óptima del frente de atraque es de 50 % en el caso de dos sitios, y que la calidad de servicio en ese caso es de 22 %, que supera el valor deseable de 10 %. El estudio de Agerschou determina que aumentar el número de sitios en un frente de atraque permite aumentar la tasa de ocupación sin deteriorar la calidad de servicio. Por ejemplo, con un terminal de 4 sitios se puede alcanzar la calidad de servicio recomendada de 10 % pese a tener tasas de ocupación de un 60 %. Estos temas se discuten en más detalle en secciones posteriores.

⁸Dekker S., Verhaege, R y Wiegmans, B. (2011): Ver Tabla 1 de "Economically-efficient port expansion strategies: An optimal control approach", *Transportation Research part B*, 45, 204-215.

⁹S. Dekker (2005), "Port Investment: Towards an Integrated Planning of Port Capacity", tesis de doctorado, U. Delft.

¹⁰Citado en Camarero, A. Aguilar J., Robusté, F. y Monfort, A. (2006): "Optimización y estudio de la capacidad de terminales portuarias mediante modelos de simulación de la explotación. Determinación de los niveles de servicio".

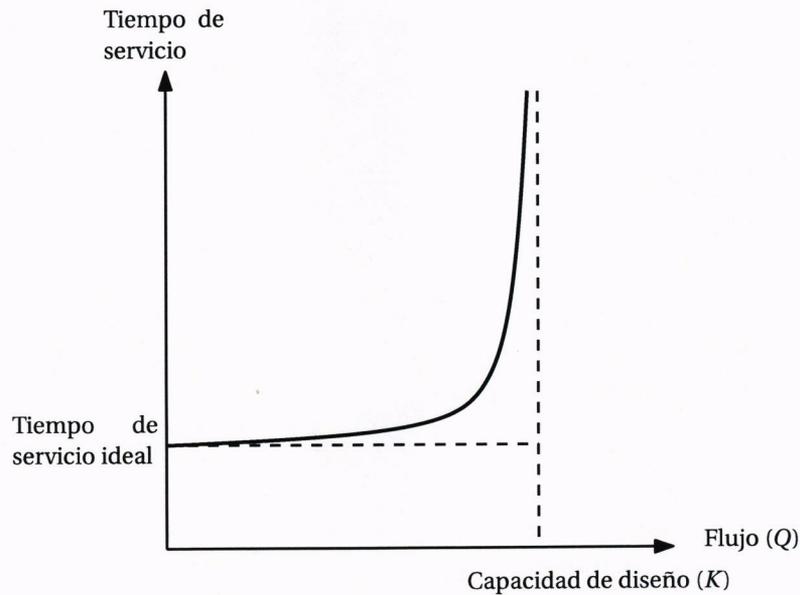


Figura 2: Tiempo de espera en función de la demanda (o flujo)

2.2. Crecimiento de la demanda de carga general

Dado que la tasa de contenedorización de las exportaciones de carga general (no granel) es de 97% y la de las importaciones es de 87%, esta presentación se dedica principalmente a la transferencia de contenedores. Además, el PGE es un puerto especializado en la transferencia de contenedores. La empresa consultora Fernández y de Cea (FDC) fue contratada por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) para realizar el estudio “Análisis de la demanda de largo plazo en puertos estatales de la Región de Valparaíso” (2015). El estudio de proyecciones de la transferencia de carga general en la V región de FDC se realizó a tres niveles: i) estimación agregada del volumen de comercio, ii) desagregada en exportaciones, importaciones, cabotaje, carga en tránsito, y iii) usando proyecciones de la carga de exportación a partir de estudios de sectores económicos orientados a la exportación. La Figura 3, tomada del estudio de Gerens, muestra las estimaciones de FDC 2015, así como las de un estudio anterior de CIS (2013), en que la estimación de la tasa de crecimiento de la demanda fue superior.¹¹

La demanda portuaria de la V región se asigna a cada terminal utilizando el concepto de Equilibrio de Wardrop. Ese principio indica que en equilibrio un contenedor debe enfrentar el mismo costo total de transferencia en todos los terminales de la Región: el costo de espera más los costos de transferencia de cada terminal deben ser iguales en equilibrio.

Observando la Figura 3, suponiendo que PCE ha realizado su proyecto de expansión, y consi-

¹¹Ver “Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE Informe Final (2017)”.

1009

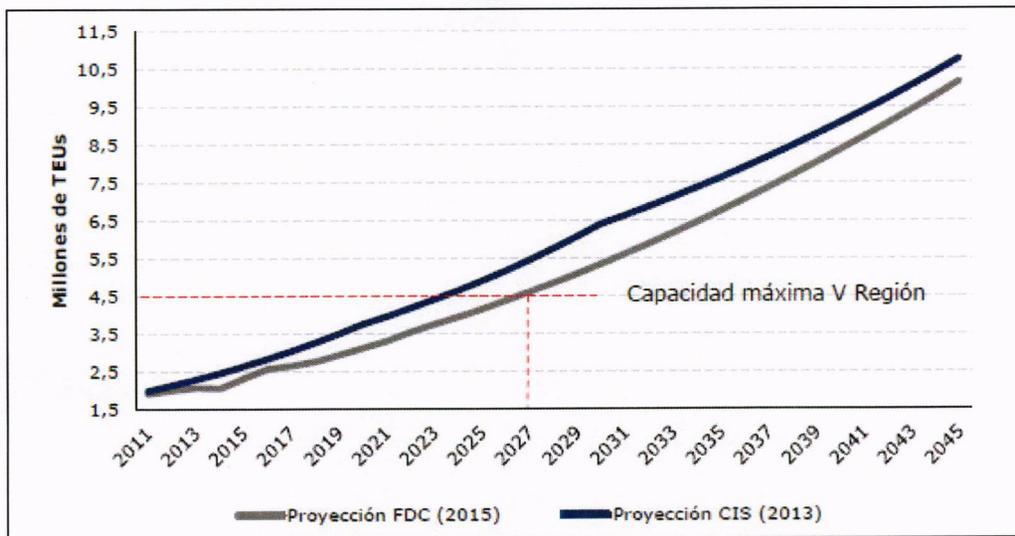


Figura 3: Proyección de demanda portuaria V región. Fuente: Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE (2017)

derando que el Terminal 2 de Valparaíso se completa en 2022, el sistema tendría un margen de capacidad para la expansión de la demanda de un millón de TEUs en 2022. Ese margen desaparecería por el crecimiento de la demanda hacia 2026-2027, momento en el cual debería estar construida nueva capacidad portuaria. De otra forma se elevaría drásticamente el costo del transporte marítimo en Chile.¹² Esto muestra que es necesario comenzar la licitación de nuevas instalaciones portuarias en 2019, de manera que ellas estén disponibles al momento de superarse la capacidad eficiente de las instalaciones actuales, dado el largo plazo de construcción de un nuevo puerto que incluye un molo de abrigo.

En conclusión, hacia 2027, habiéndose alcanzado la capacidad de transferencia que puede ampararse en los molos de protección existentes (construidos en las primeras décadas del siglo XX) se requiere un nuevo puerto protegido por un molo de abrigo que sea capaz de atender en forma eficiente a las naves de diseño, y recibir a otras incluso mayores. Ese puerto debería disponer de buenas condiciones logísticas: espacio suficiente para áreas de acopio de contenedores, conexiones por ferrocarril y viales de buena calidad y equipamiento adecuado. Estos requerimientos dejan como la mejor opción para la expansión portuaria de la V región al proyecto de Puerto de Gran Escala (PGE) de San Antonio, que se describe en la próxima sección.

¹²Si bien el costo de transferencia portuaria representa solo un 10% de los costos de transporte marítimos a Chile, una mala calidad de servicio portuario disuade a las empresas navieras de usar sus naves más modernas y eficientes para servir los puertos chilenos, debido a que éstas tienen un alto costo de capital. Por lo tanto, ofrecer un mal servicio haría que nuestro transporte marítimo se realice en naves menos eficientes, cuyos costos de transporte son mayores.

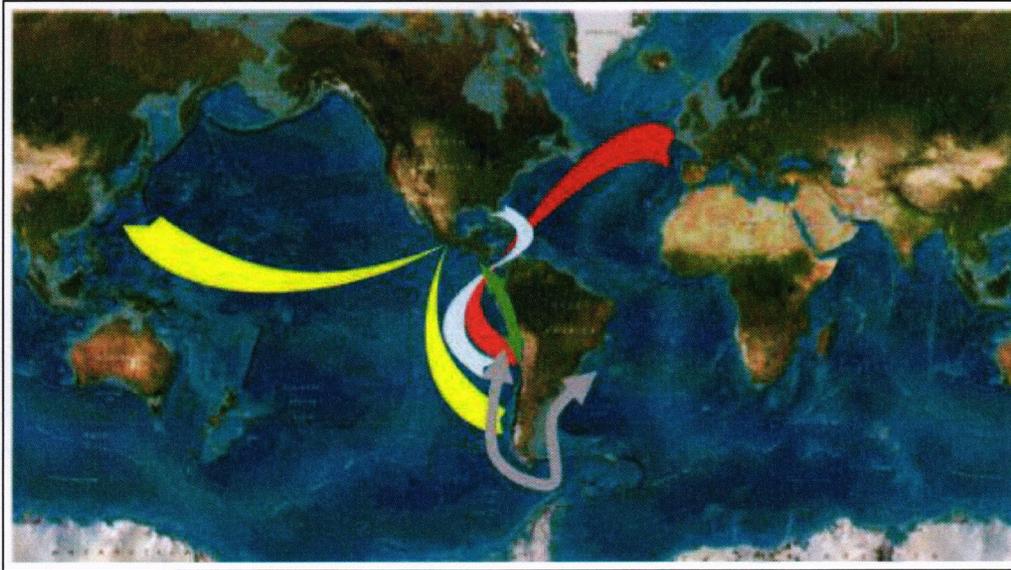


Figura 4: Servicios de transporte que recalzan en Sudamérica. Fuente: Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE (2017).

2.3. Determinación de la nave de diseño

El diseño del puerto para acoger la capacidad adicional requiere conocer cuál será la nave de diseño en el futuro. La determinación de la nave de diseño no sigue reglas precisas, sino que es una decisión informada sobre cómo se desarrollará el mercado naviero cuando el PGE esté completamente desarrollado. Lo que se observa es que las naves se han hecho mayores en el tiempo, debido a economías de escala, con un límite máximo estimado de 22.000 Teus. El MTT solicitó a la empresa consultora Logitrans desarrollar un estudio para ayudar a determinar el tamaño de la nave de diseño que recalará en la V región en base a los flujos esperados de tráfico naviero. Entre los antecedentes aportados por Logitrans, la figura 4 muestra los patrones de servicio del transporte de carga en contenedores relevantes para la costa oeste de Sudamérica.¹³

En el futuro mediano (2020-2030) Logitrans sugiere que habrá menos servicios a Sudamérica, pero con naves de tamaño más grande. Hacia 2030, se habrá vuelto a las frecuencias actuales, con naves de mayor tamaño, como lo muestra el cuadro 3. Dado que la V región es un gran generador e importador de carga, ambos puertos de la Región formarán un puerto *gateway*, es

¹³ Asimismo, el estudio de Logitrans examina la posibilidad de que Callao se constituya en un hub portuario para la costa oeste de Sudamérica. El estudio llega a la conclusión de que esto no debería ocurrir. Primero, el costo de transbordo de carga en Callao, para destinos en Chile debe compararse con el costo para las naves de Asia (por ejemplo) de recalcar en distintos puertos desde el Sur hacia el Norte de la costa Oeste de América del Sur. Este costo no difiere demasiado del costo de transporte desde Callao, y se evita el costo de transbordo. En consecuencia, no existen ventajas relevantes de usar un hub en Callao (o Guayaquil). Segundo, los planes de expansión de Callao a 2030, de 5 MM Teus/año, no dejan espacio para la transferencia de carga a Chile. Por lo demás, en la V región se transfieren actualmente 1MM Teus/año más que Callao.

decir un puerto intermedio que mantiene servicios directos con los grandes centros de producción y consumo, sin que la carga llegue como trasbordo desde un hub en la Región. No es imposible que, debido a la existencia de PGE y los demás frentes de atraque públicos de la V región, ésta se pueda transformar en forma natural, por decisión de las empresas navieras, en un hub portuario nacional (no regional, debido a su ubicación geográfica).¹⁴

Cuadro 3: Frecuencias y tamaños actuales y futuros (2030)

Patrón de Servicio	Servicios	Tamaño TEUs	Naves	Frecuencia
Frecuencias y Tamaños Actuales				
Asia-Costa Oeste Sur América	6	5.447 a 9.200		Semanal
Costa Este Norteamérica-Costa Oeste Sur América	3	1.300 a 4.600		Semanal
Golfo de México-Costa Oeste Sur América	1	Buque Multipropósito 1.381 TEUs promedio		Cada dos semanas
Europa-Costa Oeste Sur América	3	1.000 a 5.301		Semanal
Mediterráneo-Costa Oeste Sur América	1	1.728 a 1.730		Cada dos semanas
Intra regionales	4	1.180 a 3.646		7 a 9 días
Frecuencia y Tamaños Futuros (2030)				
Asia-Costa Oeste Sur América	6	7.000 a 13.000		Semanal
Costa Este Norteamérica-Costa Oeste Sur América	3	7.000 a 11.500		Semanal
Golfo de México-Costa Oeste Sur América	1	2.000 a 2.500		Cada dos semanas
Europa-Costa Oeste Sur América	3	7.000 a 11.500		Semanal
Mediterráneo-Costa Oeste Sur América	1	2.000 a 2.500		Cada dos semanas
Intra Regionales	4	2.000 a 4.000		7 a 9 días

Fuente: Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE (2017).

El cuadro 3 muestra que hacia 2030, gran parte de los servicios serán operados por naves con tamaños en el rango de 7.000-13.000 Teus, por lo que el PGE, que entrará en plena operación en la década de 2030, debe ser capaz de atender en forma eficiente a naves de un tamaño mayor. En base al estudio de Logitrans, EPSA determinó que la nave de diseño del PGE es la clase E Maersk,

¹⁴Esta evolución iría contra las políticas de desarrollo portuario y de descentralización del país, y solo ocurriría si existieran suficientes ventajas logísticas para las empresas navieras que compensen los trasbordos y el costo de cabotaje interno.

en particular la Emma Maersk, de 397 metros de eslora, 56 metros de manga, calado de 16,02 metros y capacidad de 14.770 Teus (incluyendo 1.000 Teus de Reefers).

En la actualidad no existen en la Región otros terminales que puedan atender a la nave de diseño. Los terminales concesionados de San Antonio no están habilitados para recibir a naves con una eslora mayor a 367 metros, debido a las limitaciones de maniobras, y aunque la eslora autorizada podría aumentar, es improbable que se permita que reciba la nave de diseño.¹⁵ En TPS en Valparaíso el calado es insuficiente, aunque esto podría cambiar, y no hay problemas con la eslora: el problema es que TPS (o TCVAL en el futuro) no disponen de las áreas de acopio necesarias para poder operar eficientemente con las naves de diseño. No hay pues competencia posible en la atención a las naves de diseño (clase E de Maersk), salvo entre los concesionarios de PGE.

Se aplica, en consecuencia, el artículo 23 de la Ley de Puertos, que señala que en caso de concesionar un puerto bajo el esquema monooperador y no haber otro puerto en la Región que pueda atender a la nave de diseño, la empresa debe solicitar un informe a la Comisión Preventiva Central (actualmente al Tribunal de Defensa de la Libre Competencia).

Desde el punto de vista de competencia, el análisis debería remitirse a la situación en el período 2027-2040, período en que comenzarán a operar las distintas etapas del nuevo puerto, y al período posterior a 2040, cuando el puerto esté en plena operación. No se sabe como serán las condiciones de competencia en un futuro tan lejano, pero estudiando las condiciones actuales del mercado e intentando predecir el desarrollo razonable del sistema portuario de la V región para el período de interés, se pueden obtener algunas conclusiones aplicables a ese período.

2.4. Proyecto

El proyecto PGE de EPSA consiste en la construcción de un gran molo de abrigo de 3.900 metros lineales que comienza cerca de la desembocadura del Río Maipo, penetra en el mar por unos 1.500m y luego vira al norte para proteger los futuros frentes de atraque, como se muestra en la figura 5. Esta obra, que es de uso común, será financiada por EPSA (con aval del Estado) y su remuneración provendrá de la Tarifa por Uso de Puerto (TUP) que pagan las navieras.

En el espacio abrigado que genera el molo, los concesionarios construirán dos frentes de atraque (el Terminal Mar y el Terminal Tierra) con capacidades de aproximadamente 3 millones de Teus/año, por etapas. El año de entrada en servicio de las etapas se muestra en el cuadro 4. Las concesiones serán de 30 años, bajo la Ley de Puertos.

Cada una de las cuatro etapas del nuevo puerto agrega una capacidad aproximada de 1.5 MM Teus/año. Por lo tanto, cada concesionario tendrá una capacidad de transferencia de contenedores

¹⁵ Aún si se permitiera, STI no podría atender eficientemente naves de ese tamaño, debido al tamaño de su área de respaldo.

Cuadro 4: Fecha de entrada de los Terminales

Etapa	Año entrada
Terminal Mar A	2026
Terminal Mar B	2031
Terminal Tierra A	2035
Terminal Tierra B	2039

Fuente: Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE (2017).

de un 15-25% mayor a la capacidad agregada de los dos terminales existentes en San Antonio, una vez hechas las inversiones opcionales en PCE. Los dos terminales de PGE tienen 1.730 metros lineales cada uno, por lo que cada etapa agrega 865 metros, lo que permite que cuando el frente esté completo atraquen cuatro naves de diseño de 397 metros de eslora, considerando el espacio requerido entre naves. Cada terminal tiene 90 ha. de respaldo, lo que sin ser holgado, es suficiente dada la logística eficiente que se piensa utilizar en el PGE.

Cada terminal tendrá conexiones modales con ferrocarril y camiones, como se observa en la figura 5. Se espera que el ferrocarril transporte un 30-40% de la carga desde y hacia el PGE, utilizando para ello trenes de 1.200 metros. La carga de ferrocarril se trasladará a través de un corredor ferroviario que conectará los terminales del PGE con un Centro de Intercambio Modal (CIM) localizado en las cercanías de Malloco. A tal efecto, EPSA está definiendo, en conjunto con la Empresa de los Ferrocarriles del Estado (EFE), los requerimientos y condiciones de este servicio especial para transportar la carga del PGE de San Antonio. Por su parte, para el acceso de camiones se ampliará el acceso actual y a partir de éste se creará un acceso especial a PGE. Estas obras, al ser de uso común, serán responsabilidad de EPSA y se pagarán mediante un peaje a los operadores terrestres.

2.5. Reglas del juego

A continuación se describen las reglas bajo las cuales operarían y se adjudicarían los terminales. El análisis de competencia de estas medidas se realiza en la sección 3.

2.5.1. Restricciones horizontales

Se propone que los incumbentes no puedan participar en las subastas por las concesiones del PGE a menos que traspasen sus concesiones actuales antes de la entrada en servicio del terminal que les fue adjudicado. De otra forma podría producirse una concentración excesiva en el mercado.

Respecto a la operación, se propone prohibir la subcontratación de empresas relacionadas si operan con el otro concesionario del PGE. Asimismo, EPSA debería tener mayor capacidad para

1014



Figura 5: Esquema del proyecto PGE

1015

solicitar información y de manera más frecuente sobre la operación de los frentes, así como de las operaciones terrestres, todo esto con el objeto de ejercer mejor sus funciones como autoridad portuaria. Por último, deberían incrementarse las multas por infracciones al contrato.

2.5.2. Restricciones verticales

Se propone relajar las restricciones verticales para atraer más interés en la licitación de parte de empresas navieras integradas. Esto podría mejorar los resultados en la licitación al atraer a grandes operadores internacionales. Los riesgos de conductas anticompetitivas son menores que en el pasado por la existencia de cuatro terminales adicionales (STI, TPS, PCE y TCVAL) a los de PGE, así como por un diseño de contratos que le da más facultades a EPSA para solicitar información y un régimen de multas más estricto.

2.5.3. Adjudicación

En las licitaciones de concesiones portuarias, se adjudica la concesión al postulante que ofrece el menor índice tarifario, definido como un ponderador de tarifas por los distintos conceptos asociados a la transferencia de carga.¹⁶

En las primeras licitaciones, correspondientes a STI, TPS y San Vicente, se dispuso que el índice tarifario ofertado no pudiera ser inferior a un valor predefinido, el I_{min} . En caso de que dos participantes ofrecieran este valor mínimo, las empresas competirían en base a un pago de desempate. En licitaciones posteriores, por indicación del TDLC, se eliminó el tope mínimo al índice tarifario.

Se propone volver al esquema de licitación utilizado en las primeras licitaciones portuarias, asignando la concesión al postulante que ofrece el menor índice tarifario máximo, con un tope inferior que no de lugar a ofertas temerarias. En caso de empate en el tope inferior, el desempate sería en base a un pago que se destinaría al financiamiento de la construcción de las obras de abrigo. Como se verá en la sección 3 que analiza las razones para esta petición, la competencia *ex ante* es menos eficiente que la competencia *ex post* cuando existen varias empresas en competencia.

¹⁶La fórmula para el índice tarifario propuesta es: $I = \alpha \text{ TTC} + \beta \text{ TTF} + \gamma \text{ TTOC} + \text{TMC} + \lambda \text{ TMN}$. En esta expresión:

- TTC: Tarifa por Transferencia de Carga Contenedores no refrigerados de 20 pies con o sin carga (US\$/TEU).
- TTCR: Tarifa por Transferencia de Contenedores Refrigerados de 20 pies con carga (US\$/TEU).
- TTOC: Tarifa de Transferencia de Otras Cargas (US\$/Ton).
- TMC: Tarifa a la Carga por Uso de Muelle (US\$/Ton).
- TMN: Tarifa a la Nave por Uso de Muelle.
- $\lambda = \sum_i \frac{(t_i \text{ esli})}{AT}$ esloras ponderadas por cargas transferidas, dividida por tonelaje total transferido.
- α, β, γ : parámetros de ponderación.

2.6. Definición del mercado relevante

Si consideramos el mercado relevante usando el enfoque de *producto*, consiste en los servicios básicos portuarios de los frentes de atraque de uso público de la V región. El tipo de carga en la Región es la carga general fraccionada y de contenedores, así como los graneles. Como se ha mencionado antes, el 97 % de la carga general de exportación y el 87 % de la carga general de importación está contenerizada. La carga general fraccionada consiste en automóviles, maquinaria y equipos de gran tamaño. Debido a su naturaleza como puerto especializado en la transferencia de contenedores, PGE no debería participar en el mercado de graneles. Asimismo, la carga general fraccionada puede ser atendida por los terminales que ya existen en la Región. En resumen, el mercado de PGE es la transferencia de contenedores.

Desde el punto de vista geográfico, el ámbito es la Región en la que se encuentran los terminales, como lo muestra el Dictamen 1.045 del TDLC y posteriores. Por lo tanto el mercado relevante es la transferencia de contenedores en la V región. Es probable que la concentración de capacidad de transferencia de contenedores en la V región genere algún potencial de trasbordo de cabotaje, dado que una parte de las naves de diseño preferirían no recalar en los puertos menores (San Vicente, Iquique, Antofagasta y otros) debido al costo que genera la espera mientras se produce la transferencia de contenedores en estos puertos de menor capacidad operacional.¹⁷ En tal caso el mercado relevante podría ser mayor a la escala de la V región y extenderse a gran parte del país, pero en atención a Dictámenes anteriores del TDLC, el análisis se restringe a la V región.¹⁸

Pese a que no existirían en la Región otros terminales que puedan atender a la nave de diseño, esto no significa que los demás puertos concesionados de la Región no puedan ejercer presión competitiva sobre PGE. Como se observa en el Cuadro 3 de la sección 2.3, hacia 2030 todos los servicios operarían con naves de tamaño menor al de diseño, e incluso posteriormente una fracción importante de los servicios será con naves de tamaño inferior. Asimismo, naves de gran tamaño (pero inferiores al de la nave de diseño) pueden ser atendidas –con algunas restricciones de calado– en las actuales concesiones de STI en San Antonio y de TPS en Valparaíso, aunque en condiciones menos eficientes que en el PGE.¹⁹

En el futuro, los concesionarios de Molosur en San Antonio y del Terminal 1 en Valparaíso podrían aumentar la profundidad de sus frentes de atraque, con lo que podrían transformarse

¹⁷Cabe señalar que mientras no se libere el cabotaje, es poco probable que esto ocurra, debido al costo y la oportunidad del cabotaje en las condiciones actuales.

¹⁸Como lo ha señalado el TDLC en el Informe N° 4 referido al Puerto de Coquimbo, los puertos de la V región producen un efecto disciplinador del comportamiento competitivo sobre los puertos de carga general de regiones aledañas, como la IV región, pero no es razonable pensar que estos puertos aledaños disciplinen el comportamiento competitivo en la V región, dada la mucho mayor magnitud de los volúmenes transferidos en ésta.

¹⁹En septiembre de 2014 recaló en STI la nave Gustav Maersk de 9.700 Teus. En febrero de 2015 la nave Cezanne, de 9.962 Teus atracó en STI. En junio de 2016 recaló en STI la nave Hyundai Earth, de 10.055 Teus. En junio 2015 recaló en TPS (Valparaíso) la nave Cochrane de 9.326 Teus. En enero de 2012, la nave Katrina de 12.600 Teus atracó en PGE.

en competencia efectiva para PGE en naves de 11-12.000 Teus. Aunque no serían tan eficientes como PGE para atender esas naves, pues sus frentes tendrían menor longitud y menores áreas de transferencia, limitarían la posibilidad de ejercer poder monopólico en el mercado de las transferencias de carga portuaria.

Es por este motivo que se hará el análisis bajo el supuesto de que el mercado relevante incluye a naves de diseño y menores. En el período 2030-2045 las naves de diseño solo pueden ser atendidas en PGE, pero las naves menores pueden operar con STI y TPS, aunque los criterios de eficiencia en la carga y descarga indica que serán los terminales de PGE los que serán la primera opción de los operadores navieros para las naves de mayor tamaño, en caso que estos terminales tengan capacidad y no tengan cobros excesivos.

2.7. Características del mercado relevante

El sector portuario de la V región es tal vez el más diversificado del país, dado que atiende a la región más poblada del país, como se muestra en el cuadro 5. Las exportaciones que se realizan por vía marítima consisten en productos agrícolas y silvicultura, minería del cobre, alimentos, bebidas y otros bienes. Hay también cantidades menores de mercancía de cabotaje, incluyendo ácido sulfúrico enviado a las minas del Norte. Las importaciones también están diversificadas e incluyen grandes cantidades de alimentos (especialmente animal) y combustibles (graneles sólidos y líquidos), así como todo tipo de carga general de importación. Estas tendencias deberían mantenerse en el futuro, aunque dependiendo de si eventualmente se construyese nueva infraestructura vial o ferroviaria hacia Argentina, la Región podría recibir además cargas significativas desde ese país.

Pese a que no se trata del mercado relevante, es importante describir la situación de las transferencias de graneles. El cuadro 5 muestra que en la V región, los puertos de graneles limpios son PCE y Puerto Panul en San Antonio y los de graneles sucios son los terminales de la bahía de Quintero. Los montos transferidos de las distintas cargas durante 2015 se muestran en el cuadro 6. En el futuro desaparecen en San Antonio los sitios 8 y 9, dedicados a la transferencia de carga granel sólido y líquido respectivamente. Esos sitios serán reconvertidos para generar un proceso de renovación urbana en el borde costero norte de San Antonio. De acuerdo al plan maestro 2013 de San Antonio, la carga granel en San Antonio se transferirá en los frentes PCE y STI.²⁰

Cuando el PGE esté plenamente operativo, habrá 6 operadores que competirán por la transferencia de contenedores en la V región: TCVAl y el sucesor del concesionario TPS en Valparaíso; PCE, el sucesor del concesionario STI, y los dos frentes de atraque en PGE. Esto debe contrastarse

²⁰PCE tiene 3 frentes de atraque. El frente costanera (700) es especializado en contenedores y compete con el PGE. El frente sitio 4 y 5 tiene vocación automotor y multipropósito. El frente sitios 6 y 7 son aptos solo para algunas naves, principalmente graneleras. El proyecto de ampliación de PCE contempla convertir esa zona en un terminal granelero y de carga fraccionada.

con la situación hasta 2016, en la que solo existían dos terminales eficientes en la transferencia de contenedores en la Región.

Cuadro 5: Puertos de uso público en la V región

Nombre	Especialización Toneladas 2016 (M)	Productos relevantes	Propiedad	Operación	Clientes principales
GNL Quintero	Graneles líquidos	GNL	ENAP, Enagás, Omers Infrastructure	GNL Chile	Enap, Endesa, Metrogas
Puerto Ventanas	Graneles sólidos y líquidos	Carbón, Concentrados de cobre, Ácido sulfúrico, granos, clinker, combustibles	Sigdo Koppers		Melón, Codelco, Anglo, Enap, Asfaltos, AES Gener
Oxiquim Quintero	Graneles líquidos	Combustibles, GLP, químicos	Oxiquim		Lipigas, Codelco
TPS	Carga fraccionada y contenedores	Carga general	HHLA, Ultramar	TPS	
TCVAL	Carga fraccionada y contenedores	Carga general	OHL	TCVAL	
STI	Carga fraccionada y contenedores	Carga general	SSA SAAM	Marines, STI	
Puerto Panul	Graneles sólidos	Trigo, maiz, soya	Graneles de Chile, Marítima de Valparaíso, Inversiones Cádiz		
PCE	Carga fraccionada y contenedores, graneles sólidos	Carga general	Puertos y Logística, Puerto Lirquén	PCE	
Terminal sitio 9	Graneles líquidos	Productos químicos	EPSA	EPSA	QC Terminales

Fuente: Memorias de las empresas y puertos estatales, otros.

2.8. Principales actores del mercado relevante

En el Puerto de San Antonio actualmente operan los terminales de STI, Puerto Panul y PCE. Dispone de acceso ferroviario y vial y es el principal centro portuario de la Región. Sus dos terminales de contenedores compiten directamente entre ellos y con TPS en Valparaíso. Las capacidades de estos terminales se muestran en los cuadros 1 y 2 de la sección 2.1.

El terminal de contenedores de PCE entró en operaciones en noviembre de 2016, agregando

Cuadro 6: Carga en los puertos V Region 2015 (miles tons)

	Exportación			
	Graneles	Líquidos	Carga general	Refrigerada
Ventanas	2.007	24	0	0
Quintero	0	64	0	0
Valparaíso	0	182	1.762	1.554
San Antonio	230	156	2.128	1.253
	Importación			
Ventanas	2.840	77	87	0
Quintero	0	9.293	0	0
Valparaíso	0	0	4.492	182
San Antonio	3.211	164	4.871	516
	Cabotaje			
Ventanas	638	198	6	0
Quintero	0	4.635	3	0
Valparaíso	0	0	171	0
San Antonio	133	1.022	118	0
Oxiquim Quintero	0	579	0	0
	Total			
Ventanas	5.485	299	93	0
Quintero	0	13.992	3	0
Valparaíso	0	182	6.425	1.736
San Antonio	3.574	1.342	7.117	1.769
Oxiquim Quintero	0	579	0	0

Fuente: Directemar.

más de un millón de Teus de capacidad a la Región. Hay por lo tanto tres terminales operativos en la V región que pueden atender contenedores y que en conjunto disponen de una capacidad excedentaria de un millón de Teus, dado que los terminales de STI y TPS operaban cerca de su capacidad antes de la entrada de PCE.²¹ El cuadro 7 muestra los contenedores transferidos en los dos terminales especializados en contenedores de la V región hasta noviembre de 2016. Si se comparan estos valores con las capacidades que muestran los cuadros 1 y 2 de la sección 2.1 se observa que antes de la entrada del nuevo terminal de PCE, el sistema estaba operando al límite de su capacidad.

Cuadro 7: Transferencia de contenedores en STI y TPS

Años	Contenedores San Antonio	Contenedores Valparaiso	Participación STI
2000	478,018	256,386	65 %
2001	443,390	291,403	60 %
2002	490,500	300,031	62 %
2003	571,013	319,418	64 %
2004	702,910	388,353	64 %
2005	829,249	377,274	69 %
2006	700,645	618,840	53 %
2007	681,581	845,234	45 %
2008	732,136	946,951	44 %
2009	727,884	677,432	52 %
2010	885,378	878,787	50 %
2011	969,399	973,012	50 %
2012	1,104,494	942,647	54 %
2013	1,205,345	910,780	57 %
2014	1,102,869	1,010,202	52 %
2015	1,217,220	902,542	57 %
2016	1,287,000	884,030	59 %

Fuente: Procesamiento del autor usando cifras de las páginas web de EPSA y EPV. Para EPSA se convirtió de toneladas transferidas en contenedor a contenedores usando los valores de carga y Teus de 2016.

2.8.1. Competencia y tarifas

El mismo cuadro 7 muestra que incluso con dos participantes parecería haber competencia portuaria entre 2005 y 2009, en que hubo cambios significativos en las participaciones de cada puerto. En ese período una serie de servicios regulares cambiaron su puerto de recalada. Una forma de verificar que hubo competencia durante ese período es observar que la variable de adjudicación de la concesión de TPS, el Índice Tarifario Ofrecido (en adelante ITO), no fue activa

²¹TCVAL tiene movimientos marginales de contenedores.

durante el período, como lo muestra el cuadro 8.²² El cuadro muestra la evolución de las tarifas reales, ponderadas de acuerdo al contrato, y se observa que durante el período en que existía capacidad excedentaria el Índice Tarifario Efectivo (en adelante ITE) era inferior al ITO, alcanzando un 65.5 % del ITO en 2010, pese a que el terminal se acercaba a su capacidad máxima.

Posteriormente, las limitaciones de capacidad redujeron la intensidad de competencia, etapa que comienza a partir de 2010, pero cuyos efectos se ven contrarrestados por el hecho que la transferencia de contenedores de la Región ha crecido poco desde 2012. La conclusión es que mientras exista capacidad excedentaria suficiente, habrá un fuerte grado de presión competitiva. En ese sentido, el aumento en la capacidad de transferencia portuaria en la V región asociada a la entrada de PCE debería aumentar nuevamente la intensidad de competencia portuaria.

Cuadro 8: Índice Tarifario Ofrecido e Índice Tarifario Efectivo en TPS

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ITO	7,29	7,55	7,41	7,52	7,82	8,14	8,57	8,67	9,22	9,12	9,52
ITE	5,99	6,19	5,61	5,77	5,82	5,97	5,97	5,81	6,01	6,05	6,24
ITE/ITO(%)	82,2%	82,0%	75,6%	76,8%	74,5%	73,3%	69,7%	67,0%	65,2%	66,4%	65,5%

Fuente: TPS. ITO: Índice obtenido aplicando la fórmula del Contrato de Concesión para el Cálculo del Índice Tarifario. ITE: obtenido usando la fórmula de Índice Tarifario, pero usando las tarifas reales.

Desgraciadamente, no se tiene información sobre el valor de ITE efectivo en TPS a partir de 2011, ni se conoce el valor correspondiente para STI, dado que es información propietaria.

Se debe recordar que el Índice tarifario se construye partir de una serie de tarifas expresadas en dólares:

$$ITE = \alpha \cdot TTC + \beta \cdot TTF + TMC + \lambda \cdot TMN,$$

donde:

- TMN: Tarifa a la nave por uso de muelle, medido en metros de eslora por hora en que la nave ocupa el muelle.
- TTC: Tarifa por transferencia de contenedores, en términos de Teus.
- TTF: Tarifa por transferencia de carga fraccionada (incluyendo graneles), por tonelada.
- TMC: Tarifa a la carga por uso de muelle, por tonelada.
- $\lambda = (\sum_{i=1}^N \text{eslora}_i \cdot t_i) / AT$, es una medida de eficiencia en el uso del frente de atraque. La empresa más eficiente puede cobrar una mayor tarifa por el uso del muelle al ser más eficiente.

²²Tomado de la presentación ante el TDLC "Participación del actual concesionario en la nueva licitación del Puerto de Valparaíso", R. Fischer, 2012.

- AT: Tonelaje transferido.²³
- Los parámetros α, β dependen del terminal. En STI sus valores son $\alpha = 0,074\text{Teu/ton}$; $\beta = 0,150$.

No es posible obtener cifras similares a las del cuadro 8 para STI, porque la información que requiere su construcción es privada, y depende de rebajas no observables en contratos con algunos operadores navieros y en la carga que transfieren esas empresas, así como de los descuentos que se hacen a las transferencias de graneles (que en principio deben pagar el TTF, tarifa por carga fraccionada). Como alternativa, se usará la información pública disponible para evaluar si las empresas están aprovechando toda su capacidad para elevar precios hasta el ITO.

Primero, se pueden hacer algunas estimaciones con datos públicos que permiten determinar que el índice tarifario efectivo en STI también está por debajo del ITO, lo que indica que la empresa está cobrando menos del máximo que puede cobrar. Para ello se puede observar que la tarifa a la nave por uso de muelle (TMN) es pública. STI tiene un valor menor de TMN para naves portacontenedores que para otras naves desde 2006, una medida que tiene el objetivo de atraer al primer tipo de naves, más rentables para ella. Por su parte, en el cálculo usado para verificar el respeto al Índice Tarifario Ofrecido se usan las tarifas máximas, y con ese máximo (correspondiente al TMN de otras naves no portacontenedores) el ITE es igual al ITO, pero el Índice Tarifario Efectivo es menor, dado que algunas tarifas son menores.

Dada la diferencia entre los valores aplicados a distintos tipos de naves, el ingreso por TMN depende de la composición de la carga y las esloras de las naves que traen estas cargas. Para poder calcular el ingreso efectivo por TMN, se utilizan los datos de EPSA sobre los metros-eslora-hora de los distintos tipos de nave cada año (Full container, otras naves y naves líquidos), el que se compara con el que tendría la empresa si no hubiera hecho rebajas a las naves portacontenedores.²⁴

Bajo esas condiciones el ingreso por Tarifa a la Nave por uso de Muelle se calcula como el producto de las cifras anuales de metros-eslora-hora de cada tipo de nave por el valor público del TMN de cada tipo de nave. Los valores que resultan se muestran en las filas "Ingreso TMN", "Ingreso TMN sin desc." y "% Descuento" del cuadro 9. El cuadro muestra que en los últimos años el ingreso efectivo por TMN es aproximadamente un 40 % menor que el ingreso que STI podría haber obtenido si utilizara el máximo valor permisible por el índice tarifario.

²³Transferencia de Carga: es el conjunto de actividades de Estiba o Desestiba; Trinca o Destrinca; Embarque o Desembarque; Porteo; Carguío o Descarguío a medios de transporte; el Almacenamiento, Acopio o Depósito Comercial, por los primeros 3 días desde su Desembarque o llegada al frente de atraque para su Embarque; y la expedición de los documentos que dejan constancia de la recepción y entrega de la carga; incluida su administración y gestión, así como todos los recursos necesarios para su ejecución.

²⁴Este cálculo hace la simplificación de suponer que no varía la composición de las naves ni el número de arribos si se eleva la TMN para naves portacontenedores al TMN de otras naves.

También es posible observar cómo han evolucionado las tarifas reales de muellaje de carga en contenedores y fraccionada usando los valores públicos de Tarifa a la carga por uso de muelle (TMC) y las tarifas por transferencia de contenedores y de carga fraccionada, TTC y TTF respectivamente. Usando los datos de EPSA es posible obtener las toneladas por Teu de cada año, y obtener el ingreso nominal y real por cada tonelada transferida por contenedor.²⁵ Los valores usados en los cálculos y los resultados se muestran en el cuadro 9. En términos reales, cada tonelada de carga contenerizada transferida pasó de un costo de US\$8.23/ton en 2000 a US\$6.69/ton, una caída de 19%. Al mismo tiempo el costo de transferir carga fraccionada subió de US\$6.89/ton a US\$12.57/ton, también en términos reales (4 últimas filas del cuadro 9).

Se debe señalar que tal como en TPS, los valores de TMC que pagan las empresas navieras con servicios regulares deberían ser inferiores a los precios de lista, por lo que los valores que muestra el cuadro 9, son superiores a los valores efectivos. Por lo tanto, dado que STI podría no haber hecho el descuento en TMN para naves de contenedores, y ello no habría afectado el valor de ITO, y además podría no haber hecho descuentos a clientes habituales, sin violar esa misma condición, es probable que las empresas STI y TPS todavía tengan alguna tensión competitiva, especialmente cuando emerge este año un nuevo competidor con un millón de Teus adicionales de capacidad: Puerto Central.

²⁵El Ingreso real por tonelada en contenedor se calcula como $(TMC + (Ton/Teu) * TTC) / ((Ton/Teu) * PPIAF)$. Por su parte el ingreso real por tonelada de carga fraccionada se calcula como $(TMC + TTF) / PPIAF$. Aquí PPIAF es un factor de actualización basado en el índice de precios de producción de los EEUU, PPI.

Cuadro 9: Estimaciones descuentos en TMN y variación real precio por tonelada transferida

Tarifas	2000	2001	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
TMN Full Contenedor	1,20	1,24	1,41	1,43	1,52	1,50	1,57	1,63	1,70	1,72	1,74	1,73	1,69
TMN Otras Naves	1,20	1,24	1,95	1,95	2,07	2,05	2,14	2,23	2,34	2,70	3,19	3,19	3,19
TMC	0,50	0,52	0,59	0,59	0,63	0,63	0,66	0,68	0,71	0,72	0,73	0,73	0,71
TTC	67,45	69,40	78,00	77,90	82,20	81,50	86,50	88,70	84,50	81,00	81,00	80,30	77,15
TTF (*)	6,39	6,62	9,50	9,50	9,20	9,20	9,60	10,00	15,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Lambda	0,500	0,528	0,262	0,314	0,400	0,380	0,332	0,367	0,338	0,316	0,307	0,314	0,302
ITE	7,05	7,30	8,30	8,39	8,92	8,82	9,21	9,56	10,00	10,12	10,25	10,22	9,93
ITO Ajust.	7,05	7,30	8,30	8,39	8,92	8,82	9,21	9,56	10,00	10,12	10,25	10,22	9,93
PPI (Dic. Año Ant.)	134,9	139,7	158,8	160,5	170,6	168,8	176,2	183	191,3	193,6	196,1	195,6	190,1
PPIAF	1,0000	1,0356	1,1772	1,1898	1,2646	1,2513	1,3062	1,3566	1,4181	1,4351	1,4537	1,4500	1,4092
MEH Full Container	1,156	915	1,204	1,113	1,541	1,674	2,123	2,309	2,937	3,237	3,148	3,473	3,588
MEH Otras Naves	1,331	1,304	890	1,835	1,747	957	1,488	1,363	792	425	288	228	430
MEH Naves Líquidos	203	255	315	301	328	327	367	349	356	334	326	319	330
%MEH Full Container	43%	37%	50%	34%	43%	57%	53%	57%	72%	81%	84%	86%	91%
Ingreso TMN	3,230	3069	4048	5759	6640	5147	7306	7584	7682	7620	7439	7757	7257
Ingreso TMN sin desc.	3,230	3069	4698	6338	7488	6068	8516	8970	9562	10792	12005	12828	12639
% Descuento	0%	0%	14%	9%	11%	15%	14%	15%	20%	29%	38%	40%	43%
Tonelaje Excepto LÍq.	4,621	4,360	6,547	6,983	8,147	7,554	9,572	10,507	11,557	11,973	10,925	11,831	11,797
Tonelaje Fracc.+Granel	2,003	2,199	2,160	2,890	2,967	2,377	2,809	2,803	2,042	1,686	1,437	1,226	1,115
Tonelaje contenedores	2,617	2,161	4,387	4,092	5,179	5,177	6,763	7,704	9,515	10,287	9,489	10,605	10,681
BOX 20' miles	69	59	103	87	128	122	161	171	212	235	329	242	245
BOX 40' miles	116	110	220	209	237	261	316	349	428	471	322	463	481
Teus miles	300	279	543	505	603	643	793	870	1,068	1,177	973	1,167	1,207
Tons/Teu	8,73	7,76	8,08	8,10	8,59	8,05	8,53	8,86	8,91	8,74	9,75	9,09	8,85
Ingreso ton contenedor	8,23	9,46	10,24	10,21	10,20	10,75	10,80	10,69	10,19	9,98	9,03	9,57	9,43
Ingreso ton Fracc.+granel	6,89	7,14	10,09	10,09	9,83	9,83	10,26	10,68	15,71	17,72	17,73	17,73	17,71
Ingreso ton Cont Real	8,23	9,14	8,70	8,58	8,06	8,59	8,27	7,88	7,19	6,96	6,22	6,60	6,69
Ingreso ton frac Real	6,89	6,89	8,57	8,48	7,77	7,86	7,85	7,87	11,08	12,35	12,20	12,23	12,57

Fuente: Datos de EPSA y procesamiento del autor.

1025

2.9. Tarificación y costos de transferencia por Teu

Una segunda mirada a los costos de transferencia de los terminales de la V región se obtiene a partir de los balances de las empresas. Las principales fuentes de ingresos de las empresas portuarias estatales son la tarifa de uso de puerto y los cánones que pagan las empresas concesionarias del puerto. Existen otras fuentes de ingresos menores como los que provienen de Panul, concesiones menores, la parte no concesionada del Espigón, ciertos arriendos, etc. En San Antonio en 2014, la tarifa T-200 por uso de puerto estaba definida como US\$ 0.45 por tonelada de registro grueso (TRG) para naves de comercio internacional.²⁶ Esta tarifa representa el retorno al uso de las aguas abrigadas del puerto, es decir el retorno a la inversión en las obras de protección y otras facilidades comunes. El cuadro 10 muestra los ingresos ordinarios de EPSA en los años 2015 y 2016.

Cuadro 10: Ingresos ordinarios EPSA

	01/01/2016 31/12/2016 M\$	01/01/2015 31/12/2015 M\$
Canon por concesiones portuarias STI – Panul	12.961.330	12.277.576
Canon por concesión portuaria P. Central	2.490.389	2.483.157
Reconocimiento de ingresos diferidos concesiones STI – Panul	3.169.354	3.169.354
Tarifa uso de puerto	14.406.220	12.724.833
Otras concesiones menores	1.495.275	1.321.559
Sitio 9 y otros ingresos	239.022	305.501
Total ingresos ordinarios	34.761.590	32.281.980

Fuente: FECU diciembre 2016.

Por su parte, los concesionarios reciben ingresos por tarifas de muellaje y servicios en terminales y de transferencia de carga, como lo muestran los cuadros 11 y 12.

Cuadro 11: Ingresos actividades ordinarias STI

	2016 MUS\$	2015 MUS\$
Servicios de muellaje a la carga	9.895	10.125
Servicios de muellaje a la nave	6.437	6.887
Servicios terminales	31.239	30.752
Servicios de transferencia	51.634	53.146
Otros servicios	4.277	3.851
Total ingresos ordinarios	103.482	104.761

Fuente: Memoria STI 2016

²⁶Existe además una tarifa de US\$0.08 por TRG para naves de cabotaje, científicas, pasajeros y Armada.

1026

Cuadro 12: Ingresos ordinarios PCE

Clases de Ingresos ordinarios	2016 MUS\$	2015 MUS\$
Servicios de muellaje a la carga	386	1.216
Servicios de muellaje a la nave	1.252	3.488
Servicios Terminales	28.693	5.517
Servicios de transferencia	7.421	21.681
Otros servicios	814	219
Prestación de servicios	38.566	32.121

Fuente: Memoria PCE 2015

En el caso de STI, se puede calcular el costo de los servicios del concesionario por Teu, dado que en 2016 éste transfirió 1,287 millones de Teus, y tuvo ingresos por US\$103,5MM. El valor resultante se acerca a los US\$80,4/Teu, pero el valor efectivo por Teu es menor, pues un 8,6 % de la carga transferida (en toneladas) por STI consiste en graneles. A este valor se deben agregar el valor de la tarifa de uso de puerto, la que en base al balance de EPSA, agrega otros US\$7,6/Teu, como máximo, puesto que la tarifa de uso de puerto se aplica también a naves con graneles, carga general fraccionada y a la carga transferida por PCE y Panul.²⁷ Es decir, en promedio los contenedores transferidos por el puerto de San Antonio tienen un costo menor a US\$88/Teu en 2016 luego de todas las operaciones de transferencia portuaria. Los *boxes* transferidos incluyen contenedores de 20 (1 Teu) y 40 pies, con un promedio de 1.67 Teus por *box*. Dado este promedio de tamaño de los *boxes*, el costo de los servicios de transferencia de un *box* promedio es de US\$140,8.²⁸

En el caso de Valparaíso, dadas las transferencias de 884 miles de Teus de TPS y los ingresos de TPS de US\$80,8MM, se puede calcular el costo promedio de transferencia de un Teu. Se debe recordar que la participación de carga fraccionada en TPS es de 17 %, y que su costo de transferencia por tonelada genera ingresos similares o mayores a los de la carga contenerizada.²⁹ Descontando los ingresos correspondientes a carga fraccionada, se tiene un costo promedio de US\$75,9/Teu. A este valor se le debe sumar la tarifa por uso de puerto en Valparaíso, la que se puede calcular en base a los ingresos de EPV en US\$6,6/Teu. El resultado es un costo total por Teu transferido por TPS de aproximadamente US\$82,4/Teu. Este valor es algo menor al de STI, lo

²⁷Solo un 68 % de la carga en el puerto corresponde a contenedores.

²⁸Por consistencia, es interesante verificar que estos valores aproximan los valores obtenidos para STI en la sección 2.8.1. Los ingresos por TMN son US\$ 7.257/1.207≈ US\$6,0 Teu, los por tonelada transferida en contenedor son US\$ 8,85*9,43≈ US\$83,4/Teu a lo que se debe agregar el TMC: US\$8,85*0,71≈ US\$6,3/Teu, más el valor por tarifa de uso de puerto de US\$12/Teu. Todo esto da un valor de US\$107/Teu. La diferencia entre el valor inferior a US\$88/Teu de esta sección y los US\$107/Teu que se obtiene con los cálculos de la sección 2.8.1 probablemente se explica por los descuentos no observables de STI a sus clientes regulares.

²⁹A diferencia del caso del 8-9 % de carga no contenerizada de STI, cuyo ingresos por tonelada transferida, que incluye muchos graneles, es mucho menor.

Cuadro 13: Ingresos ordinarios EPV

	2016 M\$	2015M\$
Canon Concesión Terminal (TPS)	9.729.430	10.666.941
Tarifa Uso Puerto	6.583.058	7.017.039
ZEAL101 %	126.067	238.841
Canon Concesión ZEAL	618.777	569.777
Canon Concesión Terminal 2 (TCVAL)	444.695	414.038
Contratos de arriendo	148.905	164.258
Canon concesión VTP	82.148	140.044
Usos de área	20.117	28.269
Uso Muelle a la Nave	11.465	14.138
Plataforma SILOGPORT	24.248	-
Otros servicios y almacenamiento	65.921	19.888
Ingresos diferidos Terminal (TPS)	2.283.608	2.283.608
Ingresos diferidos ZEAL	19.645	19.645
Ingresos diferidos PVSA	13.692	14.137
Ingresos diferidos VTP	18.715	13.939
Ingresos diferidos TCVAL	684.287	28.597
Ingresos diferidos Aportes de Infraestructura TPS	271.215	271.215
Ingresos diferidos Aportes de Infraestructura ZEAL	365.870	365.870
Ingresos diferidos Aportes de Infraestructura VTP	16.593	-
Total	21.528.456	22.270.244

Fuente: Memoria 2016 EPV

Cuadro 14: Ingresos ordinarios TPS

	2016 MUSS	2015 MUSS
Servicios de muellaje a la carga	6.170	6.239
Servicios de muellaje a la nave	5.154	5.931
Servicios de transferencia	42.226	48.205
Servicios de patio	27.151	28.086
Otros	140	129
Total Ingresos Ordinarios	80.841	88.590

Fuente: Memoria TPS 2016

que podría explicarse al considerar que en STI no se descontaron los ingresos por el 8 % de carga fraccionada y graneles.

Es probable que la entrada de PCE haga caer estos valores, pues corresponden a un período en que no había excedentes de capacidad. Lo mismo ocurrirá cuando entre en operación TCVAl y eventualmente el PGE.

A los valores anteriores se les debería agregar el costo del tiempo de espera de las naves antes de poder atracar.³⁰ De acuerdo a la información disponible en el Sistema de Empresas Públicas (SEP), a junio de 2016, habían arribado 563 naves al puerto de San Antonio, cuya estadía fue de 16.493 horas, con tiempos de espera de 5.568 horas. Esto da un tiempo de espera promedio de casi 10 horas antes de ser atendido, y de 29,3 horas totales de atención en promedio.³¹

Los tiempos de espera tienen el inconveniente de no corresponder a los tiempos reales de espera, sino que en su mayoría corresponden a acuerdos de operación entre las navieras y el operador portuario, que incluyen reservas de capacidad. Las navieras hacen reservas de espacio para sus servicios regulares, y si arriban antes, no se registra su llegada hasta que se despeja el espacio. Por lo tanto, solo para naves que no pertenecen a servicios regulares se podría evaluar esta variable con un sentido económico. Es por ello que no se ha incluido este costo al evaluar el costo por Teu.

2.10. Evolución futura de la carga y de las holguras

Como se observa en la figura 6, que muestra promedios móviles de 5 años, hay una caída en las tasas de crecimiento de mediano plazo de las transferencias de contenedores de la Región desde 2014. Esto refleja, a partir de 2009, un bajo crecimiento de la economía mundial, así como el bajo crecimiento reciente de la economía nacional. Una vez recuperada la economía, es razonable esperar tasas de crecimiento de las transferencias de al menos 4 (y hasta 6 %) en el futuro, como las que hubo durante períodos de mayor crecimiento de la economía doméstica. Esto significa un aumento de las transferencias de entre 80-120 mil unidades anuales en 2017 en la V región, lo que coparía gran parte de la capacidad excedentaria de los tres terminales, incluyendo PCE, hacia 2022. En ese período debería ingresar el terminal 2 de Valparaíso (TCVAL), lo que agregaría poco más de un millón de Teus adicionales a la capacidad de la Región, lo que nuevamente incrementaría las holguras de capacidad, aumentando la intensidad de competencia.

Hacia 2027, nuevamente disminuirían las holguras si no emerge capacidad adicional, como la que proveería el PGE. De no existir el puerto, se elevarían los costos de transferencia tanto por la menor intensidad de competencia (al no haber capacidad excedentaria), como por el aumento en

³⁰Una fracción de este valor se debe a las condiciones climáticas y no a la congestión, sin embargo.

³¹El tiempo de espera en TPS durante 2016 fue de 649 horas para las 582 naves que arribaron al puerto de Valparaíso en 2016, y que permanecieron 20.348 horas siendo atendidas (Fuente: SEP). Por lo tanto en este período las naves tuvieron tiempos de espera algo superior a una hora, y la duración de atención fue de 34,9 horas por nave.

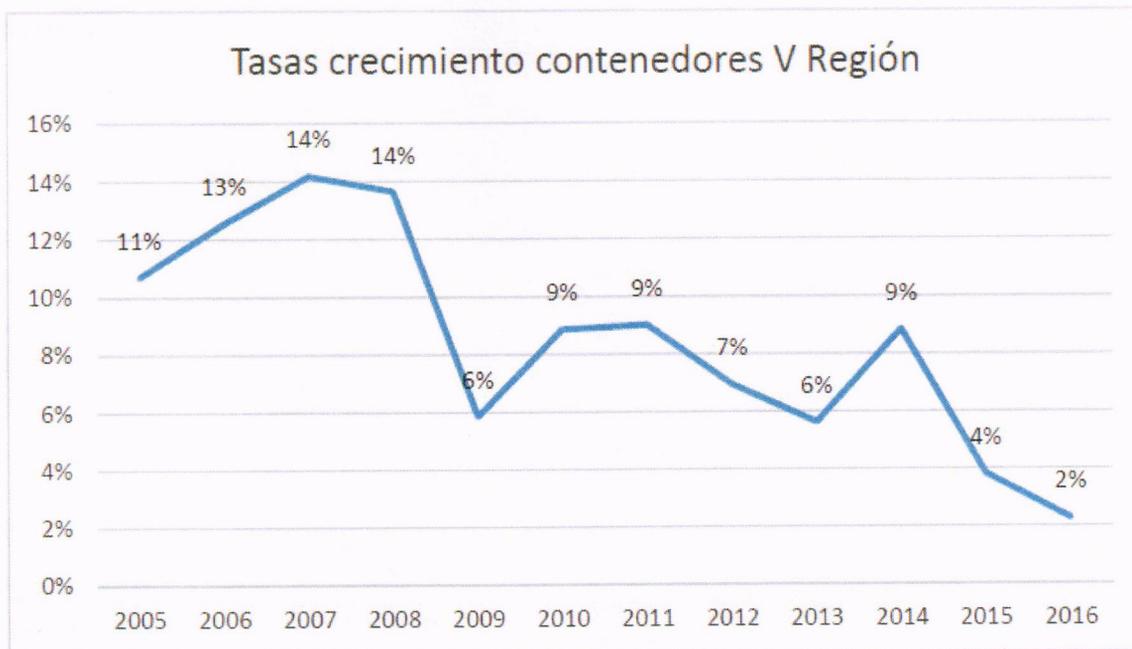


Figura 6: Tasa de crecimiento transferencia contenedores V región. Promedio móvil 5 años anteriores, usando cifras del Cuadro 7.

los costos de operación al estar los terminales sobrecargados y porque aumentan los tiempos de espera de las naves. Esta peor calidad de servicio se traduciría en que las navieras dejarían de usar barcos eficientes y de bajo costo de transporte por contenedor (pero alto costo de espera al giro) para servir los puertos de la Región y del país. Esto elevaría los costos del comercio internacional para el país, no solo directamente a través de los mayores costos del servicio de transferencia, sino por su efecto multiplicador sobre el costo de transporte marítimo al usarse naves menos eficientes en nuestro comercio internacional.

De allí la importancia de disponer del PGE: permite asegurar que habrá suficiente capacidad como para mantener el sistema competitivo y eficiente hasta la mitad del siglo, a partir del último tercio de la década de 2020.

3. El modelo de negocios y la competencia

El modelo de negocios de PGE se sustenta en estudios detallados del mercado naviero, del crecimiento de la demanda, los requerimientos de financiamiento del proyecto, así como los aspectos técnicos del proyecto. La licitación mediante un esquema monooperador (artículo 23°) se explica por las ventajas de coordinación de actividades y de inversión que han demostrado ser efectivas en los puertos concesionados al amparo de la Ley, aumentando sustancialmente su pro-

ductividad. La experiencia ha demostrado que este esquema permite aprovechar al máximo los bienes públicos del puerto.

Esta sección examina tres aspectos del modelo de negocios que potencialmente tienen impactos sobre la competencia en la transferencia de contenedores en la V región y se analizan las razones por las que los potenciales efectos negativos son menores y contrastan con los beneficios que le ofrecen al proyecto.

El siguiente análisis se construye suponiendo que se construye el PGE como se describió en la sección 2.4 y que no se construyen terminales adicionales a las actuales concesiones en Valparaíso (no hay terminal Yolanda ni San Mateo).

3.1. Condición 1: Terminales de 3 millones de Teus/año

Como se mencionó más arriba el PGE se construirá por etapas, cada una de las cuales agrega alrededor de 1,25-1,5 millones de Teus de capacidad de transferencia. La pregunta es si resulta conveniente tener un concesionario en el Terminal Mar y uno en el Terminal Tierra, o si conviene dividir cada frente en dos concesiones independientes. De ser concesiones independientes, habría 8 operadores de tamaños similares en la V región, a diferencia del caso en que los terminales de PGE tienen un solo concesionario, en que solo habrían seis operadores en la V región, pero con mayor dispersión de capacidad.

La razón principal para preferir un esquema con solo dos concesionarios en PGE es la mayor capacidad y velocidad de transferencia de los terminales. Al dividirse cada terminal en dos concesionarios se reduciría la eficiencia portuaria, lo que disminuiría la capacidad de cada terminal en un monto estimado en más de un 15 %. Esta pérdida es superior a la capacidad total de terminales como PCE o TCVAL o TPS. Contra esta ventaja se encuentra la reducción en el número de participantes en el mercado de la V región. En la sección siguiente se analiza estos efectos sobre la competencia.

3.1.1. Mayor eficiencia de terminales de 3 millones de Teus/año

Hay varias razones por las cuales los frentes divididos en dos unidades son más ineficientes que un frente único. Al tener dos concesionarios por terminal, cada concesionario solo puede atender simultáneamente dos naves de diseño, a diferencia de los cuatro que se pueden atender cuando hay solo un concesionario en cada terminal. La pérdida de eficiencia tiene cuatro componentes principales:

1. No tener espacio para una nave en una de las concesiones, cuando la otra lo tiene. Esto ocurre cuando, por ejemplo, un concesionario tiene sus dos espacios llenos con naves de diseño y arriba una tercera nave de un servicio contratado con el concesionario. Mientras

tanto el otro terminal está vacío. Otra posibilidad es que el concesionario tenga espacio, pero no el suficiente para que la nueva nave pueda atracar sin ingresar a la otra concesión del frente. La nave no puede atracar, pese a que parte importante del frente está desocupado.

2. No poder concentrar las grúas pórtico del frente en los puntos de mayor demanda de capacidad de descarga. Si hay dos naves de gran tamaño en un concesionario, podría ser eficiente concentrar más de las 7 grúas pórtico que corresponden a cada concesión.
3. Operación de transferencia de carga ineficiente al interior del puerto. En la zona de acopio conviven cargas de salida y de entrada, y la operación de traslado es más ineficiente al disponer de espacios más limitados, especialmente cuando los movimientos eficientes no son solo perpendiculares al frente de atraque, sino también paralelos o en diagonal.³²
4. Una operación ineficiente del sistema de trenes por interferencias entre los concesionarios. Los trenes tendrán 1.200 metros de longitud de manera de atender a los dos concesionarios en forma eficiente. Si uno de ellos se atrasa, o descoordina, esto puede interferir con las operaciones del otro operador, que contaba que el tren partiría con su carga en determinado momento. Es decir, los mismos argumentos que aplican para preferir el enfoque monooperador en los frentes de atraque –que ha dado buenos resultados en términos de eficiencia en las operaciones– se aplican en el caso de los nuevos terminales.

La reducción global de capacidad al dividir el frente en dos concesiones independientes es la mayor reducción debido a cualquiera de los cuatro factores anteriores.³³ El estudio Intecsa-Inarsa, solo analizó la reducción de capacidad al dividir en dos concesionarios de cada frente de atraque debido a los tiempos de espera y de servicio de las naves, o sea el primer punto más arriba. El estudio Intecsa-Inarsa concluyó, a partir de simulaciones que utilizan un programa propietario, que habría una reducción de capacidad por el primer concepto desde 3 millones de Teus a 2,5 millones de Teus en cada frente.

En apéndice de este documento, se presenta un modelo simplificado y reproducible, que permite cuantificar las pérdidas de eficiencia como consecuencia de la división de los frentes de atraque. Al evaluar el efecto de la mayor capacidad sobre la competencia se debe recordar que la capacidad excedentaria es un estímulo a la competencia. Esto ocurrió en el período 2005-2009, pese a que había solo dos competidores en la V región.

³²Ver Camarero et al (2007), "Optimización y estudio de capacidad de las terminales portuarias mediante modelos de simulación de la explotación".

³³De las conclusiones del estudio de Camarero et al (2007): "Respecto a las terminales de contenedores, la capacidad será la menor de las capacidades de cada uno de los subsistemas que la integran, considerando que la terminal hace una correcta gestión tanto en costes como en calidad de servicio y por tanto, todos los equipos están bien dimensionados en número para el tráfico que tiene la terminal."

Si bien hay un aumento de capacidad portuaria al tener solo un concesionario en cada frente, este factor favorable se debe contrastar con los efectos sobre la competencia debido a la reducción en el número de participantes en el mercado de transferencia de contenedores de la V región.

3.1.2. El costo en términos de menor competencia

Supongamos que se permitiera licitar el PGE a solo dos operadores, cada uno disponiendo de frentes de 1.730 metros cada uno. La pregunta es cuál es la pérdida social debido a la menor competencia en la V región al reducirse el número de concesionarios a dos en PGE. Primero, cuando el PGE esté totalmente desplegado, se baja de 8 a 6 competidores en la Región, con dos de ellos que tienen un tamaño de más del doble del que les sigue. Durante el desarrollo del proyecto, no hay cambios en el número de competidores cuando solo opera la primera etapa del Terminal Mar, pero hay una reducción de 6 a 5 al completarse el Terminal Mar, con un concesionario que es el doble que los demás en la Región. Al ingresar la primera etapa del Terminal Tierra, se agrega un competidor de tamaño similar a los terminales no PGE y el número de competidores es 7 (y no 8 si se hubiera dividido el Terminal Mar). Por último, al completarse la última etapa, el concesionario del Terminal Tierra alcanza el tamaño del concesionario del Terminal Mar.

Considerando que en la Región la competencia hasta 2016 incluía solo a 2 terminales concesionados, que competían intensamente cuando disponían de capacidad excedentaria, como se muestra en la sección 2.8.1, la reducción en el número de participantes parece poco relevante.

Por supuesto, los nuevos terminales tendrán un tamaño que dobla a los restantes terminales de la Región, serán más eficientes y capaces de atender la nave de diseño. Todo esto les da una ventaja importante, creando dos niveles de competencia en el futuro: los terminales ya concesionados y los terminales futuros, que son más eficientes en la transferencia de carga desde y hacia naves de gran tamaño. Esto no significa que los terminales actualmente concesionados no impongan presión competitiva a los futuros dos terminales principales, especialmente en naves de menor tamaño.

Competencia y márgenes Una primera manera de examinar los efectos sobre competencia es considerar el caso en que las empresas compiten, y examinar sus márgenes de Lerner. Suponiendo que los concesionarios compiten en precios, pero tienen limitaciones de capacidad, la competencia entre ellos es de tipo Cournot, y se pueden usar los márgenes de Lerner. El margen de Lerner es:³⁴

³⁴Consideramos que el servicio es homogéneo, por lo que los precios son iguales. Es decir, suponemos que no hay diferencias en la calidad de servicio de transferencia entre los distintos frentes de atraque, aunque los terminales de PGE pueden tener costos menores al ser más eficientes. Para poder operacionalizar la expresión se supone que las transferencias de cada concesionario son proporcionales a sus capacidades.

$$\frac{p - c_i}{p} = \frac{\alpha_i}{\epsilon}$$

donde:

p : Precio del servicio de transferencia.

c_i : Costo de transferencia del concesionario i

α_i : Participación de mercado del concesionario i .

ϵ : Elasticidad de la demanda por transferencias en la V región.

Un problema para utilizar estas expresiones es que hay poca información sobre las elasticidades de la demanda portuaria. Uno de los pocos estudios que describen elasticidades de la demanda portuaria es el de Haralambides para los principales puertos europeos).³⁵ En el cuadro 15 se presentan estas elasticidades de demanda. Según Haralambides *op.cit.*, este es un mercado competitivo, porque para un contenedor de Hong Kong con destino a París, le es indiferente ser transferido en cualquiera de los puertos del cuadro 15, debido a la existencia de buenas redes de transporte en el interior de Europa. Esta situación es comparable a la de los puertos de la V región, dado que desde el punto de vista naviero, no hay diferencias en los costos de viaje de ir a uno u otro terminal de la Región, la distancia a los centros de demanda y de oferta es similar, y las redes de transporte son relativamente eficientes. Se debe notar que en el cuadro 15 la elasticidad es siempre mayor que uno, es decir se trata de un mercado con demanda elástica.

Cuadro 15: Elasticidades de demanda de puertos de contenedores del norte europeo

Puerto	Elasticidad
Hamburgo	3,1
Bremen	4,4
Rotterdam	1,5
Antwerp	4,1
Le Havre	1,1

Fuente: Haralambides (2002), *op.cit.*

Utilizando la expresión para el margen de Lerner, se puede construir el cuadro 16, que muestra los efectos sobre el margen de Lerner de disponer de cuatro o dos concesionarios, para las elasticidades correspondientes a Le Havre y a Hamburgo, respectivamente.³⁶ Se observa que cada vez que aparece nueva capacidad los márgenes disminuyen.

Se puede observar que los márgenes de cada uno de los dos concesionarios de PGE que operan con 3.0 MM Teus son superiores al caso en que hay cuatro concesionarios (31 % versus 19 % para

³⁵Haralambides (2002): "Competition, Excess Capacity, and the Pricing of Port Infrastructure", *International Journal*

Cuadro 16: Márgenes de Lerner

		Margen con $\epsilon = 1,1$			Margen con $\epsilon = 3,1$		
Caso cuatro concesionarios							
Años	STI	TPS	PGE	STI	TPS	PGE	
2015	0.50	0.41	0.00	0.18	0.15	0.00	
2020	0.35	0.29	0.00	0.12	0.10	0.00	
2025	0.27	0.22	0.00	0.10	0.08	0.00	
2030	0.20	0.17	0.19	0.07	0.06	0.07	
2035	0.14	0.12	0.13	0.05	0.04	0.05	
2040	0.12	0.10	0.11	0.04	0.04	0.04	
Caso dos concesionarios							
2015	0.50	0.41	0.00	0.18	0.15	0.00	
2020	0.35	0.29	0.00	0.12	0.10	0.00	
2025	0.27	0.22	0.00	0.10	0.08	0.00	
2030	0.20	0.17	0.19	0.07	0.06	0.07	
2035	0.13	0.11	0.31	0.05	0.04	0.11	
2040	0.11	0.09	0.26	0.04	0.03	0.09	

el caso de demanda muy inelástica $\epsilon = 1,1$), pero aún así son márgenes inferiores a los que se calculan para STI en 2015 y 2020, cuando aún no ingresan PGE ni TCVAl. Por supuesto, las diferencias entre los márgenes son menores cuando la elasticidad es mayor (caso $\epsilon = 3,1$). En todo caso, los márgenes deben existir, pues son los que compensan a los concesionarios por las inversiones hundidas en la construcción del frente de atraque y en su equipamiento.

Acuerdos colusivos Un tema relevante al reducirse la cantidad de participantes en un mercado es determinar si se facilitará la colusión. En general la reducción en el número de participantes tiene ese efecto, pero i) su magnitud puede ser pequeña cuando hay suficientes participantes en ambos escenarios, ii) si existen diferencias de costo entre los participantes y iii) si existen asimetrías de capacidad entre los integrantes. La discusión a continuación sigue a Ivaldi et al (2003).³⁷

of Maritime Economics 4, 323-347.

³⁶El cuadro se construye bajo el supuesto que la carga se distribuye entre los terminales de acuerdo a su capacidad respectiva. Los terminales TCVAl y PCE no se incorporan, para simplificar la tabla y porque tienen márgenes que se encuentran entre los de TPS y de STI. Por último, consideramos que el servicio es homogéneo, por lo que los precios son iguales. Es decir, suponemos que no hay diferencias en la calidad de servicio de transferencia entre los distintos frentes de atraque, aunque los terminales de PGE pueden tener costos menores al ser más eficientes.

³⁷Marc Ivaldi, Bruno Jullien, Patrick Rey, Paul Seabright, Jean Tirole (2003, marzo): "The Economics of Tacit Collusion", Final Report for DG Competition, European Commission.

Número de participantes Un mayor número de participantes hace más difícil la colusión al ser más difícil la comunicación y porque las ganancias de desviarse son mayores y el castigo es menor, ya que los participantes en el acuerdo deben compartir las cantidades de monopolio. En el caso de Bertrand simétrico (sin restricciones de capacidad) con n competidores, la conocida expresión para el caso de estrategias gatillo es: $\delta > (n - 1)/n$, donde δ es la tasa de descuento necesaria. Al pasar de 8 a 6 competidores, la tasa de descuento requerida pasa de $\delta = 0,87$ a $\delta = 0,83$.

Diferencias de costos Las diferencias de costos marginales dificultan los acuerdos colusivos pues es difícil ponerse de acuerdo sobre el precio común. Las firmas con menores costos marginales querrán precios más bajos que las de mayores costos marginales. Incluso si pueden ponerse de acuerdo, es más difícil que las empresas de menores costos respeten el acuerdo, porque ganan más con una reducción de precios (al ser sus márgenes más atractivos) y porque un castigo es menos probable pues es más costoso para las firmas que lo imponen. Una solución que permite aumentar las posibilidades de un acuerdo es que las firmas de mayores costos se conformen con menores participaciones de mercado, pero entonces son ellas (las de mayor costo) las que tienen menos deseos de permanecer en el acuerdo colusivo.³⁸ Se puede mostrar que siempre es más difícil mantener el acuerdo colusivo cuando los costos son asimétricos. En el caso de los puertos de la V región, los costos son más asimétricos cuando se permite que en PGE hayan solo dos operadores, debido a las ganancias de eficiencia en este caso, respecto al caso de cuatro operadores.

Capacidades asimétricas En Compte et al (2002) se muestra como la asimetría de capacidad hace más difícil la colusión.³⁹ Básicamente lo que sucede es que las firmas mayores tienen más beneficios de desviarse (porque sus capacidades son mayores), y las otras firmas tienen menos capacidad de castigarlas (pues sus capacidades son menores). Por ese motivo, las firmas con mayor capacidad deben tener una mayor participación en el acuerdo colusivo. Hay dos casos que se deben distinguir: cuando las demás empresas, excluyendo la mayor, no pueden servir a todo el mercado; y cuando les es posible hacerlo.

En el primer caso las firmas de menor tamaño no son capaces de cubrir el mercado, y por lo tanto, el castigo que pueden usar para amenazar a la empresa de mayor capacidad aún le permite a la empresa mayor tener utilidades positivas, lo que hace menos disuasivo el castigo. En el segundo caso, la amenaza de las demás empresas es suficiente para dejarle utilidades cero a una empresa con mayor capacidad. Esto debería hacer más fácil la colusión, pero la contrapartida

³⁸ Además, las empresas no conocen los costos de las demás empresas, otro factor que dificulta los acuerdos.

³⁹ Compte, O., F. Jenny and P. Rey (2002), "Capacity Constraints, Mergers and Collusion," *European Economic Review*, 46(1):1-29.

es que a medida que aumenta la capacidad de las firmas menores, es más atractivo para ellas desviarse del acuerdo colusivo, pero el castigo sigue siendo el mismo. Esto hace que los acuerdos colusivos sean más difíciles en este caso a medida que aumenta la capacidad de las firmas. La metodología que sigue está tomada verbatim de Fischer (2012):⁴⁰

“Más formalmente, supongamos que las capacidades de las firmas son $k_1 \leq k_2 \leq \dots \leq k_{n-1} \leq k_n$. Se define la *capacidad relevante* de una empresa como $\hat{k}_i = \min\{k_i, Q\}$, donde Q es la demanda del mercado, supuesta inelástica (si la capacidad de una firma permite servir al mercado, las restricciones de capacidad no son relevantes para esa firma). Definimos también la capacidad agregada de todas las firmas excepto la mayor como $\hat{K}_{-n} \equiv \sum_i^{n-1} k_i$ y la capacidad agregada de todas las empresas como $\hat{K} = \hat{K}_{-n} + \hat{k}_n$. Los autores demuestran que los valores mínimos para la tasa de descuento que permiten la colusión máxima vienen dados por:⁴¹

$$\delta^* = \begin{cases} \frac{\hat{k}_n}{\hat{K}} & \text{si } K_{-n} < Q \\ 1 - \frac{Q}{\hat{K}} & \text{si } K_{-n} \geq Q \end{cases} \quad (1)$$

Se puede observar que la segunda expresión generaliza la expresión usual sin restricciones de capacidad, pues en tal caso el denominador es nQ . El análisis anterior en principio se aplica a las fusiones de empresas, y se puede asimilar la situación en que TPS se adjudica el segundo terminal de Valparaíso a la aprobación de una fusión, y que la fusión no es aprobada si no se permite la participación de TPS en la licitación, o no le es adjudicada si se permite su participación.”

En nuestra aplicación, se usará la proyección tendencial (o central) de la demanda que aparece en el “Anexo 1: Análisis Alternativo de Demanda y de Parámetros Operacionales de Naves”, del documento “Análisis y Definiciones del Modelo de Negocios del PGE - Informe Final”, y las fechas de entradas en servicio de los terminales de PGE que se señalan en el cuadro 4. Los resultados se muestran en el cuadro 17. Es importante observar que cuando hay 4 concesionarios en PGE se produce la pérdida de capacidad de transferencia que se muestra en el cuadro.⁴² Las diferencias en el cuadro 17 comienzan a aparecer a partir de 2035, cuando el Terminal Mar está completo y

⁴⁰R. Fischer (2012): “Participación del actual concesionario en la nueva licitación del Puerto de Valparaíso”. Nótese que en nuestro caso, $\hat{k}_i = k_i$ siempre.

⁴¹La tasa de colusión eficiente ocurre cuando las cuotas de mercado de cada empresa son proporcionales a la capacidad de la empresa.

⁴²Esto no tiene efectos en los resultados cualitativos, que dependen de que todos los terminales tienen capacidades en el estrecho rango 1-1.3 o 1-1.5 MM Teus. Se debe observar que con supuesto de una capacidad de 1.25MM Teus en cada concesión de PGE, STI se mantiene en forma permanente como el terminal de mayor capacidad. Dado que tanto en 2035 como en 2040 los demás terminales tienen capacidad para cubrir toda la demanda, se aplica la segunda expresión en la ecuación (1) para determinar la tasa de descuento que permite la colusión.

tiene una capacidad de 3,0 millones de Teus en el caso de dos concesionarios, la que es mucho mayor que la de los participantes en el mercado.

De la lectura de la última columna del cuadro 17, se observa que a partir de 2035, si PGE tiene solo dos concesionarios, las tasas de descuento que se requieren para colusión son más elevadas. Por lo tanto, la asimetría de capacidades que se produce cuando hay solo dos concesionarios en PGE hace más difícil la colusión. En conclusión, desde el punto de vista de posibilidades de colusión en la transferencia de contenedores en la V región, ésta es más difícil cuando solo hay dos concesionarios en PGE.

Cuadro 17: Ejercicios de tasa de descuento para colusión tácita con capacidades

Caso cuatro concesionarios										
Año	Tendencial (kTeus)	k_{STI} (kTeus)	k_{PCE} (kTeus)	k_{TCVAL} (kTeus)	k_{TPS} (kTeus)	K_{PGE4} (kTeus)	$\sum_i K_{PGE4}$ (kTeus)	\hat{K} (kTeus)	\hat{K}_n (kTeus)	δ
2015	2.173	1.305	0	0	1.073	0	0	2.378	1.073	0,55
2020	2.948	1.305	1.015	0	1.073	0	0	3.393	2.088	0,38
2025	3.943	1.305	1.015	1.150	1.073	0	0	4.543	3.238	0,29
2030	5.088	1.305	1.215	1.150	1.073	1.250	1.250	5.993	4.688	0,22
2035	6.419	1.305	1.215	1.150	1.073	1.250	3.750	8.493	7.188	0,24
2040	7.933	1.305	1.215	1.150	1.073	1.250	5.000	9.743	8.438	0,19
Caso dos concesionarios										
Año	Tendencial (kTeus)	k_{STI} (kTeus)	k_{PCE} (kTeus)	k_{TCVAL} (kTeus)	k_{TPS} (kTeus)	K_{PGE2} (kTeus)	$\sum_i K_{PGE2}$ (kTeus)	\hat{K} (kTeus)	\hat{K}_n (kTeus)	δ
2015	2.173	1.305	0	0	1.073	0	0	2.378	1.073	0,55
2020	2.948	1.305	1.015	0	1.073	0	0	3.393	2.088	0,38
2025	3.943	1.305	1.015	1.150	1.073	0	0	4.543	3.238	0,29
2030	5.088	1.305	1.215	1.150	1.073	1.250	1.250	5.993	4.688	0,22
2035	6.419	1.305	1.215	1.150	1.073	3.000	4.250	8.993	5.993	0,33
2040	7.933	1.305	1.215	1.150	1.073	3.000	6.000	10.743	7.743	0,28

Fusiones de actuales terminales En el largo plazo, con el objetivo de aumentar la intensidad de competencia en la V región, se pueden considerar cambios en la estructura de mercado de los puertos de la V región. En particular, puede ser interesante estudiar la opción de la integración horizontal de los terminales existentes hacia la mitad de la década de los 30, creando un solo concesionario en Valparaíso y otro que combina a STI y a PCE en San Antonio.⁴³ Estos terminales tendrían capacidades de alrededor de 2,2-2,5 millones de Teus, comparados con los 3-3,2 millones de Teus de los terminales de PGE. Serían concesionarios menos eficientes que los de PGE, pues no tendrían un frente de ataque lineal, estarían espacialmente separados, y tendrían menores

⁴³Tal como en la Región del Biobío el Dictamen 1268/2003 eliminó la restricción a la integración de San Vicente y Talcahuano, debido a la existencia de varios puertos privados de uso público en la Región.

áreas de respaldo, con configuraciones ineficientes. Pese a ello podrían competir con PGE mejor que los cuatro concesionarios existentes por separado, porque dispondrían de mayor flexibilidad operacional, podrían hacer uso de ciertas economías de ámbito y podrían ahorrar costos de overhead. Estos factores, al reducir los costos, podrían contribuir a reducir los precios pese a dar origen a mayores márgenes, dada una estructura de mercado con menos actores.

Dado que los costos seguirían siendo asimétricos entre los ahora 4 concesionarios, las dificultades para la colusión seguirían existiendo. Respecto a la posibilidad de colusión usando el modelo de capacidades, un rápido cálculo del factor de descuento que permite la colusión muestra que no hay cambios en las tasas a partir de 2035 en el caso de dos concesionarios en PGE. El motivo es que la capacidad de la mayor empresa no cambia, ni la del resto del sistema.

Es decir, a costa de un pequeño aumento en los márgenes se tendría un esquema con cuatro actores (tres concesionarios en San Antonio y uno en Valparaíso) que no dejaría a los terminales existentes como comparsas, sino que como operadores portuarios capaces de ejercer más presión competitiva sobre los concesionarios del PGE. Un esquema con cuatro concesionarios con capacidad excedentaria importante, y capaces de competir entre ellos, manteniendo asimetrías tecnológicas (debido a que no todas tienen frentes lineales) sería mucho más competitivo que lo observado hasta ahora en la V región, y en el resto del país.

3.1.3. Costos de eficiencia de dividir los frentes en PGE

Entre los estudios de Intecsa-Inarsa para determinar las características que debía tener el PGE, hay uno que estudia de la congestión en el frente de atraque. El informe determinó que en terminales de 865mts, considerando 30 movimientos por grúa hora, había muchos escenarios en que la calidad del servicio era deficiente cuando la capacidad del terminal era 1,5 millones de Teus/año. Los escenarios incluían distintos tipos de naves y distintos porcentajes de descarga en las naves. La calidad portuaria se mide como la razón entre el tiempo de espera de una nave y el tiempo de servicio.⁴⁴ Según diversos estudios, la calidad de servicio es inaceptable cuando esa razón supera el 10%.⁴⁵ Solo cuando la capacidad del terminal se reducía a 1,275 millones de Teus/año se recuperaban los porcentajes aceptables de calidad. En cambio, cuando el terminal era de 1.730 metros, los estándares de calidad se mantenían con 3MMTeus/año, lo que indica que según el estudio, hay una pérdida de capacidad de 0,500 millones de Teus/año al dividir en dos cada uno de los muelles, lo que implica una pérdida de capacidad de 1,0 millones de Teus/año para el PGE, lo que equivale al tamaño promedio de los terminales existentes en la Región.

⁴⁴Ver por ejemplo, A. Camarero et al "Optimización y estudio de la capacidad de terminales portuarias mediante modelos de simulación de la explotación. Determinación de los niveles de servicio", o Soberon, A. "The Capacity in Container Port Terminals", 2012, Fundación Valenciaport.

⁴⁵Ver por ejemplo, Monfort, et al (2011): Manual de capacidad portuaria: aplicación a terminales de contenedores, Valencia, Fundación Valenciaport.

El estudio Inforsa-Inarsa utiliza un programa propietario para obtener sus resultados, programa al que no se tiene acceso, por lo que no queda claro de dónde provienen las ineficiencias generadas por la división de los frentes de atraque de PGE y su magnitud. Con el objeto de tener mayor respaldo para los argumentos de la ineficiencia de la división de los frentes de atraque del PGE, EPSA solicitó un estudio transparente y reproducible al Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI). El nuevo estudio determinó la pérdida de capacidad que se produce al dividir el PGE en cuatro concesiones, respecto a la situación con 2 concesionarios.⁴⁶ Para ello ISCI utilizó dos enfoques complementarios: uno que utiliza teoría de colas y que permite determinar en forma rápida una aproximación a la magnitud de las ineficiencias provocadas por la división del frente. Esta metodología permite estudiar muchos escenarios, aunque de manera menos precisa que mediante simulaciones. La segunda metodología utiliza simulaciones, lo que permite incorporar más realismo al modelo, tales como la distribución del tamaño de naves que arriban al puerto. Al ser más lento de desarrollar, esta metodología solo permite estudiar unos pocos escenarios. Los resultados de los dos enfoques son consistentes entre sí. En lo que sigue de esta sección se presentan los principales resultados del estudio de ISCI.

Resultados de los modelos de teoría de colas En este caso la capacidad de servicio se modela mediante servidores que atienden a las naves y tardan un tiempo aleatorio por atención. Estos modelos preliminares muestran, primero, una relación no lineal entre el nivel de utilización de un puerto y los tiempos de espera y segundo, la importancia de las economías de escala en el sentido que un terminal de mayor tamaño permite mejorar los niveles de servicio. En particular, esto significa que al consolidar los dos terminales por frente en uno solo, aumenta sustancialmente la capacidad.

Cuadro 18: Estadísticas descriptivas de buques arribando al puerto

Tamaño	Contenedores		Frecuencia(%)	Grúas	T. Servicio (hrs)
	Media	Desv. Est.			
Chico	335.4	122.5	9.4	2	4.9
Mediano	683.7	291.2	35.7	3	6.7
Grande	1772.3	651.3	52.8	4	13.0
XGrande	2768.4	610.1	2.1	5	16.2

Fuente: M. Olivares, op.cit., usando datos de EPSA 2016.

Un análisis más cuidadoso divide las naves en categorías basadas en su tamaño. Se define

⁴⁶El apéndice de este trabajo contiene el estudio, denominado "Anexo: Evaluación de impacto de la división del Puerto de Gran Escala de San Antonio (PGE)", encargado por EPSA al Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), y elaborado por Marcelo Olivares y Pablo Jofré, cuyos resultados principales se presentan aquí.

un servidor como el número de grúas que se requieren para atender una nave de determinado tamaño en forma eficiente (hay naves que requieren 2, 3 o 4 grúas simultáneamente para su descarga eficiente). Es decir, si se atienden naves como la nave de diseño del PGE, que requieren 4 grúas, a lo más pueden operar 4 servidores simultáneos en un frente de 17 grúas.⁴⁷ Si en cambio se requieren 3 grúas para atender una nave mediana, el puerto con 17 grúas puede atender 6 naves.⁴⁸ Las grúas tienen una velocidad de operación definida por la experiencia de los concesionarios de la V región. Para determinar la distribución del número de contenedores por nave y el número de grúas por nave se usó la estadística de arribos de naves a San Antonio durante 2016, los que se muestran en el cuadro 18. Se consideraron niveles de utilización, desde 40 a 90 %.

Los resultados se muestran en la figura 7. En la figura la calidad se denota por la razón entre el tiempo promedio de espera T_q y el tiempo de servicio promedio p , y un menor valor de esta razón indica mejor calidad. La recomendación usual es que la calidad no puede superar el valor de 10 %, pero en algunos países se acepta como límite que este parámetro no supere el 20 %. Es inmediato de la figura 7 que a medida que aumenta el tamaño de las naves, los costos de dividir el terminal en dos se hacen cada vez más importantes. Segundo, incluso con naves pequeñas ($c = 2$) solo se tiene una calidad aceptable de 10 % con un nivel de utilización del 60 % cuando el terminal está dividido, pero de 75 % cuando opera como una sola unidad, es decir, un aumento de capacidad de 25 %. Si el nivel de servicio aceptable es de 20 %, el aumento de capacidad al consolidar los terminales es de un 14 %. En el caso de las naves de mayor tamaño, la capacidad portuaria con calidad de 10 % pasa de 47 % a 70 %, es decir un aumento de 49 % al consolidar el terminal. Si la calidad aceptable es de 20 %, la capacidad pasa de 50 % a 70 % al consolidar el terminal, es decir un aumento de 40 % en la capacidad.

Resultados estudio de simulación El estudio de simulación usa las frecuencias de distintos tamaños de naves observadas en el cuadro 18, y el número de grúas por naves proviene del mismo cuadro. La carga de cada nave se asume que sigue una distribución normal con la esperanza y desviación estándar iguales a los valores observados en el cuadro. El terminal único opera con 17 grúas y cuando se divide en dos concesiones éstas tienen 8 y 9 grúas, respectivamente. Los resultados se muestran en la figura 8. Los resultados de la simulación muestran pérdidas de eficiencia mayores que usando Teoría de Colas. Si la calidad aceptable es de 20 %, al estar dividido el terminal, la capacidad no puede superar el 40 %, pero puede superar el 60 % cuando el terminal está consolidado, un aumento de 50 %. Si la calidad aceptable es de 10 %, la capacidad pasa de 28-29 % con terminal dividido a 52 % cuando hay un solo concesionario en el terminal. Frente a estos resultados, los autores del anexo señalan:

⁴⁷Las grúas deben mantener una separación de 100 metros entre sí. Por lo tanto, cuatro grúas atienden una nave de diseño, de 397 metros de eslora.

⁴⁸El redondeo simplifica el análisis, y sesga los resultados en favor de la división del muelle en dos.

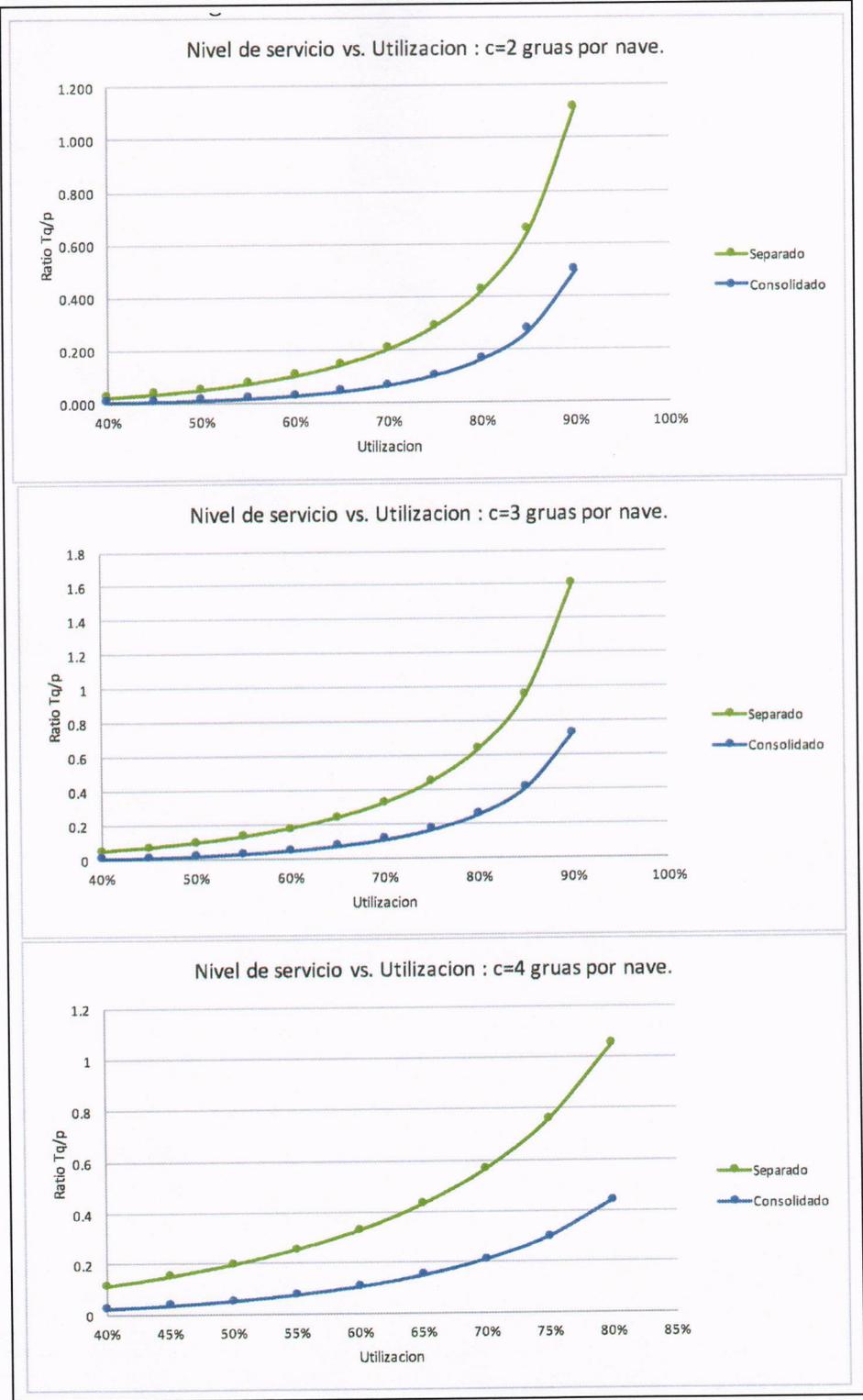


Figura 7: Resultado de Modelo de Colas

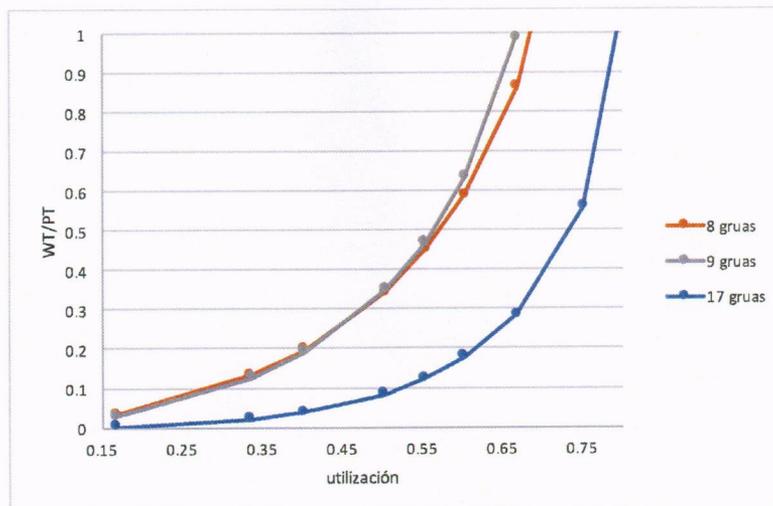


Figura 8: Resultados de simulación

Esto es esperable, ya que la combinación de buques de distintos tamaños agrega mucha más variabilidad al sistema en términos de la llegada de carga y de los tiempos de servicio, y por lo tanto requiere una mayor flexibilidad en la asignación de grúas. Reducir el número de grúas a la mitad reduce considerablemente esta flexibilidad, lo cual se debe compensar con una reducción de carga para bajar la utilización del puerto.

La conclusión de esta sección es que la pérdida de capacidad al dividir un frente de atraque operado como una unidad a un frente dividido entre dos operadores es muy importante, y sobrepasa por mucho el 15 % del estudio de Intecsa-Inarsa. Al dividir el PGE en 4 terminales la pérdida de eficiencia en la operación es al menos equivalente a un terminal de 1 MM Teus, y debe ser bastante mayor cuando las naves que arriban son de mayor tamaño.

3.2. Mecanismo de adjudicación: Licitación con tope mínimo al Índice Tarifario

Una forma de clasificar los tipos de competencia es entre competencia *ex ante* y competencia *ex post*. La competencia *ex ante* intenta replicar la competencia *ex post* en el caso de una concesión sobre un monopolio, haciendo competir a las empresas por una oferta tarifaria sin establecer un valor mínimo o I_{min} . En principio, una subasta *ex ante* reproduce los efectos de competencia *ex post*, si no existe i) oportunismo asociado a las relaciones bilaterales de largo plazo, descritas por Williamson (1976)⁴⁹, ii) incertidumbre sobre el futuro, y iii) Maldición del Ganador.

⁴⁹Oliver E. Williamson, "Franchise Bidding for Natural Monopolies-in General and with Respect to CATV", 7 *Bell J. Economics* 73 (1976).

Sin embargo, tanto el oportunismo, como la incertidumbre sobre el futuro existen, y las empresas temen la Maldición del Ganador, por lo que existen diferencias entre los resultados de competencia *ex ante* y competencia *ex post*. Por ello, solo es apropiado usar competencia *ex ante* cuando se entrega un monopolio en concesión, en cuyo caso no hay alternativas de competencia *ex post*.^{50,51}

Considerando la primera razón para la diferencia entre ambos tipos de competencia, el problema de las relaciones de largo plazo se refiere a la posibilidad de renegociación oportunista de un contrato entre el principal y el operador monopólico. Este problema no es relevante para las concesiones de frentes de ataque, ya que hay varios participantes que compiten, lo que implica que un concesionario específico no tiene capacidad de realizar amenazas efectivas que conduzcan a la renegociación del contrato.

El segundo problema sí es relevante al caso en cuestión. La incertidumbre sobre el futuro y a la imposibilidad de realizar ajustes de acuerdo a los cambios en los costos o la demanda aumentan el riesgo que enfrentan los participantes en la subasta. Estos riesgos hacen que el concesionario en un esquema *ex ante* enfrente mayor riesgo y por lo tanto requiera una prima de riesgo más alta.⁵²

Un tercer argumento contra la competencia *ex ante* es la Maldición del Ganador, en que el ganador de una subasta sin mínimos descubre que ha ofrecido un precio demasiado bajo.⁵³ Ocurre frecuentemente que el ganador de una subasta por un contrato de este tipo es aquél que tiene una estimación más optimista de la demanda y de sus costos. Por ello, ofrece un Índice tarifario muy bajo y luego descubre que sus supuestos no son válidos. Si no puede renegociar el contrato, probablemente deberá ofrecer un mal servicio pues no tendrá los recursos que requiere, o podría quebrar si el Índice tarifario no permite pagar los costos. En caso de quiebra, la situación es compleja, pues no hay interesados en el contrato, dado que el Índice tarifario es demasiado bajo para ser atractivo para un nuevo concesionario.

Este problema se puede resolver si la licitación tiene un tope inferior, el Imin. El tope debe estar basado en una estimación de la rentabilidad necesaria para pagar los costos de operación,

⁵⁰Es lo que ocurre en las concesiones de infraestructura vial, por ejemplo. En carreteras, otro factor relevante es que usualmente hay poco que el concesionario puede hacer por aumentar la demanda que enfrenta.

⁵¹E. Engel, R. Fischer y A. Galetovic (2002): "Competition in or for the Field: Which is Better?", NBER N8869, contrasta licitaciones a un monopolio con licitaciones a empresas que compiten *ex post*. Muestran que bajo ciertas condiciones la competencia *ex ante* puede dar mejores resultados que la competencia *ex post*. Ese trabajo, asociado originalmente a la pregunta si es deseable hacer competir a dos carreteras paralelas o entregarlas como un monopolio, no considera los efectos de la incertidumbre en los costos de los licitantes, los de la maldición del ganador y del oportunismo, ni los mayores incentivos a aumentar la demanda bajo competencia, entre otras simplificaciones. Estos efectos van en la dirección favorable a competencia *ex post*.

⁵²Ver E. Engel, R. Fischer, A Galetovic, "Least-present-value-of-revenue auctions and highway franchising" *Journal of Political Economy* 109 (5), 993-1020.

⁵³Capen, E. C., R. V. Clapp, and W. M. Campbell, "Competitive Bidding in High-Risk Situations," *Journal of Petroleum Technology*, June 1971, 23, 641-653.

inversión y mantenimiento (sin dejar espacio a rentas). Este criterio para determinar el piso al Imin es similar al que se siguió para determinar los pisos del Imin en las primeras concesiones portuarias.⁵⁴ En caso en que dos o más empresas alcancen el mínimo, las empresas competirían por un pago de desempate a la empresa portuaria. En este caso, si el concesionario cae en la maldición del ganador, alcanza el mínimo y ofrece un pago excesivo a la empresa portuaria, habría interesados en comprar la concesión luego de la quiebra del concesionario original, porque con el índice tarifario mínimo pueden pagar sus costos de operación, mantenimiento e inversión.

Incluso si hay un error de la empresa portuaria y el Imin es demasiado elevado, esto no es un problema, mientras exista suficiente competencia *ex post*. La competencia *ex post* entre concesionarios de la V región asegura que si el Imin es demasiado alto, la competencia entre operadores portuarios hará bajar las tarifas efectivamente cobradas. La empresa portuaria estatal recibirá ingresos por la concesión de ponerse un mínimo demasiado elevado, pero esos no corresponden a extracción de rentas, porque las empresas que hacen ofertas saben que el Índice tarifario efectivo será menor, debido a la competencia *ex post* que llevará a tarifas menores que el Imin. Como se mostró en la sección 2.8.1, con solo dos competidores, la V región tuvo competencia efectiva que redujo los valores efectivos del índice tarifario por debajo del Imin. Esto es especialmente válido cuando hay capacidad excedentaria, y múltiples operadores, como ocurrirá con la entrada de las distintas etapas del PGE. Si el concesionario incurre en la Maldición del Ganador, podría quebrar, pero la concesión sigue siendo atractiva para otros interesados. Estos argumentos muestran que salvo condiciones de monopolio, es preferible la competencia *ex post*, cuando esta es posible, a la competencia *ex ante* y no es apropiado realizar una subasta por las concesiones del PGE sin incluir un tope inferior al Imin.

En el caso particular de PGE, en las secciones anteriores se ha mostrado que existe la posibilidad de competencia con los demás terminales de la V región, tanto durante su construcción por etapas como durante su operación posterior. Por lo tanto, es preferible una licitación en que haya más flexibilidad para responder a los cambios en las condiciones y que reduzca el impacto de la Maldición del Ganador. En todo caso, si no se alcanza el tope inferior, la subasta opera como si no existiera tope mínimo.

Tanto si se alcanza el mínimo como si no se alcanza, mientras haya capacidad excedentaria, las concesionarias operarán con Índices tarifarios por debajo del índice tarifario que ofrecieron, pero con flexibilidad para subirlos hasta el Imin ofrecido si las condiciones cambian. En principio, si se pudiera garantizar la competencia *ex post* en forma permanente, sería innecesario tener un Índice tarifario. Dado que no se puede garantizar que no habrá colusión, se debe concesionar en base a un Índice tarifario, y el índice tarifario debe seguir siendo una variable de licitación,

⁵⁴Aunque su objetivo era distinto: el piso al Imin tenía el objeto de impedir que los operadores de las primeras concesiones, que recibieron frentes de atraque operativos (pero sin equipamiento) operaran con menores precios que la competencia que debería posteriormente construir los segundos terminales de San Antonio y de Valparaíso.

con un tope máximo (el I_{max}) para evitar la posibilidad de colusión entre los oferentes. El Índice tarifario protege al sistema portuario de la V región de colusión no detectada, o cuando la capacidad se alcanza. Sus límites I_{min} e I_{max} protegen de la Maldición del Ganador y reducen la incertidumbre sobre el futuro en el extremo inferior, y la posibilidad de colusión en la licitación (y posteriormente) en el extremo superior.

3.3. Restricciones verticales

Las restricciones verticales en las concesiones portuarias fueron introducidas en el primer ciclo de concesiones portuarias por el Dictamen 1.045 de agosto de 1998, que señaló que el *conjunto de usuarios relevantes* no podrá tener más de un 40 % del capital, del capital con derecho a voto, o derechos por más del 40 % de las utilidades de la sociedad concesionaria. En Resoluciones posteriores, este límite se ha elevado hasta el 60 % en algunos casos (Resolución N°11/2006, por ejemplo) dado que se ha observado que la existencia de un accionista con derecho a participación en el directorio y en las utilidades permite controlar comportamientos discriminatorios que atentan contra el negocio portuario, aún cuando fuesen rentables para la naviera integrada. Los usuarios relevantes, de acuerdo al Dictamen son aquellas que

“[...] por si o en conjunto con personas relacionadas efectúen, contraten o intervengan en cualquier modalidad en el transporte de carga por vía marítima, sea como navieras, importadores, consignatarios, fletadores, porteadores, transportistas multimodales, agentes forwarders o a cualquier título o modalidad (i) con más de un 15 % de tonelaje de carga marítima movilizada en la región respectiva, o con más de un 25 % de tonelaje de carga marítima movilizada por medio del frente de ataque objeto de la respectiva concesión.”

Las condiciones impuestas por el Dictamen 1.045 eran razonables durante el primer ciclo de concesiones, cuando no había suficiente experiencia con el sistema, solo existían uno o a lo más dos terminales monooperados en cada Región, y los derechos de los accionistas minoritarios estaban peor protegidos que en la actualidad. En todo caso, el criterio de usuario relevante debería relajarse en el futuro, pues el criterio de considerar relevante un 25 % de la carga movilizada en un frente de ataque de 1MM Teus (como STI, PCE, TPS o TCVAl), no es apropiado cuando la capacidad portuaria en la Región es de 10,5 millones de Teus. Bajo ese criterio, un usuario sería relevante con un 2.5 % de la capacidad portuaria regional. Esta parte de la definición de usuario relevante debería ser relajada, con lo que dejaría de aplicarse a los terminales existentes en la Región. Esto permitiría que un terminal actualmente concesionado como TPS (o STI) pueda integrarse totalmente con la naviera asociada a su matriz cuando estén terminadas todas las etapas del PGE. La situación es distinta en el PGE, pues cada uno de sus dos concesionarios

tendría cerca del 30 % de la capacidad de transferencia de la V región, o si se permitiera una fusión eventual de los terminales existentes en cada puerto.

Volviendo al análisis de las condiciones de integración vertical impuestas por el Dictamen 1.045, si bien es cierto que los terminales existentes no pueden atender a la nave de diseño del PGE, pueden atender naves solo algo más pequeñas. El mercado es tal que los arribos de naves corresponden a una distribución de distintos tamaños, hasta un máximo de la nave de diseño. Un intento de aprovechar el poder de mercado de los concesionarios de PGE para cobrar tarifas discriminatorias contra las naves de diseño (y competir por las demás) tendería a disuadir la llegada de estas naves. El efecto sería que la V región recibiría naves de menor tamaño, para evitar pagar una tarifa discriminatoria, lo que elevaría los costos de transferencia, y reduciría los márgenes de los concesionarios de PGE, que deben competir por esas naves con los demás terminales de la V región. Este razonamiento indica que, dado el mayor número de participantes en el mercado portuario de la V región, se aplicarían con más fuerza los argumentos utilizados por el TDLC en su Resolución N° 11 de 2006, que permitió hasta un 60 % de integración vertical en STI.

Relajar las restricciones de integración vertical debe considerar las ventajas que se obtienen: mayor eficiencia productiva en una empresa integrada y mayor interés en esas concesiones por parte de empresas navieras internacionales, ya que la evolución del mercado es hacia la integración de empresas navieras y portuarias. Por lo tanto, relajar las restricciones de integración vertical generaría subastas más competitivas por las concesiones. Estas ventajas deben contrastarse con el riesgo de que al transformar el frente de atraque en un monopolio de la empresa naviera, se reduzca la eficiencia de los puertos de la Región. Dada la configuración futura de los terminales de la V región, con varios terminales que compiten por carga y naves, este riesgo es mucho menor que el que había cuando se introdujo la restricción a la integración vertical a fines de los 90.⁵⁵ Por lo tanto, las ventajas (en términos productivos y de interés por las concesiones) de una restricción a la integración vertical menos exigente aconsejan elevar el límite a un 60 % por lo menos, como ocurre actualmente en el caso de STI, y preferentemente hacia uno de 80 %. El límite de 80 % permitiría disponer de un director independiente en la concesión.

4. Conclusión

Este documento analiza los efectos sobre la competencia en el mercado portuario de la V región del ingreso del Puerto de Gran Escala en San Antonio. Primero, describe las razones para construir el PGE y sus características específicas. Segundo, describe las condiciones de competencia en el mercado relevante cuando el PGE entre en operación. Tercero, examina las condiciones

⁵⁵ Además, se debe recordar que en esos procesos se entregaba infraestructura construida por el Estado, a diferencia del caso de PGE, en que los concesionarios construyen los terminales.

de la licitación de las concesiones monooperadas sobre los frentes de atraque. Se muestra que los efectos positivos sobre la eficiencia portuaria son importantes y que los potenciales efectos negativos sobre la competencia en el mercado son muy pequeños o no existen, dadas las condiciones que tendrá el mercado portuario de la V región cuando el PGE ingrese al mercado.

A. Anexo: Análisis y Evaluación del Impacto de la División de los Terminales del Puerto de Gran Escala de San Antonio (PGE)⁵⁶

Resumen

El informe documenta el análisis realizado para comparar la ineficiencia que generaría dividir el frente de atraque del PGE en dos concesiones independientes. Utilizando dos metodologías complementarias – modelos de teoría de colas y simulación de eventos discretos – se evaluó el volumen de carga máximo bajo el cual la operación puede entregar niveles de servicios adecuados, medidos a través del ratio entre el tiempo de espera y el tiempo de servicio de las naves (una medida estándar del nivel de servicio). Los resultados obtenidos son bastante robustos, entregando resultados similares para distintos valores de los parámetros de las metodologías utilizadas. Para un ratio de tiempo de espera a tiempo de servicio de 0.2, se estima que la ineficiencia producto de separar el frente de atraque en dos concesiones está en el orden de un 20-35 % de reducción en el volumen de carga. Para un nivel de servicio más exigente a un ratio de 0.1, las pérdidas son aun mayores, del orden de 30-50 % del volumen de carga. En conclusión, el análisis sugiere que las pérdidas de eficiencia generadas por la división del frente de atraque son grandes en magnitud y deben ser consideradas en el diseño de la licitación del PGE.

A.1. Introducción

Este Anexo presenta un análisis cuantitativo para comparar la eficiencia operacional de dos alternativas de concesión de los dos terminales del PGE (Terminal Mar y Terminal Tierra).

Las Alternativas son las siguientes::

1. Cada terminal (frente de atraque) se entrega en concesión a un solo concesionario, que se hace cargo de la operación del terminal completo.
2. Cada terminal (frente de atraque) del PGE se divide en dos y se entrega en concesión a dos concesionarios distintos e independientes, cada uno operando bajo sus propias condiciones y sirviendo su propia demanda.

Se identificaron las siguientes potenciales ineficiencias al separar el frente de atraque en dos operaciones independientes:

1. Al operar de forma separada, los operadores no pueden compartir capacidad ociosa. Producto de esto, ocurre que un concesionario puede tener naves esperando debido a que todo

⁵⁶Este informe fue encargado por EPSA al Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), y fue elaborado por el Prof. Marcelo Olivares (Académico U. de Chile) y Pablo Jofré (Ingeniero Industrial, U. de Chile). Ha sido formateado con el estilo del resto del documento.

el espacio está utilizado mientras que el otro tiene capacidad disponible. Esta ineficiencia no ocurre cuando el frente de atraque es operado por un único concesionario, que puede maximizar la utilización del espacio del frente de atraque en todo momento.

2. Parte de la descarga de contenedores debe ser transferido al sistema de trenes. La coordinación de la carga y tiempos de salida de los trenes se vuelve compleja cuando existen dos operarios que planifican el proceso de carga de forma independiente.

Este anexo se centra en medir las ineficiencias generadas por el primer punto. En este ámbito, se identifican los siguientes efectos relevantes de cuantificar:

- El PGE recibe naves de distintos tamaños y volúmenes de carga. Esto genera varianza en los tiempos de descarga de las naves y en el espacio utilizado, lo cual es un factor importante para determinar el nivel de congestión del puerto.
- El volumen de carga factible de transferir en el puerto depende directamente del nivel de servicio que se desea entregar, el cual se especifica a través del ratio entre el tiempo de espera (llamado también el tiempo de "fondeo") y el tiempo de servicio del buque (es decir, el tiempo de descarga en puerto).
- Se evalúan distintos escenarios de tiempos de servicio para determinar el volumen de carga potencial del puerto. En base a esto, se consideran distintos escenarios de arribos para evaluar el impacto de separar el frente de atraque en dos concesiones. En los resultados, se indican los porcentajes de ineficiencia para distintos niveles de utilización del puerto, que corresponden a distintos volúmenes de demanda y niveles de servicio.

Para realizar el análisis se considera dos enfoques complementarios. El primer enfoque trabaja con un modelo simplificado del PGE que permite utilizar modelos analíticos basados en teoría de colas para medir el impacto de los niveles de congestión en los niveles de servicio. La principal ventaja de este enfoque es que permite evaluar de forma relativamente rápida el efecto de la separación del frente de atraque, entregando una estimación imprecisa pero que al menos da una idea del orden de magnitud de la ineficiencia. Al ser un modelo analítico, este permite evaluar múltiples escenarios alternativos de forma rápida.

El segundo enfoque utiliza métodos de simulación de eventos discretos para realizar un modelamiento más detallado del funcionamiento del PGE que permite incorporar detalles como la variedad del tamaño de naves y distribuciones de los tiempos más flexibles que capturan de forma más realista la variabilidad existente en el sistema. La principal desventaja de este método es que es más laborioso de evaluar, ya que requiere simular cada escenario por separado, limitando así el número de escenarios factibles de evaluar.

A.2. Marco Teórico

En la literatura de investigación de operaciones existen numerosos modelos y estudios para analizar la eficiencia de sistemas donde la variabilidad en los tiempos de llegada y de servicio generan congestión y tiempos de espera. En este ámbito, los modelos de colas desarrollados en base a modelos estocásticos (Gross et al. [2008]) permiten realizar predicciones sobre los niveles de servicio de un sistema que opera bajo congestión, bajo ciertos supuestos sobre propiedades estadísticas de los tiempos de llegadas al sistema, tiempos de atención, prioridades de atención, entre otras. Para sistemas más complejos que no pueden ser directamente modelados con sistemas de colas, se puede utilizar modelos de simulación de eventos discretos para analizar en detalle distintos aspectos de eficiencia (Fishman [2013]). Esta sección realiza un breve resumen de ambas metodologías y muestra cómo se aplica en el contexto de análisis de capacidad de puertos.

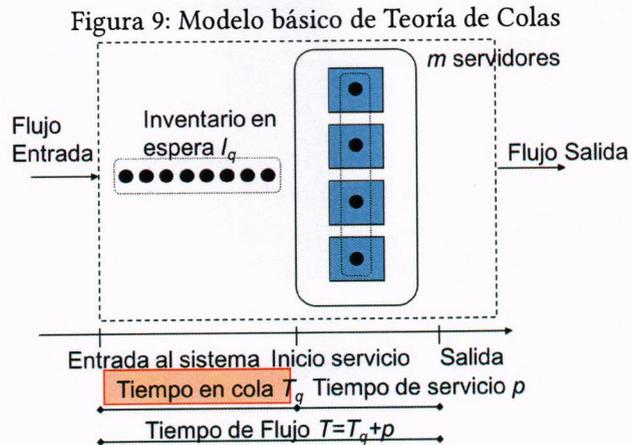
A.2.1. Teoría de Colas: El Modelo Erlang

La Teoría de Colas desarrolla modelos que permiten evaluar los tiempos de espera en sistemas sujetos a congestión (Cachon and Terwiesch [2009]). Los elementos básicos de este tipo de modelos se ilustran en la Figura 9. Estos elementos son:

- Flujo de llegada: representa los *clientes* que llegan al sistema para recibir servicio. El flujo promedio se caracteriza mediante el tiempo promedio entre llegadas, denominado a , o el número de llegadas por unidad de tiempo, $\lambda = 1/a$. Además, el flujo tiene variabilidad que típicamente se caracteriza a través de una distribución de probabilidad de los tiempos entre llegadas consecutivas.
- Servidores: la capacidad de servicio se representa a través de m servidores idénticos funcionando en paralelo (esto es, pueden funcionar simultáneamente atendiendo clientes distintos). Cada servidor tarda en promedio p unidades de tiempo desde que comienza hasta que termina el servicio a un cliente. La tasa $\mu = 1/p$ representa la máxima capacidad de un servidor, y por lo tanto la capacidad máxima de procesamiento del sistema es $m \times \mu$. Estos tiempos también tienen variabilidad, lo cual se captura a través de una distribución de probabilidad.
- Inventario en espera: representa la fila clientes esperando recibir servicio.

En base a este modelo, se definen las siguientes métricas operacionales:

- Utilización: representa el porcentaje del tiempo en que los servidores están procesando clientes. Se puede calcular como $\rho = \frac{\lambda}{m\mu}$.



- Carga ofrecida: se define como el mínimo número de servidores requeridos para que la capacidad máxima sea mayor que la tasa de llegada, de modo que el sistema no colapse. Se calcula como λ/μ .
- Tiempo en cola: representa el tiempo entre la llegada de un cliente y el instante en que comienza a recibir servicio. Esta métrica se utiliza para medir el nivel de servicio del sistema. Se representa mediante T_q .
- Tiempo total de flujo: es la suma del tiempo de espera y el tiempo promedio de servicio, $T_q + p$

Los principales parámetros del modelo son el flujo de entrada, el número de servidores y la distribución de los tiempos de llegada y servicio. En base a esto, se desarrolla un modelo matemático que permite deducir los tiempos de espera T_q para distintos niveles de utilización. Este análisis se realiza utilizando técnicas de modelamiento estocástico, específicamente cadenas de Markov en tiempo continuo y tiempo discreto (Ross [1996], Kulkarni [2016]). Dentro de esta clase, los modelos de Erlang son los más utilizados ya que permiten obtener fórmulas analíticas de los tiempos de espera y otras métricas relevantes. Los supuestos del modelo Erlang son los siguientes:

- El proceso de llegadas sigue una distribución de Poisson, donde el tiempo entre llegadas consecutivas sigue una distribución Exponencial.
- Los tiempos de servicio siguen una distribución Exponencial.
- Todos los servidores y clientes son idénticos en cuanto a su distribución de tiempos de servicio y tiempos de llegadas.

- El sistema posee suficiente capacidad para procesar la demanda, esto es, $\rho = \frac{\lambda}{m\mu} < 1$.
- Los clientes son servidos por un solo servidor y cada servidor puede trabajar con un único cliente.
- Hay espacio ilimitado en la cola para guardar clientes en espera. Todos los clientes esperan lo que sea necesario para recibir servicio; nadie abandona el sistema sin pasar por un servidor.
- Los clientes se procesan en orden de llegada.

Con estos supuestos, se puede calcular las siguientes métricas de servicio para el sistema, donde se asume que este lleva operando por un tiempo suficiente para alcanzar un funcionamiento estable (el término técnico es “estado estacionario”).

- Número de clientes en el sistema: El porcentaje del tiempo $P(n)$ en que hay n clientes dentro del sistema (incluyendo la fila de espera y los servidores) está dado por:

$$P(0) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^m}{m!} \left(\frac{1}{1-\rho}\right)}$$

$$P(n) = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P(0), & \text{for } 0 \leq n \leq m \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{m! m^{n-m}} P(0), & \text{for } n > m \end{cases}$$

- Probabilidad que un cliente tenga que esperar, $P(\text{Espera})$, está dada por:

$$\begin{aligned} P(\text{Espera}) &= \sum_{n=m}^{\infty} P(n) \\ &= 1 - \sum_{n=0}^{m-1} P(n) \\ &= \frac{\frac{(\lambda/\mu)^m}{m!} \left(\frac{1}{1-\rho}\right)}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^m}{m!} \left(\frac{1}{1-\rho}\right)} \end{aligned}$$

- Número de clientes promedio en cola:

$$N_q = P(\text{Espera}) \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

- Tiempo promedio de espera en cola:

$$T_q = N_q/\lambda = P(\text{Espera}) \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad (2)$$

- Probabilidad que un cliente espere menos de t unidades de tiempo en la cola:

$$\begin{aligned} F_q(t) &= P(\text{Tiempo en cola} \leq t) \\ &= 1 - P(\text{Espera})e^{-(1-\rho)\mu t}. \end{aligned}$$

Los modelos Erlang tienen la ventaja de entregar fórmulas analíticas explícitas para el cálculo de tiempos de espera y otras métricas operacionales. Aunque las fórmulas son complejas, pueden ser tabuladas en planillas de cálculo estándar. El modelo Erlang permite analizar fenómenos que son bastante generales en sistemas de servicios sujetos a variabilidad. En particular, se destacan dos fenómenos relevantes a la hora de dimensionar un sistema que opera bajo efectos de congestión: (i) la relación no lineal entre utilización y tiempos de espera; (ii) economías de escala, en donde un sistema de mayor tamaño permite mejorar los niveles de servicio. Estos efectos están representados en la Figura 10. La figura muestra el ratio T_q/p (tiempo de espera promedio dividido por el tiempo de servicio promedio) como función de la utilización, para sistemas de distintos tamaños, capturados en términos del número de servidores.

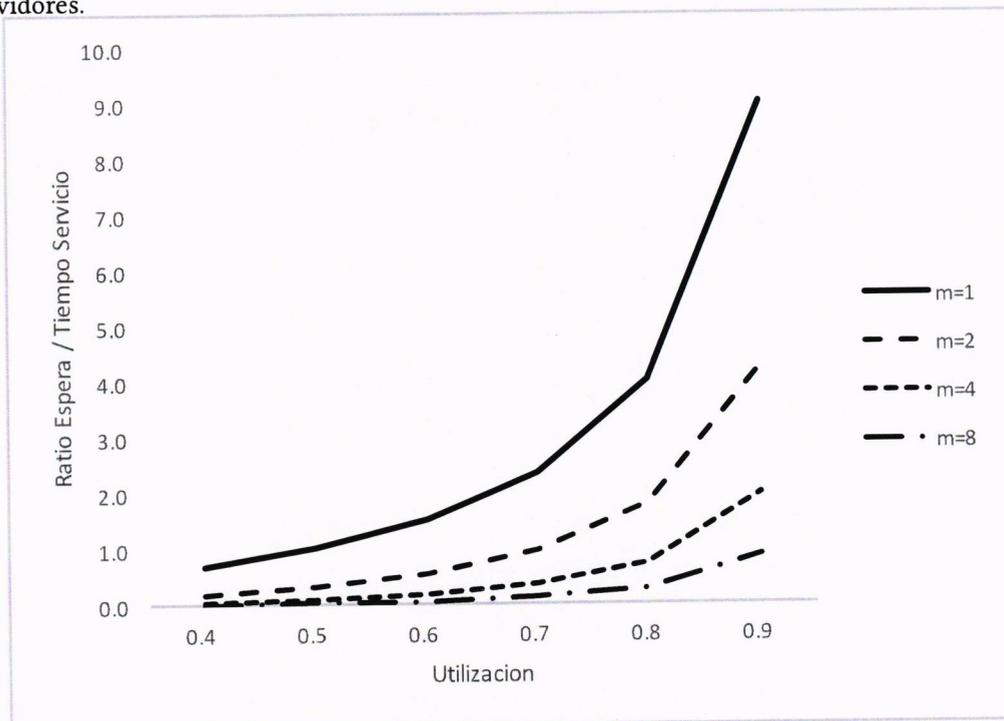
La primera conclusión que se obtiene del gráfico es la relación no lineal entre el tiempo de espera y la utilización. Por ejemplo, para el sistema con un servidor ($m = 1$, curva superior), un aumento de la utilización entre 80 % y 90 % aumenta el tiempo de espera en un 125 %. Este patrón también se aprecia para los sistemas de más servidores.

La segunda conclusión que se obtiene es que, al aumentar el tamaño del sistema, se puede entregar una mejor calidad de servicio con el mismo nivel de utilización. Alternativamente, si fijamos el nivel de servicio a un grado predeterminado, al operar un sistema mayor se puede aumentar el nivel de utilización entregando un mayor nivel de servicio, lo cual se traduce en un mayor volumen de operación.

Lo segundo es el efecto principal que se busca evaluar en este estudio. A modo de ejemplo, consideremos dos sistemas con $m = 2$ ambos con el mismo flujo de clientes que resultan en un nivel de utilización de 80 % y un tiempo de espera T_q igual a aproximadamente 2 veces el tiempo de servicio. Si se consolidan los dos sistemas en uno con $m = 4$, vemos que en mismo nivel de servicio se puede lograr con 90 % de utilización, es decir, un 12.5 % aumento en flujo procesado. Esta diferencia en flujo constituye la principal ineficiencia en dividir un sistema grande en dos de igual tamaño.

Whitt [1993] desarrolla modelos aproximados que permiten flexibilizar las distribuciones de los tiempos de servicio y los tiempos de llegadas.

Figura 10: Relación entre tiempo de servicio y utilización. Las distintas curvas muestran el ratio Tiempo de espera/servicio como función de la utilización, para sistemas con $m = 1, 2, 4, 8$ servidores.



A.2.2. Extensiones del Modelo Erlang

Los supuestos del modelo Erlang pueden no resultar realistas para modelar sistemas de espera reales. En particular, el modelo Erlang asume una distribución particular de los tiempos de servicio, una distribución Exponencial, que puede no ser realista para modelar la variabilidad en muchas aplicaciones practicas. En particulas, la distribucion Exponencial es representada por un unico parametro para ajustar la media y la desviación estandar, y por lo general tiende a sobreestimar la variabilidad asociada a los tiempos de atención. Es por lo tanto relevante analizar modelos alternativos que permitan flexibilizar ese supuesto.

Whitt [1993] desarrolla una serie de aproximaciones que permiten flexibilizar el modelo Erlang para acomodar distribuciones de tiempos de servicios y tiempos de llegadas no exponenciales. Para capturar la variabilidad de llegadas, se determina el Coeficiente de Variación de las llegadas CV_a , definido como la desviación estándar del tiempo entre llegadas dividida por el tiempo promedio entre llegadas. De forma similar, se define el Coeficiente de Variación del tiempo de servicio, CV_p . Whitt [1993] muestra que el tiempo promedio de espera se puede expresar como:

$$T_q(\text{General}) = T_q(\text{Erlang}) \times \frac{(CV_a^2 + CV_p^2)}{2},$$

donde $T_q(\text{Erlang})$ es el tiempo de espera promedio en el modelo Erlang, calculado mediante la ecuación (2 en la sección A.2.1). Básicamente, lo que esta aproximación hace es ajustar el tiempo de espera de un modelo Erlang por un factor de ajuste que corrige la variabilidad en las llegadas y tiempos de servicio. Notar que cuando las llegadas y los tiempos de servicio son exponenciales, $CV_a = CV_p = 1$ y por lo tanto la fórmula es equivalente al modelo Erlang (como debe ser). En general, los coeficientes de variación de los tiempos de servicio suelen ser inferiores a uno, por lo tanto el tiempo de espera que predice el modelo Erlang tiende a ser pesimista (demasiado grande). Esta fórmula se puede simplificar a forma cerrada utilizando la aproximación desarrollada por Sakasegawa [1977] para el tiempo de espera promedio del modelo Erlang:

$$T_q(\text{General}) = p \times \frac{\rho^{(\sqrt{2(m+1)}-1)}}{m(1-\rho)} \times \frac{(CV_a^2 + CV_p^2)}{2}. \tag{3}$$

donde p es el tiempo promedio de servicio y ρ es la utilización promedio. Notar que en esta fórmula, el ratio T_q/p (tiempo de espera a tiempo de servicio) no depende directamente de los tiempos promedio de llegada y los tiempos promedios de atención, sino que estos afectan indirectamente a través de la utilización ρ y los coeficientes de variación. Esto facilita analizar el impacto de distintos niveles de utilización en el nivel de servicio para distintos tamaños del sistema, medido en el número de servidores, ya que este ratio es robusto ante variaciones o errores en las mediciones tanto de los tiempos entre llegadas como en los tiempos de atención.

A.2.3. Modelos de Simulación de Eventos Discretos

Los modelos de simulación son representaciones computacionales de un sistema real. Dentro del contexto de la gestión de operaciones los modelos de simulación se utilizan para replicar y analizar el rendimiento de un sistema para una configuración dada. Un sistema se define como el conjunto de:

1. Unidades de flujo, para este caso buques.
2. Recursos como por ejemplo empleados, grúas, entre otros.
3. Reglas de procesamiento que definen la interacción que tendrán las unidades de flujo con los recursos del sistema.

Las simulaciones de eventos discretos son representadas a través de variables de estado que caracterizan, valga la redundancia, el estado en que se encuentra el sistema para algún punto de tiempo dado. Las variables de estado son la cantidad de buques dentro de puerto, la cantidad total de grúas, la cantidad de grúas que se están utilizando, la cantidad de grúas que se encuentran ociosas, número de buques que están siendo descargados, número de buques que están a la espera de ser descargados, cantidad de buques que ya fueron atendidos y todas las variables que miden el rendimiento del puerto, como por ejemplo, el tiempo de espera de cada buque, el tiempo de descarga de cada buque, entre otros. Para mayor detalle de simulación de eventos discretos consultar Jerry [1984].

En específico, para este estudio se utiliza un modelo de simulación de eventos discretos cuya principal característica es que el suceso de algún evento cambia el estado del sistema, un evento puede ser la llegada o salida de un buque, el término de la descarga de un buque, etcétera.

A.3. Evaluación de Pérdidas de Eficiencia Mediante Modelos de Colas

Para modelar el funcionamiento del frente de atraque mediante un modelo de colas, se consideran las siguientes componentes del sistema:

- Unidad de análisis (cliente): se utiliza una nave tipo como la unidad de flujo. El modelo requiere que todas las unidades utilicen la misma cantidad de recursos, por lo cual se asume que cada nave utiliza c grúas para la descarga (más abajo se explica cómo se determinan los posibles valores de c).
- Servidores: dado que un servidor debe atender una nave, se define cada servidor como un grupo de c grúas que trabajan en paralelo con un mismo barco.
- Tiempos de servicio: se asume que cada grúa puede descargar en promedio 34 contenedores/hora, con lo cual cada servidor de c grúas descarga $34 \times c$ contenedores por hora.

1057

Cuadro 19: Estadísticos descriptivos de buques arribando al terminal.

# Contenedores					
Tamaño	Media	Desv. Est.	Frecuencia	# Grúas	Tiempo Servicio (horas)
Chico	335.4	122.5	9.4 %	2	4.9
Mediano	683.7	291.2	35.7 %	3	6.7
Grande	1772.3	651.3	52.8 %	4	13.0
Xgrande	2768.4	610.1	2.1 %	5	16.3

Esta tasa se asume como fija, sin variabilidad. Cada nave posee un número aleatorio de contenedores a mover (carga y descarga), lo cual hace que el tiempo de servicio varíe. Si el número de contenedores es V , entonces el tiempo total de servicio de la nave es $V/(34 \times c)$ horas.

- Para determinar la distribución probabilística del número de contenedores por nave y el número de grúas que utiliza, se realizó un análisis estadístico de los datos de naves arribadas al puerto de San Antonio actual durante el año 2016. Esta distribución se puede visualizar en la Tabla 19. El número de grúas que utiliza cada nave se calculó mediante el largo de eslora dividido en 100 mts., redondeando hacia abajo, más uno (ver Informe Intecsa-Inarsa [2013]). Cada análisis considera por separado solo un tipo de nave, ya que los modelos de colas utilizados requieren tener unidades de análisis idénticos. Se consideraron los tres grupos mas frecuentes: Chico (2 grúas), Mediano (3 grúas), y Grande (4 grúas).

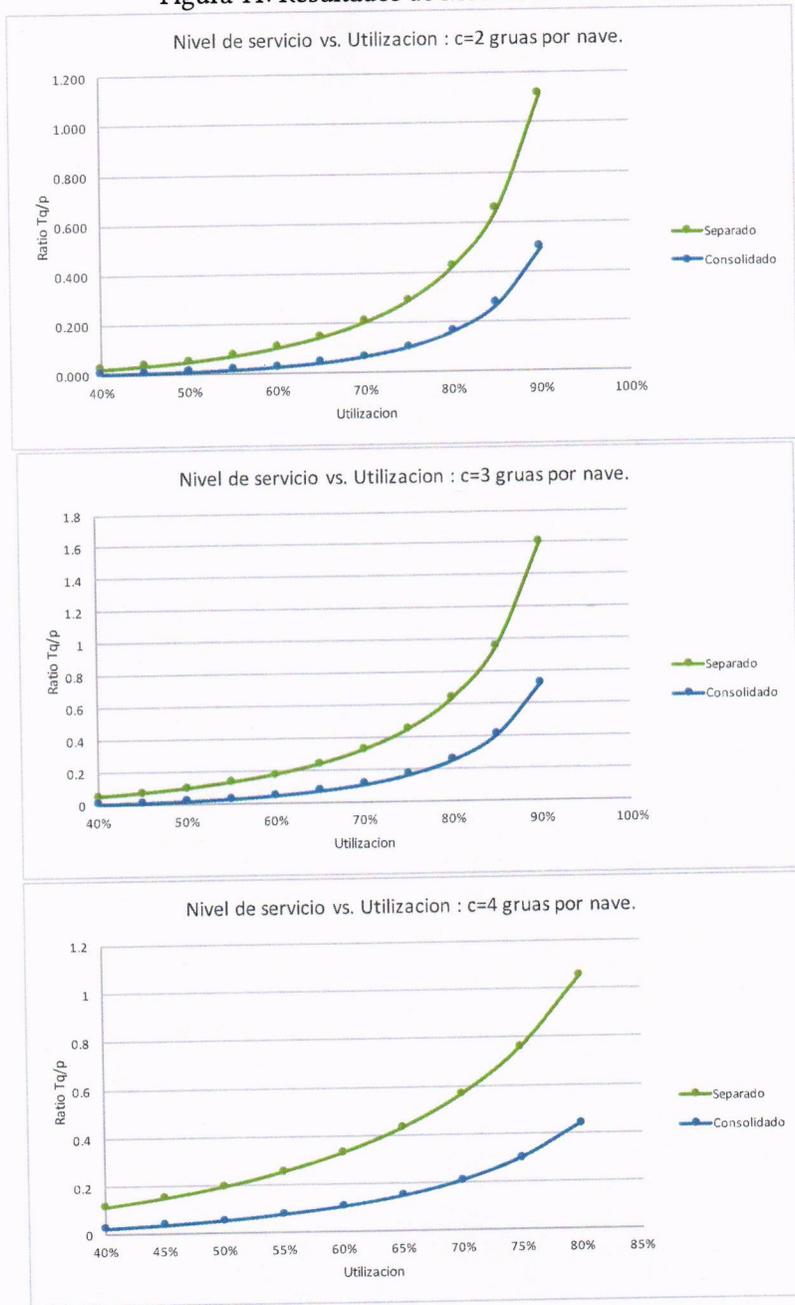
Para realizar los análisis, se consideró niveles de utilización en el rango de 40 % hasta 90 %, los cuales, dependiendo del caso, pueden entregar niveles de servicio para el ratio $T_q / \text{Tiempo de servicio } (p)$ entre 0 y 2.0.

A continuación se muestran tres gráficos que muestran la relación entre utilización y tiempo de servicio T_q/p para tres casos, que varían en el número de grúas que descargan las naves y en el volumen de contenedores de las naves (de acuerdo a lo descrito en la Cuadro 19. Cada gráfico muestra dos curvas, una para el frente de atraque consolidado en un operador, y otra para el frente de atraque separado en dos operadores.

A continuación se discute cada uno de los gráficos presentados en la figura 11 (los datos graficados se encuentran en el apéndice B.1), donde el objetivo es medir las pérdidas de volumen de carga para dos niveles de servicio: nivel de servicio moderado, con $T_q/p = 0,2$, y nivel de servicio alto, con $T_q/p = 0,1$. Estos son niveles de servicio típicos considerados en este tipo de operaciones (Mulinas and Herrando [2016]). La estimación de pérdidas de carga para los distintos escenarios se resume en el Cuadro 20.

- En el caso con naves usando $c = 2$ grúas, el frente de atraque consolidado puede albergar hasta $m = 8$ naves simultáneamente, mientras que el separado $m = 4$ (se redondea el número

Figura 11: Resultados de Modelo de Colas



Cuadro 20: Estimación de ineficiencia utilizando modelos de Teoría de Colas

Escenario	Pérdidas de volumen	
	Nivel de servicio moderado (0.2)	Nivel de servicio alto (0.1)
2 grúas por nave	12 %	20 %
3 grúas por nave	19 %	26 %
4 grúas por nave	30 %	33 %

ro de guas totales de 17 a 16 para hacer los cálculos más fáciles de interpretar). Se aprecia claramente una pérdida sustancial de volumen producto de la separación del puerto. Para un nivel de servicio de 0.2, la utilización requerida baja de 80 % a 70 %, alrededor de un 12 % de pérdida de volumen. Para un nivel de servicio de 0.1, la utilización baja de un 75 % a 60 %, equivalente a una reducción de 20 % del volumen de carga máximo.

- Para el caso con naves usando $c = 3$ grúas, el frente de ataque consolidado alberga hasta $m = 6$ naves simultáneamente (se redondea de 17 a 18 para obtener números enteros) y el separado solo 3. Para este caso, la reducción de eficiencia es aún mayor. La utilización requerida para obtener un nivel de servicio de 0.2 baja de 80 % a 65 %, un 19 % de reducción de volumen. Esto es esperable, ya que a medida que se reduce el número de servidores los efectos de economías de escala se vuelven mayores (ver Figura 10). Para un nivel de servicio de 0.1, la utilización baja de 68 % a 50 %, una reducción del orden de 26 % en el volumen de carga.
- Con naves grandes usando $c = 4$ grúas cada una, el frente de ataque consolidado tiene una capacidad máxima de $m = 4$ naves simultáneas, pero solo $m = 2$ cuando se separa en dos. En este caso fue necesario cambiar la escala del gráfico para visualizar los efectos. Al reducir el tamaño de cada operador de 4 a 2 naves, la utilización necesaria para cumplir con un nivel de servicio de 0.2 baja de 70 % a 50 %, una reducción de carga de casi 30 %. Para un nivel de servicio de 0.1, la reducción en utilización es de 70 % a 47 %, equivalente a un 33 % de reducción de volumen de carga.

La estimación de pérdidas de carga para los distintos escenarios se resume en el Cuadro 20.

El análisis muestra que cuando se considera naves de mayor tamaño, tanto en número de contenedores como en número de grúas que utilizan, los efectos de la separación del muelle son considerables. En el caso más optimista, con naves pequeñas, se pierde alrededor de un 12 % de la carga para un nivel de servicio moderado de 0.2. Con naves más grandes, las pérdidas pueden llegar al 30 % de reducción de carga efectiva para el mismo nivel de servicio. Cabe notar que uno de los principales objetivos del PGE es atraer naves de gran tamaño que reduzcan el costo de transporte por contenedor. En ese escenario, las pérdidas de eficiencia resultan ser considerables.

La principal limitación del enfoque de modelos de colas utilizado es que no permite considerar naves de distintos tamaños y requerimientos de grúas de forma simultánea. El modelo de simulación de eventos discretos desarrollado en la siguiente sección permite evaluar casos más realistas en donde naves de distintos tamaños llegan al puerto de acuerdo a una frecuencia dada, que para el caso se proyecta en base al perfil de naves que llegó al puerto de San Antonio durante el año 2016.

A.4. Evaluación de pérdidas de eficiencia mediante métodos de simulación de eventos discretos

Se realizó una simulación de eventos discretos utilizando el software Arena Automation [2012]. En la simulación, se consideran distintos tipos de naves que llegan al puerto de acuerdo a la distribución de tamaños descritos en la Tabla 19, donde el tamaño define el número de grúas que requiere para la descarga y la distribución del volumen de carga. Se asume que la carga de una nave sigue una distribución Normal, con media y desviación estándar específica para cada tamaño.

Cuando las naves llegan al puerto se incorporan en la fila de naves que se encuentran a la espera de ser descargadas por las grúas. Si la nave se encuentra en la primera posición de la fila, esperará hasta que se encuentren disponibles un número mayor o igual de grúas necesarias según el tamaño de la nave. Cuando una nave termina de ser descargada se va del puerto y todas las grúas que estaba utilizando pasan a estar disponibles y por consecuencia podrían empezar a descargar a la primera nave que está en la fila si hay suficientes grúas disponibles para la primera nave en fila, de lo contrario, estas grúas estarán ociosas hasta que se desocupen la cantidad de grúas necesarias para descargar a dicha nave.

Es importante mencionar que en esta simulación es posible que todas las grúas trabajen al mismo tiempo de forma paralela.

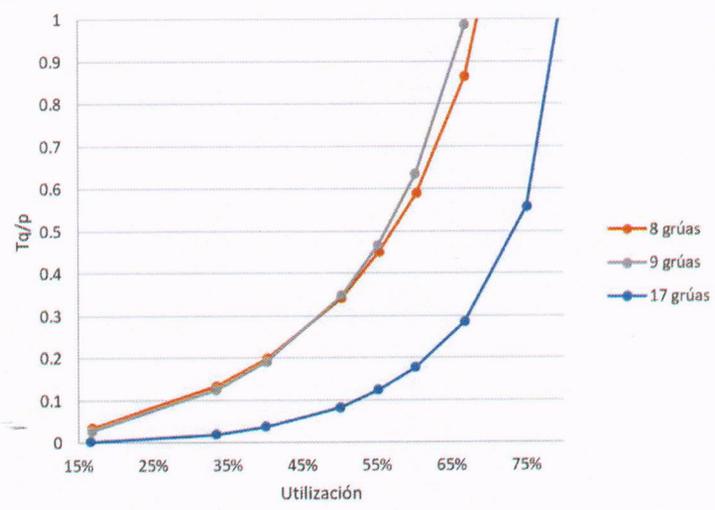
El tiempo de descarga de las naves depende de la cantidad de contenedores que posea y de la cantidad de grúas que requiere el buque. Se consideró que la tasa de descarga de cada grúa es igual a 34 contenedores/hora, por lo tanto el tiempo que toma descargar una nave medido en horas es igual a $t_{descarga} = \#contenedores / (\#grúas \times 34)$, notar que el número de contenedores es una variable aleatoria como se explicó anteriormente.

Los resultados de la simulación se resumen en la Figura 12. En el gráfico, el eje vertical representa la calidad de servicio relativa medida por el ratio entre tiempo de espera promedio y el tiempo de servicio promedio. Se despliegan tres curvas: la curva de más abajo es para el frente de atraque completo con 17 grúas, y las otras dos representan la división del frente de atraque en dos operadores con 8 y 9 grúas respectivamente.

Los resultados de la simulación corroboran lo indicado anteriormente por los modelos de

colas. Para lograr un nivel de servicio del orden de 0.2, el frente de atraque consolidado puede operar hasta un 63 % de utilización, mientras que el frente de atraque separado requiere operar a un 40 % de utilización. La reducción de carga producto de la ineficiencia de separar el frente de atraque es dramática, del orden de 34 %, que es aún mayor que el peor escenario descrito en los modelos de colas. Esto es esperable, ya que la combinación de buques de distintos tamaños agrega mucha más variabilidad al sistema en términos de la llegada de carga y de los tiempos de servicio, y por lo tanto requiere una mayor flexibilidad en la asignación de grúas. Reducir el número de grúas a la mitad reduce considerablemente esta flexibilidad, lo cual se debe compensar con una reducción de carga para bajar la utilización del frente.

Figura 12: Resultados de modelo de simulación de eventos discretos

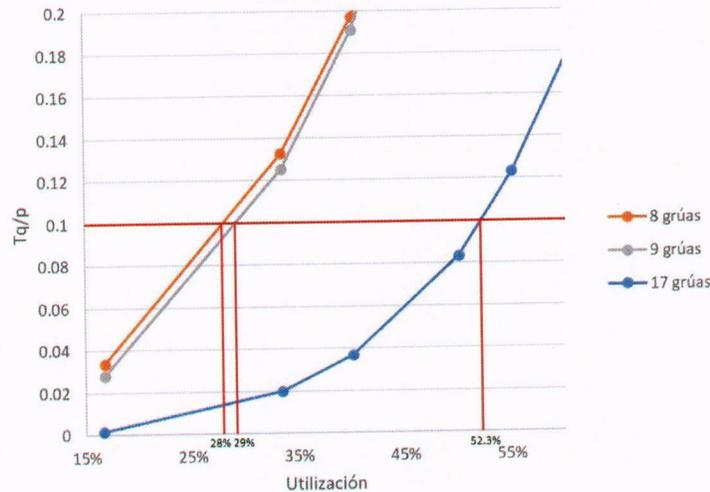


En la figura 13 se muestra el mismo gráfico presentado anteriormente, pero con un re-escalamiento para poder apreciar de mejor manera las utilidades asociadas a los ratios de servicio entre 0.1 y 0.2. Además, para calcular el nivel de utilización que corresponde al nivel de servicio de 0.1 se utilizará una interpolación lineal entre los puntos adyacentes en el gráfico, por ejemplo, para el frente de atraque de 17 grúas se utilizan los dos puntos de más hacia la derecha del gráfico, para los otros frentes de atraque se utilizan los dos puntos más hacia la izquierda de sus respectivas curvas. Por consecuencia, el frente de atraque completo con 17 grúas podría alcanzar un nivel de utilización de 52.3 %, para el frente de atraque de 8 grúas no puede sobrepasar un nivel de utilización de 28 %, por último para el frente de atraque de 9 grúas es necesario que no pase de un nivel de utilización del 29 %. Por lo tanto, separar la operación del frente de atraque conlleva una disminución de un 53 % y 54 % del nivel de carga del puerto para los frentes de atraques de 9 y 8 grúas respectivamente. Como es de esperar, el ratio de servicio de 0.1 es más exigente que el ratio de 0.2, por lo tanto, la disminución en el nivel de carga del puerto es de mayor magnitud

1062

para este caso.

Figura 13: Resultados de simulación, para nivel de servicio alto $Tq/p = 0,1$



Los datos presentados en estos gráficos se encuentran en el Apéndice B.2.

A.5. Conclusiones

Se desarrollaron dos metodologías para evaluar el impacto en la eficiencia al dividir el frente de atraque en dos concesiones independientes. Ambas metodologías buscan cuantificar el rango de utilización en la que puede operar el puerto para lograr un nivel de servicio pre-determinado, establecido como el ratio entre el tiempo de espera al tiempo de servicio de la nave. Niveles de servicio razonables para una correcta operación del puerto consideran valores de este ratio entre 0.1 y 0.2, por lo cual se evaluaron ambos casos extremos para determinar los niveles de utilización máximos a los cuales puede operar el frente de atraque.

Las metodologías utilizadas son: (i) modelos de teoría de colas, que incorporan las variabilidades en las llegadas y tiempos de servicio de las naves con un modelo estocástico que permite soluciones analíticas para determinar la relación entre utilización y tiempos de espera; (ii) modelos de simulación de eventos discretos, que utilizan una representación detallada del puerto a través de un modelo computacional que replica escenarios de arribos y tiempos de servicio de las naves. Ambas metodologías requieren los siguientes parámetros como *input*: (i) los tiempos de servicio de las naves, las cuales se calculan como el tiempo de descarga por contenedor multiplicado por el número de contenedores a ser transportados. El número de contenedores es variable entre naves, y fue estimado utilizando datos históricos de carga de las naves que llegaron al puerto actual. (ii) la distribución de tamaños de naves, medida a través del largo de eslora lo

cual determina el número de grúas con las que se descarga la nave. Esta distribución fue estimada en base a información histórica de las naves que llegaron al puerto actual.

Los enfoques utilizados entregan resultados robustos, que tienden a ser similares para los distintos casos evaluados. En general, las pérdidas de eficiencia de dividir el frente de ataque son considerables. El modelo de simulación, que entrega una representación mas detallada del sistema, predice perdidas del orden de del orden de un 35 % para un nivel de servicio moderado (ratio=0.2). Para niveles de servicio mas altos, las pérdidas son del orden de 50 % del volumen de carga, esto es, el frente de ataque con dos concesionarios puede en total recibir una carga que es la mitad de la que se podría recibir con un frente de atraque operado por un único concesionario. En resumen, las pérdidas de eficiencia son considerables y debiesen ser tomadas en cuenta en el diseño de la licitación.

B. Apéndice

B.1. Tabulación Resultados Modelos de Colas

Cuadro 21: Nivel de servicio (Tq/p) en función de la utilización según la cantidad de grúas por nave y el tipo de frente de atraque (Consolidado o Separado).

Utilización	2 grúas por nave		3 grúas por nave		4 grúas por nave	
	Con	Sep	Con	Sep	Con	Sep
40 %	0.0021	0.0214	0.0065	0.0463	0.0078	0.0584
45 %	0.0044	0.0331	0.0116	0.0666	0.0137	0.0824
50 %	0.0083	0.0492	0.0195	0.0932	0.0223	0.1125
55 %	0.0147	0.0714	0.0312	0.1282	0.0345	0.1499
60 %	0.0247	0.1016	0.0483	0.1746	0.0513	0.1968
65 %	0.0401	0.1434	0.0733	0.2369	0.0744	0.2561
70 %	0.0638	0.2024	0.1102	0.3231	0.1059	0.3322
75 %	0.1011	0.2886	0.1660	0.4471	0.1495	0.4321
80 %	0.1620	0.4224	0.2548	0.6371	0.2110	0.5675
85 %	0.2703	0.6510	0.4095	0.9587	0.3009	0.7594
90 %	0.4969	1.1160	0.7286	1.6087	0.4403	1.0501

B.2. Tabulación Resultados Simulación

Cuadro 22: Nivel de servicio (Tq/p) en función de la utilización según la cantidad de grúas en el frente de atraque.

Utilización	17 grúas	8 grúas	9 grúas
17 %	0.0016	0.0336	0.0280
33 %	0.0198	0.1326	0.1251
40 %	0.0368	0.1972	0.1909
50 %	0.0833	0.3419	0.3479
55 %	0.1233	0.4499	0.4668
60 %	0.1764	0.5882	0.6333
67 %	0.2851	0.8642	0.9857
75 %	0.5583	1.5463	2.1307
83 %	1.4229	3.9850	8.4362

Referencias

- Rockwell Automation. *Arena simulation software*, 2012.
- Gérard Cachon and Christian Terwiesch. *Matching supply with demand*, volume 2. McGraw-Hill Singapore, 2009.
- George S Fishman. *Discrete-event simulation: modeling, programming, and analysis*. Springer Science & Business Media, 2013.
- D. Gross, J. Shortle, J. Thompson, and C. Harris. *Queueing Theory*. Wiley, 4th edition edition, 2008.
- Intecsa-Inarsa. *Estudio de Factibilidad del Puerto de Gran Escala - Anexo 10.*, 2013.
- Banks Jerry. *Discrete-event system simulation*. Pearson Education India, 1984.
- Vidyadhar G Kulkarni. *Modeling and analysis of stochastic systems*. CRC Press, 2016.
- Arturo Monfort Mulinas and Jose Aguilar Herrando. Propuesta de caracterización del nivel de servicio por línea de atraque en contratos de concesión de terminales portuarias de contenedores. Technical report, XII Congreso de Ingeniería del Transporte València, Universitat Politècnica de València., 2016.
- Sheldon Ross. *Stochastic processes*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley and Sons, inc, 2nd edition, 1996.
- Hiroataka Sakasegawa. An approximation formula $l_q = \alpha \rho \beta / (1 - \rho)$. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 29(1):67–75, 1977.

1065

Ward Whitt. Approximations for the GI/G/m queue. *Production and Operations Management*, 2
(2):114-161, 1993.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ward Whitt', written in a cursive style.