

# Análisis de Eficiencia Operacional para Distintas Alternativas de Adjudicación de Terminales del Puerto de Gran Escala de San Antonio\*

Marcelo Olivares, Pablo Jofré  
Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile

29 de agosto de 2018

## Resumen

En el presente informe se documenta el análisis cuantitativo que estudia los comentarios y sugerencias realizados por la Fiscalía Nacional Económica al original plan de construcción y operación del nuevo PGE de San Antonio elaborado por EPSA. El plan original considera la construcción y operación del Terminal Mar del nuevo puerto por un único operador con capacidad máxima de 3 MM TEU anuales, de modo de aprovechar economías de escala que se traducen en mejor calidad de servicio y mayor utilización de la capacidad del puerto. La principal crítica de la FNE se centra en la posición dominante que tendría este operador durante el periodo de construcción del Terminal Tierra (operado por otra firma que competiría con el Terminal Mar). El plan sugerido por la FNE es alternar la construcción y operación entre ambos terminales, postergando la operación de la Fase II del Terminal Mar hasta después que comience la operación del Terminal Tierra del operador competidor. Utilizando métodos de teoría de colas y simulación de eventos discretos, este informe cuantifica las ineficiencias operacionales que generaría la propuesta de la FNE con respecto a la propuesta original, que depende de los posibles escenarios de demanda. En el escenario de alta demanda, la postergación de la Fase II genera una pérdida de demanda al no aprovechar las economías de escala de las Fases I y II del Terminal Mar para cumplir con los estándares de niveles de servicio (tiempos de espera). En escenarios de baja demanda, las ineficiencias se generan al empeorar los niveles de servicio cuando los operadores funcionan con menor capacidad; estas reducciones en el nivel de servicio son especialmente importantes para buques grandes, en donde se espera un incremento en la demanda a nivel global y en donde en particular Chile tiene una baja participación en el mercado sudamericano producto de la baja capacidad de sus puertos. La eficiencias

\*Este 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).

cuantificadas en este informe de operar con un gran terminal integrado – que se traducen en ahorros de costos – deben ser sopesadas con las reducciones en márgenes que se generan en un mercado con más competidores y menos concentración, para luego evaluar cuál de estos efectos domina en la práctica.

## 1. Introducción

El Puerto de Gran Escala (PGE) de San Antonio considera la construcción de dos nuevos frentes de atraque para aumentar la capacidad portuaria de la V Región de Chile, donde la capacidad está concentrada en el puerto actual en la ciudad de San Antonio y el puerto de Valparaíso (ubicado a 87 km al norte de San Antonio). El puerto actual de San Antonio cuenta con tres frentes de atraque y un sitio, que incluyen movimiento de contenedores, granel líquido/sólido y carga fraccionada, y actualmente es operado por los concesionarios STI, PCE, Puerto Panul y EPSA (ver Figura 8). El nuevo PGE tiene como objetivo aumentar considerablemente la capacidad portuaria de la zona, construyendo dos terminales de 1730 mts cada uno, que permiten el atraque de grandes naves. La Figura 9 describe el esquema general del diseño del puerto.

Se planifica realizar la construcción y operación del puerto a través de un proceso licitatorio bajo concesión de operadores privados. Para este efecto, se debe diseñar un esquema de concesión que divida la capacidad total del puerto entre varias empresas. Por un lado, el proceso licitatorio permite generar competencia para entrar al mercado, generando por esta vía precios competitivos que aseguren un precio “techo” que evite generar rentas monopólicas a las empresas. Por otro lado, se busca tener competencia dentro del mercado una vez adjudicada la licitación, para lo cual se busca adjudicar a dos o más operadores que compitan por atraer demanda y por esta vía generar aún más competencia.

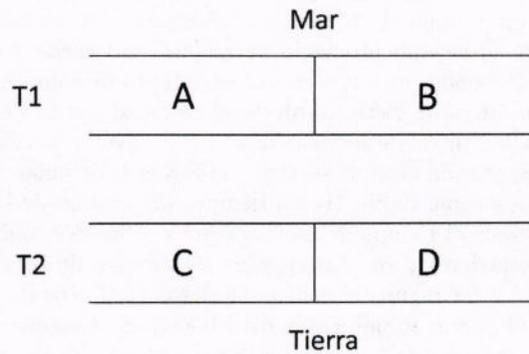
Para efectos de diseñar el proceso de licitación, se evalúan distintas alternativas de secuenciamiento de la construcción del puerto y las opciones de adjudicación a los distintos potenciales oferentes que compitan en el proceso. La Figura 1 ilustra una partición de los dos frentes – Mar (T1) y Tierra (T2) – en cuatro “bloques”. Las bases de la licitación deben especificar: (1) el orden con que se construirá y cuando se comienza a operar cada bloque; (2) como agrupar los bloques en la adjudicación. Por ejemplo, una posibilidad es construir los bloques en el orden  $T1A > T1B > T2C > T2D$ , adjudicando cada uno a un operador distinto y fijando el inicio de cada bloque al culminar su construcción. Otra opción es construir  $T1A + T1B$  primero adjudicando ambos al mismo operador, y luego  $T2C + T2D$  a otro operador, permitiendo comenzar la operación cuando se termine cada bloque.

En el informe “Asesoría para el Análisis de la Eficiencia Operativa de los Terminales del Puerto de Gran Escala de San Antonio respecto al Número de Concesionarios” ([3]) se realizó un análisis cuantitativo para evaluar la eficiencia de dos alternativas de adjudicación para el frente Mar T1.

- Opción 1: Adjudicar T1A y T1B al mismo operador

1660

Figura 1: Esquema de adjudicación en la licitación del PGE



- Opción 2: Adjudicar T1A y T1B a un operador distinto.

El análisis se centró en medir las economías de escala que se generan al operar de forma conjunta T1A y T1B, específicamente, las mejoras en el nivel de servicio que se logran al poder coordinar los recursos del puerto (grúas y espacio físico) bajo el mismo operador. 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 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.

Estas fuentes de eficiencia son también extrapolables para diseñar el proceso de adjudicación del Terminal Tierra, por lo cual las conclusiones de este análisis son generalizables a ambos frentes de atraque.

Para desarrollar el análisis para medir las economías de escala se consideraron dos enfoques complementarios. El primer enfoque utilizó 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 brinda 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 utilizó 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.

Ambas metodologías se utilizan para evaluar la carga máxima de demanda que puede satisfacer el puerto cumpliendo con niveles de servicio preestablecidos. El nivel de servicio se mide como el ratio entre el tiempo de espera para iniciar el atraque dividido por el tiempo promedio de movimiento carga / descarga (tiempo de servicio). Por ende, un ratio menor se interpreta como un mayor nivel de servicio. Se consideraron distintos niveles de servicio razonables para la industria, con ratios de 0.2 (nivel de servicio bajo) y 0.1 (nivel de servicio alto). Además de estos parámetros de nivel de servicio, ambas metodologías requieren los siguientes parámetros como input: (i) los tiempos de servicio de las naves, los cuales se calculan como el tiempo de descarga por contenedor multiplicado por el número de contenedores a ser descargados. 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 arrojaron resultados robustos, que tienden a ser similares para los distintos casos evaluados. En general, las pérdidas de eficiencia de dividir el frente de atraque en dos operadores independientes son considerables. El modelo de simulación, que entrega una representación más detallada del sistema, predice pérdidas del orden de un 35 % para un nivel de servicio moderado (ratio=0.2) – esto es, dividir el frente de atraque en dos operadores reduce la demanda que puede ser satisfecha en un 35 %. Para niveles de servicio más altos, las pérdidas son del orden de 50 % del volumen de carga, esto es, el frente de atraque 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 que fueron evaluadas son considerables y por lo tanto sugieren que el diseño óptimo de la licitación debiese considerar adjudicar un frente de atraque a un único operador.

## 2. Propuesta de la Fiscalía Nacional Económica<sup>1</sup>

Una de las críticas realizada por la Fiscalía Nacional Económica (FNE) al proceso de licitación se centra en el secuenciamiento de la construcción y operación del puerto (sección IV.3 del informe). Aunque al parecer hay acuerdo en que cada frente se debe adjudicar a un único proveedor, se cuestiona que durante el periodo de construcción del nuevo PGE, al secuenciar primero la construcción y operación de los bloques T1A y T1B antes de que comience la construcción del terminal Tierra (T2), se generará una concentración excesiva del mercado que llevará a una posición dominante al operador que se adjudique el terminal Mar (T1). Este argumento se describe bien en el Cuadro #7 de dicho informe (incluido acá en la Figura 2), en donde al terminar la construcción y

<sup>1</sup>Este informe fue encargado por EPSA al Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (IS-CI), y fue elaborado por el Prof. Marcelo Olivares (Académico U. de Chile) y Pablo Jofré (Ingeniero Industrial, U. de Chile).

1661

Figura 2: Participación del Terminal Mar en capacidad instalada

Año	Porcentaje del total	Total V Región (TEUs/año)	Observación
2026	23,6%	6.365	inicio operaciones Fase I Terminal Mar.
2031	38,1%	7.865	inicio operaciones Fase II Terminal Mar.
2036	32,0%	9.365	inicio operaciones Fase I Terminal Tierra.
2041	27,6%	10.865	inicio operaciones Fase II Terminal Tierra.

Fuente: Solicitud de Informe de Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) sobre Licitación del Terminal Mar del Puerto Exterior de San Antonio. Cuadro N°7

comenzar la operación del terminal Mar, la empresa adjudicada podría llegar a tener casi un 40% del mercado relevante (definido como V Región). Este problema persiste hasta que se complete la construcción y operación del Terminal Tierra, en donde la entrada del segundo operador disminuye la concentración del mercado y reduce la posición dominante del operador del Terminal Mar. Por consiguiente, la ineficiencia de mercado que sugiere la FNE ocurriría durante el periodo transitorio de la construcción del PGE en los años 2031-2036 y no durante la operación bajo régimen permanente cuando ambos frentes estén terminados y operativos. Además de la concentración de mercado, la crítica de la FNE argumenta que la posición dominante que el operador posee al comenzar la operación del bloque T1A reduce los incentivos para terminar la construcción del bloque T1B durante los 60 meses comprometidos, aprovechando así un periodo más extenso de mayor congestión pudiendo de esta forma elevar las tarifas a los máximos establecidos.

La FNE propone un esquema alternativo de secuenciamiento que reduciría el poder de mercado del operador del terminal Mar durante el transiente. Al igual que en la propuesta original, se establece que el Terminal Mar se adjudica a un único proveedor y el Terminal Tierra a un segundo operador. De esta forma, la propuesta de la FNE reconoce que la división del frente en dos operadores independientes es ineficiente. Sin embargo, propone comenzar con la construcción del bloque T1A posponiendo la construcción y operación del T1B hasta después de comenzar la operación del bloque T2C del terminal Tierra. De este modo, al acelerar la entrada del competidor del Terminal Tierra, se reduce el largo del periodo en que el operador del Terminal Mar tiene una posición dominante en el mercado. El Cuadro #8 del reporte de la FNE (incluido acá en la Figura 3) indica las participaciones de mercado al inicio de la operación de cada fase, en donde se observa una reducción de la participación máxima del operador T1 de 38% a 33% durante el periodo transiente.

### 3. Comentarios sobre la Propuesta de la FNE

En principio, existen dos fuentes principales de pérdidas de eficiencia en la propuesta de la FNE en relación a la propuesta original:

Figura 3: Participación del Terminal Mar en capacidad instalada

Año	Porcentaje del total	Total V Región (TEUs/año)	Observación
2026	25%	6.000	inicio operaciones Fase I Terminal Mar.
2031	20%	7.500	inicio operaciones Fase I Terminal Tierra.
2036	33%	9.000	inicio operaciones Fase II Terminal Mar.
2041	29%	10.500	inicio operaciones Fase II Terminal Tierra.

Fuente: Solicitud de Informe de Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) sobre Licitación del Terminal Mar del Puerto Exterior de San Antonio. Cuadro N°8

1. Ineficiencia de tipo constructiva, por no seguir construyendo la segunda fase del Terminal Mar y, en su defecto, iniciar la construcción de la primera fase del Terminal Tierra. Esto puede aumentar considerablemente el costo de construcción y por lo tanto generar ofertas menos competitivas en la licitación, llevando a tarifas más altas.
2. Durante el periodo transiente, se producen ineficiencias al operar dos terminales de 1,5 MM TEUs (uno en cada frente) versus un terminal de 3 MM TEUS en el terminal Mar, lo que implica ineficiencias operativas como no tener espacio disponible en una de las concesiones, cuando la otra lo tiene; o no tener espacio disponible para una nave completa.

Se estima que ambas ineficiencias son importantes, y este informe discute las ineficiencias generadas por el segundo punto.

En términos de eficiencia operacional, la propuesta de la FNE es idéntica a la propuesta original hasta el año 2026, cuando finaliza la Fase I del Terminal Mar T1A. Entre 2026-2031, la propuesta original propone construir la Fase II del mismo terminal (T1B), mientras que la FNE propone construir la Fase I del Terminal Tierra (T2C). En términos de operación del bloque T1A durante ese periodo, tampoco hay diferencias entre ambas propuestas. La diferencia ocurre entre los años 2031 y 2036:

- En el esquema original, la operación se realiza con un terminal de 3 MM TEU operado por un mismo operador.
- En el esquema propuesto por la FNE, la operación se realiza con dos terminales de 1.5 MM TEU con operadores separados.

Bajo el esquema propuesto por la FNE, el terminal Mar comienza su operación con 3 MM TEU de capacidad el año 2036, y por ende no hay grandes diferencias en términos de eficiencia entre ambas propuestas a partir de ese año.

En resumen, la ineficiencia operacional se produce durante un periodo de 5 años, en donde se dejan de aprovechar las economías de escala de operar un terminal de mayor capacidad. El impacto económico de esta ineficiencia depende de la demanda del mercado relevante en este periodo. En particular, existen dos escenarios de demanda a analizar:

1662

Cuadro 1: 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 %

- Escenario de alta demanda: Como se describe en [3], la división de la capacidad total del frente mar en dos operadores con menor capacidad reduce la demanda que se puede satisfacer cumpliendo con un nivel de servicio preestablecido. Por lo tanto, en el escenario que la demanda exceda este máximo, se produce una ineficiencia producto de la pérdida de demanda. Cuando el nivel de servicio es alto, el máximo de demanda con que se puede operar disminuye y por lo tanto aumenta la ineficiencia.
- Escenario de baja demanda: En el caso que la demanda sea inferior al máximo posible para el puerto con dos operadores, no existe pérdida de eficiencia. Sin embargo, se genera otra ineficiencia debido a que los tiempos de espera son mayores a los que se pueden lograr con un terminal en el frente completo (capacidad 3 MM TEU). Por lo tanto, el nivel de servicio ofrecido es sub-óptimo, con lo cual se genera una pérdida de eficiencia.

Las ineficiencias generadas en el escenario de alta demanda fueron analizadas en detalle en el informe anterior [3], y se resumen en la sección 3.1. Las ineficiencias en el escenario de baja demanda se pueden estudiar con las mismas herramientas utilizadas en [3], y son analizadas en la sección 3.2 de este informe.

### 3.1. Análisis de ineficiencias en el caso de alta demanda

La estimación de pérdidas de carga para los distintos escenarios se resume en el Cuadro 1.

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 el informe de [3] permite evaluar casos más realistas en donde naves de distintos

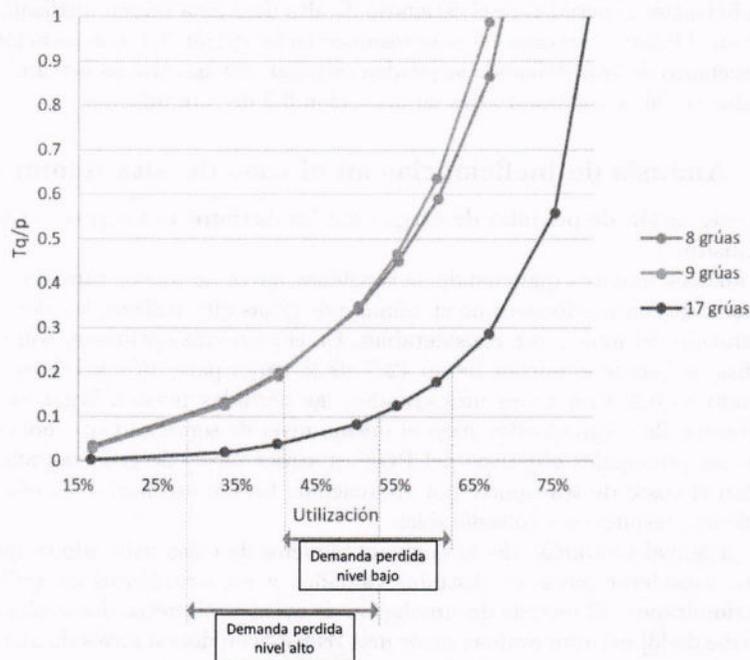
500A

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.

Los resultados de la simulación se resumen en la Figura 4. 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.

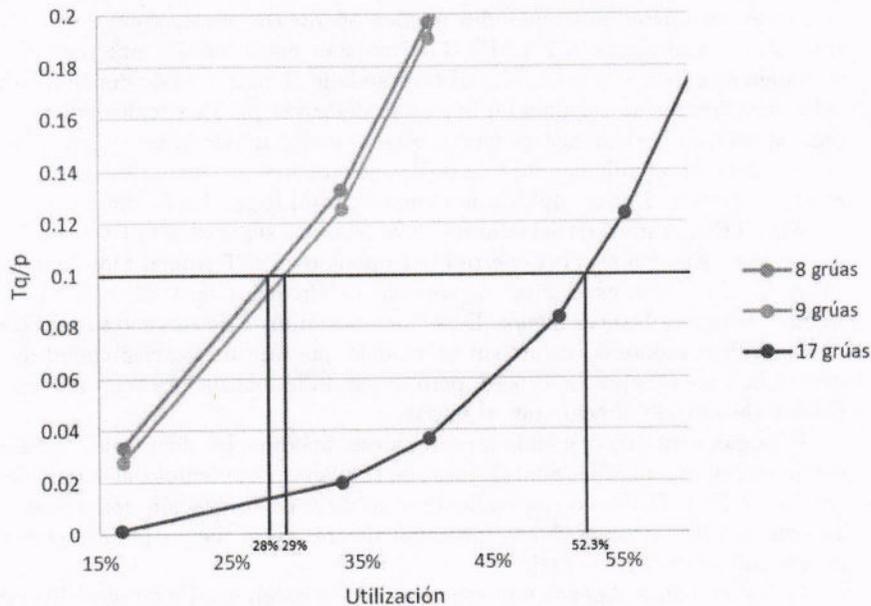
Los resultados de la simulación corroboran lo indicado anteriormente por los modelos de colas. Para lograr un nivel de servicio del orden de 0.2, el frente de atraque consolidado puede operar hasta un 63% de utilización, mientras que el frente de atraque separado requiere operar a un 40% de utilización. 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 4: Resultados de modelo de simulación de eventos discretos



En la figura 5 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 exceda el 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 para este caso.

Figura 5: Resultados de simulación, para nivel de servicio alto  $Tq/p = 0,1$



Las simulaciones antes descritas consideran una distribución de tamaños de buques basada en información histórica del puerto actual de San Antonio. Se consideraron otros escenarios de distribución de buques, basado en las proyecciones realizadas en [1] para el año 2025. Estas proyecciones consideran un aumento

considerable en la proporción de buques de mayor tamaño, sobre 10 mil TEU, que usan 3 o más grúas para el movimiento de contenedores. Esto hace que las ineficiencias de operar con terminales de operadores separados sean aún mayores, por lo cual los análisis antes descritos tienden a ser una medida conservadora de las ineficiencias que podría generar la propuesta de la FNE. Las figuras 10 y 11 del Apéndice entregan un resumen de estos análisis.

### 3.2. Análisis de ineficiencias en el caso de baja demanda

Cuando la demanda efectiva es inferior al máximo sostenible por operadores de menor tamaño, no existen ineficiencias producto de pérdida de demanda. En la Figura 6 se despliegan las proyecciones de nivel de servicio basadas en los modelos de colas para naves pequeñas, medianas y grandes. En los gráficos se marcan con líneas horizontales los niveles de servicio alto (ratio=0.1) y nivel de servicio bajo (ratio=0.2). Cada nivel de servicio define la demanda máxima posible de sostener por los operadores separados, correspondientes a la curva superior en color verde. Los niveles máximos de utilización correspondientes para naves pequeñas, medianas y grandes son 70 %, 62 % y 50 %, respectivamente.

Para efectos de ilustración se considera el caso de naves medianas con nivel de servicio alto, correspondientes al gráfico en el centro de la Figura 6. En este caso, los operadores separados pueden operar con un máximo de 50 % de utilización, equivalente a 2.5 MM TEU anuales entre los dos puertos.<sup>2</sup> Si la demanda es superior a esa cantidad corresponde al escenario de demanda alta y las ineficiencias se calculan en base a la demanda perdida (calculadas en la sección 3.1). Si la demanda es menor o igual a este máximo, esto corresponde al escenario de baja demanda, y la ineficiencia ocurre producto de una baja en nivel de servicio. Por ejemplo, si la demanda total llega al máximo factible de 2.5 MM TEU, el nivel de servicio de los operadores separados (T1A y T2C) es 0.1 (aprox). En cambio, si el puerto fuese operado en el Terminal Mar completo (T1A+T1B), entonces el nivel de servicio es alrededor de 0.02, es decir, un tiempo de espera 5 veces menor. Estas mejoras en nivel de servicio son difíciles de cuantificar económicamente sin un modelo que capture la sensibilidad de la demanda a los tiempos de espera, pero es sin duda una mejora relevante en la calidad de servicio ofrecida por el puerto.

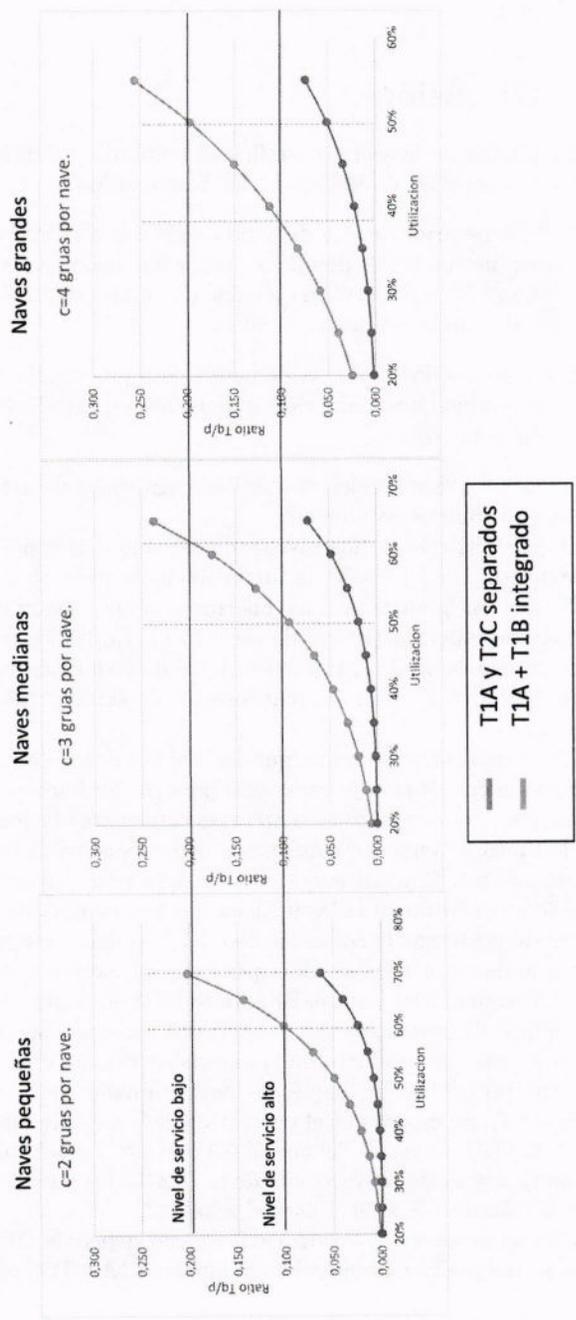
Para escenarios de demanda menores a este máximo, las diferencias entre las configuraciones separadas e integradas son similares. Por ejemplo, si la demanda total es 2 MM TEUs, correspondiente a un 40 % de utilización, los niveles de servicio son 0.046 versus 0.007, alrededor de tres veces menor para el caso de puerto integrado T1A +T1B.

La Tabla 3 en el Apéndice resume las diferencias en niveles de servicio entre los operadores separados versus un operador integrado, para distintos niveles de demanda. En cada uno de los casos se indica en **negrita** los niveles de servicio críticos 0.1 y 0.2, alto y bajo respectivamente, que definen la utilización máxima

<sup>2</sup>Se considera el máximo de 3 MM TEU correspondiente a un 60 % de utilización del terminal.

1664

Figura 6: Niveles de servicio para distintos escenarios de utilización, basados en modelos de colas.



de los terminales separados. Como se puede apreciar, en todos los escenarios evaluados el nivel de servicio de los operadores separados T1A y T2C – la propuesta de la FNE – es sustancialmente inferior que la del operador integrado T1A+T1B.

#### 4. Discusión

El análisis de la sección 3 refleja dos grandes pérdidas de eficiencia de postergar la operación de la Fase II del Terminal Mar.

1. En escenarios de alta demanda, existe una pérdida considerable de la demanda potencial, donde la utilización máxima del puerto para asegurar una calidad de servicio deseable disminuye de 52 % a 29 %, una reducción de demanda del orden de 50 %.
2. En escenarios donde la demanda está por debajo del máximo sostenible, se produce una reducción importante en los niveles de servicio ofrecidos por el puerto.

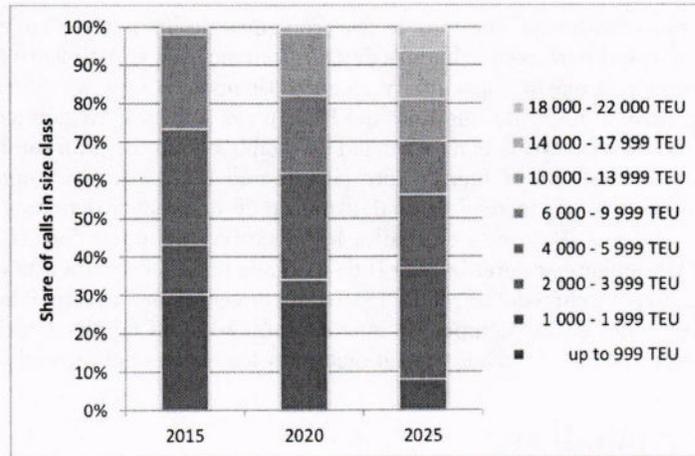
El análisis realizado muestra que las magnitudes de ambos efectos son importantes en términos económicos.

Bajo el criterio de los niveles de servicio y tiempos de espera, el informe desarrollado por [1] resalta la importancia de mejorar los tiempos de espera de los buques en la entrada a los puertos chilenos. Según ese informe, el ratio de tiempos de espera a tiempo de servicio ( $T_q/p$ ) en los puertos de San Antonio y Valparaíso es de 0.17, mientras que el estándar de buenas prácticas definido por la OECD ([2]) es de 0.1, equivalente al estándar “alto” considerado en este informe.

El mismo informe indica que los bajos niveles de servicio ofrecidos en los puertos chilenos y la baja capacidad para recibir buques de gran tamaño genera incentivos para que estos escojan otras rutas para el comercio Latinoamericano. Por lo tanto, es imperante que Chile mejore sus indicadores de nivel de servicio en sus puertos. El análisis descrito en la sección 3 muestra que para niveles de servicio altos (ratio=0.1) las ineficiencias por pérdida de demanda y tiempos de espera de postergar la consolidación del Terminal Mar en un solo operario, son muy grandes. Los tiempos de espera son, al menos, 4 veces menores al operar con el Terminal Mar consolidado; para buques de gran tamaño las reducciones de tiempos de espera son aún mayores (6 veces menores). Este último punto es relevante, ya que producto de la expansión del canal de Panamá se espera una creciente proporción de buques de mayor tamaño (ver anexo I de [1], incluido en la Figura 7). Se espera que el porcentaje de buques de tamaño mayor, superiores a 18 mil TEU, aumente del actual 0.7 % a 6.8 % en el 2025 (de 35 a 350 buques por año). Según las proyecciones de la OECD, los buques de más de 10 mil TEU aumentarán de 3 % a 30 % para el año 2025.

Con un estándar de servicio al 0.1 como sugiere la OECD, la demanda máxima a la cual podrían atender los terminales T1A y T2C operados separadamente

1665



Source: Own elaborations based on MDS Transmodal and AIS data (2016).

Figura 7: Proyecciones de distribución de tamaños de barcos para el puerto de San Antonio. Fuente: [1], Anexo I.

es la mitad de la capacidad total de 3 MM TEU proyectada para un operador integrado. En base a las proyecciones de demanda que fueron realizadas por EPSA en base a modelos de series de tiempo, la demanda del sector de San Antonio para el año 2031 (año donde comenzaría la operación de la Fase II Terminal Mar) asciende a 4.6 MM de TEU anuales, de los cuales se espera que al menos 2.8 MM TEU lleguen el PGE. Incluso en el escenario conservador en donde la separación de operadores reduce la utilización de 60% a 50% (como sugeriría por ejemplo el panel central de la Figura 6), habría una demanda insatisfecha del orden del 10%<sup>3</sup>. En base a estas proyecciones, es altamente probable que la postergación de la Fase II reduciría de forma importante la demanda atendida por los puertos de San Antonio, reduciendo los ingresos y ofreciendo un nivel de servicio deficiente que podría además afectar la demanda futura de estos puertos.

El análisis realizado también permite responder a la segunda observación de la FNE sobre los incentivos que tendría el operador del Terminal Mar integrado a postergar la construcción de la Fase II. El argumento de la FNE se basa en que, al tener una posición dominante del mercado, el operador podrá extraer rentas monopólicas. Se argumenta además que en el caso de que la demanda tuviese un crecimiento menor a lo esperado, el operador tiene incentivos para evitar operar la Fase II del puerto con capacidad ociosa.

Ambos argumentos están basados en un análisis que considera el mercado relevante del PGE como la V Región. Sin embargo, el estudio de la OECD [1]

<sup>3</sup>A un 50% de utilización, la demanda máxima que se puede atender es alrededor de 2.5 MM TEU anual.

indica específicamente que uno de los problemas de los puertos chilenos es la baja capacidad para recibir buques de gran tamaño, que actualmente optan por otras rutas con mayor capacidad y menores tiempos de espera en Sudamérica. En este caso, el mercado relevante del PGE no es solo la V Región: contar con un puerto de gran escala con capacidad de recibir buques de gran tamaño (cuya demanda debiese crecer fuertemente para el año 2025) permitirá competir de mejor manera en un mercado global, canalizando una mayor demanda hacia los puertos chilenos. Bajo este escenario, los incentivos del operador del Terminal Mar es justamente acelerar la Fase II de modo de poder acceder a esta demanda, ampliando el tamaño del mercado. Esto a su vez genera una externalidad, ya que las reducciones de los tiempos de espera producto de la ampliación de la Fase II también mejora los niveles de servicio para los buques del mercado actual.

## A. Apéndice

### A.1. Figuras Adicionales



Figura 8: Puerto actual de San Antonio

1666

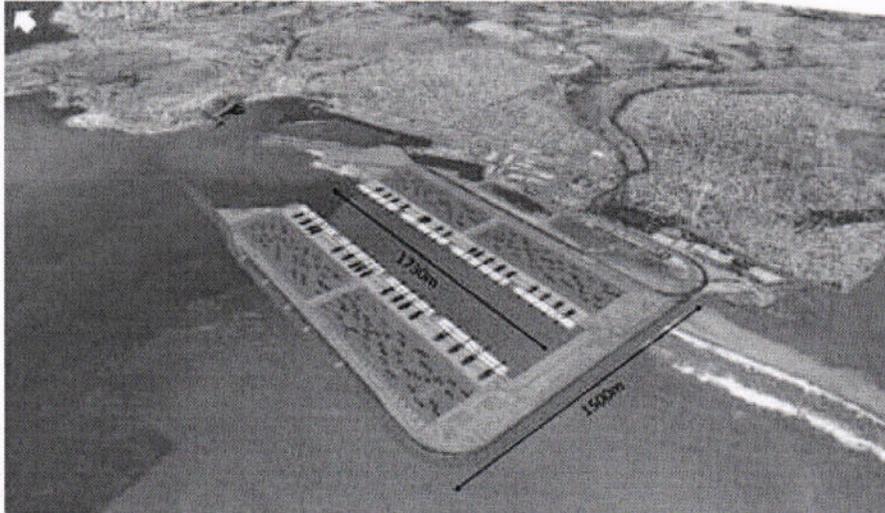


Figura 9: Diseño del proyecto PGE de San Antonio

## A.2. Tabulación Resultados Modelos de Colas

Cuadro 2: 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

Pequeñas			
Util	Consolidado	Separado	Dif
20 %	0.000	0.002	71.3
25 %	0.000	0.004	35.6
30 %	0.000	0.007	20.9
35 %	0.001	0.013	13.8
40 %	0.002	0.021	9.8
45 %	0.004	0.033	7.4
50 %	0.008	0.049	5.9
55 %	0.015	0.071	4.9
60 %	0.025	<b>0.102</b>	4.1
65 %	0.040	0.143	3.6
70 %	0.064	<b>0.202</b>	3.2

Medianas			
Util	Consolidado	Separado	Dif
20 %	0.000	0.006	31.6
25 %	0.001	0.012	18.8
30 %	0.002	0.020	12.6
35 %	0.003	0.031	9.1
40 %	0.007	0.046	7.1
45 %	0.012	0.067	5.7
50 %	0.020	<b>0.093</b>	4.8
55 %	0.031	0.128	4.1
60 %	0.048	<b>0.175</b>	3.6

Grandes			
Util	Consolidado	Separado	Dif
20 %	0.002	0.025	13.9
25 %	0.004	0.039	9.8
30 %	0.008	0.058	7.5
35 %	0.014	<b>0.082</b>	6.0
40 %	0.022	0.113	5.0
45 %	0.035	0.150	4.3
50 % (max)	0.051	<b>0.197</b>	3.8

Cuadro 3: Diferencias en nivel de servicio para distintos escenarios de demanda, capturados por los posibles niveles de utilización que indica el porcentaje de la capacidad máxima de 3 MM TEU. La columna "Dif" es el ratio del nivel de servicio entre el nivel de servicio de los operadores separados y el operador consolidado. En negrita se indican los niveles de servicio críticos 0.1 y 0.2, alto y bajo respectivamente, que definen la utilización máxima de los terminales separados.

1667

### A.3. Tabulación Resultados Simulación

Cuadro 4: 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

### A.4. Análisis de simulación considerando proyecciones de tamaños de buques al 2025

Se realizaron simulaciones considerando escenarios alternativos, utilizando la proyección de tamaños de buques desarrollada en el informe de la OECD [1] para el puerto de San Antonio (ver Figura 7) para el año 2025. En general, las ineficiencias generadas por la separación en dos operadores independientes es aún mayor cuando se consideran estos escenarios.

Figura 10: Resultados de modelo de simulación de eventos discretos

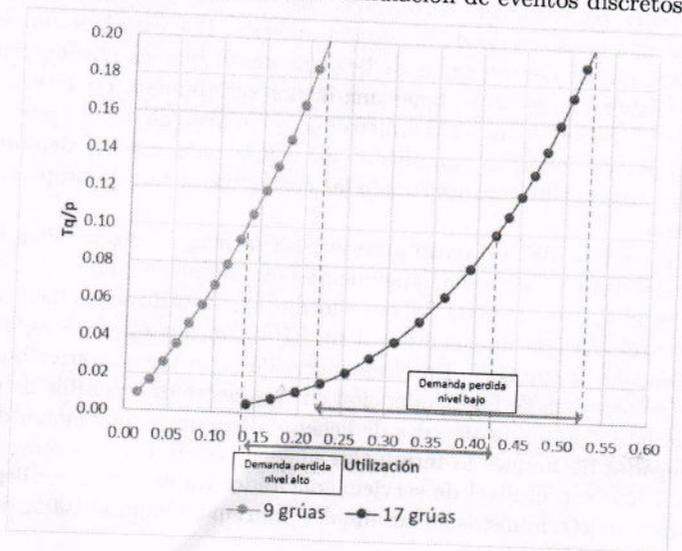
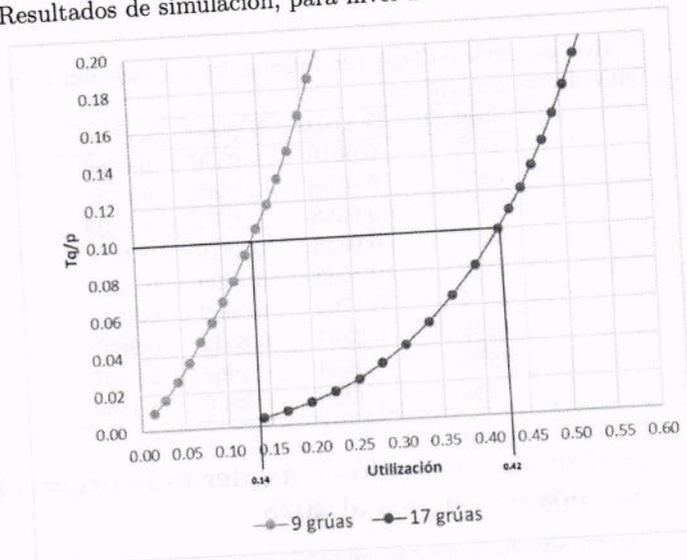


Figura 11: Resultados de simulación, para nivel de servicio alto  $Tq/p = 0,1$



#### A.5. Análisis de simulación considerando proyecciones de tamaños de buques al 2025, con menor dispersión en la llegada de ellos.

En este segundo escenario alternativo, se utilizó la proyección de tamaños de buques desarrollada en el informe de la OECD [1] para el puerto de San Antonio, al igual que el escenario de la sección anterior. Por otro lado, en este caso se consideró que el tiempo entre las llegadas de los buques pueden presentar una menor dispersión, es decir, tener una menor variabilidad. Lo anterior se explica porque los buques de mayores dimensiones planifican de mejor manera su llegada a los diferentes puertos, cumpliendo así con las ventanas de tiempo agendadas en cada uno de ellos, aprovechando las economías de escala propias de este tipo de buques.

A diferencia del escenario anterior, las ineficiencias generadas por la separación en dos operadores independientes son de menor magnitud. Por ejemplo, para cumplir con un nivel de servicio de 0.1, la utilización debe bajar de un 54% en el caso de un operador a un 37% con dos operadores, es decir, una disminución de un 17%. En el escenario de la sección anterior esta diferencia corresponde al 28%. La disminución en este efecto es esperable debido a la menor variabilidad en los tiempos de llegada, dado que si hay menor dispersión en las llegadas de buques los terminales pueden trabajar a una mayor utilización, cumpliendo con el nivel de servicio solicitado. En efecto, si las llegadas fueran totalmente deterministas los terminales podrían trabajar al 100% de utilización.

Figura 12: Resultados de modelo de simulación de eventos discretos considerando menor dispersión en los tiempos entre llegadas.

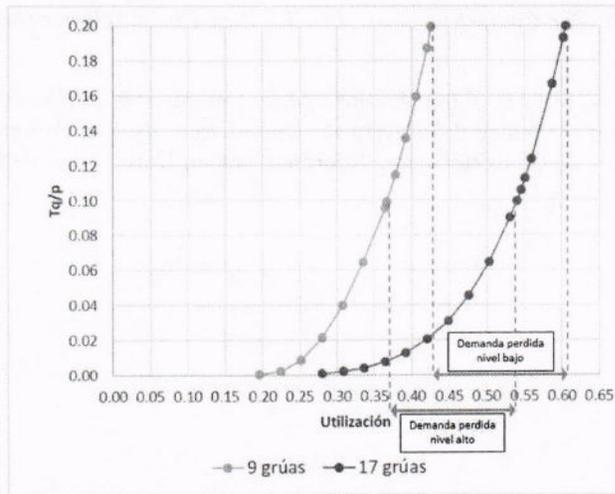
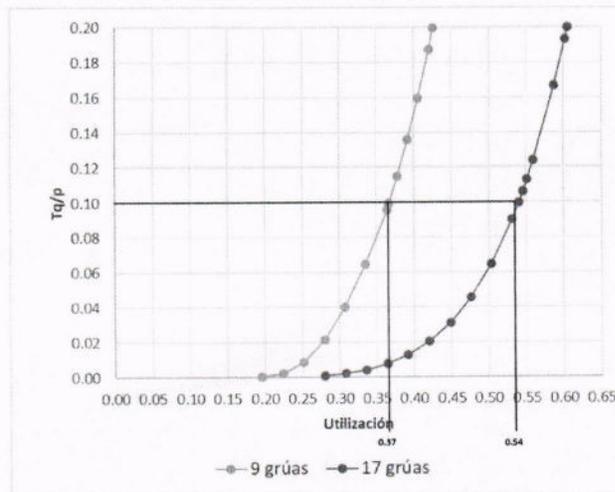


Figura 13: Resultados de simulación considerando menor dispersión en los tiempos entre llegadas, para nivel de servicio alto  $Tq/p = 0,1$





## Referencias

- [1] Forum, I. T.: *Ports Policy Review of Chile*. Informe técnico., OECD, 2017.
- [2] OECD: *The Competitiveness of Global Port-Cities*. Informe técnico., OECD, 2014.
- [3] Olivares, M. y P. Jofre: *Asesoría para el Análisis de la Eficiencia Operativa de los Terminales del Puerto de Gran Escala de San Antonio respecto al Número de Concesionarios*. Informe técnico., Universidad de Chile, 2018.