

Tarificación y congestión en terminales de transporte bajo competencia mixta

Leonardo J. Basso ^a, Rodrigo Núñez H. ^b

^{a,b} Departamento de Ingeniería Civil

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas - Universidad de Chile

^b Unidad de Demanda y Evaluación Social de Proyectos

Coordinación de Concesiones – Ministerio de Obras Públicas, Chile

Abstract

El presente trabajo busca modelar una competencia mixta entre dos terminales de transporte en presencia de estructura vertical. Se ha considerado la existencia de múltiples portadores en el terminal público y un terminal privado integrado verticalmente con un único portador. Nuestros resultados muestran que la regulación mediante la introducción de una empresa estatal es recomendable, debido a que en equilibrio se observarán precios finales más bajos y menor congestión debido a una adecuada inversión en capacidad. Del mismo modo estas variables mejoran a medida que aumenta el número de portadores en el terminal público. Por el contrario un duopolio entre privados genera altos costos para los usuarios producidos por un exceso de congestión en los terminales, que los operadores utilizan para sobretarificar. Se observa además que en la mayor parte de los casos en que la función objetivo del terminal público incluye el excedente de los consumidores, su resultado financiero resultaba negativo, lo que lleva a la necesidad de optimizar tarifas sujeto a cobertura de costos.

Palabras Clave: Competencia de terminales, congestión en terminales, competencia mixta, estructura vertical, regulación de mercados

Datos autores:

lbasso@ing.uchile.cl (L.J. Basso), Av. Blanco Encalada 2002, Santiago - Chile

rodrigo.nunez@mop.gov.cl (R. Núñez), Merced 753, of. 509, Santiago – Chile

1. Introducción

En el desarrollo actual de los países resulta cada vez más frecuente la existencia de múltiples aeropuertos, puertos o terminales de transporte, tanto de carga como de pasajeros, en grandes áreas urbanas. Estos nacen como respuesta a diversas necesidades: Especializaciones de mercados, descentralización de operaciones para descongestionar zonas cercanas o privatización parcial de terminales. En cualquiera de estos casos la interacción económica generará la competencia de estas instalaciones para atraer a los usuarios –y algunas veces operadores– a sus dependencias.

No debe desconocerse el hecho de que junto con el incremento en el número de terminales ha ido cambiando la estructura del mercado. En aras de la eficiencia de los procesos y el mejoramiento de los niveles de servicio de los terminales se ha generado un fuerte interés de agentes privados para comenzar a operar en la industria. Esta incorporación se ha dado por dos caminos: el traspaso de servicios tradicionalmente ofertados por el Estado a manos privadas o bien a través de estímulos económicos y/o regulaciones como medida de generación de competencia. En ambos casos se ha llegado a observar que en muchos casos la privatización del mercado no ha sido completa, ya sea debido a la privatización parcial de los terminales o bien a la mantención de al menos una empresa pública en el mercado. Esto ha derivado en mercados con competencia mixta, situación que abre interesantes interrogantes acerca del rendimiento de los mercados.

Ejemplos de estos procesos se observan a diario en la contingencia nacional. Hace poco más de un año LAN decidió en forma estratégica cambiar de aeropuerto en Buenos Aires para una parte de los vuelos que cubren esa ciudad con Santiago. En gran medida esta decisión se basa en la mayor cercanía de Aeroparque (al contrario de Ezeiza) con el centro de la ciudad, lo que deriva en un menor costo del usuario para acceder a sus servicios.

En el ámbito marítimo las recientes licitaciones de frentes de atraque en puertos nacionales que vienen sucediéndose desde 1999 han permitido el paulatino aumento en la calidad de los servicios, lo que se ha traducido en una reducción de tarifas cercana al 30%, un aumento de la velocidad de transferencia en un 51% y un aumento de la eficiencia en un 100%¹. Este proceso se ha desarrollado mediante la introducción gradual de privados que compiten con los operadores estatales en el mismo puerto.

Un caso interesante de competencia se encuentra en el caso de los terminales de buses en la ciudad de Santiago. Se observa un terminal público concesionado (terminal sur) operando con una alta atomización de portadores (más de 70 líneas de buses) y fuerte congestión de sus espacios en horarios punta. En un costado se observa el terminal privado (terminal Alameda) construido por un portador (Tur-bus) para atender su propia

¹ Datos del Departamento de Obras Portuarias (DOP) del Ministerio de Obras Públicas al año 2010.

flota, con espacios menos congestionados y sólo una línea de buses operando en sus dependencias. Las tarifas que cancelan los usuarios del terminal privado son generalmente más caras que las observadas en la competencia que opera en el terminal público, lo que se debe en gran medida al tipo de competencia que se está desarrollando en este mercado.

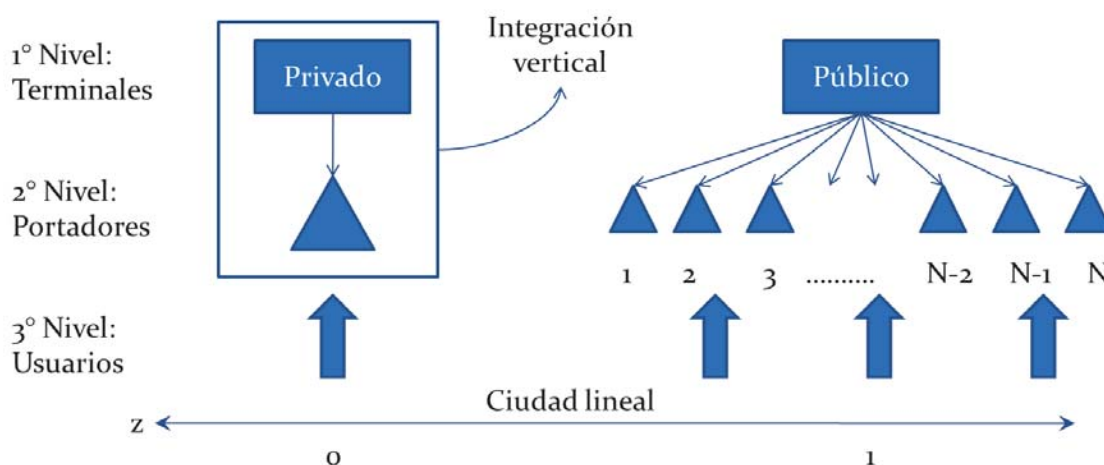
La estructura de este trabajo es la siguiente: en primer lugar se desarrolla el modelo matemático al problema que se busca plantear, luego se destacan los resultados y conclusiones del modelo para finalmente realizar una recomendación de políticas públicas.

2. Formulación del Modelo

El estudio se desarrolló a partir del trabajo de Basso y Zhang (2007) quienes modelaron un duopolio de terminales privados, sin integración vertical. La situación que se busca modelar en este caso considera la competencia de terminales en un duopolio mixto, donde ambos poseen una estructura vertical de tres niveles: En el nivel superior se encuentran los operadores de los terminales, en el nivel medio los portadores de servicio y en el nivel inferior los usuarios o consumidores finales. De este modo se observa que cada usuario elige un servicio de transporte prestado por algún operador e indirectamente el terminal de transporte en el cuál utilizará el servicio. Se consideró además que el operador privado posee integración vertical con un único portador de este recinto. Por el contrario, el operador público permite la existencia de varios portadores en sus dependencias. Los consumidores finales pueden escoger libremente entre ambos terminales, o bien no consumir.

Lo anterior puede observarse en el esquema de modelación que se presenta en la figura siguiente.

Figura 1: Esquema de Modelación



Se tiene entonces un juego simultáneo de tres etapas, asociadas a los subjuegos en cada nivel del problema. En primer lugar los terminales determinan simultáneamente la

inversión en capacidad y los precios a cobrar a los portadores, luego se desarrolla la competencia entre los portadores, donde en equilibrio se obtienen las tarifas de servicio. Finalmente se los usuarios deciden consumir el servicio y el terminal en el cuál se realizará este consumo.

El modelo matemático considera una ciudad lineal que se prolonga infinitamente en ambas direcciones, en la cual los potenciales usuarios se encuentran distribuidos uniformemente y, sin más pérdida de generalidad, con densidad de una persona por unidad de longitud. Existen dos terminales de transporte ubicados en los puntos $z=0$ y $z=1$. Se considerará que el terminal 0 corresponde al terminal de carácter privado, mientras el terminal 1 será quien se comporte como público. Un usuario cualquiera ubicado en esta ciudad será individualizado a través de su ubicación, z .

Si el producto es consumido se tiene que cada consumidor obtendrá una utilidad determinada por la ecuación siguiente

$$U_0 = V - f_0 - \alpha \cdot D(Q_0, K_0) - \left(\frac{t}{4}\right) z \quad (1)$$

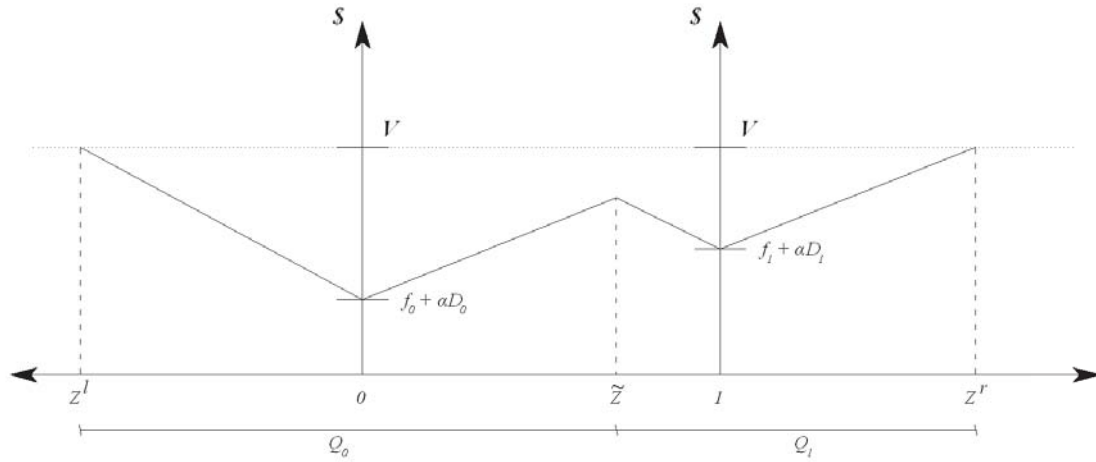
lo que equivale al beneficio neto (V) menos la tarifa generalizada, que está compuesta por f_0 , que corresponde a la tarifa cobrada por el portador al usuario; α , que corresponde al valor subjetivo del tiempo de los usuarios; D , que es la demora del terminal y depende tanto de la demanda total que este enfrenta y la capacidad que dispone; finalmente, el término asociado al costo de traslado es lineal respecto a la distancia z entre el terminal y el usuario, quedando el costo de viaje capturado en el parámetro $t/4$.

En forma análoga es posible construir el beneficio obtenido por un usuario que acude al terminal 1, como se muestra en la siguiente expresión

$$U_1 = V - f_1 - \alpha \cdot D(Q_1, K_1) - \left(\frac{t}{4}\right) (1 - z) \quad (2)$$

Siguiendo esta estructura de utilidad de los usuarios es posible construir las áreas de captura de cada terminal en la ciudad, como se muestra en la figura siguiente

Figura 2 Distribución de los consumidores y áreas de captura de usuarios de los terminales de transporte



La determinación del último usuario en consumir (z^l y z^r) se obtiene del despeje de z cuando se igualan U_0 y U_1 a cero.² El usuario indiferente, \tilde{z} , se obtiene de la relación $U_0 = U_1$. A partir de lo anterior es posible determinar las demandas de cada terminal como la agregación de usuarios bajo el área de captura.

$$Q_0 = \tilde{z} - |z^l| = \frac{(t/4) + 2V}{t/2} + \frac{f_1 + \alpha D_1 - 3(f_0 + \alpha D_0)}{t/2} \quad (3)$$

$$Q_1 = z^r - \tilde{z} = \frac{(t/4) + 2V}{t/2} + \frac{f_0 + \alpha D_0 - 3(f_1 + \alpha D_1)}{t/2} \quad (4)$$

Invirtiendo el sistema planteado en (3) y (4) en las variables f_0 y f_1 se obtienen las tarifas que cada usuario debe pagar al portador por el servicio. Estas corresponden a las demandas inversas de los terminales y se resumen a continuación.

$$f_0(Q_0, Q_1, K_0) = 2t + V - 3tQ_0 - tQ_1 - \alpha D_0(Q_0, K_0) \quad (5)$$

$$f_1(Q_0, Q_1, K_1) = 2t + V - 3tQ_1 - tQ_0 - \alpha D_1(Q_1, K_1) \quad (6)$$

Como se puede observar, existe simetría en las expresiones que se deriva de la construcción del problema. Se observa además que las decisiones de un terminal dependen de las decisiones del terminal competidor, lo que los portadores observan a través de la congestión de ambos terminales. Asimismo, al observar con detenimiento (5) y (6) se puede notar que las tarifas de los usuarios –variable de decisión de esta etapa– sólo dependen de parámetros exógenos y de variables de los niveles superiores del problema.

² Para mayores referencias puede consultarse Basso y Zhang (2007)

Establecido el equilibrio en el nivel de los usuarios y siguiendo la metodología de *inducción reversa*³ se establece el equilibrio en el nivel siguiente. Las funciones de pago de los portadores se construyen considerando simetría *ex ante*, por lo que es posible determinar una expresión general para el costo de un operador en función del terminal en que opera. De esta forma se tiene que la función de costo del portador i en el terminal h está dado por la expresión siguiente

$$C^{ih}(Q_h^i, \bar{Q}_h^{-i}) = (c_h + P_h + \beta_h D_h(Q_h, K_h)) \cdot Q_h^i \quad (7)$$

donde c_h representa el costo marginal de operación, considerado constante en el estudio. P_h representa el precio que el terminal h cobra a cada portador y β_h el parámetro asociado al costo por demora de un portador que opera en el terminal h . Esta corresponde al valor subjetivo del tiempo de cada portador, y se asume constante para todos los portadores de un terminal, pudiendo variar entre terminales tal como lo indica el subíndice h . Se observa que el costo del operador depende tanto de su propia demanda (Q_h^i) como la demanda de todos los demás portadores, lo que se denota como \bar{Q}_h^{-i} . Nótese que dada la simetría *ex ante* de los portadores en el terminal público se pueden relacionar las demandas de cada portador con la demanda del terminal a través de la expresión siguiente

$$Q_h = \sum_{i=1}^{N_1} Q_h^i = N_1 Q_h^i \quad (8)$$

La función de demora es definida como el coeficiente entre la demanda y la capacidad de cada terminal. Esta se regula mediante la incorporación de un parámetro a , como se muestra a continuación.

$$D(Q, K) = a \frac{Q}{K} \quad (9)$$

Esta forma funcional representa un incremento lineal de la demora respecto de la demanda, supuesto que se toma para simplificar la complejidad del problema; se impone, eso sí, que los equilibrios deben ser interiores. Con las expresiones anteriores se define la función de utilidad de los portadores, según se muestra a continuación para el caso un portador operando en el terminal 1.

³ La inducción reversa o inducción inversa es el proceso de razonar en el sentido inverso de avance del tiempo, comenzando desde el final de un problema o situación y con el fin de determinar la secuencia de pasos óptima, va estableciendo para cada etapa la decisión adecuada, hasta llegar al inicio del problema. Posee múltiples aplicaciones en programación dinámica y en teoría de juegos es utilizada para resolver el equilibrio del sub juego perfecto.

$$\varphi^{ih}(\mathcal{Q}_1^i, \bar{\mathcal{Q}}_1^{-i}, \mathcal{Q}_0, K_1) = f_1(\mathcal{Q}_0, \mathcal{Q}_1, K_1) \mathcal{Q}_1^i - (c_1 + P_1 + \beta_1 D_1(\mathcal{Q}_1, K_1)) \mathcal{Q}_1^i, \text{ con } i=1, \dots, N_0 \quad (10)$$

Al observar la expresión se puede identificar que esta se compone de los ingresos generados por los usuarios, a los que se restan los costos de producción. Los ingresos monetarios se obtienen multiplicando el valor de la tarifa f_1 , con el número de consumidores \mathcal{Q}_1^i del portador i en el terminal 1. De lo anterior se tiene la condición de primer orden en el nivel de los portadores

$$\partial \varphi^{ih} / \partial \mathcal{Q}_1^i = 0, \quad i = 1, \dots, N_h, \quad h = 0, 1 \quad (11)$$

con lo que es posible determinar la demanda derivada que enfrenta cada terminal. Esta corresponde al resultado del equilibrio del subjuego entre los portadores y se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} \mathcal{Q}_0(\bar{P}, \bar{K}) &= \frac{t(c_1 + P_1 - 2t - V) - g_1(c_0 + P_0 - 2t - V)}{g_0 g_1 - t^2} \\ \mathcal{Q}_1(\bar{P}, \bar{K}) &= \frac{t(c_0 + P_0 - 2t - V) - g_0(c_1 + P_1 - 2t - V)}{g_0 g_1 - t^2} \end{aligned} \quad (12)$$

En esta ecuación se ha simplificado la notación a través de los términos \bar{P} , \bar{K} y g_0 . Mientras los dos primeros corresponden al vector de precios y capacidades de los terminales respectivamente, el último queda determinado por las expresiones siguientes

$$g_0 = 2 \cdot \left(3t + a \frac{\alpha + \beta_0}{K_0} \right) \quad g_1 = \frac{N_1 + 1}{N_1} \left(3t + a \frac{\alpha + \beta_1}{K_1} \right) \quad (13)$$

Es importante notar que las expresiones de g_0 y g_1 dependen tan sólo de parámetros exógenos del problema y de la capacidad de los terminales por lo que se pueden denotar como $g_0(K_0)$ y $g_1(K_1)$

Una vez más se observa que el sistema planteado en (12) sólo depende de las variables P_h y K_h , determinantes del equilibrio del subjuego superior. Con la determinación de las demandas derivadas de los terminales y reemplazando en las ecuaciones anteriores es posible establecer que tanto las tarifas de los usuarios, (5) y (6), la función de demora (9) y la utilidad de los portadores (10) dependen finalmente de los precios y las capacidades de los terminales, P_h y K_h .

Con esto se tiene completamente resuelto los niveles inferiores del problema, restando sólo el nivel superior. En este la utilidad de un agente privado queda determinada por la siguiente función

$$\pi^h(P_0, P_1, K_0, K_1) = \mathcal{Q}_h(\bar{P}, \bar{K}) P_h - m_h K_h \quad (14)$$

ecuación donde se ha simplificado la notación a través de los términos \bar{P} y \bar{K} que corresponden al vector de precios y capacidades de los terminales respectivamente. De la observación de la expresión planteada se deduce que los ingresos corresponden nuevamente a la multiplicación del precio cobrado a los agentes inferiores, en este caso P_h , con la demanda del terminal, Q_h . Los costos de operación del terminal sólo corresponden al costo marginal de invertir en capacidad, donde m_h corresponde al costo marginal y K_h al nivel de capacidad elegida por el agente.

A diferencia de lo planteado por *Basso y Zhang (2007)*, el terminal privado considerado en este trabajo posee integración vertical con el único portador que opera en sus instalaciones. Esta se representa como la suma de las utilidades de los agentes integrados, en este caso, el terminal privado y el portador presente en él. De esta forma se deben redefinir la función objetivo del terminal privado en la forma siguiente

$$\xi_0(\bar{P}, \bar{K}) = \pi^0(\bar{P}, \bar{K}) + \phi^0(Q_0(\bar{P}, \bar{K}), Q_1(\bar{P}, \bar{K}), K_0) \quad (15)$$

Al reemplazar las ecuaciones (10) y (14) en (15) se puede observar que se cancelará el término $Q_1 \cdot P_1$ debido a que el cobro por el uso del terminal al operador corresponde a una transferencia interna y no a una transacción entre diferentes agentes.

En el caso del terminal público es posible definir diferentes funciones objetivos según la política que se quiere aplicar. Para cada una de ella se definirá un escenario, incluyéndose además un escenario similar, pero sujeto a cubrir sus costos (tarificación de *Ramsey*), el que se identificará con el número del escenario acompañado de una letra "r", por ejemplo escenario 4r.

- Escenario 1: Maximiza el bienestar de los consumidores finales⁴

$$\begin{aligned} \xi_{01}(P_0, P_1, K_0, K_1) &= \pi^0(P_0, P_1, K_0, K_1) + \phi^0(P_0, P_1, K_0) \\ \xi_{11}(\bar{P}, \bar{K}) &= ECT(\bar{P}, \bar{K}) \end{aligned} \quad (16)$$

- Escenario 2: Maximiza el bienestar propio y de todos los consumidores finales

$$\begin{aligned} \xi_{02}(P_0, P_1, K_0, K_1) &= \pi^0(P_0, P_1, K_0, K_1) + \phi^0(P_0, P_1, K_0) \\ \xi_{12}(\bar{P}, \bar{K}) &= ECT(\bar{P}, \bar{K}) + \pi^1(\bar{P}, \bar{K}) \end{aligned} \quad (17)$$

⁴ Se puede demostrar que la consideración de un escenario 1 sin tarificación de Ramsey no tiene solución interior debido a que la matriz Hessiana del problema no puede ser semidefinida negativa. Con esto el problema no posee máximo y el escenario planteado no tendrá solución interior.

- Escenario 3: Comportamiento Egoísta. Maximización de utilidades.

$$\begin{aligned}\xi_{03}(P_0, P_1, K_0, K_1) &= \pi^0(P_0, P_1, K_0, K_1) + \phi^0(P_0, P_1, K_0) \\ \xi_{13}(\bar{P}, \bar{K}) &= \pi^1(\bar{P}, \bar{K})\end{aligned}\quad (18)$$

- Escenario 4: Maximiza el bienestar de todos los agentes aguas abajo terminal público

$$\begin{aligned}\xi_{04}(P_0, P_1, K_0, K_1) &= \pi^0(P_0, P_1, K_0, K_1) + \phi^0(P_0, P_1, K_0) \\ \xi_{14}(\bar{P}, \bar{K}) &= EC_1(\bar{P}, \bar{K}) + \sum \phi^{li}(\bar{P}, \bar{K}) + \pi^1(\bar{P}, \bar{K})\end{aligned}\quad (19)$$

- Escenario 5: Comportamiento Tradicional. Maximización beneficio social

$$\begin{aligned}\xi_{05}(P_0, P_1, K_0, K_1) &= \pi^0(P_0, P_1, K_0, K_1) + \phi^0(P_0, P_1, K_0) \\ \xi_{15}(\bar{P}, \bar{K}) &= ECT(\bar{P}, \bar{K}) + \phi^0(\bar{P}, \bar{K}) + \sum \phi^{li}(\bar{P}, \bar{K}) + \pi^0(\bar{P}, \bar{K}) + \pi^1(\bar{P}, \bar{K})\end{aligned}\quad (20)$$

A lo anterior se debe de sumar un escenario de control, utilizado para validar la modelación en base a resultados conocidos de otros autores. De una rápida inspección es posible determinar que el escenario 1 bajo tarificación *Ramsey* (escenario 1r) es equivalente al escenario 2 con tarificación *Ramsey* (escenario 2r).

Al revisar la formulación del modelo y la definición de los escenarios se puede observar que éste aumenta en complejidad conforme se van resolviendo los distintos niveles de estructura vertical. Esto se debe a que niveles superiores utilizan resultados de equilibrio de los niveles inferiores, generando largas expresiones que aumentan la complejidad del problema que se busca desarrollar. Sin embargo las principales dificultades provienen del carácter no lineal del modelo. Al observar las expresiones desarrolladas anteriormente es posible concluir que todas las variables del problema quedan determinadas en función de los precios y las capacidades de ambos terminales. Mientras el carácter de los precios es siempre lineal, las capacidades se tornan no lineales debido principalmente a la introducción de la función de demora en el nivel de los portadores, como se observa a partir de (9) en adelante.

Las características de no linealidad de una las variables de decisión utilizadas agotó las posibilidades a seguir mediante el camino del desarrollo analítico, por lo que la metodología de obtención de resultados apuntó a la simulación numérica de varios escenarios.

3. Simulación y resultados

3.1 Parámetros de simulación

Para la obtención de parámetros de simulación se estudió cuidadosamente el trabajo de *De Borger y Van Dender (2006)*. La determinación de los parámetros a partir de valores validados en otro estudio permite establecer con suficiente confianza que los valores utilizados se corresponden con la realidad que se busca modelar.

Así, para obtener los valores de los parámetros de simulación se modificó el modelo planteado, de manera tal que busque replicar el trabajo de *De Borger y Van Dender*. A través de las reglas de tarificación y capacidad de cada terminal se establecieron comparaciones entre los parámetros de cada modelación, determinando así los valores a utilizar para cada uno de ellos.

Los valores subjetivos del tiempo de los usuarios y portadores (α y β_i respectivamente), junto con el parámetro asociado a la demora fueron establecidos a partir de lo planteado en *Basso (2008)*. Los restantes fueron determinados del modelo de *De Borger y Van Dender (2006)*

Tabla 1: Resumen de valores de parámetros utilizados en la modelación

t	V	a	α	β_0	β_1	c_0	c_1	m_0	m_1
0.5	15	0.3	5	5	5	1	1	1	1

Para el desarrollo de la simulación numérica se utilizó el software *Mathematica*, en el cual se codificó el problema parametrizado en las variables señaladas en la tabla anterior. Los resultados generados pueden ser consultados en las tablas presentadas en anexos.

3.2 Variables de Decisión

Se obtiene que todos los precios del terminal privado son negativos, lo que es esperable de un terminal integrado verticalmente que compite: la integración vertical asegura que el terminal quiera cobrar costo marginal, la competencia que cobre menos (las utilidades las hace el portador). Se observa además que los valores en el terminal privado se reducen a medida que aumenta el número de portadores en el agente competidor (terminal público) pues aumenta la competencia. En el caso del terminal público es posible observar un comportamiento similar, con una tendencia a bajar los precios conforme crece el número de portadores. Además se observa que en el caso de duopolio privado (escenario 3) prácticamente no existen variaciones de precio, siendo los valores más altos de todo los escenarios analizados.

Los resultados muestran además un efecto cruzado en ambos terminales. Mientras el terminal público busca crecer, invirtiendo más en capacidad conforme crece el número de portadores en sus instalaciones, el terminal privado reduce su tamaño. La tasa de crecimiento del terminal público es superior que la tasa de reducción del terminal privado, ya que se observa que una variación cercana al 50% para el caso público versus una reducción del 20% aproximado en el terminal privado. Se obtiene también que cuando el terminal público se comporta como privado las capacidades se reducen a cerca de la mitad de las observadas en los demás escenarios. Esto es indicador de que una competencia privada, con un operador integrado verticalmente produce bajos niveles de capacidad en el terminal no integrado, versus niveles superiores en el terminal integrado. Este efecto puede explicarse por el hecho de que al integrar a los portadores al nivel superior, este termina capturando los niveles de congestión, por lo que se esfuerza en reducirlos.

Al comparar ambas variables es posible entrever las estrategias de los terminales en el juego planteado. El terminal privado compite con niveles de capacidad similares al público si éste sólo posee un portador. Sin embargo al crecer la competencia en este último terminal se debe invertir en capacidad para no elevar los niveles de congestión. El terminal privado reacciona reduciendo su capacidad, con lo que ambos deben reducir sus precios para poder seguir compitiendo. En el caso del terminal público esta reducción queda limitada por la restricción de no generar pérdidas, sin lo cual se tarificaría muy por debajo en el equilibrio.

3.3 Costos para Consumidores Finales y Demanda de Terminales

Los costos generalizados en el terminal privado en el equilibrio poseen baja variabilidad, en todos los escenarios, alcanzando su máximo valor cuando el número de portadores en el terminal público es igual a 1, comenzando a decrecer a medida que aumentan en número los portadores. Esto puede deberse a la posibilidad de ejercer poder de mercado ante la falta de oferta en el terminal rival, situación que capta el agente.

El escenario 3 presenta las tarifas más elevadas, siendo además el menos sensible a bajar las tarifas por efecto del aumento de portadores en el terminal público. Esto es de esperar en un duopolio privado como el modelado en este escenario, donde la inexistencia de regulación por parte de la empresa pública competidora deriva en mayor captura de excedentes por parte de los agentes, lo que se traduce en menor inversión y mayores precios.

Las tarifas del terminal público bajan a medida que aumenta la competencia de portadores, sin embargo las diferencias de tarifas son mucho mayores a las producidas en el terminal privado, donde se observaban disminuciones en torno al 15%. El terminal público genera disminuciones de tarifas que fluctúan alrededor del 50%. La excepción a esto lo constituye el escenario 3, donde las reducciones son sólo del orden del 20%.

3.4 Utilidades de los Agentes

Las utilidades son siempre negativas en el caso del terminal privado, pero en rigor, lo razonable de ver es el resultado de la estructura vertical que incluye al portador. En este caso, la utilidad es positiva, como es de esperarse para un agente privado maximizador de utilidades, aunque las utilidades son obviamente capturadas por el portador. Esta situación es esperable toda vez que es el quién enfrenta a los usuarios, siendo el agente que logra extraer excedente del consumidor.

Como es de esperarse, el escenario 3 genera las mayores utilidades para los terminales, sin embargo para este escenario en particular los portadores del terminal público ven reducida sus utilidades respecto a los otros escenarios. Esto se debe a que el terminal genera utilidades a costa de los excedentes de los agentes que se encuentran aguas abajo. La misma situación se observa en el escenario 2 cuando el número de portadores en el terminal público es 1 y 5, situación en que no se requiere cubrir costos pues en el equilibrio

el terminal público es rentable. Cuando el terminal público se ve obligado a cubrir sus costos, la captura de excedentes se realiza por parte de los portadores, quienes aumentan sus utilidades reduciendo los excedentes de los consumidores.

Al revisar el escenario 3 es posible establecer que en todos los casos las utilidades del agente privado e integrado superaron a la suma de las utilidades de los portadores y el terminal público. Esto permite sugerir que la integración vertical es deseable pues genera mayores ganancias que la suma de las utilidades individuales, y es resultado de la remoción del fenómeno de doble marginalización. Esta ventaja se ve reducida a medida que crece el número de portadores en el terminal público, ya que una alta atomización del mercado redundaría en utilidades similares, lo que hace menos necesaria integración.

Las utilidades del agente privado e integrado se van reduciendo conforme aumentan los portadores de terminal público. Por otro lado, para el último se observa un crecimiento de las utilidades bajo el escenario 3 a medida que crece la competencia de los portadores. Una excepción la marca el escenario 2, que tiene tendencia a la baja hasta hacer activa la restricción de cubrir los costos.

3.5 Bienestar de los Agentes

En todos los escenarios se obtiene un crecimiento a tasas decrecientes del excedente total del consumidor a medida que crece el número de portadores del terminal público. En términos globales se observan cuatro escenarios muy similares, a excepción del escenario 3 que presenta los índices más bajos. Esto se debe a que en el caso de un duopolio privado buena parte del excedente de los consumidores es captado por los agentes aguas arriba quienes lo capitalizan como utilidades. El escenario que entrega un mayor excedente del consumidor resulta ser el escenario 1r, situación esperable al tener como función objetivo del terminal público la maximización del excedente total de los consumidores. Por el contrario, el escenario de peor rendimiento resulta ser el duopolio privado modelado a través del escenario 3.

De los resultados se desprende que la participación del excedente de los consumidores del terminal público comienza a aumentar debido a un aumento del excedente de los consumidores del terminal público, ya que el excedente de los usuarios del terminal privado se mantiene prácticamente constante. Estas ganancias de excedente se producen por el aumento de usuarios y la baja de precios del terminal público.

En el caso del bienestar social se tiene un comportamiento similar al del excedente del consumidor. Para todos los escenarios es posible determinar una tendencia de crecimiento a tasas decrecientes respecto al número de portadores del terminal público. Sin embargo en este caso la tendencia de estancamiento parece ser más clara.

Como es de esperar, el escenario que entrega los valores más altos de bienestar social resulta ser el escenario 5 que la define como función objetivo. Resulta interesante observar que las diferencias entre este escenario y los tres más cercanos son menores. Esto permite

anticipar que cualquier escenario diferente al duopolio privado (escenario 3) puede satisfacer adecuadamente el objetivo de bienestar social, lo cuál permite desviar la medida a un segundo objetivo deseable.

Al revisar la evolución del bienestar social en forma desagregada por agente económico es posible determinar que a medida que aumenta el número de portadores disminuye el aporte del terminal privado y de los portadores del terminal público, pero aumenta el excedente del consumidor. En el caso de la utilidad del terminal público, estas disminuyen en el escenario 2, pero aumentan en el escenario 3 debido a la acción del duopolio privado.

3.6 Demoras en los Terminales

Un elemento de importancia en el análisis de congestión es la medición de la calidad de servicio. Esta se captura a través del grado de congestión en cada terminal que, como se definió en (9), es el cociente entre la demanda y la capacidad.

En el caso de las demoras del terminal privado se tiene que son siempre constantes, para todos los escenarios e independiente del número de portadores del terminal público. Esto se observa pese a que los niveles de demanda y capacidad para cada caso difieren. En su estudio, *Basso y Zhang* (2007) determinaron que en el caso de un portador privado las demoras son constantes. Esto se deduce analíticamente de la regla de capacidad de un terminal privado, de donde es posible concluir que

$$D(Q_0, K_0) = a \frac{Q_0}{K_0} = \left(\frac{a \cdot m_0}{2(\alpha + \beta_0)} \right)^{1/2} \quad (21)$$

donde se puede ver con claridad que las demoras de un terminal privado son constantes y sólo dependen de parámetros del propio terminal. Este resultado se debe principalmente al carácter lineal de la función de demora elegida y a la existencia de costos marginales constantes. La intuición en este caso es similar, pero la demostración analítica es más difícil debido a la complejidad introducida en la función objetivo por la integración vertical. Para demostrar la dependencia del resultado en la función de congestión, se volvieron a realizar todos los cálculos, pero esta vez usando una función de demora que depende del cuadrado de la capacidad. Con esto se comprobó que la demora ya no era constante.

Las demoras resultantes en el equilibrio para el terminal público arrojan que éstas son siempre menores que el caso del terminal privado, y que dependen del número de portadores presentes en el terminal, donde los valores aumentan a medida que crece el número de éstos debido a mayor congestión.

Al nivel comparativo, los niveles de servicio en ambos terminales mantienen niveles de congestión bajos, siendo siempre menor el terminal público. Además los niveles de congestión más bajos se encuentran asociados a mayores precios por parte de los terminales a los portadores debido a que el terminal debe tarifcar adecuadamente si desea

disminuir las demoras en sus instalaciones. Se observa además que las demoras del terminal público son similares en los escenarios 1r, 2 y 3, sin embargo los precios que los terminales cobran a los portadores como resultados de los equilibrios cambian. En este sentido el escenario 3 resulta ser el menos deseable pues deriva en precios elevados para los portadores y tarifas altísimas para los consumidores. Por el contrario, los escenarios 1r y 2 obtienen similares niveles de servicio a tarifas y precios más bajos. En el caso de los otros escenarios no existen diferencias sustanciales entre ambos terminales respecto a las demoras, situación que lleva a concluir que en términos de calidad de servicio en el equilibrio, ambos terminales no logran diferenciarse, sino que al contrario, obtienen niveles similares de congestión.

4. Discusión

Los resultados obtenidos del modelo a través de los diferentes escenarios buscan determinar políticas públicas que delineen el comportamiento del terminal estatal.

En primer lugar se puede señalar que este tipo de competencia resulta la mayor parte de las veces no rentable para el operador público, que en su afán de cautelar el interés de diversos agentes termina subsidiando los servicios. Como líneas generales se puede recomendar que de existir un escenario como los planteados se debe procurar que el número de portadores sea alto. En estos casos los niveles de congestión no serían altos siempre y cuando se haga la inversión en capacidad óptima. Además se observa que los precios y las tarifas bajan, lo que redundaría en un aumento de la demanda del terminal y un crecimiento del excedente del consumidor y del bienestar social.

También se demuestra que la existencia de un escenario duopólico entre privados sólo genera desbeneficios, ya que como se vio, este escenario entrega los peores niveles de bienestar y excedentes de consumidor bajos debido a que parte de esa ganancia la captura como utilidad. Esto se refleja en precios elevados y capacidades más reducidas. Este escenario es el menos deseado y permite establecer con claridad que la existencia de mercados completamente privados, al menos en el caso de duopolio, no es óptima.

Respecto al resto de los escenarios, todos generan equilibrios con beneficios a los usuarios, entregando cada uno de ellos matices. Los escenarios en que la preocupación del agente público por considerar a gran parte de los agentes (escenarios 4 y 5) redundaría en beneficios a los usuarios, con tarifas bajas, demoras razonables además de precios y capacidades adecuadas. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos se recomienda la utilización de funciones objetivo en que la preocupación del agente se concentre sólo en los usuarios finales. Esto produce similares niveles de bienestar, a un menor costo para el Estado. Incluso, si el número de portadores es bajo, es posible que en el equilibrio, el terminal público genere utilidades.

5. Referencias

- Baake, P. y Mitusch, K. (2007) Competition with congestible networks. *Journal of Economics*. 91, 151-176.
- Basso, L. J. (2008) Airport deregulation: Effects on pricing and capacity. *International Journal of Industrial Organization*. 26, 1015-1031.
- Basso, L. J. y Zhang, A. (2007) Congestible facility rivalry in vertical structures. *Journal of Urban Economics*, 61, 218-237.
- Basso, L. J. y Zhang, A. (2008) On the relationships between airports pricing models. *Transportation Research Part B*, 42, 725-735.
- Cremer, H., Marchand, M. y Thisse, J. (1989) The public firm as an instrument for regulating and oligopolistic market. *Oxford Economic Papers*, 41, 283-301.
- De Borger, B. y Van Dender, K. (2006) Prices, capacities and service levels in a congestible bertrand duopoly. *Journal of Urban Economics*. 60, 264-283.
- De Borger, B., Dunkerley, F. y Proost, S. (2007) Strategic investment and pricing decisions in a congested transport corridor. *Journal of Urban Economics*. 62, 294-316.
- De Palma A. y Lindsey R. (2000) Private toll roads: competition under various ownerships regimes. *The Annals of Regional Science*, 34, 13-35.
- Fjell, K. y Heywood, J. S. (2000) Public Stackelberg leadership in a mixed oligopoly with a foreign firm. *Australian Economics Papers*, 41:3, 267-281.
- Lindsey, R. y Verhoef, E. (2000) Traffic congestion and congestion pricing. *Tinbergen Institute Discussion Paper*. 101/3.
- Matsumura, T. y Matsushima, N. (2004) Endogenous cost differentials between public and private enterprises: a mixed duopoly approach. *Economica*, 71, 671-688.
- Matsumura, T. y Matsushima, N. (2007) Cost differential and mixed strategy equilibria in a hotelling model. *The Annals of Regional Science*. 43, 215-234.
- Sanjo, Y. (2007) Hotelling's location model with quality choice in a mixed duopoly. *Economics Bulletin*. 18, 1-11.
- Van Dender, K. (2008) Nash-Bertrand competition in a duopoly with congestion. *Working Paper*.
- Ware, R. y Winter, R. A. (1986) Public pricing under imperfect competition. *International Journal of Industrial Organization*. 4:1, 87-97.
- Zhang, A. y Zhang, Y. (2006) Airport capacity and congestion when carriers have market power. *Journal of Urban Economics*. 60, 229-247.

6. Anexos

Tabla 28: Resultados de simulación, todos los escenarios con $N_1 = 1$

Escenario	N° Portadores	Terminal	λ	P	K	f	Q	D	F.O.	Π	ϕ	$\Sigma\phi$	CS	CST	SW
Escenario 1: Terminal PIV vs. Max CST															
1r	1	0	N/A	-1.741	5.152	8.016	3.689	0.215	19.543	-11.575	31.118	31.118	12.533	19.966	55.42
	1	1	0.636	2.449	6.741	9.415	2.752	0.122	19.966	0	15.911	15.911	7.433		
Escenario 2: Terminal PIV vs. Max CST+Π															
2	1	0	N/A	-1.731	5.301	8.186	3.796	0.215	20.754	-11.874	32.628	32.628	12.696	17.06	51.867
	1	1	N/A	4.378	5.123	10.352	2.092	0.122	21.093	4.033	10.02	10.02	4.364		
2r	1	0	N/A	-1.741	5.152	8.016	3.689	0.215	19.543	-11.575	31.118	31.118	12.533	19.966	55.42
	1	1	-0.364	2.449	6.741	9.415	2.752	0.122	19.966	0	15.911	15.911	7.433		
Escenario 3: Terminal PIV vs. Max Π															
3	1	0	N/A	-1.708	5.458	8.377	3.908	0.215	22.116	-12.134	34.25	34.25	12.704	14.549	47.286
	1	1	N/A	6.481	3.36	11.376	1.372	0.122	5.53	5.53	5.091	5.091	1.846		
3r	1	0	N/A	-1.728	5.155	8.032	3.691	0.215	19.614	-11.533	31.147	31.147	12.518	19.75	55.978
	1	1	0.922	1.973	5.354	9.324	2.713	0.152	0	0	16.614	16.614	7.232		
Escenario 4: Terminal PIV vs. Max Π+$\Sigma\phi$+CST1															
4	1	0	N/A	-1.693	3.664	6.465	2.624	0.215	9.831	-8.105	17.935	17.935	4.435	77.456	63.042
	1	1	N/A	-17.757	12.637	0.04	9.05	0.215	48.776	-173.332	149.088	149.088	73.02		
4r	1	0	N/A	-1.728	5.155	8.032	3.691	0.215	19.614	-11.533	31.147	31.147	12.518	19.75	55.978
	1	1	0.9221	1.973	5.354	9.324	2.713	0.152	23.846	0	16.614	16.614	7.232		
Escenario 5: Terminal PIV vs. Max SW															
5	1	0	N/A	-1.711	4.192	7.015	3.002	0.215	12.9	-9.328	22.228	22.228	8.603	50.813	67.017
	1	1	N/A	-11.24	9.515	3.204	6.814	0.215	67.017	-86.108	89.411	89.411	42.21		
5r	1	0	N/A	-1.725	5.157	8.037	3.693	0.215	19.64	-11.529	31.169	31.169	12.518	19.675	55.99
	1	1	1.901	1.901	5.131	9.316	2.699	0.158	55.99	0	16.674	16.674	7.157		

Tabla 29: Resultados de simulación, todos los escenarios con $N_1 = 5$

Escenario	Nº Portadores	Terminal	λ	P	K	f	Q	D	F.O.	Π	ϕ	$\Sigma\phi$	CS	CST	SW
Escenario 1: Terminal PIV vs. Max CST															
1r	1	0	N/A	-1.888	4.626	7.304	3.313	0.215	15.191	-10.88	26.071	26.071	10.975	37.125	65.372
	5	1	0.944	1.897	10.065	5.596	5.305	0.158	37.125	0	2.611	13.056	26.15		
Escenario 2: Terminal PIV vs. Max CST+Π															
2	1	0	N/A	-1.889	4.685	7.365	3.355	0.215	15.59	-11.024	26.613	26.613	11.244	35.095	64.909
	5	1	N/A	2.324	9.593	5.948	5.056	0.158	37.254	2.159	2.413	12.066	23.85		
2r	1	0	N/A	-1.888	4.626	7.304	3.313	0.215	15.191	-10.88	26.071	26.071	10.975	37.125	65.372
	5	1	-0.056	1.897	10.065	5.596	5.305	0.158	37.125	0	2.611	13.056	26.15		
Escenario 3: Terminal PIV vs. Max Π															
3	1	0	N/A	-1.876	5.242	7.977	3.754	0.215	19.74	-12.286	32.026	32.026	12.877	19.724	55.922
	5	1	N/A	6.482	5	9.379	2.635	0.158	12.082	12.082	0.875	4.375	6.848		
3r	1	0	N/A	-1.875	4.629	7.32	3.315	0.215	15.25	-10.843	26.094	26.094	10.987	36.79	65.876
	5	1	0.486	1.578	8.313	5.489	5.268	0.19	0	0	2.767	13.836	25.803		
Escenario 4: Terminal PIV vs. Max Π+$\Sigma\phi$+CST1															
4	1	0	N/A	-1.824	3.726	6.402	2.669	0.215	9.828	-8.593	18.422	18.422	4.73	77.734	63.227
	5	1	N/A	-5.189	12.627	0.028	9.043	0.215	48.669	-59.551	7.043	35.216	73.004		
4r	1	0	N/A	-1.875	4.629	7.32	3.315	0.215	15.25	-10.843	26.094	26.094	10.987	36.79	65.876
	5	1	0.4864	1.578	8.313	5.489	5.268	0.19	39.639	0	2.767	13.836	25.803		
Escenario 5: Terminal PIV vs. Max SW															
5	1	0	N/A	-1.854	4.2623	6.9469	3.0523	0.215	12.906	-9.921	22.8272	22.8272	8.93429	51.056	67.224
	5	1	N/A	-1.346	9.4969	3.1983	6.8009	0.215	67.224	-18.65	4.38232	21.9116	42.1215		
5r	1	0	N/A	-1.871	4.632	7.327	3.317	0.215	15.286	-10.84	26.126	26.126	11.003	36.6	65.899
	5	1	0.234	1.504	7.892	5.474	5.247	0.199	65.899	0	2.803	14.013	25.597		

Tabla 30: Resultados de simulación, todos los escenarios con $N_1 = 10$

Escenario	Nº Portadores	Terminal	λ	P	K	f	Q	D	F.O.	Π	ϕ	$\Sigma\phi$	CS	CST	SW
Escenario 1: Terminal PIV vs. Max CST															
1r	1	0	N/A	-1.915	4.497	7.138	3.221	0.215	14.234	-10.666	24.9	24.9	10.313		
	10	1	1.018	1.817	10.742	4.694	5.913	0.165	42.524	0	0.964	9.639	32.212	42.524	66.397
Escenario 2: Terminal PIV vs. Max CST+Π															
2	1	0	N/A	-1.914	4.475	7.115	3.205	0.215	14.089	-10.609	24.699	24.699	10.189		
	10	1	N/A	1.669	10.913	4.561	6.007	0.165	42.507	-0.886	0.988	9.877	33.204	43.393	66.474
2r	1	0	N/A	-1.915	4.497	7.138	3.221	0.215	14.234	-10.666	24.9	24.9	10.313		
	10	1	0.018	1.817	10.742	4.694	5.913	0.165	42.524	0	0.964	9.639	32.212	42.524	66.397
Escenario 3: Terminal PIV vs. Max Π															
3	1	0	N/A	-1.913	5.19	7.884	3.716	0.215	19.196	-12.3	31.496	31.496	12.845		
	10	1	N/A	6.483	5.332	8.914	2.935	0.165	13.694	13.694	0.347	3.473	8.428	21.273	57.636
3r	1	0	N/A	-1.903	4.5	7.153	3.222	0.215	14.287	-10.632	24.919	24.919	10.329		
	10	1	0.4	1.528	8.986	4.588	5.88	0.196	0	0	1.038	10.379	31.858	42.187	66.853
Escenario 4: Terminal PIV vs. Max Π+$\Sigma\phi$+CST1															
4	1	0	N/A	-1.854	3.741	6.387	2.679	0.215	9.827	-8.709	18.535	18.535	4.799		
	10	1	N/A	-3.62	12.625	0.025	9.041	0.215	48.644	-45.357	2.1	21.002	73	77.799	63.27
4r	1	0	N/A	-1.903	4.5	7.153	3.222	0.215	14.287	-10.632	24.919	24.919	10.329		
	10	1	0.4001	1.528	8.986	4.588	5.88	0.196	42.237	0	1.038	10.379	31.858	42.187	66.853
Escenario 5: Terminal PIV vs. Max SW															
5	1	0	N/A	-1.887	4.278	6.931	3.064	0.215	12.906	-10.061	22.967	22.967	9.012		
	10	1	N/A	-0.112	9.493	3.197	6.798	0.215	67.271	-10.251	1.35	13.503	42.101	51.113	67.271
5r	1	0	N/A	-1.9	4.503	7.16	3.225	0.215	14.323	-10.629	24.951	24.951	10.349		
	10	1	0.139	1.454	8.517	4.571	5.857	0.206	66.878	0	1.058	10.583	31.623	41.972	66.878

Tabla 31: Resultados de simulación, todos los escenarios con $N_1 = 20$

Escenario	Nº Portadores	Terminal	λ	P	K	f	Q	D	F.O.	Π	ϕ	$\Sigma\phi$	CS	CST	SW
Escenario 1: Terminal PIV vs. Max CST															
1r	1	0	N/A	-1.93	4.422	7.043	3.167	0.215	13.695	-10.534	24.229	24.229	9.879	45.877	66.751
	20	1	1.06	1.775	11.119	4.174	6.265	0.169	45.877	0	0.359	7.179	35.998		
Escenario 2: Terminal PIV vs. Max CST+Π_1															
2	1	0	N/A	-1.925	4.338	6.957	3.107	0.215	13.167	-10.319	23.486	23.486	9.366	49.36	66.809
	20	1	N/A	1.249	11.745	3.675	6.617	0.169	45.883	-3.477	0.388	7.758	39.994		
2r	1	0	N/A	-1.93	4.422	7.043	3.167	0.215	13.695	-10.534	24.229	24.229	9.879	45.877	66.751
	20	1	0.06	1.775	11.119	4.174	6.265	0.169	45.877	0	0.359	7.179	35.998		
Escenario 3: Terminal PIV vs. Max Π_1															
3	1	0	N/A	-1.934	5.159	7.83	3.695	0.215	18.884	-12.305	31.19	31.19	12.813	22.222	58.565
	20	1	N/A	6.483	5.516	8.646	3.108	0.169	14.632	14.632	0.141	2.826	9.409		
3r	1	0	N/A	-1.918	4.424	7.057	3.168	0.215	13.744	-10.502	24.246	24.246	9.897	45.544	67.175
	20	1	0.352	1.504	9.375	4.069	6.233	0.199	0	0	0.394	7.887	35.647		
Escenario 4: Terminal PIV vs. Max $\Pi_1 + \Sigma\phi + CST_1$															
4	1	0	N/A	-1.872	3.749	6.378	2.685	0.215	9.826	-8.775	18.601	18.601	4.838	77.836	63.294
	20	1	N/A	-2.836	12.624	0.023	9.04	0.215	48.63	-38.266	0.695	13.898	72.998		
4r	1	0	N/A	-1.918	4.424	7.057	3.168	0.215	13.744	-10.502	24.246	24.246	9.897	45.544	67.175
	20	1	0.3518	1.504	9.375	4.069	6.233	0.199	43.534	0	0.394	7.887	35.647		
Escenario 5: Terminal PIV vs. Max BS															
5	1	0	N/A	-1.906	4.288	6.922	3.071	0.215	12.906	-10.141	23.048	23.048	9.056	51.145	67.298
	20	1	N/A	0.505	9.49	3.196	6.796	0.215	67.298	-6.058	0.465	9.304	42.089		
5r	1	0	N/A	-1.915	4.428	7.064	3.171	0.215	13.779	-10.499	24.278	24.278	9.919	45.316	67.2
	20	1	0.086	1.43	8.88	4.05	6.211	0.21	67.2	0	0.405	8.105	35.397		