

I N S T I T U T O   D E   E C O N O M Í A



T E S I S   d e   M A G Í S T E R

**2016**

Medición de la eficiencia de utilizar remates de permisos en aeropuertos  
congestionados

**Javiera de la Carrera García**

[www.economia.puc.cl](http://www.economia.puc.cl)



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE**  
**INSTITUTO DE ECONOMIA**  
**MAGISTER EN ECONOMIA**

**TESIS DE GRADO**  
**MAGISTER EN ECONOMIA**

**De la Carrera García, Javiera**

**Julio, 2017**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MAGISTER EN ECONOMIA**

**Medición de la eficiencia de utilizar remates de  
permisos en aeropuertos congestionados**

**Javiera de la Carrera García**

Comisión

Martín Besfamille

Francisco Silva

Hugo Silva

**Santiago, Julio de 2017**

# Medición de la eficiencia de utilizar remates de permisos en aeropuertos congestionados

Javiera de la Carrera García\*

22 de Junio, 2017

## Resumen

En el último tiempo, las autoridades de los aeropuertos de Estados Unidos y Europa han propuesto implementar una asignación secundaria de permisos (slots) para controlar el problema de la congestión. Sin embargo, no existe un consenso sobre la eficiencia de utilizar este tipo de mecanismo. Dado esto, en este trabajo se busca analizar cuantitativamente si implementar un sistema de remate de permisos, puede llevar a aumentar el beneficio neto frente al actual sistema de cobro por peso del avión que tienen los principales aeropuertos de Estados Unidos. Utilizando los datos del trabajo de Morrison y Winston (2007) para el aeropuerto de Chicago y adaptando el modelo teórico de Basso y Silva, se encuentran los siguientes resultados. El sistema de remate de permisos es más eficiente que un escenario sin regulación. Sin embargo, este sistema sólo logra que algunas aerolíneas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer. Por otro lado, al extender el análisis hacia estudiar la eficiencia de implementar un mecanismo más fácil como la tarifa uniforme, se encuentra que esta logra resultados similares al remate de permisos. No obstante, en la mayoría de los periodos lo consigue de manera más ineficiente. Así, calculando la eficiencia relativa de cada sistema al primer mejor, se encuentra que estas no superan el 40 %, lo que lleva a preguntarse si se justifica implementar los sistemas analizados y si esto es así, cuál de los dos.

---

\*Trabajo realizado en el Seminario de Tesis de Magister, Comisión de Microeconomía, Instituto de Economía UC. Agradezco en forma especial al profesor Hugo Silva por su continua guía y disposición en el desarrollo de esta tesis. Además, quiero dar gracias a los profesores de la Comisión Martín Besfamille y Francisco Silva por sus comentarios y sugerencias. A su vez, estoy en deuda con Felipe Sepúlveda, Carlos Alvarado y Luis Fernando Corrales que en distintas formas me han brindado su ayuda. Además, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo tanto en mi paso por la universidad como en el desarrollo de esta tesis. Errores y omisiones son de mi absoluta responsabilidad. Dudas y comentarios a [jdelacarrera@uc.cl](mailto:jdelacarrera@uc.cl).

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Contexto: Mercado de slots en Estados Unidos</b>	<b>4</b>
<b>3. Análisis teórico</b>	<b>5</b>
3.1. Modelo de Basso y Silva . . . . .	5
3.1.1. El óptimo social . . . . .	6
3.1.2. Escenario sin regulación: Laissez faire . . . . .	7
3.1.3. Regulación por cantidad: Remate de permisos . . . . .	7
<b>4. Datos y formas funcionales</b>	<b>9</b>
4.1. Costos operacionales . . . . .	10
4.2. Función de demora . . . . .	10
4.3. Costo por unidad de demora . . . . .	11
4.4. Landing fees . . . . .	11
4.5. Función de demanda . . . . .	11
<b>5. Calibración</b>	<b>12</b>
<b>6. Simulación y resultados</b>	<b>12</b>
6.1. Características de las firmas y del aeropuerto . . . . .	13
6.2. Resultados . . . . .	15
<b>7. Extensiones</b>	<b>25</b>
7.1. Tarifación uniforme . . . . .	25
7.2. Análisis de sensibilidad . . . . .	28
7.2.1. Análisis de la eficiencia relativa de los sistemas estudiados al primer mejor . . .	33
<b>8. Conclusión</b>	<b>34</b>

## Índice de tablas

1.	Características de las aerolíneas en el año 2005 en el aeropuerto de Chicago . . . . .	14
2.	Conductas de las aerolíneas en los periodos congestionados . . . . .	14
3.	Caso ilustrativo periodo 177 . . . . .	22
4.	Caso ilustrativo periodo 822 . . . . .	23
5.	Caso ilustrativo periodo 456 . . . . .	24
6.	Beneficio neto de los escenarios estudiados . . . . .	27
7.	Oferta de vuelos en periodo ilustrativo 177 . . . . .	27
8.	Oferta de vuelos en periodo ilustrativo 8900 . . . . .	28
9.	Beneficio neto con $\varepsilon = -1.3$ . . . . .	29
10.	Beneficio neto con $\varepsilon = -2.3$ . . . . .	30
11.	Oferta de vuelos en periodo ilustrativo 8900 con $\varepsilon = -2.3$ . . . . .	31
12.	Comparación de la tarifa uniforme promedio y precio promedio que “vacía el mercado” bajo los diferentes supuestos de elasticidad precio de la demanda . . . . .	31
13.	Recaudación bajo los dos sistemas de regulación . . . . .	32
14.	Eficiencia relativa de los dos sistemas de regulación al primer mejor . . . . .	33

## Índice de figuras

1.	Caso 1 Firmas grandes . . . . .	18
2.	Caso 2 Firmas pequeñas . . . . .	19
3.	Caso ilustrativo periodo 177 . . . . .	22
4.	Eficiencia relativa al primer mejor . . . . .	33

# 1. Introducción

En 2016, el Departamento de Transporte de Estados Unidos informa que “El promedio de los retrasos de los vuelos ha aumentado desde el 2010, llegando a 58,9 minutos en 2015” y explica que el factor “llegada tardía de los vuelos” causó el 39,8% de los retrasos de los vuelos en 2015 (DOT, 2016). Por otro lado, Eurocontrol (2013) afirma que cerca del 12% de la demanda por viajes aéreos no va a ser satisfecha en el 2035 por la escasez de capacidad en los aeropuertos. Como se puede ver, la congestión en los aeropuertos sigue siendo un problema importante en Estados Unidos y en los países europeos. Los retrasos de los vuelos, el gasto de tiempo para los pasajeros y los mayores costos para las aerolíneas no han disminuido en el tiempo.

Por otro lado, se observa que los principales aeropuertos de estos países han sido regulados consistentemente por los mismos sistemas, a pesar de que diferentes trabajos han hecho proposiciones de regulaciones para controlar el problema de la congestión<sup>1</sup>. En Estados Unidos el principal mecanismo que se ha utilizado es un cobro por peso del avión (el que no tiene una relación directa con la congestión) y, en el último tiempo, una asignación de slots para los aeropuertos más congestionados. Un slot (o permiso) es un derecho que otorga el aeropuerto a la aerolínea titular de este para que pueda despegar o aterrizar en un periodo de tiempo determinado, normalmente de quince minutos. Asimismo, en Europa, desde 1993 los principales aeropuertos han sido regulados por un sistema de asignación primaria de permisos<sup>2</sup>.

Sin embargo, en el último tiempo, las autoridades de estos aeropuertos han tomado nuevas iniciativas. Principalmente, han hecho propuestas de regulaciones considerando implementar la asignación secundaria de permisos<sup>3</sup>, la que consiste en que las firmas pueden intercambiar, vender, comprar o transar los permisos entre ellas. No obstante, no existe un consenso sobre las eficiencias de estas propuestas, como tampoco del uso de una asignación secundaria de slots. Por eso, este trabajo busca analizar cuantitativamente si utilizar un mecanismo de asignación secundaria de slots, como un remate de permisos (subasta), puede llevar a aumentar el beneficio neto frente al actual sistema de cobro por peso del avión que tienen los principales aeropuertos de Estados Unidos.

Para esto, la tesis se basa en el modelo teórico de Basso y Silva<sup>4</sup>. Los supuestos de este modelo se centran en que hay un aeropuerto y que, particularmente, cada aerolínea es un monopolio en un mercado (mercados independientes). Es decir, las firmas sólo tienen en común la congestión del aeropuerto. Además, los autores suponen que las aerolíneas tienen costos operacionales asimétricos. Entonces, al igual que el trabajo Verhoef (2010), Basso y Silva comparan un escenario de *laissez faire* (sin regulación) con uno de regulación vía cantidad (remate de permisos) en situaciones donde existe un problema de congestión. Es decir, el modelo considera dos ineficiencias que existen en la literatura de la congestión en el mercado de la aviación; la externalidad producto de la congestión y la ineficiencia producto del poder de mercado de las firmas, pero sólo analiza situaciones donde la primera domina a la segunda. Por otro lado, este modelo se diferencia del trabajo de Verhoef (2010) porque, a diferencia de este, Basso y Silva consideran la interacción de varios mercados independientes. Así, el modelo encuentra que luego de que el regulador realiza el remate, las firmas pueden tomar diferentes conduc-

---

<sup>1</sup>Por ejemplo, trabajos teóricos que han desarrollado proposiciones de tarificación son el de Brueckner (2002) y Pels y Verhoef (2004). Asimismo, un trabajo cuantitativo de regulación vía precios es el de Morrison y Winston (2007). Por otro lado, trabajos como el de Brueckner (2009) y Verhoef (2010) han hecho proposiciones de regulación vía cantidad.

<sup>2</sup>Esta asignación es detallada en la sección dos.

<sup>3</sup>En 2015 la FAA (Federal Aviation Administration) propone para el área de New York cinco alternativas para que exista un mercado secundario de permisos que permita que las aerolíneas puedan vender, comprar y transar entre ellas (FAA, 2015). De la misma forma, la Comisión Europea propone en 2012 un cambio en la regulación vigente de slots para que exista una mejor asignación de ellos. Indica que se debería permitir la introducción de un mecanismo de mercado, es decir, que las aerolíneas puedan transar entre ellas de forma más transparente (EEC, 2012).

<sup>4</sup>Trabajo no publicado aún.

tas, como aumentar o disminuir la cantidad ofrecida de vuelos respecto al escenario sin regulación. Entonces, al considerar estas conductas, los autores predicen que puede disminuir el bienestar social producto de aumentos o disminuciones en la cantidad ofrecida de vuelos de las aerolíneas cuando lo socialmente óptimo es lo contrario, o también por cierres de mercados.

Dado esto, la hipótesis de este trabajo es que el beneficio neto de implementar este sistema de permisos es ambiguo. Entonces, utilizando los datos del trabajo de Morrison y Winston (2007), el trabajo mide la eficiencia de utilizar un sistema de subasta de permisos (cerrada de precio uniforme) en el aeropuerto de Chicago (O'Hare). Específicamente, se utilizan los vuelos observados, los costos operacionales y el costo unitario de la demora de las 17 aerolíneas que ofrecen vuelos en este aeropuerto en el año 2005. Además, se usa la capacidad y los cobros por peso del avión (*landing fees*) del aeropuerto y la función de demora que los autores de este mismo trabajo emplean. Cabe destacar que, dado que una aerolínea de la base de datos considera a "todo el resto de aerolíneas comerciales", se adapta el modelo de Basso y Silva, suponiendo que esta aerolínea es un "borde competitivo".

Así, luego de simular los escenarios planteados, se obtienen los siguientes resultados. En primer lugar, el sistema de remate de permisos es más eficiente que el escenario sin regulación. La ganancia de este mecanismo es de aproximadamente de 262.17 millones de dólares. Luego, específicamente de este sistema se encuentra que las aerolíneas más grandes, American Airlines y United, siempre aumentan su cantidad ofrecida de vuelos luego de que se realiza el remate. Por otro lado, varias pequeñas y el "borde competitivo" siempre la disminuyen, y el resto de las aerolíneas tienen diferentes conductas. Además, se observa que no hay periodos donde se cierre un mercado o donde todas las aerolíneas disminuyan su cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate.

Cabe destacar, entonces, que dado los supuestos utilizados, se encuentra que es socialmente óptimo que algunas firmas aumenten su cantidad ofrecida de vuelos frente al escenario sin regulación (o cobro por peso del avión). Particularmente, las aerolíneas American Airlines y United, y las pequeñas con un costo por unidad de demora alto. Por otro lado, también es socialmente óptimo que el "borde competitivo" nunca ofrezca vuelos en todos los periodos con problemas de congestión. Entonces, el sistema de remate de permisos permite que las aerolíneas tomen diferentes conductas, pero no consigue las cantidades socialmente óptimas ni tampoco que todas las firmas se acerquen a ellas. Esto se debe principalmente, a que este sistema debe conseguir que sucedan dos conductas totalmente contrarias. Es decir, controlar mercados con ineficiencias totalmente opuestas. En las firmas grandes y en algunas pequeñas, domina la ineficiencia producto del poder de mercado; en cambio, en el "borde competitivo" domina la externalidad producto de la congestión.

Por otro lado, teniendo en cuenta que pueden haber otros mecanismos más eficientes que un remate de permisos, se realiza una extensión al modelo central, para comparar la eficiencia de este sistema con uno de tarificación uniforme. Entonces, después de simular este escenario, se encuentra que el mecanismo de remate de permisos es también más eficiente que la tarifa de precio única. Pero, la diferencia de ganancias en este caso es de sólo 34 millones de dólares, lo que nos indica que este mecanismo logra de forma similar al remate de permisos que las firmas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer.

Por otra parte, se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados considerando diferentes valores para la elasticidad precio de la demanda<sup>5</sup>. Se encuentra que, con mayores valores para esta, el sistema de remate de permisos es más eficiente que la tarifa uniforme. Eso se puede explicar porque a mayor elasticidad precio de la demanda, el problema de la congestión es más preocupante; así se remata una cantidad menor de permisos en los periodos congestionados. Entonces, el remate puede

---

<sup>5</sup>Cabe destacar, que el trabajo utiliza el supuesto de que la elasticidad precio de la demanda en cada punto observado es constante. Luego se utilizan diferentes valores para esta en el análisis de sensibilidad.



lograr que las firmas con mayor disposición a pagar por un permiso adicional obtengan una cantidad de permisos mayor que la cantidad ofrecida en ausencia de regulación, que es lo socialmente óptimo para ellas. Y, por otro lado, que el “borde competitivo” disminuya en mayor medida su cantidad ofrecida de vuelos, al no poder obtener una cantidad de permisos similar a los vuelos del escenario sin regulación. En cambio, a pesar de que la tarifa uniforme también logra que las firmas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas, lo consigue de manera más ineficiente que el remate de permisos. Entonces, teniendo en cuenta estos resultados, se realiza un análisis de la eficiencia relativa de estos mecanismos al primer mejor. Se encuentra, que la eficiencia relativa de estos sistemas aumenta con valores más altos para la elasticidad precio de la demanda, y además, que el grado de aumento de esta para el remate de permisos es mayor. Sin embargo, ningún mecanismo logra una eficiencia relativa mayor al 40%. Así, lo anterior lleva a preguntarse si se justifica utilizar un sistema de regulación por cantidad secundario, como el remate de permisos, o un sistema más fácil de implementar, como el de la tarifa uniforme. De la misma forma, también nace la interrogante de que si se justifica implementar alguno de estos dos sistemas.

Por último, con respecto a la literatura de la regulación de la congestión de aeropuertos, existen diferentes trabajos teóricos que han analizado una asignación secundaria de permisos. Sin embargo, estos se diferencian del presente trabajo por diferentes motivos. Por ejemplo, el trabajo de Brueckner (2009), encuentra que un remate de permisos es igual de eficiente que el sistema de tarifa diferenciada. Sin embargo, este estudio supone que las firmas son tomadoras de precios, supuesto que es levantado por el presente trabajo. Otro ejemplo, es el estudio de Verhoef (2010). Este, a diferencia del anterior, considera poder de mercado en las aerolíneas y encuentra que un mecanismo de asignación secundaria de permisos no siempre es óptimo<sup>6</sup>. Sin embargo, este se diferencia del presente trabajo, ya que, considera un mercado duopólico con firmas asimétricas. Asimismo, otros estudios como el de Czerny(2007) o el de Borenstein (1988), también hacen proposiciones teóricas importantes, pero considerando otros escenarios. El primero, que considera la presencia de incertidumbre en el proceso de una subasta, encuentra que una subasta de permisos es óptima cuando los costos de congestión no son lineales. El segundo encuentra que una asignación de permisos de forma competitiva no siempre lleva a que se utilicen de la forma más rentable, ya que la disposición a pagar de una aerolínea por un permiso puede diferir de la valoración que tiene la sociedad de este.

Por otro lado, los trabajos cuantitativos que han estudiado un sistema de regulación por cantidad han tenido otros enfoques. Por ejemplo, el trabajo de Fukui (2010) y el del GAO (1990) estudian el comportamiento anticompetitivo de las aerolíneas incumbentes cuando se implementa un mecanismo de permisos. Ellos encuentran que las aerolíneas grandes tienen la habilidad de limitar la entrada a aerolíneas pequeñas que no están en el mercado. Siguiendo con este enfoque, Starkie (2008) y Kleit y Kobayashi (1996) encuentran lo contrario, que una concentración de aerolíneas refleja un uso eficiente de permisos. Por otro lado, el trabajo de Swaroop et al. (2008) estudia sólo el costo de la reprogramación horaria y de la demora para los pasajeros, encontrando que un sistema de slots mejoraría el bienestar de ellos.

En resumen, el presente trabajo es un aporte a la literatura de la regulación de la congestión de aeropuertos, porque, a pesar de que estos trabajos han hecho proposiciones importantes, no han cuantificado el bienestar social de implementar un sistema de regulación vía cantidad secundario como el remate de permisos junto con un análisis de los patrones de conducta de las aerolíneas. Además, no han comparado cuantitativamente la eficiencia de un remate de permisos en relación a un sistema de tarificación uniforme bajo los supuestos utilizados. Es decir, no han medido la ganancia que tienen estos sistemas para los aeropuertos congestionados de Estados Unidos, considerando la existencia de

---

<sup>6</sup>El trabajo de Verhoef (2010) encuentra que cuando la externalidad producto de la congestión es menor que la ineficiencia producto del poder de mercado, este tipo de sistema es ineficiente, ya que el óptimo social requiere un aumento de los vuelos totales en comparación al escenario sin regulación. Así, no es viable realizar un remate a precio “negativo”, que sería equivalente a un subsidio en tarificación.

poder de mercado en las firmas y la interacción de varios mercados independientes.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección dos se explica la regulación vía cantidad y la historia de esta en Estados Unidos. En la tres se muestra el modelo teórico utilizado. En la sección cuatro se detallan los datos y la forma funcional de la demanda y en la sección cinco se especifica la calibración. En la seis, se detallan las características de las aerolíneas y los resultados y en la sección siete se presentan las extensiones. En la última sección se establecen las conclusiones obtenidas.

## 2. Contexto: Mercado de slots en Estados Unidos

A continuación, se explica de forma general en qué consiste el sistema de permisos o regulación vía cantidad. Luego, se detalla la historia de esta regulación en Estados Unidos, siguiendo el trabajo de Fukui (2010).

El sistema de permisos se puede implementar de dos formas. Por un lado, existe la asignación primaria, la que consiste en que el propietario del aeropuerto entrega slots a las aerolíneas priorizando a las firmas incumbentes. Es decir, permite que puedan heredar los derechos utilizados en el periodo anterior. A esta asignación se la conoce como “*grandfather rights*”. Al mismo tiempo, existe la regla “*use it, or lose it*”. Esta dice que para poder heredar los derechos asignados para el próximo periodo, la aerolínea debe utilizar el 80% de estos. Así, luego de que se confirman los “*grandfather rights*” y se asignan los permisos, los derechos restantes se agrupan nuevamente para ser repartidos en un cincuenta por ciento para las aerolíneas nuevas y el resto para las incumbentes (sin cobro). Por otro lado, está la asignación secundaria. Esta consiste en que se permite que las firmas intercambien, vendan, compren o transen los permisos entre ellas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se detalla la historia de la regulación de los aeropuertos en Estados Unidos. En este país, el problema de la congestión tuvo sus inicios en 1969 cuando la FAA adoptó la Regla de Alta Densidad, HDR (High Density Rule), impuesta por la IATA (International Air Transport Association). Esta estableció límites en el número de salidas y llegadas durante ciertas horas en cinco aeropuertos de Estados Unidos, aquellos con capacidad menor a las frecuencias demandadas (FAA, 2005). Luego, en 1978, se llevó a cabo la desregulación del transporte aéreo comercial. Como consecuencia de esto, la congestión en los aeropuertos y los retrasos de los vuelos aumentaron considerablemente.

Dado esto, en 1986 nace el mercado de permisos, el que se implementa bajo la regla de HDR. Es decir, en los aeropuertos donde la demanda por vuelos excedía la capacidad era obligación utilizar el sistema de slots (Sheng, 2015). Este mercado consistía en que se podían comprar, vender o arrendar libremente los slots. Cuatro aeropuertos de Estados Unidos eran parte de esto: O’Hare, Kennedy, La Guardia y Newark. Sin embargo, frente a esto se generó una gran oposición de los nuevos entrantes, ya que no les facilitaba la entrada. Entonces en 1994, el Congreso permitió que el DOT (Department Of Transportation) diera excepciones a la regla del HDR. En un principio este se mostró reacio pero luego aflojó el criterio, gracias a las peticiones del Congreso y de las partes involucradas.

A continuación de esto, el Congreso en el año 2000 dictó una reforma (Air-21) que eliminaba las restricciones para el uso de slots en los Aeropuertos de O’Hare, Kennedy y la Guardia y además eliminaba las restricciones a excepciones a los cuatro aeropuertos bajo la regla HDR. Dado esto, la congestión y los retrasos volvieron a aumentar fuertemente. Entonces, la FAA tuvo que poner limitaciones temporales en operaciones en hora punta, pero, como no era suficiente, nuevamente propuso

procedimientos para controlar la congestión en estos aeropuertos. Así, sugirió rematar anualmente una cantidad fija de slots en tres de estos cuatro aeropuertos. Esta regla fue impuesta en 2008; sin embargo, un año después fue eliminada y suspendidas las subastas por la confrontación legal que hicieron las aerolíneas. Entonces, se volvió a utilizar el mercado de permisos con restricciones de operaciones en los cuatro aeropuertos. Luego, los cambios en regulación siguen siendo inciertos.

### 3. Análisis teórico

Cabe destacar que la estructura del mercado es la industria de viajes aéreos comerciales. Esta consiste en que las aerolíneas ofrecen vuelos en cada aeropuerto en que son demandados por los consumidores o pasajeros.

#### 3.1. Modelo de Basso y Silva

Como se menciona anteriormente, el trabajo se basa en el modelo teórico de Basso y Silva.

Los supuestos que considera este modelo son los siguientes. Primero, que hay un aeropuerto y que cada firma  $i$  (aerolínea) opera como monopolio en un mercado (solamente opera en ese mercado). En segundo lugar, las aerolíneas compiten por la capacidad del aeropuerto; es decir, hay interacción a través de la congestión. Entonces, hay  $m$  mercados en total y sólo se considera un periodo de operación. Por ejemplo, el horario punta de la mañana, donde todos los vuelos se congestionan unos a otros. Así, los vuelos ofrecidos por una firma afectan a las demás firmas, pero cada firma toma como dado los vuelos de las otras firmas al elegir los suyos.

Por otro lado, Basso y Silva suponen que las firmas tienen costos marginales de operación constantes,  $CO_i$ , y un costo unitario por demora igual a  $\nu_i^f$ . También, normalizan los costos de operación del aeropuerto a cero y suponen que la función de demora total es  $D(\sum_{k=0}^m F_k)$ . Esta toma en cuenta todos los vuelos ofrecidos,  $\sum_{k=0}^m F_k = F_t$ , y se caracteriza por ser una función creciente y convexa en ellos<sup>7</sup>.

Por último, los consumidores tienen una disposición a pagar por los vuelos (demanda inversa) igual a  $P_i(F_i)$ . Entonces, la firma les cobra a los consumidores una tarifa igual a esta disposición a pagar menos el costo que ellos enfrentan por la demora total. Así, considerando un mercado  $h$ , el ingreso de la firma es:

$$I_h = (P_h(F_h) - \nu_h^p * D(\sum_{k=1}^m F_k)) * F_h \quad (2)$$

donde  $\nu_h^p$  es el costo por unidad de demora de los consumidores.

Entonces, usando estas variables, se puede escribir la ganancia de una firma en un escenario sin regulación como:

$$\Pi_h = (P_h(F_h) - \nu_h^p * D(\sum_{k=1}^m F_k)) * F_h - F_h * (CO_h + \nu_h^f * D(\sum_{k=1}^m F_k)) \quad (3)$$

---

7

$$\frac{\partial D}{\partial F_m} > \frac{\partial D^2}{\partial F_m^2} > 0 \quad (1)$$

Como las firmas y los pasajeros enfrentan la misma función de demora, las firmas van a internalizar el costo por unidad de demora de los pasajeros. Así, tomando en cuenta el mismo mercado h, el costo por unidad de demora para la firma va a ser finalmente,  $\nu_h$ . Entonces, considerando que  $\nu_h = \nu_h^p + \nu_h^f$ , la ganancia de una firma en un escenario sin regulación es finalmente:

$$\Pi_h = P_h(F_h) * F_h - F_h * (CO_h + \nu_h * D(\sum_{k=1}^m F_k)) \quad (4)$$

### 3.1.1. El óptimo social

Para comenzar, se analiza el primer mejor. Entonces, considerando que los costos de operación del aeropuerto se normalizan a cero, el bienestar social (BS) está compuesto por el excedente de los consumidores y las ganancias de las firmas (descritas anteriormente). Así, la función de bienestar social es:

$$BS = \sum_{k=1}^m \int_0^{F_k} P_k(x) dx - F_k * (CO_k + \nu_k * D(\sum_{r=1}^m F_r)) \quad (5)$$

Luego, al diferenciar la ecuación anterior respecto a los vuelos ofrecidos se encuentran las condiciones de primer orden (CPO) que permiten describir el primer mejor. Se muestra a continuación el caso particular del mercado h:

$$\frac{\partial BS}{\partial F_h} = P_h(F_h) - CO_h - \nu_h * D(F_t) - (\sum_{r=1}^m \nu_r * F_r) * \frac{\partial D}{\partial F_h} = 0 \quad (6)$$

Se asume que la Condición de Segundo Orden (CSO) se satisface<sup>8</sup>. Luego reescribiendo la ecuación 6, se puede obtener:

$$P_h(F_h) = \underbrace{CO_h}_{\text{Costo marginal de operación}} + \underbrace{\nu_h * D(F_t) + (\sum_{r=1}^m \nu_r * F_r) * \frac{\partial D}{\partial F_h}}_{\text{Costo marginal de la congestión}} \quad (7)$$

donde se observa que el bienestar social se maximiza al igualarse la disposición a pagar de un vuelo con el costo marginal social del vuelo.

Entonces, mirando la ecuación 7 y siguiendo el trabajo de Brueckner (2009), se puede ver que el costo marginal social del vuelo está compuesto por el costo marginal de operación y el costo marginal de la congestión. A su vez, este último está dado por  $\nu_h * D(F_t)$ , que llamaremos costo marginal directo de la congestión, más el daño marginal de la congestión. Luego, el daño marginal de la congestión está compuesto por la congestión que le provoca una firma a otra al ofrecer un vuelo extra y la congestión que la firma se provoca a sí misma al ofrecer un vuelo extra.

Así, se encuentra la cantidad socialmente óptima de vuelos que debiese ofrecer cada aerolínea, resolviendo el sistema de ecuaciones de las CPO para todas las firmas. Entonces, sumando las cantidades socialmente óptimas encontradas, se obtiene la cantidad total socialmente óptima de vuelos, la que llamaremos  $F^*$ .

<sup>8</sup>Un ejemplo para que la CSO se satisfaga es si se considera una función de bienestar social con una demanda lineal, costos marginales constantes y una función de demora creciente en los vuelos ofrecidos. Con esta podemos asumir que la ecuación 6 decrece con  $F_h$ . Así el Hessiano va a tener una forma cuadrática definida negativa, condición que permite la existencia de un máximo.

### 3.1.2. Escenario sin regulación: Laissez faire

En segundo lugar, se analiza un escenario de *laissez faire* o ausencia de regulación alguna. En este, las firmas maximizan sus ganancias considerando como dados los vuelos ofrecidos por las otras aerolíneas. Entonces, considerando el caso particular del mercado  $h$ , se encuentra la CPO de la firma al diferenciar la ecuación 4 con respecto a  $F_h$  :

$$\frac{\partial \Pi_h}{\partial F_h} = P_h(F_h) + F_h * \frac{\partial P_h(F_h)}{\partial F_h} - CO_h - \nu_h * D(F_t) - \nu_h * F_h * \frac{\partial D(F_t)}{\partial F_h} = 0 \quad (8)$$

Al igual que en el óptimo social, se asume que la CSO se satisface.

Luego, la ecuación 8 nos muestra el beneficio marginal que obtiene una aerolínea por ofrecer un vuelo extra. Este está determinado por la disposición a pagar de los pasajeros (demanda inversa), el “*mark – up*” que cobran las firmas, el costo marginal de operación, el costo marginal directo de la congestión y el daño marginal de la congestión, respectivamente. Este último, en este escenario, está compuesto solamente por la congestión marginal que se provoca la firma a sí misma al ofrecer un vuelo adicional. Luego reescribiendo la ecuación 8, se puede obtener:

$$P_h(F_h) = CO_h + \nu_h * D(F_t) + \nu_h * F_h * \frac{\partial D(F_t)}{\partial F_h} - F_h * \frac{\partial P_h(F_h)}{\partial F_h} \quad (9)$$

Entonces, al comparar este escenario (ecuación 9) con el del primer mejor (ecuación 7), se ven las ineficiencias que se mencionaron en la Introducción. En primer lugar, existe una ineficiencia por la existencia de externalidades. Mirando el escenario de *laissez faire*, se puede ver que la firma sólo considera el costo de la congestión que se impone a sí misma al ofrecer un vuelo adicional y no la congestión que le impone al resto de las firmas por este mismo vuelo. Entonces, como estas sólo internalizan una parte de la congestión que provoca el vuelo extra, van a terminar ofreciendo una cantidad de vuelos superior a la socialmente óptima. Así, considerando una capacidad limitada del aeropuerto (pistas de aterrizaje), es que se produce un problema de congestión. En segundo lugar, está la ineficiencia generada por el poder de mercado que tienen las firmas. Esta hace que ellas quieran disminuir su oferta de vuelos para así obtener mayores ganancias<sup>9</sup>.

Dado lo anterior, se pueden dar dos escenarios: que la primera ineficiencia domine a la segunda o viceversa<sup>10</sup>. Entonces, para dar sentido a una regulación que tenga como objetivo reducir la congestión, el modelo de Basso y Silva se concentra en analizar solamente aeropuertos que estén en el primer escenario; es decir, cuando la ineficiencia producto de la congestión es mayor a la ineficiencia producto del poder de mercado. Para esto, analizan teóricamente un sistema particular de remate de permisos, el que será explicado en la próxima sección.

### 3.1.3. Regulación por cantidad: Remate de permisos

En primer lugar, cabe destacar la motivación existente para utilizar una subasta de permisos. Siguiendo el trabajo de Basso (2010), el razonamiento es que la autoridad del aeropuerto decide ex-ante el número de permisos a rematar. Entonces, las aerolíneas conocen anticipadamente esta cantidad y así la demora total. En concreto, al fijar el número de permisos antes de realizar el remate se resuelve

<sup>9</sup>Esta misma ineficiencia es la que considera el trabajo Pels y Verhoef (2004) y el trabajo de Verhoef (2010).

<sup>10</sup>En el segundo escenario, las firmas no van a ofrecer más vuelos que lo socialmente óptimo. Entonces en estos casos no existe el problema de que las pistas de aterrizaje son un recurso escaso y por ende no hay un problema de congestión.

el problema provocado por la externalidad. Luego, el método es que el remate hace que los permisos los obtengan quienes los valoran más y así el mercado resuelve el problema de la asignación eficiente.

Entonces, dado que en este modelo el regulador del aeropuerto remata una cantidad grande y fija de permisos, igual a la cantidad total socialmente óptima ( $F^*$ ), el mecanismo particular de remate que considera el modelo consiste en una subasta cerrada de múltiples unidades (con todas las unidades idénticas). En este tipo de subasta, se les pide a los oferentes que presenten su oferta o disposición a pagar por cada unidad adicional a rematar.

Por otro lado, la regla de pago para el ganador se puede adoptar de tres formas distintas: a través de la subasta discriminatoria o “*pay as bid*”, de la subasta de precio uniforme y de la subasta Vickrey. Por simplicidad, el modelo utiliza una subasta de precio uniforme, que es equivalente a una subasta de segundo precio. Esta subasta consiste en que todas las unidades son rematadas al precio que “vacía el mercado”, así la cantidad total demandada es igual a la cantidad total ofrecida. Entonces, los oferentes que tienen mayores ofertas ganan las unidades y pagan un precio común por todas ellas, equivalente a la oferta mayor que no fue aceptada.

Adicionalmente, Basso y Silva suponen, al igual que Brueckner (2009), que no hay información privada. Adicionalmente, suponen que las firmas no tienen comportamientos estratégicos en el proceso de la subasta y, por lo tanto, ofertan sus verdaderas valoraciones por los permisos<sup>11</sup>.

Entonces, considerando un mercado  $h$  y suponiendo también que las firmas suponen que el volumen total de vuelos está fijo en ( $F^*$ )<sup>12</sup>, la función de oferta que las firmas le reportan al regulador por un permiso (que es su disposición a pagar por un permiso adicional) es:

$$dp_h = P_h(F_h) + F_h * \frac{\partial P_h(F_h)}{\partial F_h} - CO_h - \nu_h * D(F^*) \quad (10)$$

donde  $F^*$  es el total de permisos a rematar, que en este caso son los vuelos óptimos encontradas por el regulador.

Entonces, como se menciona antes, dado que el volumen total de vuelos está fijo, el nivel de congestión también lo está. Es por esto que al comparar esta función de oferta con la ecuación (8) se puede ver que el término daño marginal de la congestión ahora desaparece.

Luego, como las firmas pagan un precio común equivalente a la mayor oferta no aceptada, las condiciones que caracterizan el equilibrio resultante de este mecanismo van a ser:

$$dp_i(F_i) = w, \quad \text{con } F_i > 0 \quad \forall i \in m \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^m F_k = F^* \quad (12)$$

$$F_i = 0, \quad \text{si } dp_i(F_i) < w \quad (13)$$

Entonces, teniendo en cuenta los dos últimos escenarios planteados (*laissez faire* y remate de permisos), el modelo predice que se pueden dar diferentes situaciones luego de que el regulador realiza

<sup>11</sup>El supuesto de información completa facilita el uso y la discusión de una subasta de precio uniforme, logrando una aproximación a la verdadera (Brueckner, 2009). Sin embargo, sería interesante analizar situaciones donde este supuesto no se cumple.

<sup>12</sup>Como la cantidad total de permisos que se remata es anunciada y conocida por las firmas anticipadamente, estas suponen que el volumen total de vuelos está fijo en  $F^*$ .

el remate. Es decir, las firmas que participan en el remate pueden terminar ofreciendo una mayor o menor cantidad de vuelos frente al escenario sin regulación.

Así, una situación que podría suceder es que todas las firmas ofrezcan una menor cantidad de vuelos luego de que se realice el remate. Otra situación podría ser que no todas las firmas disminuyan su oferta de vuelos luego de que se realice el remate. Más bien podría pasar que la firma más grande aumente su cantidad ofrecida de vuelos, las de tamaño intermedio la disminuyan y una pequeña no ofrezca vuelos, haciendo desaparecer el mercado donde participa<sup>13</sup>. Por último, podría suceder que todas las firmas grandes aumenten su cantidad ofrecida de vuelos y la más pequeña no ofrezca vuelos.

En resumen, al utilizar un sistema de remate de permisos puede disminuir el bienestar social producto de cierres de mercados, aumentos de la cantidad ofrecida de vuelos o también producto de una disminución de la cantidad ofrecida de vuelos, cuando lo socialmente óptimo para estas aerolíneas es aumentarla. Por otro lado, como se remata una cantidad fija de permisos, el sistema corrige el problema de la congestión, logrando que esta disminuya. Así, el beneficio de implementar este sistema de remate de permisos es ambiguo.

Entonces, dado que las autoridades de los aeropuertos de Estados Unidos y Europa están proponiendo implementar mecanismos similares a un remate de permisos (un mercado de permisos secundario), en las próximas secciones se analiza cuantitativamente las predicciones planteadas y se calcula el beneficio neto de utilizar este sistema de remate de permisos frente a un escenario sin regulación.

## 4. Datos y formas funcionales

Para simular y evaluar lo planteado en la sección anterior, se estudia particularmente el aeropuerto de Chicago. Como caso base (sin regulación o *laissez faire*) se utiliza el cobro por peso del avión, que es el que se usa en la mayoría de los aeropuertos de Estados Unidos. A este lo llamaremos *landing fees*. Además, se consideran  $t$  períodos de tiempo, de quince minutos cada uno. Es decir, en el año 2005 hay 35,040 periodos<sup>14</sup>.

Como se menciona anteriormente, los datos se obtienen del trabajo de Morrison y Winston (2007). Específicamente, esta base de datos contiene información de 74 aeropuertos comerciales que están incluidos en los registros del ASPM (Aviation System Performance Metrics) de la FAA. Además, contiene información de 24 aerolíneas. 23 de ellas específicas (22 en Estados Unidos más Air Canada) y una última que considera a todo el resto de las aerolíneas comerciales, llamada “Otras Aerolíneas Comerciales”. En lo que queda del trabajo, a esta también la llamaremos “OAC” o “borde competitivo”.

Por otro lado, cabe destacar que los autores del trabajo mencionado suponen lo mismo que el modelo teórico, que hay una aerolínea por mercado ( $i = m$ ). Sin embargo, esta tesis adapta este supuesto. En concreto, el presente trabajo supone lo mismo que ellos, pero sólo para las aerolíneas específicas. Es decir, en este trabajo la aerolínea “Otras Aerolíneas Comerciales” no es un monopolio independiente, sino, un borde competitivo donde participan  $j$  firmas simétricas<sup>15</sup>. Así, para analizar el “borde competitivo” se hace una adaptación al modelo teórico de Basso y Silva explicado en la

<sup>13</sup>En este trabajo el tamaño de la firma está relacionado directamente con el número de vuelos que ofrece.

<sup>14</sup>Mes-día-hora-cuarto de hora.

<sup>15</sup>La cantidad de firmas que participan del “borde competitivo” está directamente relacionado con la cantidad observada de vuelos del caso base. Es decir, si en un periodo particular del escenario sin regulación (base) hay 17 vuelos en “OAC” van a existir 17 firmas dentro del borde competitivo en ese periodo.

sección anterior. Los detalles se encuentran en el Apéndice 1.

A continuación, se detallan los datos y la forma funcional de la demanda que se utiliza para realizar el estudio.

#### 4.1. Costos operacionales

En primer lugar, se obtienen los costos operacionales de las aerolíneas, ( $FC_i$ ). Esto se realiza de la misma forma que lo hace el trabajo de Morrison y Winston (2007).

Así, se supone que estos costos operacionales están compuestos por el costo de operar el avión (que incluyen el costo del piloto) y por el costo de atención de las aerolíneas. Ambos costos están medidos por hora y se obtienen directamente de la base de datos del trabajo de Morrison y Winston (2007). Entonces, con el costo de operar el avión y el costo de atención, se genera el costo operacional promedio por hora de cada aerolínea<sup>16</sup>. Es decir, se crea un costo operacional asimétrico por aerolínea que no depende del retraso del periodo, sino sólo del funcionamiento de la aerolínea. Luego, como el costo operacional que se necesita es por vuelo, se multiplica el costo operacional promedio anterior por la duración promedio “ajustada” de cada vuelo de cada aerolínea<sup>17</sup>. Esto último se realiza asumiendo que cada aerolínea tiene el promedio de asientos, pasajeros, distancia y duración de los vuelos que fueron registrados en el aeropuerto en el año 2005, mismo supuesto que utiliza el trabajo de Morrison y Winston (2007). Así, finalmente se obtiene el costo operacional de cada vuelo para cada aerolínea para cada periodo  $t$ . Cabe destacar entonces, que los costos marginales de operación de las firmas son constantes.

#### 4.2. Función de demora

La función de demora para cada aeropuerto es la misma que utiliza el trabajo de Morrison y Winston (2007)<sup>18</sup>:

$$D(F_t, RW) = \exp(\alpha * F_t / RW) \quad (14)$$

Esta depende de la cantidad total de vuelos en cada periodo ( $F_t$ ), de la capacidad de la pista de aterrizaje ( $RW$ ) y de un parámetro por congestión,  $\alpha$ . Estas tres variables se obtienen directamente de los datos del trabajo utilizado<sup>19</sup>. Cabe mencionar que la base de datos contiene la cantidad de vuelos ofrecidos por aerolínea (observados) por periodo en el año 2005. Entonces, con estos se obtiene la cantidad total de vuelos en cada periodo.

---

<sup>16</sup>Para más detalles, ver el trabajo de Morrison y Winston (2007), pág 1973. Para las aerolíneas que no tienen estos datos, se utiliza el promedio de estos costos considerando todas las aerolíneas de la base de datos.

<sup>17</sup>Los datos de la duración de los vuelos que tiene la base de datos incluyen el retraso de cada vuelo. Por esto, se crea una nueva variable que contiene sólo la duración de los vuelos sin considerar el retraso. Esto se hace a partir de la función de demora de cada aeropuerto que se explica en la siguiente sección. Esto es lo mismo que realiza el trabajo de Morrison y Winston (2007).

<sup>18</sup>La función de demora está basada en las funciones de retrasos (despegues y aterrizajes) estimadas por Morrison y Winston (1989).

<sup>19</sup>En el trabajo de Morrison y Winston (2007), el parámetro  $\alpha$  es calibrado para asegurar que el retraso promedio de la función de demora es equivalente al retraso medido por la FAA para cada aeropuerto en 2005.



### 4.3. Costo por unidad de demora

El costo por unidad de demora se obtiene de la misma forma que lo hace el trabajo de Morrison y Winston (2007). Este, entonces, se genera partir del costo operacional descrito en la sección 4.1 y del costo que tiene la demora para los pasajeros<sup>20</sup>. Este último también se saca directamente de la base de datos del trabajo de Morrison y Winston (2007).

Así, se encuentra el costo por unidad de demora de las aerolíneas (en minutos),  $\nu_i$ , dividiendo el costo operacional por vuelo de cada aerolínea y el costo de la demora para los pasajeros, por la duración del vuelo (variable ajustada). Entonces, si se multiplica el costo por unidad de demora por la función de demora (ecuación 14), se obtiene el costo por la demora de cada vuelo de cada aerolínea por periodo.

### 4.4. Landing fees

Como se menciona anteriormente, el caso base que se utiliza para la simulación consiste en el mecanismo que utilizan los principales aeropuertos de Estados Unidos en el año 2005, un cobro por peso del avión (*landing fees*). Este no tiene una relación directa con la congestión, por lo que es razonable pensar que es equivalente a un caso sin regulación (*laissez faire*).

Estos cobros también se obtienen de la misma manera que lo hace el trabajo de Morrison y Winston (2007). Como no se tienen los datos de los pesos de los aviones, se utiliza el promedio de la cantidad de asientos de cada vuelo. Es decir, dependiendo de la cantidad de asientos, se usa un peso por asiento (lbs/asientos), dato que se obtiene directamente del trabajo mencionado. Luego se multiplican estos valores por el promedio de asientos de cada aerolínea y por el valor que tiene cada libra de peso, para obtener finalmente el cobro por peso del avión, que es independiente de la cantidad de vuelos que ofrece cada aerolínea<sup>21</sup>.

### 4.5. Función de demanda

En primer lugar, es importante mencionar que no se conoce la función de demanda, por lo que se estima a partir de los datos. Para esto, la tesis se basa en el trabajo de Morrison y Winston (2007), el que utiliza una función de demanda con elasticidad constante.

Sin embargo, a diferencia de ellos, en este trabajo se supone una forma funcional de la demanda que permita que la demanda inversa esté definida para  $F_{mt} = 0$ . Es decir, se necesita una forma funcional que permita el cierre de mercados. Por esto, se utiliza la siguiente demanda lineal:

$$P_{ft}(F_{ft}) = a_{ft} - b_{ft} * F_{ft} \quad (15)$$

donde  $f$  es la aerolínea y  $t$  es el periodo de tiempo.

---

<sup>20</sup>El costo del retraso para los pasajeros es una variable por aeropuerto. Los detalles se encuentran en el trabajo de Morrison y Winston (2007).

<sup>21</sup>Al igual que el trabajo mencionado, se utiliza una tarifa representativa de 2 dólares por 1,000 libras de peso. Para más detalles, ver Morrison y Winston (2007), pág 1971.

## 5. Calibración

En esta sección se detalla la calibración de los parámetros (el intercepto y la pendiente) de la demanda presentada en la sección anterior (ecuación 15).

Cabe destacar, entonces, que se van a tomar en cuenta dos supuestos para realizar esto.

El primero es que la elasticidad precio de la demanda en cada punto observado es igual a -1.5, supuesto equivalente al que hace el trabajo de Morrison y Winston (2007) y el trabajo de Morrison y Winston (1989). Estos suponen que la demanda tiene una elasticidad constante de -1.5<sup>22</sup>. Por otro lado, teniendo en cuenta que los pasajeros pueden variar su elasticidad precio de la demanda por diferentes razones, como lo explica el trabajo de Brons et al. (2002)<sup>23</sup>, es que en la sección de las extensiones se realiza un análisis de sensibilidad utilizando distintos valores para la elasticidad precio de la demanda.

El segundo supuesto es que los datos de los vuelos observados que se obtienen del trabajo de Morrison y Winston (2007) van a representar las cantidades ofrecidas de vuelos de las firmas en el escenario sin regulación.

Entonces, finalmente se calibran los parámetros de la demanda considerando la función de demanda presentada (ecuación 15), el beneficio marginal de una firma por ofrecer un vuelo extra (ecuación 8) y el supuesto para la elasticidad. Los detalles se encuentran en el Apéndice 2.

## 6. Simulación y resultados

La presente sección se compone de tres partes. En la primera se explica cómo se lleva a cabo la simulación de los escenarios planteados. Luego, en la segunda se detallan las características de las firmas que están presentes en el aeropuerto utilizado. Finalmente, en la tercera parte, se presentan los resultados y se explican las conductas que tienen las firmas después de que se realiza el remate.

Teniendo en cuenta lo anterior, la simulación consiste en lo siguiente.

En primer lugar, se calcula el beneficio neto<sup>24</sup> del aeropuerto de Chicago en el año 2005 del caso sin regulación, utilizando los vuelos observados de los datos. Para esto se usa la siguiente ecuación:

$$Beneficio\ Neto = \sum_{k=1}^t \sum_{s=1}^m \int_0^{F_{sk}} P_{sk}(x) dx - F_{sk} * (FC_{sk} + \nu_s * D(F_t, RW)) \quad (16)$$

Luego, se obtienen los vuelos socialmente óptimos que deberían ofrecer las aerolíneas; es decir, los vuelos que maximizan el beneficio neto. Posteriormente, se comparan estos vuelos con los vuelos

---

<sup>22</sup>Los autores consideran este valor porque es consistente con la elasticidad agregada medida en el trabajo de Vany (1974).

<sup>23</sup>Brons et al. (2002) estudian la elasticidad precio de la demanda de los pasajeros, analizando más exhaustivamente los determinantes de ella. Encuentran, que los pasajeros tienen una menor elasticidad precio en el tiempo y que, dependiendo de la clase de pasajero (tipo de viaje), la elasticidad también varía. La clase “negocios” tiene una elasticidad precio menor que la clase “económica”. Además, los pasajeros de Estados Unidos tienen una elasticidad precio mayor que la de los de Europa y Australia.

<sup>24</sup>En este trabajo se maneja el término “beneficio neto” de forma equivalente al “bienestar social”.

observados y se encuentran los periodos con problemas de congestión. Se considera un periodo con problema de congestión si la cantidad total de vuelos socialmente óptima encontrada es menor a la cantidad total de vuelos observada y además si en estos periodos la demora (considerando los vuelos observados) es mayor a 15 minutos <sup>25</sup>.

En tercer lugar, se obtiene en estos periodos la cantidad de vuelos que ofrecen las firmas luego de simular los remates con la cantidad socialmente óptima de permisos. Por último, se calcula el beneficio neto del año 2005 de este sistema de subasta, se compara con el del escenario sin regulación y se analizan los factores que influyen en los resultados.

## **6.1. Características de las firmas y del aeropuerto**

Como se menciona antes, en esta sección se describen las principales características de las aerolíneas que están presentes en el año 2005 en el aeropuerto de Chicago. Para hacer esto más comprensible, se utiliza la Tabla 1.

---

<sup>25</sup>La FAA considera que un vuelo está “a tiempo” si se atrasa menos de quince minutos desde su hora publicada de aterrizaje.

Tabla 1: Características de las aerolíneas en el año 2005 en el aeropuerto de Chicago

AEROLINEA	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	19	22	24
	American A.	A. Canada	Alaska A.	A. West	ExpressJet	A. Southwest	Continental	Comair	Delta	A. Eagle	I. Air	Northwest	OAC <sup>a</sup>	Skywest	United	U. Airways
FC MG <sup>v</sup>	4,345	2,914	3,622	3,913	2,096	3,235	3,662	2,056	3,734	1,528	2,296	3,956	2,782	2,274	4,259	3,074
FA <sup>c</sup>	486	367	285	96	367	389	458	72	415	34	367	480	367	367	526	276
C <sup>d</sup>	3,858	2,547	3,337	3,817	1,729	2,847	3,204	1,984	3,319	1,495	1,929	3,467	2,415	1,907	3,732	2,798
DURACION <sup>e</sup>	179	113	308	216	106	111	153	88	127	86	117	84	86	98	185	116
FC MG-DUR <sup>f</sup>	12,962	5,490	18,595	14,087	3,703	5,985	9,338	3,016	7,904	2,191	4,477	5,538	3,988	3,715	13,132	5,943
V <sup>g</sup>	179	100	166	184	72	93	148	68	155	60	75	144	103	78	180	131
FC <sub>m</sub> <sup>h</sup>	72	49	60	65	35	54	61	34	62	25	38	66	46	38	71	51
vpassaj <sup>i</sup>	106	52	105	118	37	39	87	33	92	34	37	78	56	40	109	79
Q AÑO <sup>j</sup>	190,284	7,580	2,920	7,311	6,186	34	9,558	5,486	11,871	176,072	4,296	14,673	209,920	64,581	220,622	12,310

Fuente: elaboración propia

\*Todos los costos están en dólares.

<sup>a</sup>OAC= "Otras Aerolíneas Comerciales" o "borde competitivo".

<sup>b</sup>FC MG = Costos operacionales por hora.

<sup>c</sup>FA = Costos de atención por hora.

<sup>d</sup>C = Costos de operar el avión por hora.

<sup>e</sup>DURACION = Duración promedio por vuelo (minutos).

<sup>f</sup>FC MG-DUR = Costos operacionales por vuelo.

<sup>g</sup>V = Costo unitario (por minuto) de la demora.

<sup>h</sup>FC<sub>m</sub> = Costos operacionales por minuto.

<sup>i</sup>vpassaj = Costo de la demora de los pasajeros por minuto.

<sup>j</sup>Q AÑO = Vuelos ofrecidos en el año 2005.

Tabla 2: Conductas de las aerolíneas en los periodos congestionados

AEROLINEA	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	19	22	24
	American A.	A. Canada	Alaska A.	A. West	ExpressJet	A. Southwest	Continental	Comair	Delta	A. Eagle	I. Air	Northwest	OAC	Skywest	United	U. Airways
Cantidad de periodos Δ <sup>+</sup> vuelos:																
Remate de permisos	2,668	0	0	206	0	0	13	0	59	1,023	0	149	0	278	2,673	12
% aumento	100%	0%	0%	47%	0%	0%	1%	0%	5%	38%	0%	11%	0%	10%	100%	1%
Primer mejor <sup>a</sup>	2,673	414	644	439	79	9	1,005	6	1,268	114	138	1,269	0	466	2,673	1,448
Cantidad de periodos Δ <sup>-</sup> vuelos:																
Remate de permisos	5	1,180	644	233	901	10	992	711	1,209	1,650	390	1,216	2,673	2,395	0	1,569
Primer mejor	0	766	0	0	822	1	0	705	0	2,559	252	96	2,673 <sup>a</sup>	2,207	0	133
Nº veces participa en un remate <sup>c</sup>	2,673	1,180	644	439	901	10	1,005	711	1,268	2,673	390	1,365	2,673	2,673	2,673	1,581

Fuente: elaboración propia

\*En esta tabla, por un lado, se muestra la cantidad de veces que una aerolínea aumenta o disminuye su cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate, en comparación a la cantidad observada de vuelos del escenario sin regulación. Por otro lado, se muestra la cantidad de veces socialmente óptimas que debiese aumentar o disminuir la cantidad ofrecida de vuelos una aerolínea, en relación a la cantidad observada.

<sup>a</sup>Cantidad de periodos en que es socialmente óptimo que la aerolínea aumente la cantidad ofrecida de vuelos.

<sup>b</sup>Cabe destacar que lo socialmente óptimo es que "OAC" nunca ofrezca vuelos.

<sup>c</sup>Cantidad de periodos en que la aerolínea ofrece vuelos dentro de los periodos con problema de congestión.

Antes de analizar la Tabla 1, cabe destacar que esta y la Tabla 2 sólo consideran las aerolíneas que alguna vez ofrecen vuelos en los periodos con problema de congestión. De las 24 aerolíneas que tiene la base de datos, 7 nunca ofrecen vuelos en el año 2005 en este aeropuerto; entonces, estas aerolíneas no son consideradas en el análisis. Por otro lado, la aerolínea 12 sí ofrece vuelos en este año, pero nunca en un periodo con problema de congestión; por eso tampoco es considerada en el análisis. El detalle de todas las aerolíneas que ofrecen vuelos en el aeropuerto de Chicago se encuentra en el Apéndice 3.

Entonces, en la fila 9 de la Tabla 1 se observa que United es la que ofrece la mayor cantidad de vuelos, seguida de “OAC”, de American Airlines y de American Eagle respectivamente. Estas ofrecen sobre 175,000 vuelos en este año. Luego, la firma 19 ofrece aproximadamente 65,000 vuelos y el resto ofrece bajo 15,000 vuelos. Dado esto, en lo que queda del trabajo se nombrará a estas firmas como las “grandes”, “intermedias” y “pequeñas”, respectivamente.

Además, se encuentra que de las firmas grandes, American Airlines y United tienen un costo por unidad de demora (V) sobre el promedio. De las firmas pequeñas, la 4, 5, 8 y la 10 también tienen este costo sobre el promedio. En cambio, el resto de firmas pequeñas tiene este costo bajo el promedio al igual que la firma grande American Eagle. El promedio del costo por unidad de demora es de 121 dólares<sup>26</sup>. Cabe destacar que el costo de la demora para los pasajeros por minuto ( $v_{pasaj}$ ) influye en este costo en mayor medida que los costos operacionales por minuto ( $FC_m$ ). Sólo las aerolíneas 7, 9 y 15 tienen el costo operacional por minuto mayor al costo de la demora de los pasajeros.

También se puede observar que los costos operacionales por hora (FC MG) tienen un patrón muy similar al costo por unidad de demora. Sólo la firma 7 cambia su patrón. Considerando que el promedio del costo operacional por hora es de 3,109 dólares, se puede ver que la aerolínea 7 tiene este costo sobre el promedio. Sin embargo, los costos operacionales que finalmente tienen las aerolíneas dependen de la duración de los vuelos. Así, en la fila 5 de la Tabla 1 se pueden ver los costos operacionales aproximados por vuelo que tienen estas aerolíneas. Se les llama aproximados porque, como se explicó en la sección de los datos, la variable duración es ajustada, resultando que cada periodo tiene una duración diferente dependiendo de la demora que tenga. Entonces, como no se puede mostrar cada costo operacional por periodo para cada aerolínea, se detalla en la Tabla 1 los costos operacionales de cada vuelo utilizando la variable duración (FC MG·DUR) y no la duración ajustada. Así, mirando la fila 5 de la Tabla 1 se puede ver que los costos operacionales por vuelo tienen un patrón similar a los costos operacionales por hora<sup>27</sup>. Por último, se puede ver que el factor que más afecta a los costos operacionales es el costo de operar el avión (C), siendo relativamente superior a los costos de atención de la aerolínea (FA).

## 6.2. Resultados

Teniendo en cuenta las características de las firmas, en esta sección se detallan y se explican los principales resultados de la simulación.

En primer lugar, considerando la definición planteada de un problema de congestión, se encuentran 2,673 periodos con este problema. Es decir, en 2,673 periodos es óptimo socialmente que la cantidad total de vuelos ofrecidos disminuya.

Sin embargo, cabe destacar, que en algunos periodos es socialmente óptimo que algunas firmas aumenten su cantidad ofrecida de vuelos. Como se ve en la fila 4 de la Tabla 2, se encuentra que American Airlines y United deberían aumentar su cantidad ofrecida de vuelos en todos los periodos

---

<sup>26</sup>El promedio fue calculado considerando todas las firmas que están alguna vez presentes en los periodos con problemas de congestión, es decir, las 16 de la Tabla 1 y 2.

<sup>27</sup>El promedio del costo operacional por vuelo aproximado es de 7,504 dólares.

con problemas de congestión. Asimismo, algunas aerolíneas pequeñas como la 5, la 8, la 10, la 17 y la 24 en la mayoría de los periodos congestionados en que ofrecen vuelos deberían aumentar la cantidad ofrecida de estos. Esto se puede explicar porque, al ser monopolios, la ineficiencia producto del poder de mercado domina a la ineficiencia producto de la congestión, por lo que estas firmas tienden a ofrecer una cantidad de vuelos que es menor a la socialmente óptima. Así, es necesario incentivarlas a que ofrezcan una cantidad mayor.

Al contrario, como se ve en la fila 7 de la misma tabla, el óptimo social para el “borde competitivo” es que en todos los periodos con problemas de congestión disminuya su cantidad ofrecida de vuelos. Específicamente, se encuentra que el óptimo social para este es no ofrecer vuelos. Esto, entonces, se debe a que en este mercado sucede lo contrario a lo anterior. Al ser un borde competitivo, la ineficiencia producto del poder de mercado es muy baja en comparación a la externalidad de la congestión, lo que provoca que sea eficiente que las aerolíneas de este “borde competitivo” disminuyan en gran medida su cantidad ofrecida de vuelos. Sin embargo, lo que provoca que sea socialmente óptimo el cierre de este mercado, es que el beneficio marginal de abrir el mercado u ofrecer un vuelo es muy inferior al costo de congestión que impone ese vuelo al resto de las aerolíneas. Los detalles se pueden ver en el Apéndice 4.

Entonces, se observa que, a diferencia de los resultados del trabajo de Verhoef (2010), cuando se considera la interacción de mercados independientes no es óptimo -desde el punto de vista del planificador social- que sólo opere la aerolínea con menores costos. Más bien, dependiendo del periodo, se encuentran diferentes cantidades socialmente óptimas para cada aerolínea que van a depender de si la ineficiencia producto de la congestión domina a la ineficiencia producto del poder de mercado o viceversa.

Luego, en esta misma tabla se pueden ver las conductas que toman las aerolíneas luego de que se realizan los remates de permisos en los periodos con problemas de congestión. Así, en la fila 8 se observa que las aerolíneas 1, 11, 18, 19 y 22 están presentes en todos los periodos con problema de congestión. Asimismo, se puede ver que American Airlines y United siempre aumentan la cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate, que el “borde competitivo” siempre disminuye esta cantidad y que el resto de las firmas tienen diferentes conductas, en relación a la cantidad ofrecida de vuelos en el caso sin regulación.

Entonces, para poder entender estos resultados y así la eficiencia del remate, en primer lugar, hay que comparar los términos que determinan la función del beneficio marginal de la firma por un vuelo adicional para el caso sin regulación (ecuación 8) y la función de la disposición a pagar de la firma por un permiso adicional (ecuación 10). Esto, ya que, como se vio en el análisis teórico, algunos de estos términos provocan que estas funciones sean diferentes y así que las decisiones de las firmas cambien (su oferta de vuelos).

Así, al observar estas ecuaciones, se puede ver que los tres primeros términos son los mismos para ambas funciones, por lo que sólo generan cambios entre las firmas.

El primero de ellos es la demanda inversa de los pasajeros. Suponiendo linealidad en esta (ecuación 12), se puede ver que su primer componente, el intercepto, genera asimetrías en el intercepto de estas funciones, pero no afecta sus pendientes. En cambio, el segundo componente de esta demanda sí afecta las pendientes de estas funciones. Así, en lo que queda del trabajo, nos referiremos a este último como la sensibilidad de la demanda inversa, siendo una alta sensibilidad una pendiente más empinada. Luego, el segundo término de estas ecuaciones es el “sobreprecio” o “*mark – up*” que cobra la firma. Este término también afecta las pendientes de estas funciones y muestra el poder de mercado que

tiene cada firma<sup>28</sup>. Por último, el tercer término es el costo marginal de operación. Este, en cambio, sólo genera diferencias en el intercepto de estas funciones.

A diferencia de lo anterior, los términos restantes de estas funciones sí se diferencian. Como se observa en la ecuación 8, el costo marginal directo de la congestión,  $\nu_h * D(F_t)$ , y el daño marginal de la congestión que internaliza la firma,  $\nu_h * F_h * \frac{\partial D(F_h)}{\partial F_h}$ , determinan el beneficio marginal de una firma. En cambio, en la ecuación 10 se puede ver que sólo el costo marginal directo de la congestión afecta a la disposición a pagar por un permiso adicional. Entonces, dado lo anterior, es que el costo por unidad de demora,  $V$  de la Tabla 1, va a afectar a estas funciones de dos formas. Por un lado, va a crear una diferencia entre las pendientes de la función de beneficio marginal y de la función de disposición a pagar de las firmas por un permiso adicional. Y, por otro lado, como es parte del costo marginal directo de la congestión, va a afectar al intercepto de estas funciones, es decir, al precio de reserva de los vuelos.

Así, al considerar los términos anteriores, es que en los resultados del remate de permisos se observan las dos decisiones mencionadas en el modelo teórico: aumentar o disminuir la cantidad ofrecida de vuelos en comparación al escenario sin regulación. Estas serán detalladas a continuación.

Cabe destacar que, para analizar estas conductas, se llama “w” al precio que “vacía el mercado”. Así, se utiliza el promedio de este precio, el que llamaremos “w promedio” (1,792 dólares) y un “w’ creado” para especificar un w alto o sobre el promedio (5,000 dólares).

Entonces, en primer lugar, se estudia la conducta “aumentar la cantidad ofrecida de vuelos”, la que está representada en la Figura 1.

En esta, se muestra una firma grande (la cantidad de vuelos ofrecidos es mayor a la de las firmas pequeñas) en un periodo particular. Se observa que la demanda inversa de este mercado se caracteriza por tener una baja sensibilidad (pendiente más plana). Por otro lado, el costo por unidad de demora de la firma está sobre el promedio, lo que provoca que las pendientes de la función beneficio marginal y disposición a pagar de la firma por un permiso adicional sean más diferenciadas que en el resto de las firmas. Dado esto, se puede ver que, independiente del valor del precio que “vacía el mercado”, esta firma siempre aumenta su cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate. Mientras mayor es el precio, menor es el aumento de la cantidad ofrecida<sup>29</sup>. Por otro lado, al mirar la Tabla 2 se observa que American Airlines y United siempre tienen esta conducta, lo que está directamente relacionado con que son las firmas grandes que tienen un costo por unidad de demora alto.

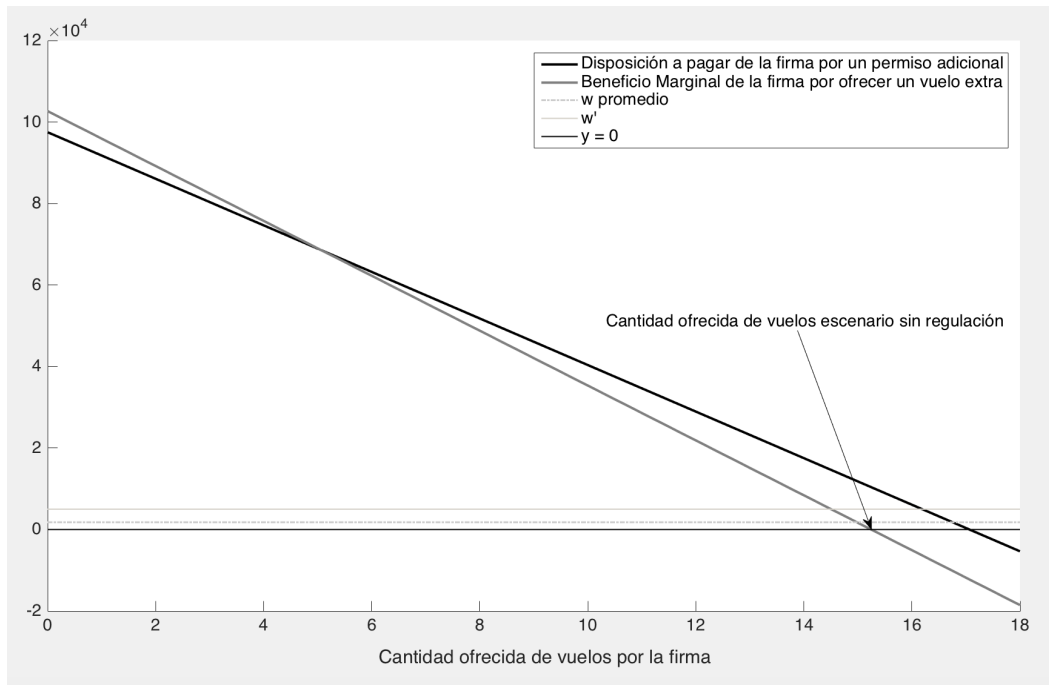
Entonces, la subasta de precio uniforme logra que la cantidad de vuelos ofrecidos por estas firmas se acerquen a la cantidad socialmente óptima, ya que permite que estas aumenten la cantidad ofrecida de vuelos al poder obtener una cantidad mayor de permisos en comparación al caso sin regulación. Dicho de otro modo, al eliminar la externalidad provocada por la congestión, el remate de permisos consigue que las firmas aumenten su cantidad ofrecida de vuelos, que es lo socialmente óptimo para ellas. No obstante, sólo consigue que se “acerquen” a la cantidad socialmente óptima.

---

<sup>28</sup>El “*mark-up*” se puede definir como,  $P/e$ , siendo “P” el precio del vuelo y “e” la elasticidad precio de la demanda. Entonces, considerando el supuesto de demanda lineal, se puede ver que este factor es equivalente al segundo componente de la demanda inversa. Así, afectan de la misma manera al beneficio marginal y a la disposición a pagar por un permiso adicional de la firma.

<sup>29</sup>Cabe mencionar, que la línea horizontal negra de esta figura, muestra  $y=0$ . Entonces, cuando esta línea corta a la función de beneficio marginal, se observa la cantidad de vuelos ofrecidos en el escenario sin regulación.

Figura 1: Caso 1 Firmas grandes



Fuente: elaboración propia

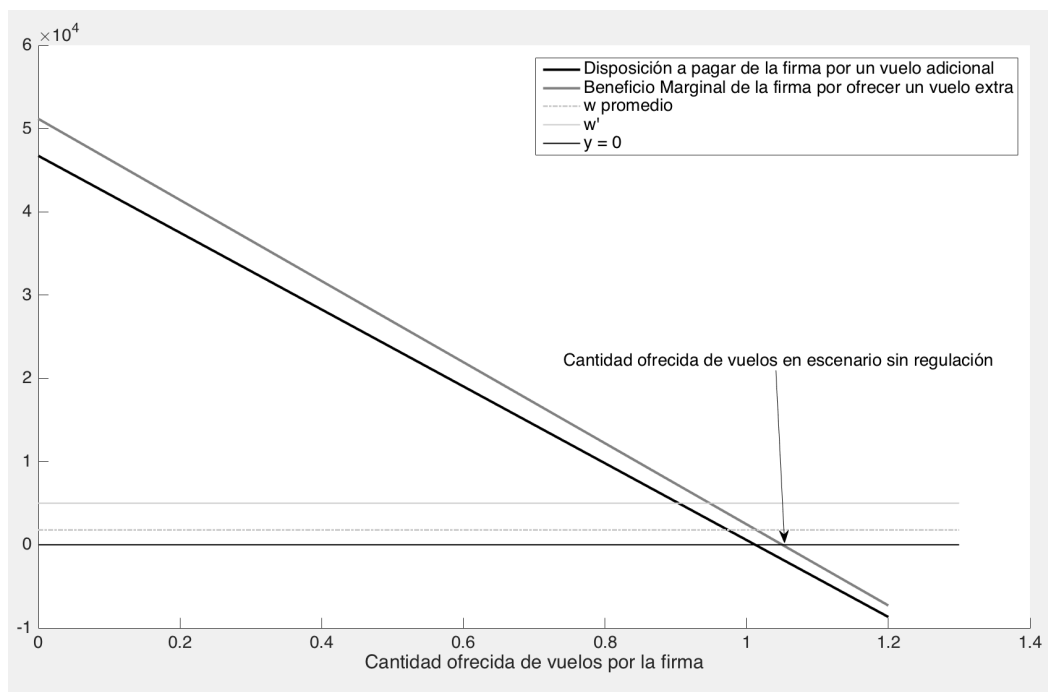
En segundo lugar, se considera la conducta “disminuir la cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza la subasta”. Esta se puede ver en la Figura 2.

A diferencia del caso anterior, este caso representa a una firma pequeña en un periodo particular. La demanda inversa en este mercado tiene una mayor sensibilidad en comparación al resto de los mercados. Además, la firma que opera en él tiene un costo por unidad de demora bajo. Entonces, los dos factores anteriores generan que las pendientes de las dos funciones consideradas (ecuación 8 y 10) sean similares (más cerca de ser paralelas) y más empinadas que las de las otras firmas.

Así, se observa en la Figura 2 que, independiente del valor del precio que “vacía el mercado”, esta firma siempre disminuye su cantidad ofrecida de vuelos después que se realiza el remate, en comparación al escenario sin regulación. Mientras mayor es el precio, mayor es la disminución de la cantidad ofrecida.



Figura 2: Caso 2 Firmas pequeñas



Fuente: elaboración propia

Entonces, al observar la Tabla 2, se encuentra que las firmas pequeñas 2, 4, 6, 7, 9, y 15 toman siempre esta decisión. Al mismo tiempo, si se observa la Tabla descriptiva 1, estas firmas son las aerolíneas pequeñas con un costo por unidad de demora bajo<sup>30</sup>.

Por otro lado, como se menciona al comienzo de la sección, la aerolínea “OAC” también tiene siempre esta conducta. Sin embargo, cabe destacar que, como esta firma tiene supuestos adicionales, el análisis se realiza con las ecuaciones 21 y 30 del Apéndice 1.

Entonces, dado que el tamaño de “OAC” es grande y que la pendiente de la demanda inversa de los mercados en que está presente es la más plana, las funciones de beneficio marginal y de disposición a pagar por un permiso adicional tienen una pendiente más pequeña que las del resto de las firmas. Además, como se observa en la Tabla 1, las firmas de este mercado tienen un costo por unidad de demora bajo. Así, la diferencia de las pendientes de las funciones mencionadas es pequeña, lo que influye directamente en que las firmas de este “borde competitivo” siempre disminuyan la cantidad ofrecida de vuelos.

Luego, si se observa la Tabla 2, se puede ver que sólo para algunas firmas pequeñas lo socialmente óptimo es disminuir su cantidad ofrecida de vuelos en los periodos congestionados en que están presentes. Específicamente, esto sucede para las firmas 2, 6, 9 y 15. Entonces, mirando la fila 2 de la misma tabla, se puede ver que el remate de permisos sí logra que estas firmas se acerquen a las

<sup>30</sup>Cabe destacar el caso particular de la aerolínea 4. Esta es pequeña, pero tiene un costo por unidad de demora alto. Sin embargo, aunque el óptimo social para ella es aumentar siempre la cantidad ofrecida de vuelos, el remate de permisos nunca logra lo anterior. Es decir, esta firma siempre disminuye su cantidad ofrecida de vuelos con este sistema. Lo anterior se debe a que la demanda inversa que tienen los mercados donde esta firma ofrece vuelos, es muy empinada; así la pendiente de su función de disposición a pagar y beneficio marginal es mayor que en el resto de las aerolíneas, por lo que siempre termina ofreciendo una menor cantidad de vuelos.

cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer en la mayoría de los periodos en que participan. Por otro lado, sólo logra que el “borde competitivo” disminuya su cantidad ofrecida de vuelos en todos los periodos con problema de congestión, siendo que lo socialmente óptimo para este es no ofrecer vuelos en todos los periodos congestionados.

Finalmente, se analiza una tercera conducta, “mantener la cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate”. Esta decisión se considera porque, al simular el remate de permisos, varias firmas pequeñas aumentan su oferta de vuelos en una cantidad insignificante. Así, se supone que se mantiene la cantidad ofrecida de vuelos, si el porcentaje de aumento frente a la situación sin regulación es menor a 0.7 % <sup>31</sup>. Luego, se encuentra en los resultados que las aerolíneas pequeñas que tienen alguna vez esta conducta son la 5, la 8, la 10, la 17 y la 24<sup>32</sup>. Estas, también se caracterizan por estar en mercados con demandas inversas con alta sensibilidad. Sin embargo, la diferencia de conducta con las otras firmas pequeñas se explica porque, en primer lugar, estas firmas tienen un costo por unidad de demora mayor que el promedio. Y, en segundo lugar, porque en los periodos en que estas firmas mantienen su oferta de vuelos ofrecen una mayor cantidad de vuelos que sus pares pequeñas. Así, en estos periodos, la diferencia de la pendiente del beneficio marginal del caso sin regulación y de la pendiente de la disposición a pagar de las firmas es mayor que la del grupo anterior (otras pequeñas). Entonces, cabe destacar que las conductas de estas firmas se ven influenciadas por las características del periodo con problema de congestión. Así, dependiendo de si hay más o menos firmas grandes y pequeñas, cambian su conducta porque el precio que vacía el mercado cambia también.

Luego, observando la Tabla 2, se puede ver que para casi todas las firmas descritas en el párrafo anterior es socialmente óptimo que aumenten su cantidad ofrecida de vuelos en los periodos congestionados en que ofrecen vuelos. Sólo las aerolínea 17 y 24 deberían aumentar su cantidad ofrecida de vuelos en menos periodos. Luego, comparando lo anterior con los resultados del remate de permisos se puede ver que este sólo logra que la aerolínea 5 se acerque en mayor medida a los resultados del primer mejor. Entonces, aunque logre que en algunos periodos las aerolíneas 8, 10, 17 y 24 mantengan su cantidad ofrecida de vuelos, sólo lo logra en muy pocos periodos en comparación a lo socialmente óptimo. Además, cabe destacar que el remate sólo consigue que “mantengan” la cantidad ofrecida de vuelos, siendo que lo socialmente óptimo para estas aerolíneas es aumentar su cantidad ofrecida de vuelos.

Por último, dado que la aerolínea intermedia Skywest y la grande American Eagle toman las tres conductas explicadas en los diferentes periodos, sus decisiones son analizadas en el Apéndice 5.

Entonces, teniendo en cuenta las conductas explicadas anteriormente, se puede ver que el remate de permisos logra que algunas firmas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer. En concreto, logra principalmente que las firmas grandes, que son las que tienen una mayor disposición a pagar por un permiso adicional, obtengan una cantidad de permisos mayor a la cantidad de vuelos que ofrecen en el escenario sin regulación, que es lo socialmente óptimo para ellas. Y, por otro lado, que las firmas pequeñas que deben disminuir su cantidad ofrecida de vuelos lo hagan. No obstante, cabe destacar, que este sistema nunca consigue que estas firmas ofrezcan la cantidad socialmente óptima. Por otro lado, en el resto de los mercados logra conductas diferentes a lo socialmente óptimo. Como en algunas firmas pequeñas que tienen un costo por unidad de demora alto y particularmente en el “borde competitivo”, ya que, aunque logra que disminuya la cantidad ofrecida de vuelos en relación el escenario sin regulación, no logra que no ofrezca vuelos.

Otra forma de analizar lo anterior es estudiar el promedio del precio que “vacía el mercado”,

<sup>31</sup>Se definió este valor luego de calcular el porcentaje de aumento, (cantidad ofrecida de vuelos después del remate/cantidad observada de vuelos) - 1, para las firmas pequeñas y considerar el máximo valor de este (0.7%).

<sup>32</sup>Al observar la fila 2 de la Tabla 2, se encuentra que estas firmas aumentan su cantidad ofrecida de vuelos. Sin embargo, esta decisión corresponde a mantener la cantidad ofrecida de vuelos.

mencionado anteriormente como “w promedio”. Entonces, al mirar los resultados se encuentra que este es relativamente inferior al precio de reserva que tienen las firmas en los diferentes periodos. Lo que muestra que el remate de permisos no logra que ningún mercado se cierre. Dicho de otro modo, no logra que el “borde competitivo” se cierre, pero tampoco provoca que otros mercados lo hagan. Esto se puede ver en el caso ilustrativo de la Figura 3, donde el precio de reserva de la aerolínea “OAC” es el más cercano al precio que “vacía el mercado”, mientras que las otras aerolíneas tienen un precio de reserva muy superior. Siguiendo con el análisis anterior, si en este periodo se compara el ingreso por vuelo que tiene una firma grande como American Airlines y el ingreso por vuelo que tiene una firma pequeña como Northwest, con el precio promedio del remate, se puede ver que este último es un porcentaje pequeño del ingreso de estas firmas (menor a un 5%). En cambio, este porcentaje es mayor en las firmas que componen la aerolínea “OAC”, siendo cercano al 20%<sup>33</sup>. Esto, entonces, está relacionado con que estas firmas son las que disminuyen en mayor medida su oferta de vuelos.

En concreto, como el precio que “vacía el mercado” es muy inferior a la disposición a pagar de las firmas grandes, estas siempre aumentan su cantidad ofrecida de vuelos luego de que se realiza el remate. En cambio, las aerolíneas pequeñas que tienen costos por unidad de demora bajo y el borde competitivo, con cualquier precio positivo siempre ofrecen una menor cantidad de vuelos. Así, para las firmas anteriores el precio que “vacía el mercado” sólo afecta en el grado que cambian su cantidad ofrecida de vuelos. Por otro lado, las demás firmas cambian en mayor medida sus funciones de disposición a pagar por un permiso adicional en los diferentes periodos, comportándose como aerolíneas grandes o pequeñas. Entonces, dado que las características de los periodos cambian y así el precio que “vacía el mercado”, dependiendo de estas es si las aerolíneas terminan ofreciendo una mayor o una menor cantidad de vuelos en relación al escenario sin regulación.

Luego, para hacer más comprensible los resultados anteriores, se muestran tres periodos ilustrativos de lo que sucede en forma agregada al realizar un remate de permisos en los periodos congestionados.

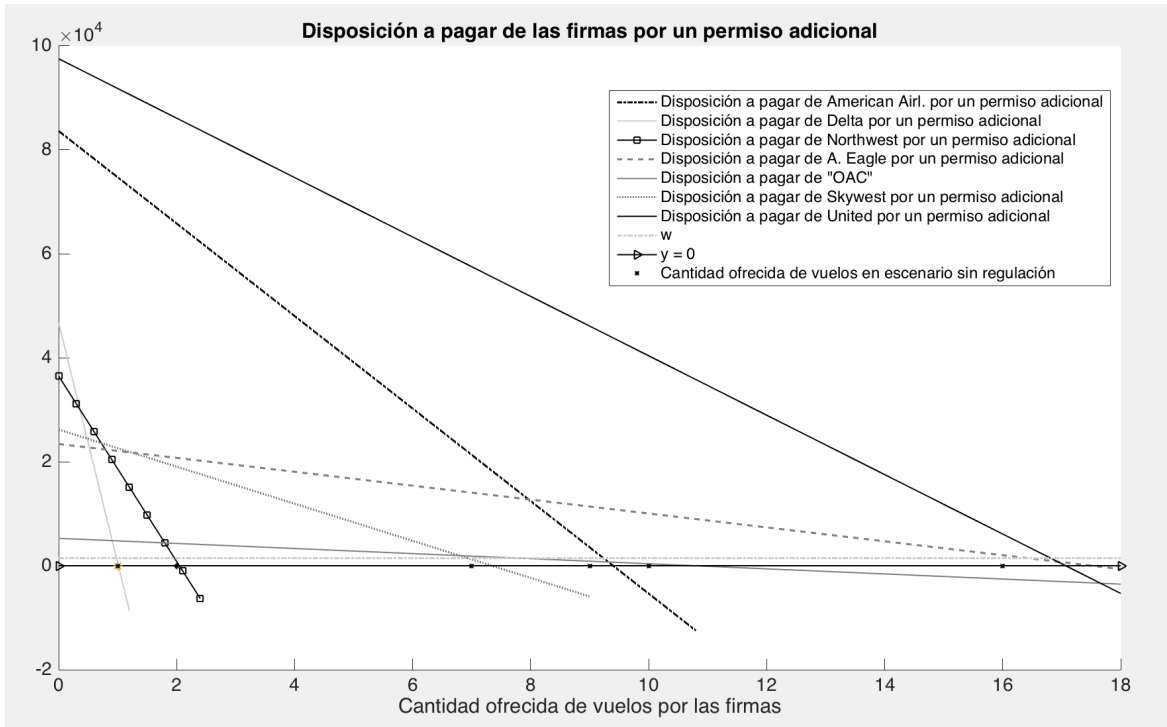
Así, en primer lugar, en la Figura 3 y en la Tabla 3, se muestra el periodo ilustrativo 177<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup>En el periodo ilustrativo 177, el ingreso que tiene American Airlines y Northwest por un vuelo es de 59,025 y 27,106 dólares respectivamente. En cambio, este mismo ingreso para las firmas de “OAC” es de 7,647 dólares. Así, al comparar estos ingresos con el precio promedio que “vacía el mercado” se pueden ver las diferencias en los porcentajes. El ingreso de una aerolínea se calculó a partir de la demanda inversa y de la cantidad de vuelos que ofrece luego de que se realiza el remate en este periodo.

<sup>34</sup>Como se menciona antes, existen 35,040 periodos en el año 2005. Este es uno de ellos.

Figura 3: Caso ilustrativo periodo 177



Fuente: elaboración propia

Tabla 3: Caso ilustrativo periodo 177

Aerolínea	1	10	11	17	18	19	22	Total
	American.A	Delta	A.Eagle	Northwest	OAC	Skywest	United	
Cantidad observada	9	1	16	2	10	7	16	61
Cantidad permisos	9.23	0.98	16.42	1.96	7.80	6.93	16.81	60.13

Fuente: elaboración propia

Este periodo se compone por un número pequeño de firmas, sólo 7, y el regulador remata 60.13 permisos en total<sup>35</sup>. Cabe destacar que para el “borde competitivo” se muestra la disposición a pagar “agregada”, así se pueden comparar los resultados de este mercado con el de los demás.

Entonces, al mirar la Figura 3, se observa la cantidad de vuelos ofrecidos en el escenario sin regulación (asteriscos) y la cantidad de vuelos ofrecidos luego de que se realiza el remate de permisos. Además, se observan las distintas pendientes que tiene la función disposición a pagar de cada firma, lo que está directamente relacionado con la conducta de cada una, como fue explicado anteriormente en las Figuras 1 y 2.

En concreto, al mirar la Figura 3 o la Tabla 3, se observa que American Airlines, United y American Eagle aumentan su cantidad ofrecida de vuelos, mientras que el resto la disminuye después de que se realiza la subasta. También se puede ver que la firma “OAC” es la que más disminuye la cantidad ofrecida de vuelos en relación al escenario sin regulación. Es decir, las tres primeras aerolíneas tienen

<sup>35</sup>A este periodo se le llama ilustrativo porque facilita la lectura del gráfico al tener un número pequeño de firmas participando en el remate.

una mayor disposición a pagar por un permiso adicional. Entonces, el sistema de remate de permisos logra que obtengan una mayor cantidad de vuelos frente al escenario base. Sin embargo, sólo es socialmente óptimo que American Airlines y United aumenten su cantidad ofrecida de vuelos. Así, el remate se aleja de la cantidad socialmente óptima que debería ofrecer la firma American Eagle. Asimismo, en los mercados donde participa Delta y Northwest el sistema de remate de permisos no logra acercarse a las cantidades socialmente óptimas. Esto último se debe a que, aunque son firmas pequeñas con un costo por unidad de demora alto, el remate no logra que se diferencien lo suficiente las funciones de beneficio marginal y de disposición a pagar de estas firmas, por lo que terminan ofreciendo una menor cantidad de vuelos, siendo que el óptimo social para estas firmas es que aumenten su cantidad ofrecida de vuelos. En concreto, el óptimo social para estas firmas es ofrecer 1.27 y 2.14 vuelos respectivamente. No obstante, el remate de permisos sólo logra que ofrezcan 0.98 y 1.96. Asimismo, como sucede en todos los periodos congestionados, el remate de permisos no logra que el mercado del borde competitivo se cierre, pero sí que disminuya su cantidad ofrecida de vuelos. Por último, sí logra que Skywest disminuya su cantidad ofrecida de vuelos, que es el óptimo social para ella.

Siguiendo con el análisis del precio que vacía el mercado, las características de este periodo llevan a que este precio sea inferior al precio promedio (1,449 dólares). Entonces, como se puede ver en la Figura 3, la aerolínea American Eagle logra aumentar su cantidad ofrecida de vuelos a este precio, alejándose de la cantidad socialmente óptima que debería ofrecer.

En resumen, en este periodo, a pesar de que el remate de permisos no logra las cantidades socialmente óptimas ni tampoco que todas las firmas se acerquen a estas, sí consigue a través de evitar la externalidad y de la “distribución” de la cantidad total de vuelos socialmente óptima, ser más eficiente que un escenario sin regulación.

Por último, se muestran dos nuevos periodos ilustrativos de lo que sucede después de que se realiza el remate. La Tabla 4 y la Tabla 5 detallan los resultados<sup>36</sup>.

Tabla 4: Caso ilustrativo periodo 822

Aerolínea	1 American.A	9 Comair	11 A.Eagle	18 OAC	19 Skywest	22 United	24 U.Airways	Total
Cantidad observada	11	1	11	25	4	15	1	68
Cantidad permisos	11.59	0.88	10.61	16.67	3.77	16.04	0.97	60.53

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 4, se muestra el periodo 822. En este se observan los mismos patrones que se mencionaron anteriormente. En primer lugar, las firmas grandes American Airlines y United aumentan su cantidad ofrecida de vuelos luego de que se realiza el remate. En segundo lugar, la firma “OAC” disminuye su cantidad ofrecida de vuelos, al igual que las aerolíneas pequeñas Comair, Skywest y la intermedia US Airways.

Sin embargo, en este periodo la aerolínea American Eagle se comporta como el caso representativo de una firma pequeña, ya que, también disminuye su cantidad ofrecida de vuelos a pesar de que es una firma grande. Esto último se debe entonces, a que en este periodo el problema de congestión es mayor (el óptimo social es disminuir en gran medida la cantidad ofrecida de vuelos), por lo que sólo las aerolíneas que tienen una mayor disposición a pagar por un permiso adicional logran aumentar su cantidad ofrecida de vuelos (American Airlines y United).

<sup>36</sup>Estos periodos se llaman ilustrativos porque no representan lo que sucede en la mayoría de los periodos con problema de congestión. Es decir, sólo representan a algunos de ellos.

Asimismo, el precio que “vacía el mercado” corrobora lo anterior. En este periodo es de 3928 dólares. Entonces, como es más alto que el promedio, sólo las dos firmas que tienen una mayor oferta pueden obtener una mayor cantidad de permisos luego del remate. Por lo mismo, es que American Eagle y “OAC” disminuyen su oferta de vuelos y esta última en gran medida.

Luego, en la Tabla 5, se presenta el periodo ilustrativo 456. Al observar la última columna de la tabla, se puede ver que el problema de congestión de este periodo es menor al periodo anterior 822, pero es mayor al caso ilustrativo 177. Sin embargo, en este periodo hay una mayor cantidad de firmas ofreciendo vuelos. Por otro lado, al igual que en todos los periodos con problema de congestión, las dos firmas más grandes (1 y 22) se acercan a su cantidad socialmente óptima (aumentan su cantidad de vuelos) y el “borde competitivo” sólo disminuye su cantidad ofrecida de vuelo, luego de que se realiza el remate.

Sin embargo, en este periodo, el remate de permisos logra que America West se acerque a su cantidad socialmente óptima, ya que, como se puede ver en la Tabla 5, esta mantiene su cantidad ofrecida de vuelos, siendo que el óptimo social para ella es ofrecer una mayor cantidad de vuelos. Esto se puede explicar porque en este periodo hay varias firmas participando del remate (el precio que “vacía el mercado” es mayor al promedio) y, además, porque America West en este periodo ofrece más vuelos que sus pares pequeñas (2 vuelos en vez de 1). Es decir, se cumplen las características mencionadas para lograr la conducta “mantener la cantidad ofrecida de vuelos”. Sin embargo, también es socialmente óptimo que Delta y US Airways aumenten su cantidad ofrecida de vuelos, lo que el remate no logra conseguir, dado que las funciones de disposición a pagar por un permiso adicional de estas aerolíneas son menores a la de America West, American Airlines y United. Luego, mirando los resultados de este periodo se puede ver que aunque el remate de permisos no logra las cantidades socialmente óptimas, es igual más eficiente que el escenario sin regulación producto de que se acerca a lo socialmente óptimo en mayor medida.

Tabla 5: Caso ilustrativo periodo 456

Aerolínea	1 American.A	5 A. West	6 ExpressJet	10 Delta	11 A.Eagle	15 I.Air	18 OAC	19 Skywest	22 United	24 U.Airways	Total
Cantidad observada	7	2	1	1	7	1	20	3	19	1	62
Cantidad permisos	7.17	2.002	0.93	0.99	6.69	0.94	15.10	2.87	20.26	0.98	57.93

Fuente: elaboración propia

Entonces, resumiendo los resultados, se puede concluir que en el aeropuerto de Chicago, luego de que el regulador remata la cantidad de permisos socialmente óptimos en los periodos con problema de congestión, en primer lugar, las firmas más grandes siempre aumentan su oferta de vuelos en relación a la cantidad de vuelos observados en el caso sin regulación. En segundo lugar, el “borde competitivo” y algunas firmas pequeñas disminuyen siempre su oferta de vuelos. En tercer lugar, el resto de las firmas tienen diferentes conductas, aumentan, mantienen o disminuyen la oferta de vuelos. Por otro lado, no se observan periodos en que se cierre un mercado y tampoco periodos en que todas las firmas disminuyen sus ofertas de vuelos luego de que se realiza la subasta.

En concreto, el remate de permisos no lleva a la salida de firmas que deberían estar activas según el escenario del primer mejor. Sin embargo, no permite que se cierren los mercados donde participa el “borde competitivo”, que es lo socialmente óptimo para estos. Esto se debe a que, al rematar los permisos, las firmas que tienen una mayor disposición a pagar no aumentan en gran medida su cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate, por lo que dejan espacio para que las demás firmas también puedan obtener permisos y así ofrecer vuelos, como es lo que pasa con la aerolínea “OAC”. Lo anterior pasa porque las aerolíneas son monopolios; entonces la ineficiencia producto del poder de mercado domina en gran medida a la externalidad producto de la congestión,

incentivándolas a ofrecer una menor cantidad de vuelos. Particularmente, esto sucede en los mercados de las firmas grandes American Airlines y United. Entonces, aunque el remate evite la externalidad de la congestión y así diferencie las funciones de beneficio marginal con la de disposición a pagar por un permiso adicional, no logra que esta diferencia en las funciones sea lo suficientemente grande para que las aerolíneas aumenten en gran medida la cantidad ofrecida de vuelos, que es lo socialmente óptimo para ellas. Dado esto, queda además espacio para que el “borde competitivo” pueda obtener permisos y así ofrecer una cantidad positiva de vuelos<sup>37</sup>.

Sin embargo, a pesar de que el remate no consigue las cantidades socialmente óptimas ni tampoco que todas las firmas se acerquen a estas, este sí logra ser más eficiente que un escenario sin regulación en el aeropuerto de Chicago en el año 2005. La ganancia de este sistema en relación al escenario sin regulación es de 262.17 millones de dólares. En concreto, el beneficio neto del año 2005 del escenario sin regulación es de 26,902.47 millones de dólares. En cambio, el beneficio neto del mismo año del mecanismo de remate de permisos es de 27,164.64 millones de dólares<sup>38</sup>.

Asimismo, cabe destacar, que en todos los periodos con problemas de congestión, el beneficio neto del escenario sin regulación es menor que el beneficio neto del sistema de subasta analizado. Entonces, el remate de permisos en este aeropuerto logra, en mayor medida que un escenario sin regulación, que las aerolíneas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer.

Luego, como sólo se analiza y compara este sistema de remate de permisos con un escenario sin regulación, los resultados anteriores no nos están indicando que este sistema es el más eficiente entre todos los tipos de regulaciones. Por esto, en la próxima sección se lleva a cabo una extensión a este estudio para comparar este mecanismo con uno de tarifa uniforme.

## 7. Extensiones

En primer lugar, se simula el sistema de tarificación uniforme para comparar el beneficio neto de este mecanismo con el beneficio neto encontrado por el modelo central, considerando los mismos supuestos que se han hecho hasta ahora. Es decir, se mide si una tarifa de precio única es más eficiente que el uso de una regulación por cantidad secundaria, como el remate de permisos estudiado.

En segundo lugar, se considera hacer un análisis de sensibilidad de los resultados cambiando el valor de la elasticidad precio de la demanda en cada punto observado. Además, en esta sección se realiza un análisis comparativo de la eficiencia relativa de cada sistema al primer mejor.

### 7.1. Tarificación uniforme

En la presente sección se analiza la eficiencia de utilizar una tarifa uniforme para regular el aeropuerto de Chicago en el año 2005.

En primer lugar, cabe destacar que este tipo de tarifa es una alternativa de segundo mejor, ya

---

<sup>37</sup>Cabe destacar, entonces, que la tarifa diferenciada sí puede lograr los resultados anteriores, ya que se puede dar un subsidio suficientemente grande a las firmas que deberían aumentar, según el primer mejor, su cantidad ofrecida de vuelos

<sup>38</sup>Este resultado se obtiene al considerar en los periodos con problema de congestión las cantidades ofrecidas por las firmas después de que se realiza el remate, y en los periodos sin problemas de congestión las cantidades observadas del escenario sin regulación.

que no logra llegar al óptimo social como lo hace la tarifa diferenciada. Esto se debe a que, al ser un cobro uniforme (igual para todas las aerolíneas), no se le está cobrando a cada firma la ineficiencia que produce (diferencia entre la externalidad producto de la congestión y la ineficiencia producto del poder de mercado), sino más bien, un “promedio” de las tarifas óptimas que se deberían cobrar a cada firma <sup>39</sup>.

Luego, siguiendo el trabajo de Verhoef (2010), se puede ejemplificar la implementación de una tarifa uniforme reescribiendo la ecuación del beneficio marginal (8). Así, considerando una tarifa  $w$  y un mercado particular  $h$ , se puede escribir el beneficio marginal de una firma bajo este sistema de regulación como:

$$\frac{\partial \Pi_h}{\partial F_h} = P_h(F_h) + F_h * \frac{\partial P_h(F_h)}{\partial F_h} - CO_h - \nu_h * D(F_t) - \nu_h * F_h * \frac{\partial D(F_h)}{\partial F_h} - w = 0 \quad (17)$$

Entonces, mirando la ecuación (17), se puede ver que esta tarifa logra directamente desplazar el intercepto del beneficio marginal de una firma; es decir, incentiva a las aerolíneas a ofrecer una menor cantidad de vuelos. Sin embargo, analizando los resultados, esta tarifa también puede lograr que las aerolíneas tengan otras conductas. Dicho de otro modo, a pesar de que les cobre a todas las aerolíneas una tarifa positiva, logra que algunas firmas aumenten o mantengan su cantidad ofrecida de vuelos. Esto se debe a que esta tarifa indirectamente afecta la pendiente de la ecuación anterior. En concreto, como la congestión de un periodo depende de todos los vuelos ofrecidos, provoca indirectamente una disminución en la congestión por la reducción de los vuelos de algunas firmas. Entonces, puede lograr finalmente que algunas aerolíneas aumenten su cantidad ofrecida de vuelos si el segundo efecto domina al primero o que algunas disminuyan su cantidad ofrecida de vuelos si sucede lo contrario. Así, mirando los resultados se puede ver que lo primero es lo que sucede con las firmas grandes, particularmente con United; en cambio, lo segundo es lo que ocurre con el “borde competitivo” y algunas firmas pequeñas. Más bien, cabe mencionar que la tarifa uniforme siempre logra, en mayor medida que el remate de permisos, que el “borde competitivo” se acerque a su óptimo social; es decir, a que no ofrezca vuelos. Sin embargo, al igual que el remate de permisos, sólo logra que disminuya la cantidad ofrecida de vuelos.

Por otro lado, a pesar de que este sistema sea de segundo mejor, hay que tener en cuenta que sí tiene ventajas. En concreto, implementar esta tarifa es más fácil que una diferenciada y, además, es aceptada políticamente. Esto último se debe, como se explica en el trabajo de Verhoef (2010), a que, como no se diferencia el cobro por aerolínea, las firmas que tienen una menor porción de los vuelos van a enfrentar una tarifa menor o un subsidio mayor que la tarifa o subsidio del primer mejor, así se van a encontrar en una situación mejor para ellas que con una tarifa diferenciada<sup>40</sup>. Asimismo, esta tarifa también es más fácil de implementar que un remate de permisos. Entonces, lo anterior también motiva a analizar la eficiencia de utilizar una tarifa uniforme.

Así, luego de simular los dos mecanismos planteados, se encuentra que el sistema de remate de permisos es más eficiente que el de la tarifa uniforme. Sin embargo, la diferencia de ganancias entre estos sistemas es de sólo 34 millones de dólares. Luego, en la Tabla 6, se puede ver el beneficio neto del año 2005 de implementar estos mecanismos<sup>41</sup>.

<sup>39</sup>Un ejemplo de esta tarifa es la que encuentra el trabajo de Verhoef (2010). Sin embargo, hay que tener en cuenta que utiliza supuestos diferentes a este trabajo, como un mercado duopólico.

<sup>40</sup>Por ejemplo, siguiendo el trabajo de Brueckner (2009), si se considera que las firmas son tomadoras de precio, al utilizar una tarifa diferenciada, las firmas que tienen una mayor porción de los vuelos totales en un periodo internalizan gran parte de la congestión. Por esto, estas terminan pagando una tarifa menor que las firmas que tienen una menor porción de los vuelos totales en un periodo.

<sup>41</sup>Cabe destacar que el beneficio neto se calcula de la misma forma como fue descrito en los resultados; para los periodos congestionados se toma en cuenta las cantidades de vuelos ofrecidas por las aerolíneas después de implementar cada sistema y en los periodos sin problema de congestión, las cantidades del modelo base (observadas).



Tabla 6: Beneficio neto de los escenarios estudiados

Escenario	Sin regulación (base)	Remate de permisos	Tarifificación uniforme
Beneficio neto (MM dólares)	26,902.47	27,164.64	27,130.62

Fuente: elaboración propia

Entonces, la diferencia de ganancias entre estos mecanismos nace porque en la mayoría de los periodos congestionados (2,618 de 2,673) el remate de permisos logra, en mayor medida que la tarifa uniforme, que las aerolíneas se acerquen a la cantidad socialmente óptima que debiesen ofrecer. Específicamente, el remate de permisos logra que las aerolíneas grandes (United y American Airlines) y las aerolíneas pequeñas con un costo por unidad de demora alto, se acerquen en mayor grado a las cantidades socialmente óptimas.

Sin embargo, como se menciona en el párrafo anterior, esto sucede en la “mayoría” de los periodos, por lo que también se observan algunos periodos donde la tarifa uniforme es más eficiente que el remate de permisos. Así, para ejemplificar cómo funcionan estos mecanismos, se muestra a continuación un periodo ilustrativo donde el remate de permisos es más eficiente que la tarifa uniforme y otro donde sucede lo contrario<sup>42</sup>.

Entonces, un ejemplo donde el remate de permisos es más eficiente que la tarifa uniforme es el periodo ilustrativo 177 que se muestra en la Tabla 7, el mismo que fue explicado en la sección de los resultados. Observando la tabla, se puede ver que el mecanismo de remate de permisos logra que las aerolíneas grandes aumenten su cantidad ofrecida de vuelos. En cambio, se observa que la tarifificación uniforme sólo logra que estas disminuyan o aumenten en menor medida su cantidad ofrecida de vuelos. También se puede ver que la diferencia de la cantidad de vuelos ofrecidos por “OAC” no es grande al comparar los dos sistemas, por lo que estos logran de forma similar que el “borde competitivo” se acerque a la cantidad socialmente óptima que debiese ofrecer. Por otro lado, como se menciona en los resultados, el remate de permisos en este periodo no consigue que American Eagle se acerque a la cantidad socialmente óptima que debiese ofrecer, en cambio la tarifa uniforme sí. Lo anterior se debe a que en este periodo la tarifa uniforme óptima es mayor al precio que “vacía el mercado”; por lo tanto esta logra que todas las firmas, menos United, disminuyan su cantidad ofrecida de vuelos<sup>43</sup>. Sin embargo, de igual forma el remate de permisos logra una mayor eficiencia en este periodo producto de que consigue, en mayor grado, que las firmas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer.

Tabla 7: Oferta de vuelos en periodo ilustrativo 177

Aerolínea	1 American.A	10 Delta	11 A.Eagle	17 Northwest	18 OAC	19 Skywest	22 United	Total
Cantidad observada	9	1	16	2	10	7	16	61
Cantidad permisos	9.23	0.98	16.42	1.96	7.80	6.93	16.81	60.13
Cantidad tarifa uniforme	8.94	0.96	14.25	1.89	4.93	6.30	16.07	53.35

Fuente: elaboración propia

En comparación a lo anterior, se muestra un ejemplo donde la tarifa uniforme es más eficiente que el remate de permisos. Esto sucede principalmente porque, en estos periodos, la tarifa uniforme logra que la firma “OAC”, o “borde competitivo”, se acerque en un grado mucho mayor a su óptimo social, lo que el remate de permisos no logra de la misma forma. Es decir, en este periodo la tarifa uniforme

<sup>42</sup>Lo segundo se realiza para hacer más comprensible el análisis, ya que, sólo se encuentran 55 de 2,673 periodos donde se observa esto.

<sup>43</sup>La tarifa uniforme en este periodo es de 3,900 dólares. En cambio, el precio que “vacía el mercado” es de 1,449 dólares.

logra una mayor eficiencia que el remate de permisos, al disminuir en mayor medida la congestión total del periodo. Al mirar la Tabla 8 se puede ver este escenario (periodo ilustrativo 8900<sup>44</sup>).

Tabla 8: Oferta de vuelos en periodo ilustrativo 8900

Aerolínea	1 American.A	4 Alaska.A	10 Delta	11 A.Eagle	17 Northwest	18 OAC	19 Skywest	22 United	24 U.Airways	Total
Cantidad observada	11	1	1	4	1	19	2	15	3	57
Cantidad permisos	11.38	0.99	0.99	3.89	0.99	16.7	1.95	15.7	3	55.6
Cantidad tarifa uniforme	11.01	0.98	0.96	3.20	0.94	8.30	1.74	15.13	2.85	45.12

Fuente: elaboración propia

Entonces, lo anterior muestra cómo los sistemas operan para obtener una mayor eficiencia. Es decir, para lograr que las aerolíneas se acerquen a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer. Por un lado, el remate de permisos logra que se “distribuya” la cantidad total socialmente óptima de permisos entre todas las aerolíneas que participan del remate. Por otro lado, la tarifa uniforme disminuye en mayor grado la congestión total del periodo, provocando así diferentes conductas en las firmas.

Dado esto, es relevante analizar la eficiencia relativa de cada mecanismo en relación al primer mejor. Esto es detallado al final de la próxima sección.

## 7.2. Análisis de sensibilidad

Brons et al. (2002) muestran en su trabajo que la elasticidad precio de la demanda puede variar por diferentes motivos. Por ejemplo, por el tipo de viaje que realizan los pasajeros o por el país que se está analizando. Por esto, en la presente sección se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados, considerando tres nuevos valores para la elasticidad precio de la demanda, -1.1, -1.3 y -2.3. Por otro lado, considerando estas, se realiza una comparación de la eficiencia relativa de cada sistema al primer mejor.

Cabe recordar que el supuesto que se utiliza en la calibración es que la elasticidad precio de la demanda en cada punto observado es -1.5. Luego, en esta sección se considera lo mismo. Así, cuando se menciona “elasticidad precio de la demanda” o “elasticidad precio”, nos estamos refiriendo al supuesto anterior (elasticidad precio de la demanda en cada punto observado).

Entonces, en primer lugar, se analizan los resultados considerando una elasticidad precio de -1.1. Bajo este valor, no se encuentran periodos con problemas de congestión en el aeropuerto de Chicago. Esto se debe a que, como las firmas son monopolios, con una elasticidad precio de la demanda de -1.1, la ineficiencia producto del poder de mercado domina a la ineficiencia producto de la congestión. Así, el óptimo social en todos los periodos es que aumente la cantidad total ofrecida de vuelos y no que disminuya. Luego, como no hay periodos con problema de congestión, no tiene sentido hacer un análisis de sensibilidad con un valor aun más bajo. Por esto, se realiza un análisis de sensibilidad con un valor mayor al anterior. Así, se considera una elasticidad precio de la demanda de -1.3.

Con este valor, existen 642 periodos con problema de congestión. Como se puede ver, es un número inferior al modelo central (base o elasticidad de -1.5). Esto se debe, entonces, a lo mismo que se explica bajo el supuesto de elasticidad de -1.1. La ineficiencia producto del poder de mercado domina a la

<sup>44</sup>A este periodo también se le llama ilustrativo, ya que, al igual que los otros periodos utilizados no representa a todos los periodos con problema de congestión, sino sólo a algunos.

ineficiencia producto de la congestión en más periodos que en el modelo base. Además, a diferencia de este último, el problema de congestión es menos preocupante. Es decir, en los periodos congestionados el óptimo social no es disminuir en gran medida la cantidad total de vuelos. Pero, de igual forma, en estos periodos se encuentran patrones similares al modelo central. En primer lugar, American Airlines, United, American Eagle, America West y el “borde competitivo” están presentes en todos los periodos con problema de congestión. En segundo lugar, sigue siendo socialmente óptimo que las dos primeras firmas mencionadas siempre aumenten su cantidad ofrecida de vuelos y que el “borde competitivo” no ofrezca vuelos. Para el resto de las firmas depende del periodo.

No obstante lo anterior, ahora la ganancia del sistema de tarificación uniforme es mayor a la del mecanismo de remate de permisos; sin embargo, la diferencia es pequeña, de sólo 10.6 millones de dólares. Luego, cabe destacar que el beneficio neto que se muestra en la Tabla 9 es calculado de la misma forma que se menciona en las secciones anteriores. Así, si se resta el beneficio neto del año 2005 de utilizar la tarifa uniforme con el beneficio neto del año 2005 de utilizar el sistema de remate de permisos, se obtiene la ganancia mencionada anteriormente.

Tabla 9: Beneficio neto con  $\varepsilon = -1.3$

Escenario	Sin regulación (base)	Remate de permisos	Tarificación uniforme
Beneficio neto (MM dólares)	43,918.49	43,997.38	44,008.01

Fuente: elaboración propia

Entonces, la mayor eficiencia de la tarifa uniforme se explica, porque, a pesar de que en la mayoría de los periodos congestionados este problema no es preocupante, el óptimo social para la aerolínea “OAC” sigue siendo no ofrecer vuelos y para las aerolíneas grandes, aumentar la cantidad ofrecida de vuelos. Luego, el remate de permisos sólo logra que las firmas grandes se acerquen a la cantidad socialmente óptima que debiesen ofrecer. En cambio, la tarifa uniforme aunque no logra que las firmas grandes se acerquen a las cantidades socialmente óptimas, sí consigue que gran parte de las otras firmas se acerquen a sus cantidades socialmente óptimas, especialmente en las pequeñas, que deberían -según el punto de vista del regulador- disminuir su cantidad ofrecida de vuelos y en el “borde competitivo”. Así, lo anterior indica que la tarifa uniforme, al disminuir en mayor grado la congestión total del periodo, logra ser más eficiente que el remate de permisos en la mayoría de los periodos congestionados. Siguiendo con lo anterior, bajo el mecanismo de remate de permisos, ahora la aerolínea grande American Eagle aumenta su cantidad ofrecida de vuelos más del 50 % de las veces en que participa de un remate, siendo que para esta aerolínea el óptimo social es que aumente un 8 % de las veces su cantidad ofrecida de vuelos. Entonces, en los periodos en que sucede esto, el sistema de remate de permisos se vuelve más ineficiente aún que el sistema de tarificación uniforme.

Por último, los dos sistemas estudiados siguen siendo más eficientes que el escenario sin regulación en todos los periodos con problema de congestión. Además, no se encuentran periodos en que se cierre un mercado.

Finalmente, se analizan los resultados tomando en cuenta una elasticidad precio de la demanda de -2.3. Considerando esta, en el año 2005 en el aeropuerto de Chicago hay 5,949 periodos con problema de congestión; es decir, hay 3,276 nuevos periodos con este problema, en comparación con el modelo central. Esto se explica porque sucede lo contrario al caso anterior. Al aumentar el valor de la elasticidad precio de la demanda, la ineficiencia producto del poder de mercado se va haciendo menor a la externalidad producto de la congestión, por lo que se encuentran más periodos en que lo socialmente óptimo es disminuir la cantidad total de vuelos. Por otro lado, la cantidad óptima de vuelos que se deberían ofrecer en cada periodo congestionado también va disminuyendo al aumentar la elasticidad

precio de la demanda<sup>45</sup>.

Sin embargo, cabe destacar que, al igual que el modelo central y el caso anterior, sigue siendo óptimo socialmente que las aerolíneas American Airlines y United aumenten siempre su cantidad ofrecida de vuelos y que el “borde competitivo” no ofrezca vuelos (que se cierren los mercados donde participa). Además, de la misma forma que en el modelo central, sigue siendo óptimo -desde el punto de vista del regulador- que las aerolíneas 5, 8, 10, 17, 19 y 24 aumenten su cantidad ofrecida de vuelos en algunos periodos. Por otro lado, a diferencia de los otros dos casos, se observa que, con esta elasticidad, sólo las dos aerolíneas más grandes (American Airlines y United) y el “borde competitivo” están presentes en todos los periodos con problema de congestión.

Entonces, después de simular el escenario sin regulación y los dos sistemas estudiados se encuentra el beneficio neto de implementar cada sistema en el año 2005 (se realiza de la misma forma que en los casos anteriores). En la Tabla 10 están los detalles.

Tabla 10: Beneficio neto con  $\varepsilon = -2.3$

Escenario	Sin regulación (base)	Remate de permisos	Tarificación uniforme
Beneficio neto (MM dólares)	11,096.25	11,637.43	11,533.71

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver, el sistema de remate de permisos es el más eficiente entre los escenarios considerados. La ganancia de este mecanismo en relación al escenario sin regulación es de 541 millones de dólares. En cambio la ganancia del sistema de tarificación uniforme en relación al escenario sin regulación es de 438 millones de dólares. Así, ahora la diferencia de ganancias entre los dos sistemas de regulación es mayor que en el modelo central, siendo aproximadamente de 103 millones de dólares.

Estos resultados se pueden explicar porque como se menciona antes, sigue siendo socialmente óptimo que las firmas grandes, American Airlines y United, aumenten siempre su cantidad ofrecida de vuelos, y que el “borde competitivo” no ofrezca vuelos. Así, analizando el sistema de remate de permisos, se puede ver que este sigue consiguiendo que las firmas grandes aumenten su cantidad ofrecida de vuelos. Y, particularmente bajo esta elasticidad, consigue que estas firmas se acerquen en mayor medida a la cantidad socialmente óptima, ya que, como la cantidad de permisos a rematar es menor, logra diferenciar en mayor grado las funciones de beneficio marginal y de disposición a pagar por un permiso adicional. Así, consigue que sólo las firmas con una mayor disposición a pagar por un permiso adicional puedan aumentar la cantidad ofrecida de vuelos después de que se realiza el remate. Pero, además, consigue que el “borde competitivo” disminuya en mayor medida su cantidad ofrecida de vuelos. Esto se debe a que, como se remata una cantidad menor de permisos y las firmas grandes aumentan su cantidad ofrecida de vuelos, el “borde competitivo” no puede obtener una cantidad de permisos similar a los vuelos que ofrece en el escenario sin regulación (como sí lo logra con elasticidad -1.3 o -1.5). Entonces, se puede observar en los resultados, que la disminución de la cantidad de vuelos ofrecidos por el “borde competitivo” aumenta en mayor medida en el remate de permisos que en la tarifa uniforme. Dicho de otra forma, cuando se considera un valor de la elasticidad precio de la demanda mayor, la tarifa uniforme no logra cambiar en gran medida la cantidad de vuelos que ofrecen las firmas grandes y el “borde competitivo”, en relación al caso del modelo central. En cambio, el sistema de remate de permisos sí, por lo que consigue acercarse en mayor grado al óptimo social de cada mercado.

Por otro lado, esto se puede explicar analizando el sistema de tarificación uniforme. Este, como se

<sup>45</sup>Esto se puede ver, en el mismo periodo ilustrativo 177. Con elasticidad precio de la demanda de -2.3 la cantidad total socialmente óptima de vuelos es 52.01, 8.12 vuelos menos que en el caso base (con elasticidad de -1.5).

menciona en la sección anterior, logra disminuir en mayor medida la congestión total de un periodo al cobrar una tarifa mayor que el precio que “vacía el mercado”. Entonces, como el problema de la congestión es mayor al aumentar la elasticidad precio de la demanda, el regulador tendría que aumentar el valor de la tarifa cada vez más para lograr lo anterior. Sin embargo, al realizar esto, las firmas grandes disminuirían su cantidad ofrecida de vuelos, alejándose de la cantidad socialmente óptima para ellas. Luego, como se puede ver en los resultados, la tarifa uniforme se mantiene invariante, en relación al precio que “vacía el mercado”, bajo los distintos valores de elasticidad precio considerados.

Esto se puede ver en el periodo 8900 que muestra la Tabla 11, donde el remate de permisos ahora es más eficiente que la tarifa uniforme. Entonces, al comparar la cantidad de vuelos que ofrece el “borde competitivo” en el modelo central (con elasticidad precio de la demanda -1.5) y con este supuesto de elasticidad, se puede ver lo explicado anteriormente. La diferencia de vuelos para “OAC” con el sistema de remate de permisos es de 5.4 vuelos (16.7 - 11.27 vuelos). En cambio, con tarificación uniforme este cambio es de 3.14.

Tabla 11: Oferta de vuelos en periodo ilustrativo 8900 con  $\varepsilon = -2.3$

Aerolínea	1 American.A	4 Alaska.A	10 Delta	11 A.Eagle	17 Northwest	18 OAC	19 Skywest	22 United	24 U.Airways	Total
Cantidad observada	11	1	1	4	1	19	2	15	3	57
Cantidad permisos	11.94	0.99	0.97	3.08	0.94	11.27	1.69	16.76	2.91	50.55
Cantidad tarifa uniforme	11.36	0.97	0.93	2.16	0.89	5.16	1.40	15.77	2.72	41.37

Fuente: elaboración propia

Así, cabe destacar que, en los periodos en que el remate de permisos es más eficiente que la tarifa uniforme en el modelo central, ahora la diferencia de ganancias entre estos sistemas es mayor aún. Por ejemplo, con elasticidad precio de la demanda -1.5, en el periodo 456 el sistema de remate de permisos es más eficiente que la tarifa uniforme. La diferencia de ganancias entre estos sistemas es de 7,188 dólares. Ahora, bajo esta elasticidad, la diferencia de ganancias es de 20,295 dólares. Entonces, lo anterior vuelve a corroborar que el sistema de remate de permisos es más eficiente cuando la elasticidad precio de la demanda es mayor.

Por otro lado, al igual que en los casos analizados, tampoco se encuentran periodos en que se cierre un mercado o periodos donde el escenario sin regulación sea más eficiente que el sistema de remate de permisos o de tarificación uniforme. Además, no existen periodos donde el mecanismo de tarifa uniforme sea más eficiente que el de remate de permisos.

Por último, para complementar los resultados anteriores, se lleva a cabo un análisis de los precios/tarifas promedios de los sistemas estudiados bajo los tres valores considerados para la elasticidad precio de la demanda. Y, además, se calcula la recaudación de cada sistema. En la Tabla 12 y en la 13 se detalla lo anterior.

Tabla 12: Comparación de la tarifa uniforme promedio y precio promedio que “vacía el mercado” bajo los diferentes supuestos de elasticidad precio de la demanda

$\varepsilon$	-1.3	-1.5	-2.3
Tarifa uniforme promedio (dólares)	6,240	4,537	3,342
Precio promedio que “vacía el mercado” (dólares)	1,281	1,792	2,395

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver, el promedio de la tarifa uniforme es descendente al ir aumentando la elasticidad precio de la demanda. En cambio, el precio promedio que “vacía el mercado” es ascendente. Esto se puede explicar, porque, como se menciona antes, la tarifa uniforme óptima por periodo es relativamente invariante al considerar las diferentes elasticidades. Por ejemplo, esto se puede ver en el periodo 8900,

analizado anteriormente. Con elasticidad -1.5, la tarifa uniforme es de 3,900 dólares, mientras que con una elasticidad de -2.3 esta es de 3,800 dólares. Así, considerando esto y que al aumentar la elasticidad precio de la demanda aumentan los periodos con problema de congestión, se espera que la tarifa uniforme promedio disminuya al aumentar la elasticidad precio de la demanda. Luego, lo anterior también corrobora los resultados encontrados. Dado que el precio de la tarifa no varía en gran medida al considerar diferentes elasticidades, las conductas de las firmas grandes y del “borde competitivo”, es decir, la cantidad ofrecida de vuelos de cada una, no varía tampoco en gran medida al considerar diferentes elasticidades. Por otro lado, cabe destacar que la tarifa uniforme es siempre mayor que el precio que “vacía el mercado”, lo que también corrobora los resultados encontrados. Al ser un cobro mayor, las aerolíneas van a tender a disminuir su cantidad ofrecida de vuelos, a excepción de las firmas más grandes, ya que, en estas últimas domina el efecto indirecto que provoca la tarifa uniforme.

Lo contrario es lo que sucede con el promedio del precio que “vacía el mercado”. Este precio cambia en mayor medida al considerar diferentes valores para la elasticidad precio de la demanda (particularmente va aumentando al aumentar esta). Considerando el mismo periodo anterior (8900), se observa que el precio que “vacía el mercado” bajo elasticidad -1.5 es de 894 dólares; en cambio, con elasticidad -2.3 este precio es de 2,147 dólares. Así, se puede ver que el sistema de remate de permisos logra una mayor eficiencia cuando el valor de la elasticidad precio de la demanda es mayor, ya que permite que las firmas cambien su cantidad ofrecida de vuelos en mayor medida, lo que la tarifa no logra de la misma forma. Dicho de otro modo, al aumentar la elasticidad precio de la demanda, el problema de congestión se hace más preocupante. Así, se observa que el precio que “vacía el mercado” aumenta también. Sin embargo, como las aerolíneas grandes tienen funciones de disposición a pagar muy superiores a las del resto de las firmas y al “borde competitivo”, el remate puede seguir logrando que estas firmas aumenten su cantidad ofrecida de vuelos en relación al escenario sin regulación.

Entonces, en la Tabla 13 se muestra la recaudación que se obtiene al implementar cada mecanismo de regulación.

Tabla 13: Recaudación bajo los dos sistemas de regulación

$\varepsilon$	<b>-1.3</b>	<b>-1.5</b>	<b>-2.3</b>
<b>Recaudación Tarifa uniforme (MM dólares)</b>	209.72	604.07	876.61
<b>Recaudación Remate de permisos (MM dólares)</b>	53.2	284.3	719.14

Fuente: elaboración propia

En esta, se observa que el sistema de tarificación uniforme logra una mayor recaudación en los tres escenarios considerados. Esto se debe a que la tarifa uniforme siempre es mayor al precio que vacía el mercado. Así, aunque el sistema de tarificación uniforme provoque una disminución mayor en la cantidad ofrecida de vuelos de las aerolíneas, el mayor cobro domina a lo anterior, llevando finalmente a una mayor recaudación. Por otro lado, se puede observar que, a medida que aumenta la elasticidad, las recaudaciones se asemejan más. Esto está directamente relacionado con la Tabla 12. A medida que aumenta la elasticidad precio de la demanda la tarifa uniforme promedio es más similar al precio promedio que “vacía el mercado”; así las recaudaciones totales también se asimilan más. Por otro lado, que las recaudaciones aumenten al aumentar el valor considerado para la elasticidad precio, se puede explicar porque existe una mayor cantidad de periodos con problemas de congestión.

Luego, cuál sistema se justifica implementar, no depende solamente de la relación entre el costo de la implementación y la recaudación. Si no también, y en mayor medida, de la eficiencia relativa de cada uno al primer mejor. Esto es detallado en la próxima subsección.

### 7.2.1. Análisis de la eficiencia relativa de los sistemas estudiados al primer mejor

Como se menciona al comienzo de esta sección, en esta subsección se lleva a cabo un análisis comparativo de la eficiencia relativa que tienen los sistemas de regulación estudiados al primer mejor en los periodos con problemas de congestión. Para esto se considera la siguiente definición para la eficiencia relativa:

$$\frac{\text{Sistema} - LF}{FB - LF} \quad (18)$$

donde FB es el beneficio neto del primer mejor, LF es el beneficio neto del escenario sin regulación (*landing fees*) y Sistema es el beneficio neto del mecanismo utilizado para controlar el problema de congestión, remate de permisos o tarifa uniforme.

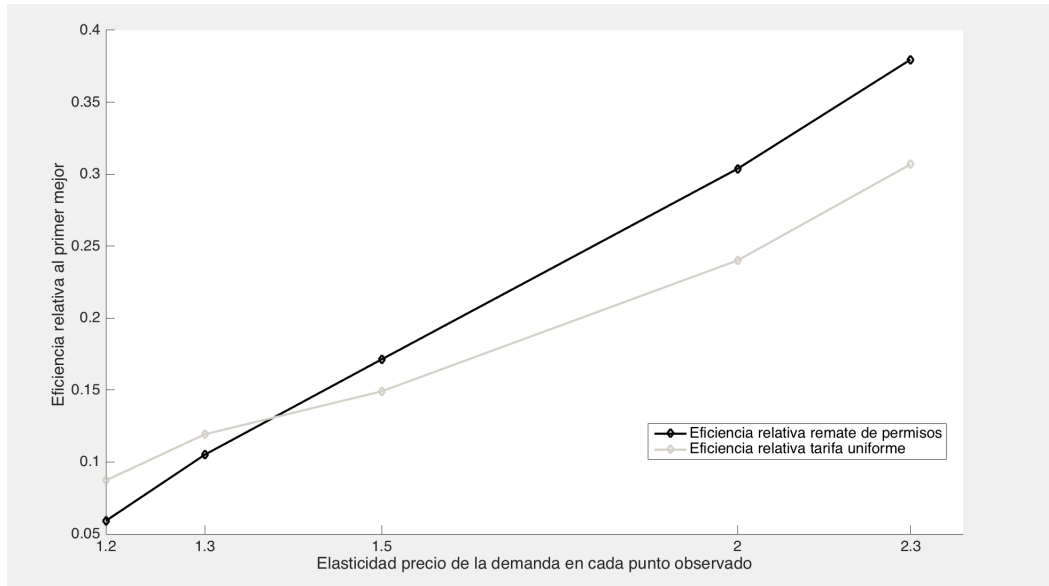
Entonces, luego de calcular la ganancia de descentralizar el primer mejor (implementar tarifa óptima diferenciada en los periodos congestionados) y la ganancia de cada mecanismo estudiado en relación al escenario sin regulación<sup>46</sup>, se obtienen los resultados de la Tabla 14 y de la Figura 4:

Tabla 14: Eficiencia relativa de los dos sistemas de regulación al primer mejor

$\varepsilon$	-1.2	-1.3	-1.5	-2.0	-2.3
<b>Eficiencia relativa tarifa uniforme</b>	0.09	0.12	0.15	0.24	0.31
<b>Eficiencia relativa remate de permisos</b>	0.06	0.11	0.17	0.30	0.38

Fuente: elaboración propia

Figura 4: Eficiencia relativa al primer mejor



Fuente: elaboración propia

Como se puede ver, se corroboran los resultados que fueron presentados en las secciones anteriores. Para una elasticidad precio de -1.3, el sistema de tarificación uniforme es más eficiente que el remate de permisos. Al contrario, si se consideran valores para la elasticidad precio de la demanda mayores, el

<sup>46</sup>Cabe destacar, que el análisis se realiza sólo para los periodos con problema de congestión. Además, como se puede ver en la Tabla 14, se consideran dos nuevos valores para la elasticidad precio de la demanda, -1.2 y -2.0.

remate de permisos se hace más eficiente que la tarificación uniforme. Por otro lado, también se observa, que las diferencias de las eficiencias relativas van aumentando al aumentar el valor considerado para la elasticidad precio de la demanda. Es decir, cuando el problema de congestión se hace más preocupante, el remate de permisos se vuelve cada vez más eficiente que la tarifa uniforme.

No obstante lo anterior, las eficiencias relativas de estos mecanismos no superan el 40 %, lo que también corrobora los resultados encontrados. Estos sistemas permiten que las aerolíneas tomen diferentes conductas; pero, no consiguen las cantidades socialmente óptimas, ni tampoco, que todas las firmas se acerquen a ellas. En concreto, bajo los supuestos utilizados, no es posible que estos mecanismos se acerquen en gran medida al primer mejor, ya que, necesitan lograr conductas totalmente contrarias en algunas aerolíneas. Entonces, dado lo anterior, nace la interrogante de que si se justifica utilizar un mecanismo de remates de permisos o un sistema más fácil de implementar como la tarificación uniforme. De la misma manera, es razonable preguntarse si se justifica implementar alguno de los dos mecanismos.

## 8. Conclusión

La congestión y así los retrasos de los vuelos siguen siendo un problema importante en los aeropuertos de Estados Unidos y Europa. Por lo que las autoridades a cargo de estos aeropuertos han propuesto en el último tiempo nuevas medidas para controlar este problema. Más bien, han puesto énfasis en implementar un sistema de asignación secundaria de permisos.

Sin embargo, hasta ahora no ha habido un consenso sobre la eficiencia de estos sistemas. Diferentes trabajos han analizado este tipo de mecanismo, pero con supuestos particulares, llegando así a diferentes proposiciones. Por ejemplo, el estudio teórico de Brueckner (2009) que considera que las aerolíneas son tomadoras de precios, encuentra que un sistema de remate de permisos sí puede lograr el óptimo social. En cambio, el trabajo de Verhoef (2010) que supone un mercado duopólico, no siempre encuentra esto<sup>47</sup>. Por otro lado, el modelo de Basso y Silva, que considera la interacción de varios mercados independientes, encuentra que, al implementar un remate de permisos algunas aerolíneas pueden aumentar su cantidad ofrecida de vuelos o también no ofrecer vuelos, provocando así un cierre de ese mercado. Así, este último modelo concluye que el bienestar social que se logra con este sistema es ambiguo.

Dado lo anterior, este trabajo mide el cambio en el beneficio neto de utilizar un sistema de remate de permisos (equivalente a una asignación secundaria) en vez del sistema de cobro por peso del avión, que se utiliza en la mayoría de los aeropuertos de Estados Unidos. Para esto, se analiza particularmente el aeropuerto de Chicago en el año 2005, utilizando los datos del trabajo de Morrison y Winston (2007). Además, se utiliza como modelo teórico el modelo de Basso y Silva mencionado anteriormente, pero se adapta para los datos utilizados. Es decir, en el presente trabajo se supone que todas las aerolíneas son un monopolio en un mercado, menos una que es un “borde competitivo”.

Entonces, luego de simular el primer mejor, un escenario sin regulación (cobro por peso del avión) y un sistema de remate de permisos, se encuentra lo siguiente. Se observan dos conductas que las firmas tienen luego de que se realizan los remates en los periodos congestionados, aumentar o disminuir la cantidad ofrecida de vuelos en comparación al escenario sin regulación. Estas están directamente

---

<sup>47</sup>Este trabajo encuentra que cuando la ineficiencia producto del poder de mercado supera a la externalidad producto de la congestión, el sistema de asignación secundaria de permisos se vuelve ineficiente; ya que, se necesita lograr que las firmas aumenten su cantidad ofrecida de vuelos. Entonces, un subsidio puede lograrlo, pero es difícil pensar en un remate a “precio negativo”.



relacionadas con la disposición a pagar que tiene cada firma por un permiso adicional. En concreto, estas conductas dependen principalmente del tamaño y de la cantidad de firmas participando en el remate y además del costo unitario de la demora que tiene cada una<sup>48</sup>. Entonces, se observa en los resultados que el remate de permisos logra en todos los periodos congestionados que las aerolíneas United y American Airlines aumenten su cantidad ofrecida de vuelos, acercándose así a las cantidades socialmente óptimas que debiesen ofrecer. De la misma forma, logra que algunas firmas pequeñas disminuyan siempre su cantidad ofrecida de vuelos en los periodos congestionados, siendo lo socialmente óptimo para ellas. Sin embargo, no logra que las demás firmas se acerquen a sus cantidades socialmente óptimas y tampoco que el “borde competitivo” lo haga. Por otro lado, no se encuentran periodos donde se cierre un mercado o donde todas las aerolíneas disminuyan su cantidad ofrecida de vuelos.

Cabe destacar entonces que, dado los supuestos utilizados, es socialmente óptimo que United, American Airlines y algunas aerolíneas pequeñas aumenten siempre su cantidad ofrecida de vuelos en comparación el escenario sin regulación. Por el contrario, es óptimo -desde el punto de vista del regulador- que el “borde competitivo” nunca ofrezca vuelos. Entonces, el sistema de remate de permisos permite que las aerolíneas tomen diferentes conductas, pero no consigue las cantidades socialmente óptimas ni tampoco que todas las firmas se acerquen a estas. No obstante lo anterior, se encuentra que el sistema de remate de permisos es más eficiente que el escenario sin regulación en todos los periodos con problema de congestión<sup>49</sup>.

Por otra parte, al realizar una extensión al modelo central para comparar la eficiencia de este con un sistema de tarificación uniforme, se encuentra que el sistema de remate de permisos también es más eficiente que un mecanismo de tarifa uniforme, pero la diferencia de ganancias de estos dos mecanismos es de sólo 34 millones de dólares. Esto último se puede explicar porque la tarifa uniforme también logra acercarse al óptimo social, aunque en menor medida. Esta por un lado, logra un efecto directo que incentiva a las firmas a ofrecer una menor cantidad de vuelos. Pero al mismo tiempo, como algunas firmas disminuyen su cantidad ofrecida de vuelos, la congestión también disminuye, por lo que otras firmas (las más grandes) pueden terminar ofreciendo una mayor cantidad de vuelos en relación al escenario sin regulación (efecto indirecto). Así, consigue al igual que el remate de permisos que American Airlines y United aumenten su cantidad ofrecida de vuelos y, por otro lado, que el “borde competitivo” disminuya su cantidad ofrecida de vuelos. Sin embargo, en la mayoría de los periodos congestionados es más ineficiente que el sistema de remate de permisos.

Como ejercicio de sensibilidad de los resultados, se realizan las simulaciones anteriores con diferentes valores para la elasticidad precio de la demanda<sup>50</sup>. Se encuentra que al ir aumentando esta, el mecanismo de remate de permisos se vuelve más eficiente aun que el sistema de tarifa uniforme. Esto se explica principalmente porque, al aumentar la elasticidad precio de la demanda, aumentan los periodos congestionados y, además, disminuye la cantidad total socialmente óptima de vuelos que debería haber en cada periodo con problema de congestión. Entonces, dado que el óptimo social para el “borde competitivo” y para las firmas grandes sigue siendo el mismo que en el modelo central, el remate de permisos logra acercarse aún más a las cantidades socialmente óptimas, ya que, al rematar una cantidad menor de permisos, sólo las firmas con una mayor disposición a pagar logran obtener una mayor cantidad de vuelos que en ausencia de regulación. Así, esto provoca que el “borde competitivo” disminuya en mayor medida su cantidad ofrecida de vuelos, al no poder conseguir una cantidad de permisos similar a los vuelos del escenario sin regulación. En cambio, al utilizar una tarifa uniforme, la cantidad ofrecida de vuelos por las firmas grandes y el “borde competitivo” no varían en gran

<sup>48</sup>A mayor costo por unidad de demora y tamaño de la firma, mayor es la cantidad de vuelos que logran obtener después de que se realiza el remate de permisos.

<sup>49</sup>La ganancia de este sistema, en relación al escenario base, es de aproximadamente 262.17 millones de dólares.

<sup>50</sup>Cabe destacar que el supuesto que utiliza el trabajo para realizar la calibración de la demanda es que la elasticidad precio de la demanda en cada punto observado es -1.5. Así, en este análisis se consideran otros valores para este supuesto.

medida al cambiar el valor de la elasticidad precio de la demanda, por lo que este sistema se vuelve más ineficiente que el remate de permisos.

Por último, se corroboran los resultados anteriores al realizar un análisis de la eficiencia relativa de cada sistema al primer mejor. Se encuentra, que las eficiencias relativas de estos sistemas aumentan al considerarse valores más altos para la elasticidad precio de la demanda. Pero, también, que el grado de aumento de esta para el remate de permisos es mayor. No obstante, estos sistemas nunca logran una eficiencia relativa mayor al 40%. Entonces, considerando esto y las ventajas de la tarifa uniforme (como su fácil implementación y que es aceptada políticamente) nace la interrogante de que si se justifica implementar un sistema de asignación secundaria como el remate de permisos o uno de tarificación uniforme. De la misma forma, también es razonable preguntarse si se justifica implementar estos mecanismos<sup>51</sup>.

Entonces, como extensión a este trabajo sería interesante, en primer lugar, analizar los mecanismos estudiados en otros aeropuertos congestionados de Estados Unidos. En segundo lugar, sería interesante extender el trabajo considerando otros supuestos, como mercados oligopólicos, otras formas funcionales para la demanda o la presencia de las aerolíneas en varios mercados a la vez. Por otro lado, siguiendo el trabajo de Borenstein (1988) o Fukui (2010) sería interesante complementar el trabajo con un estudio de los comportamientos anticompetitivos que pueden tener las aerolíneas incumbentes, es decir, analizar si estas aerolíneas utilizan todos los permisos que obtienen del remate o dejan algunos sin utilizar.

## Apéndices

### 1. Adaptación del modelo de Basso y Silva

Como se menciona en la sección 4, el modelo de Basso y Silva es adaptado considerando los datos del modelo de Morrison y Winston (2007). En concreto, el supuesto de que hay una firma por mercado no se cumple en el “borde competitivo”. Así, en este se supone que hay  $j$  firmas simétricas compitiendo. Entonces, si nombramos al “borde competitivo” como “ $o$ ” la ganancia de cada firma es:

$$\Pi = P_o(F_o) * f - f * (CO + \nu * D(\sum_{k=1}^m F_k)) \quad (19)$$

donde  $f$  es la cantidad de vuelos que ofrece cada firma  $j$  de este mercado. Así,  $\sum_{k=1}^j f_k = F_o$ .

Al igual que en el escenario sin regulación, las firmas quieren maximizar sus ganancias. Entonces, al diferenciar la ecuación anterior con respecto a  $f$ , se obtiene la CPO (beneficio marginal de la firma por ofrecer un vuelo extra):

$$\frac{\partial \Pi}{\partial f} = P_o(F_o) + f * \frac{\partial P_o(F_o)}{\partial f} - CO - \nu * D(F_t) - \nu * f * \frac{\partial D(F_t)}{\partial f} = 0 \quad (20)$$

donde  $D(F_t) = D(\sum_{k=1}^m F_k)$ , es decir, la cantidad total de vuelos de un periodo.

<sup>51</sup>Cabe mencionar que no se puede generalizar estos resultados a todos los aeropuertos de Estados Unidos, ya que, cada uno tiene características particulares. Así tampoco, se puede asumir que el sistema de remate de permisos es el más eficiente; porque se han hecho supuestos específicos, y no se han comparado estos sistemas con otros tipos de regulaciones.

La CSO también se supone que se satisface en este escenario.

Entonces, como son firmas simétricas, todas van a realizar lo mismo y van a tener CPO equivalentes. Luego, sumando para las  $j$  firmas simétricas y reescribiendo lo anterior se obtiene:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial F} = P_o(F_o) + \frac{\partial P_o(F_o)}{\partial f} * \frac{F_o}{j} - CO - \nu * D(F_t) - \nu * \frac{\partial D(F_t)}{\partial f} * \frac{F_o}{j} = 0 \quad (21)$$

Por otro lado, considerando los mismos supuestos que en la sección del modelo teórico del escenario de remate de permisos, se puede ver que la función de oferta (disposición a pagar por un permiso adicional) que las firmas le reportan al regulador es:

$$dp(f) = P_o(F_o) + f * \frac{\partial P_o(F_o)}{\partial f} - CO - \nu * D(F^*) \quad (22)$$

Luego, las condiciones que caracterizan el equilibrio también se mantienen, así:

$$dp(f_k) = w, \quad \forall k \in o \text{ con } f_k > 0 \quad (23)$$

$$f_k = 0, \quad \text{si } dp(f_k) < w \quad (24)$$

$$dp_i(F_i) = w, \quad \forall i \neq o \text{ con } F_i > 0 \quad (25)$$

$$\sum_{r=1}^m F_r = F^* \quad (26)$$

$$F_i = 0, \quad \text{si } dp_i(F_i) < w \quad (27)$$

Entonces, al agregar la primera ecuación para todas las firmas del “borde competitivo” se encuentra:

$$\sum_{k=1}^j dp_k - w = 0 \quad (28)$$

que es equivalente a:

$$j * P_o(F_o) + F_o * \frac{\partial P_o(F_o)}{\partial f} - j * CO - j * \nu * D(F^*) = j * w \quad (29)$$

Y al dividir todo por  $j$ , se obtiene finalmente una condición de equilibrio equivalente a la de los otros mercados:

$$P_o(F_o) + \frac{F_o}{j} * \frac{\partial P_o(F_o)}{\partial f_j} - CO_o - \nu_o * D(F^*) = w \quad (30)$$

Cabe destacar que en esta última ecuación se utiliza el subíndice “o” para facilitar la comparación de esta disposición a pagar agregada con la del resto de las aerolíneas. En las ecuaciones anteriores no se utiliza este, ya que, se estaba analizando dentro del “borde competitivo” a las  $j$  firmas simétricas.

## 2. Calibración de la demanda

Considerando que  $h$  es un mercado particular, por ejemplo, una aerolínea  $f$  en el periodo  $t$ , las funciones que se utilizan en la calibración de la demanda son las siguientes:

1. CPO del escenario sin regulación:

$$P_h(F_h) = CO_h + \nu_f * D(F_t) + \nu_f * F_h \frac{\partial D(F_t)}{\partial F_h} - F_h * \frac{\partial P_h(F_h)}{\partial F_h} \quad (31)$$

2. Función de demanda:

$$P_h(F_h) = a_h - b_h * F_h \quad (32)$$

3. Elasticidad constante en cada punto observado:

$$\frac{\partial F_h}{\partial P_h(F_h)} * \frac{P_h}{F_h} = -1.5 \quad (33)$$

Cabe destacar que, dadas las características particulares del “borde competitivo”, se asumen otros supuestos. Primero, se utiliza la ecuación 20 del Apéndice 1, para calibrar los parámetros de su demanda. En segundo lugar, se asume que en el escenario sin regulación (escenario con que se calibra la demanda) cada firma ofrece un vuelo. Es decir, por ejemplo, si los vuelos observados de la aerolínea “Otras Aerolíneas Comerciales” son 17 en un periodo, para calibrar se considera que hay 17 aerolíneas en el “borde competitivo” en ese periodo. Así, la cantidad de firmas que hay en el “borde competitivo” en cada periodo es igual a  $F_{ot}$  del escenario sin regulación (vuelos observados), siendo  $o$  la aerolínea “OAC”.

### 3. Detalle de las aerolíneas

Las firmas presentes en el aeropuerto de Chicago son las siguientes:

- N°1= American Airlines
- N°2= Air Canada
- N°4= Alaska Airlines
- N°5= America West
- N°6= ExpressJet
- N°7= Atlantic Southwest
- N°8= Continental
- N°9= Comair
- N°10= Delta
- N°11= American Eagle
- N°12= FedEx<sup>52</sup>
- N°15= Independence Air
- N°17= Northwest
- N°18= Others<sup>53</sup>
- N°19= Skywest
- N°22= United
- N°24= US Airways

---

<sup>52</sup>Esta aerolínea no está presente en ningún periodo con problema de congestión.

<sup>53</sup>Esta aerolínea considera a “Otras Aerolíneas Comerciales”, que va a ser llamada “OAC” o “borde competitivo”.

#### 4. Cierre del “borde competitivo”

A continuación se detalla por qué puede ser eficiente el cierre del mercado donde participa el “borde competitivo”. Como se menciona en la sección de los resultados, lo anterior se debe a que el beneficio marginal de ofrecer un vuelo (abrir el mercado) es inferior al costo de la congestión que impone ese vuelo al resto de las aerolíneas. Para mostrar lo anterior, se utiliza la ecuación 6 del modelo teórico y el supuesto de linealidad de la demanda inversa. Entonces, considerando que  $h$  es el “borde competitivo”, podemos definir el primer término de la ecuación 6 como el beneficio marginal de ofrecer un vuelo:

$$P_h(F_h) = a - b * F_h \quad (34)$$

y el último término, como el costo de la congestión que impone un vuelo:

$$\left(\sum_{r=1}^m \nu_r * F_r\right) * \frac{\partial D}{\partial F_h} \quad (35)$$

Entonces, si  $F_h = 0$ :

$$P_h(F_h) = a \quad (36)$$

$$\left(\sum_{r=1}^m \nu_r * F_r\right) * \frac{\partial D}{\partial F_h} \quad (37)$$

Así, si el primer término es inferior al segundo término es eficiente que se cierre el mercado, ya que el máximo beneficio del consumo en este mercado es pequeño en comparación al costo que genera un vuelo adicional en este mercado.

#### 5. Análisis de American Eagle y Skywest

A continuación se detallan las firmas grandes e intermedias que no tienen una única conducta; es decir, en algunos periodos aumentan su oferta de vuelos y en otros la disminuyen o mantienen.

En primer lugar, se analiza la aerolínea American Eagle (11). Esta se considera “grande” y está presente en todos los periodos con problemas de congestión. Sin embargo, aumenta su oferta de vuelos un 38% de las veces en que participa de un remate, siendo que lo socialmente óptimo para ella es aumentar la cantidad ofrecida de vuelos sólo en 5% de los periodos en que ofrece vuelos. Entonces cabe destacar que el remate de permisos no logra, en la mayoría de los periodos donde esta firma ofrece vuelos, que esta se acerque a la cantidad socialmente óptima que debiese ofrecer.

Luego analizando los periodos en que esta firma participa, se observa que la pendiente de la demanda inversa de su mercado es baja en relación a la de los demás mercados. Así, las funciones de beneficio marginal y de disposición a pagar por un permiso adicional de esta firma son más acostadas en comparación al resto de las firmas, como se puede ver en la Figura 3 del caso ilustrativo 177. Por otro lado, observando la Tabla 1 se puede ver que a diferencia de las otras firmas grandes, el costo por unidad de demora y el costo operacional de esta firma es inferior al promedio. Entonces, la diferencia de la pendiente entre la ecuación 8 y 10 es menor. Así, dependiendo de las características de los periodos, existen algunos en que esta firma aumenta o mantiene la cantidad ofrecida de vuelos y periodos en que la disminuye. Particularmente se observa que, en los periodos en que hay varias aerolíneas activas, esta firma mantiene o disminuye su oferta de vuelos. En cambio, en periodos en los que la firma ofrece una mayor cantidad de vuelos con respecto al resto de las firmas pequeñas y en los que hay una menor cantidad de firmas activas, la firma aumenta su oferta de vuelos después de que se realiza remate.

En segundo lugar, está la aerolínea Skywest (19). Esta tiene similitudes y diferencias con la firma anterior. Por ejemplo, está presente en todos los periodos con problema de congestión, pero sólo mantiene su oferta de vuelos un 10 % de las veces en que participa de un remate, similar a lo socialmente óptimo para ella, que es aumentar su cantidad ofrecida de vuelos en 17 % de los periodos en que ofrece vuelos.

Esta conducta se explica en primer lugar, porque es una firma de tamaño intermedio, ofrece más vuelos que las firmas pequeñas, pero menos que las grandes. Por otro lado, también porque tiene un costo por unidad de demora bajo en comparación al resto de las firmas. Así, la diferencia de la pendiente entre la función de beneficio marginal y la de disposición a pagar es baja como la de las firmas pequeñas. Entonces, se dan ocasiones en que mantiene su oferta de vuelos y otras en que la disminuye. Además, al igual que en la firma anterior, las características del periodo como la cantidad de firmas que participan, influyen en la conducta de esta firma. Por ejemplo, esta firma mantiene su oferta de vuelos después de que se realiza el remate, en periodos en que participan varias firmas pequeñas.

## Referencias

- Basso. L.(2010), *On the equivalence of Congestion Pricing and Slot Auctioning at Congested Airports*. Trabajo inédito, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile.
- Basso, L. y Silva, H (2017), *Slot Auctions and Trade at Congested Airports*. Modelo presentado en “Western Economic Association International (WEAI) 13th International conference”, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile
- Borenstein. S.(1988), *On the efficiency of competitive markets for operating licenses*. The quarterly Journal of Economics, Volume 103, No.2, pp. 357-385
- Brueckner. J.K.(2002), *Airport congestion when carriers have market power*. American Economic Review, Volume 92, Number 5, pp. 1357–1375
- Brueckner. J.K.(2009), *Price vs. quantity-based approaches to airport congestion management*. Journal of Public Economics, Volume 93, pp. 681-690
- Brons. M, Pels.E and Nijkamp.P. (2002), *Price elasticities of demand for passenger air travel: a meta-analysis*. Journal of Air Transport Management, Volume 8, Issue 3, pp. 165–175
- Czerny. A. (1989), *Airport congestion management under uncertainty*. Brookings Papers On Economic Activity: Microeconomics, Transportation Research Part B, Volume 44(3), pp. 371-380
- European Economic and Social Committee. (2012), *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on common rules for the allocation of slots at European Union airports (recast)*. Marzo 15, 2017. Official Journal of the European Union. Sitio web: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:52012AE0836>
- Eurocontrol . (2013), *20-year forecast of Annual Number of IFR Flights(2012-2035)*. Abril 5, 2017, de European Commission. Sitio web: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/official-documents/reports/201306-challenges-of-growth-2013-task-4.pdf>
- Federal Aviation Administration (FAA) and Department of Transportation (DOT). (2015), *Slot Management and Transparency for LaGuardia Airport, John F. Kennedy International Airport, and Newark Liberty International Airport; Proposed Rule*. Marzo 15, 2017, de Federal Register Online via the Government Publishing Office. Sitio web: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2015-01-08/html/2014-30378.htm>
- FAA. (2005), *Resumen Ejecutivo EIS Final Modernización O'Hare*. Abril 6, 2017, de FAA. Sitio web: <https://www.faa.gov/airports/airportdevelopment/omp/eis/feis/Media/ExecutiveSummary-Spanish.pdf>
- Fukui. H.(2010), *An empirical analysis of airport slot trading in the United States*. Transportation Research Part B, Volume 44, pp. 330-357
- Kleit. A and Kobayashi.B. (1996), *Market failure or market efficiency?: Evidence on airport slot usage*. Research in Transportation Economics, Volume 4, pp. 1-32
- Morrison. S.A. and Winston. C.(1989), *Enhancing the performance of the deregulated air transportation system*. Brookings Papers On Economic Activity: Microeconomics, pp. 61-123

Morrison. S.A. and Winston. C.(2007), *Another Look at Airport Congestion Pricing*. The American Economic Review, Volume 97, No.5, pp. 1970-1977

Pels. E and Verhoe. E.T.(2004), *The economics of airport congestion pricing*. Journal of Urban Economics, Volume 55, Issue 2, pp. 257-277

Sheng. D., Li. Z., Xiao. Y. and Fu. X. (2015), *Slot auction in an airport network with demand uncertainty*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 82, pp. 79–100

Starkie, D. (2008), *A defence of slot concentration at network hubs* Aviation Markets: Studies in Competition and Regulatory Reform., Ashgate, Aldershot, pp. 209–217

Swaroop.P, Zou B, Ball.M and Hansen. M. (2012), *Do more US airports need slot controls? A welfare based approach to determine slot levels*. Transportation Research Part B, Volume 46, pp. 1239–1259

U.S. General Accounting Office (GAO). (1990), *Airline Competition: Industry operating and marketing practices limit market entry*. GAO/RCED-90-147, US General Accounting Office, Washington DC

United States Department of Transportation. (2016), *Passenger Travel Facts and Figures 2016*. Mayo 20, 2017, de United States Department of Transportation. Sitio web: <https://www.rita.dot.gov/bts/publications/passengertravel2016>

United States Department of Transportation. (2017), *Data Profile*. Mayo 5, 2017, de Bureau of Transportation Statistics (BTS). Sitio web: <https://www.transtats.bts.gov/DatabaseInfo.asp?DBID=120Link=0>

Vany. A.(1974), *The revealed Value of Time in Air Travel*. Review of Economics and Statistics, Volume 56, pp. 77-82

Verhoef. E.T. (2010), *Congestion pricing, slot sales and slot trading in aviation*. Transportation Research Part B 44, pp. 320–329