UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

EFECTOS DE LA INFORMACIÓN IMPERFECTA SOBRE IMPUESTOS PIGOUVIANOS CON AGENTES NO ATOMÍSTICOS: EL CASO DE LOS AEROPUERTOS CONGESTIONADOS

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MENCIÓN TRANSPORTE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

OLIVIA ANTONIETA ARAVENA GONZALEZ

PROFESOR GUÍA:
LEONARDO BASSO SOTZ
NICOLÁS FIGUEROA GONZÁLEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SERGIO JARA-DÍAZ
CARLOS NOTON NORAMBUENA

SANTIAGO DE CHILE
MARZO 2013

Resumen

En las últimas décadas los principales aeropuertos del mundo han tenido que lidiar con altos niveles de congestión aérea generados por la sobreutilización de sus pistas de aterrizaje. La teoría señala que las aerolíneas no internalizan por iniciativa propia todas las externalidades que producen cuando toman la decisión de añadir un vuelo adicional a su producción, que sólo son capaces de considerar los costos que se autoimpone, pero no la que genera al resto de las aerolíneas. Esta es la razón por la cual en la realidad observamos más vuelos del nivel socialmente óptimo.

Al ser un problema de externalidades, se han propuesto en el último tiempo diversas políticas económicas que buscan corregir el problema y asignar la capacidad de una manera eficiente. En particular, se han estudiado la tarificación pigouviana diferenciada (cobrar externalidad no internalizada), remates y *trading* de slots, y se ha concluido, que estas medidas son equivalentes, que todas ellas son capaces de alcanzar una asignación eficiente siempre y cuando no exista poder de mercado por parte de las aerolíneas hacia sus pasajeros y tanto aerolíneas como aeropuertos posean la misma calidad de información.

En la realidad, no todos los agentes involucrados tienen la misma información: las aerolíneas poseen mejor calidad de información sobre sus demandas y costos que las que puede inferir el aeropuerto. A su vez, las aerolíneas no conocen con exactitud a sus rivales. El objetivo de esta tesis es comparar, en términos de bienestar social e ingresos para el aeropuerto, la equivalencia de las herramientas económicas mencionadas anteriormente bajo escenarios de asimetrías de información.

Desarrollando un modelo de competencia aérea e información asimétrica en un escenario donde no existe poder de mercado, los principales resultados y observaciones de esta tesis son: primero, ninguna de las herramientas de regulación analizadas es capaz de alcanzar el primer mejor. Segundo, a diferencia de lo que ocurre en información perfecta, la tarifa diferenciada óptima no representa a la congestión no internalizada evaluada en el primer mejor. Tercero, se demuestra que cuando los costos de congestión son lineales, el aeropuerto siempre preferirá cobrar una tarifa diferenciada a que repartir gratuitamente los *slots* entre las aerolíneas, ya que se alcanzará un bienestar social esperado mayor y además le generará ingresos. Finalmente, cuando se compara el remate con la tarificación, aún cuando se mantengan los costos de congestión lineales, no hay una política que domine siempre sobre la otra.

Abstract

In recent decades the main airports of the world have had to deal with high levels of air congestion caused by overuse of their runways. According to theory, airlines do not internalize externalities produced when an extra flight is added. In other words, airlines only consider their own cost when they make a decision, regardless the eventual costs generated to other airlines.This explains why we observe more flights than the social optimal level.

Several economic policies have been proposed during the last years in order to solve this externality problem. In particular, studies on uniform and differentiated pigouvian toll, slots trading, and slots auctions; conclude that assuming perfect information and in the absence of market power by the airlines, these policies are equivalent and achieve an efficient allocation.

Unfortunately, in reality, not all agents involved have full information. Indeed, airlines have better quality of the information about their demands and costs rather than the airport. Similarly, airlines do not know their competitors information with much precision as them. The goal of this thesis is to compare, in terms of social welfare and airport's revenue, the equivalence of differentiated tolls and auctions in the presence of asymmetric information.

This thesis studies a model of airline competition and asymmetric information in the absence of market power. The main results and observations are: first, none of the analyzed regulatory tools is able to achieve the first best. Second, the optimal differentiated congestion toll does not represent non-internalized costs evaluated the first best allocation. Third, it's proved that when the costs are linear, the social welfare and airport's revenue are higher in congestion toll rather than free slots allocation between airlines. Finally, between the auction and differentiated toll, neither of them outperforms the other, even when costs are linear.

Agradecimientos

Con el término de esta tesis no sólo culmina el desafío académico más grande que he enfrentado, sino que también la etapa universitaria, donde conocí mucha gente que de una u otra manera hicieron de estos años una gran experiencia.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia. A mis padres Gilberto y Rita por todo el amor y apoyo incondicional que me han entregado, por todo el sacrificio que han realizado para que yo pueda cumplir con mis metas. A mi hermana Andrea y mi prima Bárbara por ser mi compañera en este largo proceso y a mi hermano Matías. Los amo!

A Flor por haberse convertido en mi madre santiaguina desde el primer día que llegué a Santiago. Nunca olvidaré las muestras de cariño y ternura con las que me contuvo durante mis primeros años lejos de casa.

A Leonardo Basso, por ser el mejor profesor guía *ex-ante* y *ex-post*. Gracias por haberme dado la oportunidad de trabajar juntos no sólo en investigación, sino que también haciéndome parte del cuerpo docente de sus cursos. Gracias por los conocimientos que me ha entregado y por la paciencia que me ha tenido en este tiempo. Es usted el principal culpable de que hoy quiera seguir la vida académica.

A los profesores Sergio Jara-Díaz, Nicolás Figueroa y Carlos Noton, por los valiosos comentarios, apoyo e ideas que me dieron para el desarrollo de esta tesis. Al profesor Francisco Martínez, que casi sin conocerme no dudó en darme una carta de recomendación para postular a las becas de Magíster Nacional.

A mis amigos plancomuneros *Loh BIC*: a Camilo Córdova, Claudia Bravo, Jaime Fariña, Damián Baeza, Fernando Tapia, Cristián Morales, Accel Abarca, Luis Marabolí, Manuel Nuñez, Claudio Pareja y Makarina Orellana. Cuánto extraño nuestros terrazeos!

A mis queridas amigas Javiera Mercado, Trinidad Saavedra y Patricia Rodríguez, que nunca se acabe la costumbre de juntarnos a tomar té y copuchar, el estudio lo podemos omitir. Las quiero!

A todos los personajes del quinto piso, en especial a: Margarita Amaya, Camila Schneider, Diego Cruz, Cristóbal Pineda, Sebastían Astroza, Jaime Orrego, Juan Villablanca, Diego Silva, Tomás Vallejos, Solange Cerda, Thomas Capelle, Victor Rocco, Francisco Collarte, Richard Ibarra y Néstor Gallegos. Sin ustedes esta tesis habría sido una lata!.

A mis amigos Gabriel Espejo, José Rojas, Ricardo Goeppinger, Luis Fernando Solari, Charles Thraves, Nelson Devia, María Paz Jofré y Jacqueline Von Hausen. Gracias por compartir conmigo inolvidables Happy Hours, asados y paseos. A pesar de todo, no pudieron retenerme en el MGO.

A Mónica Chávez, por toda la ayuda en los trámites de titulación.

Finalmente, quiero agradecer Conicyt e Instituto Milenio por el financiamiento otorgado.

GRACIAS TOTALES!

Indice de símbolos

1. Variables:

s	capacidad aviones
δ	variable que representa las preferencias de los pasajeros por volar en horario congestionado (Modelo Brueckner 2002)
q_p	vuelos en horario congestionado (Modelo Brueckner 2002)
q_o	vuelos en horario no congestionado (Modelo Brueckner 2002)
$\bar{c}$	costo medio de producción en ausencia de congestión (Modelo Brueckner 2002)
q_i	vuelos producidos por la aerolínea i
p_i	disposición a pagar de los pasajeros de la aerolínea i (incluye tarifa y costos de tiempo)
ϕ	valor del tiempo de los pasajeros
β_i	valor del tiempo de la aerolínea i
θ_i	variable que representa la información privada de la aerolínea i
z	precio al cual las aerolíneas intercambian *slots* (Modelo Brueckner 2009)
y	precio al cual son vendidos los *slots* en un remate a precio uniforme
T_i	pago de la firma i en un remate *Vickrey*
Q^{AD}	cantidad de vuelos óptima para el enfoque de Asignación Directa

2. Funciones:

τ_i	tarifa que cobra el aeropuerto a la aerolínea i
$t(Q)$	costos de tiempo para los pasajeros producto de la congestión
$g(Q)$	incremento en los costos medios de producción de las aerolíneas por operar en escenario congestionado
$\omega(q)$	costos medios operacionales de las aerolíneas en ausencia de congestión
$c(Q)$	costo total en tiempo para pasajeros y aerolíneas producto de la congestión
$P^D(Q)$	función de demanda que enfrentan las aerolíneas (Modelo Pels & Verhoef 2004, Brueckner & Verhoef 2009)
$D(Q)$	función de demora
$\rho_i(q_i, q_j)$	costo generalizado del pasajero de la aerolínea i
$Z_i(q_i, q_j)$	tarifa manipulable cobrada a la aerolínea i
$CE(q)$	costos externos que genera una firma al producir q unidades.

Tabla de contenido

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

El crecimiento del mercado aéreo en las últimas décadas no ha ido de la mano con una inversión proporcional en la capacidad de los aeropuertos, convirtiendo a las pistas de aterrizaje en un recurso escaso. Y, como consecuencia, generando un alto nivel de congestión en estos terminales de transporte. Lo anterior no sólo perjudica a las aerolíneas, sino también a los pasajeros, quienes debido a los atrasos de los vuelos, ven incrementados sus costos de viaje. Los aeropuertos de Estados Unidos y Europa son un claro ejemplo de que el problema seguirá creciendo si no se toman medidas al respecto. Por otro lado, la solución al problema no es necesariamente expandir la capacidad, pues esto requiere una alta inversión que no siempre es posible, y además no es claro que la infraestructura existente esté siendo utilizada eficientemente.

La tarificación por congestión es un problema ampliamente tratado en economía de transporte. Sin embargo no es posible extender este enfoque de manera directa para el caso aéreo. Existen grandes diferencias entre ésta y la vial: para el caso aéreo, los agentes son no-atomísticos; cuando una aerolínea decide programar un vuelo adicional considera que éste incrementará los costos de congestión sobre su producción existente, mientras que en el otro, cada agente afecta al sistema de manera marginal. Además, al ser pocas las aerolíneas que operan en un aeropuerto, ejercen poder de mercado sobre sus pasajeros. Por esta razón, se deben incluir estos fenómenos en el diseño de la tarifa para que la producción resultante sea realmente óptima desde el punto de vista social (aquel en el que se maximizan los excedentes de los pasajeros y aerolíneas). Brueckner (2002) señala que si las aerolíneas compiten a lo Cournot en un aeropuerto congestionado, cada una de ellas sólo internaliza la congestión que se autogenera y no la que impone a las demás, por lo que si las aerolíneas no son completamente simétricas en costo y demanda, el primer mejor implicará un cobro de tarifas por congestión (pigouvianas) diferenciadas y decrecientes con respecto a la participación de mercado[1]. Es decir, una aerolínea que produce pocos vuelos pagará más por el derecho a operar un vuelo que una que produce una mayor cantidad. Es esta relación inversa entre tamaño de la firma y pago lo que obstaculiza la implementación de esta medida de regulación. Posteriormente, Pels & Verhoef (2004) demuestran que para que una tarifa pueda corregir de manera simultánea los fenómenos de poder de mercado e internalización de la congestión, se debe cobrar una tarifa de dos partes: la primera corresponde a la congestión no internalizada (Brueckner 2002) y la segunda a un subsidio por el poder de mercado, lo que tiene por objetivo disminuir artificialmente los costos de la firma y permitir que ésta genere por decisión propia la cantidad de vuelos eficiente (Basso

[1] A diferencia del caso de congestión vial, dado que en el mercado aéreo los agentes son no-atomìsticos, las tarifas corresponden a un pago por cada unidad producida. En otras palabras, si la tarifa es τ y la aerolínea produce q vuelos, entonces deberá pagar un total de τq

2008).

La manera en la cual se asigna el uso de la infraestructura aeroportuaria es a través de los *slots*, los cuales dan el derecho a una aerolínea a utilizar las pistas de aterrizaje para despegar o aterrizar en un determinado periodo de tiempo, comúnmente de 15 minutos. Las aerolíneas sólo pueden acceder al aeropuerto en un momento determinado si poseen el *slot* correspondiente. En la actualidad, existen 159 aeropuertos congestionados en el mundo que operan bajo este sistema. El mecanismo de asignación de los *slots* utilizado hoy en día sigue recomendaciones que realiza la IATA[2], las cuales se basan en el principio de *Grandfather Rights*, que asigna los permisos de acuerdo al uso histórico que éstos hayan tenido. Es decir, si en el período anterior una firma hizo uso de un determinado *slot*, en el período siguiente se le asigna nuevamente. Un porcentaje de los *slots* que no son asignados son de prioridad para aerolíneas nuevas que desean comenzar operaciones en el aeropuerto o bien para nuevas solicitudes de las firmas incumbentes. Para evitar el uso estratégico de los permisos por parte de las aerolíneas, se ha implementado además la regla *Use it or lose it*, la cual obliga a las aerolíneas a utilizar al menos el 80 % de los *slots* asignados, de lo contrario los pierden para el período siguiente. Los *slots* son asignados en una conferencia mundial que se realiza dos veces al año, las aerolíneas tienen la posibilidad de renunciar o devolver en un plazo determinado los *slots* que no usarán. Si bien los aeropuertos de Estados Unidos y los de la Unión Europea utilizan como ejes de asignación el mecanismo descrito anteriormente, poseen medidas complementarias que difieren entre ellos. Por ejemplo, en la Unión Europea es permitido que las aerolíneas intercambien *slots* entre sí siempre y cuando este intercambio sea uno a uno y no involucre un pago monetario, mientras que en Estados Unidos la venta/compra de *slots* es legal.

La modalidad actual en la que se asigna la capacidad en los aeropuertos no es eficiente, ya que no entrega los *slots* a las aerolíneas que generan un mayor valor social de éstos. Inspirados en esta realidad y en la limitada implementación de las tarifas diferenciadas, es que diversos economistas han estudiado otros mecanismos que buscan mejorar el uso de la capacidad en los aeropuertos congestionados. Entre las medidas propuestas se encuentran la venta, remate y *trading* de *slots*. El primero es equivalente a un cobro por congestión uniforme: el aeropuerto anuncia un precio determinado y cada aerolínea decide la cantidad de vuelos que ofrecerá o la cantidad de *slots* que comprará. En un remate el aeropuerto anuncia la cantidad de *slots* a rematar, y las aerolíneas realizan sus posturas, señalando la cantidad la cantidad de dinero que están dispuestos a pagar por una determinada asignación de permisos. Finalmente, el *trading de slots* corresponde a una negociación o intercambio de éstos entre las aerolíneas; el aeropuerto reparte una cantidad fija de *slots* a cada una de las aerolíneas, generando la posibilidad de un mercado secundario donde, posteriormente las aerolíneas pueden negociar entre ellas la forma en que se asignarán finalmente estos recursos (Starkie 2008). La principal diferencia entre los mecanismos de precio (tarificación diferenciada y uniforme) y los de cantidad (remates y *trading*) es que en los últimos, al fijar la cantidad de permisos, las externalidades de congestión desaparecen. Brueckner (2009) sostiene que bajo el supuesto de ausencia de poder de mercado por parte de las aerolíneas e información perfecta, es decir cuando no existen asimetrías de información entre la información que manejan las aerolíneas y el aeropuerto con respecto a las funciones de costo y demanda, las medidas nombradas anteriormente permiten alcanzar los mismos resultados que el primer mejor. Sin embargo, Basso (2010) ha demostrado que levantando el supuesto de demanda perfectamente elástica, el remate de *slots* es ineficiente, y en algunos casos puede generar resultados peores en términos de bienestar social que una política de no tomar medidas y dejar que las aerolíneas compitan libremente en el aeropuerto.

[2]International air transport association

Por otra parte, no todos los aeropuertos son estatales, o muchos de ellos están sujetos a restricciones de autofinanciamiento, en ese sentido, resulta interesante estudiar qué ocurre con estas diferentes medidas de asignación cuando se modifica la función objetivo. Respondiendo a esta pregunta, Basso & Zhang (2010) analizaron el caso en el cual se tiene un aeropuerto parcialmente privatizado y concluyen que el nivel de congestión y los beneficios del aeropuerto dependen completamente de los parámetros utilizados en el modelo, es decir, no existe una política que se imponga sobre otra, aún en ausencia de poder de mercado en las aerolíneas.

Los estudios realizados hasta la fecha han sido desarrollados bajo escenarios idealizados de información perfecta entre los agentes involucrados. De esta manera, utilizando tarifas apropiadas el regulador puede inducir la asignación que desee, incluyendo aquella que maximiza el bienestar social. Sin embargo, es lógico pensar que en la realidad el aeropuerto desconoce o tiene imperfecto conocimiento sobre los costos y/ o demandas de las aerolíneas. Mas aún, las asimetrías de información se extienden entre aerolíneas: una aerolínea desconoce realmente el tipo de oponente que enfrenta. Además, las firmas sujetas a regulación no tienen incentivos a priori para revelar su información privada respecto a sus funciones de costos y/o demanda, y como queda demostrado en la literatura reciente de regulación, la bondad de las herramientas se ve drásticamente cambiada cuando se introducen asimetrías de información (Amstrong & Sappington 2003). De ahí que resultaría interesante analizar el desempeño de estas medidas bajo el supuesto más realista de información imperfecta.

La teoría se complementa con el diseño de mecanismos eficientes: aquellos que haciéndose cargo de la información incompleta logran una asignación de los recursos que maximiza el bienestar social. La literatura en esta materia se inicia con el aporte de Vickrey (1961), demostrando que en un remate de varios objetos idénticos con valoraciones privadas, es posible alcanzar el primer mejor si se implementa un sistema donde los objetos son asignados a los jugadores con mayores posturas y los pagos de los jugadores corresponden a la externalidad que éstos imponen sobre los demás participantes. Los avances de la literatura en esta materia, parecen indicar que si bien estos mecanismos son en la teoría una herramienta eficaz para inducir óptimos sociales en escenarios donde existen asimetrías de información, no es fácil llevarlos a la práctica. Por esta razón, en muchas ocasiones, las políticas de regulación en estos escenarios se deben restringir a políticas de segundo mejor, que si bien no son eficientes, son simples de implementar.

1.2. Objetivos

El objetivo general de esta tesis es estudiar el efecto que las asimetrías de información generan sobre las tarifas pigouvianas, implementadas para paliar la congestión y así maximizar el bienestar social esperado, utilizando un modelo de competencia oligopólica entre dos aerolíneas sin poder de mercado.

Los objetivos específicos que permiten alcanzar el general son:

- Desarrollar un modelo de competencia en el mercado aéreo que incluya congestión y asimetrías de información.
- Determinar las diferencias que se generan sobre las reglas de tarificación pigouviana con respecto a un escenario de información perfecta.
- Comparar en términos de eficiencia la tarificación pigouviana con otros mecanismos de asignación de slots como los remates y la asignación directa.

1.3. Estructura de la tesis

Esta tesis cuenta con 5 capítulos. En el capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica y un análisis critico sobre la literatura relevante para el desarrollo de ésta. En esta sección se clasifican los trabajos previos en dos áreas: una específica del problema de congestión que se observa en los aeropuertos y las herramientas económicas que buscan corregir las fallas de mercado, y otra que, si bien no tiene un enfoque específico en el mercado aéreo, trata sobre regulación de mercados en escenarios de información imperfecta y diseño de mecanismos.

En el capítulo 3 se plantea un modelo de competencia oligopólica que analizaremos entre dos aerolíneas sin poder de mercado y el juego entre éstas y el aeropuerto. En esta sección, a modo de *benchmark* utilizamos supuestos de información perfecta entre los agentes, resolvemos el juego de tarificación pigouviana y remates, demostrando que ambas herramientas permiten alcanzar o implementar efectivamente el primer mejor.

En el capitulo 4 se introduce al modelo de la sección anterior información imperfecta, se describen las políticas económicas que serán comparadas en términos de bienestar social esperado a la tarificación pigouviana, y las principales diferencias de éstas con respecto al caso de información perfecta.

Finalmente, en el capítulo 5 se resume el trabajo realizado, se presentan las conclusiones y líneas futuras de investigación.

Capítulo 2

Revisión de la literatura

2.1. Introducción

La literatura que estudia el comportamiento de las aerolíneas en los aeropuertos es reciente, y el enfoque de los trabajos ha sido principalmente estudiar las fallas de mercado que se generan en estos terminales de transporte y políticas de regulación que permitan al sistema alcanzar el óptimo social, en el cual se maximizan los excedentes de todos los agentes involucrados: pasajeros, aerolíneas y aeropuertos.

Fue recién en el 2002 donde se incorpora a los modelos analíticos el hecho de que las aerolíneas son agentes estratégicos, iniciándose de esta manera una serie de investigaciones que van en esta misma línea y que añaden además fenómenos como el poder de mercado y externalidades privadas entre las firmas, como lo es la congestión, que además afectan el bienestar de los pasajeros. Todos estos análisis han sido desarrollados bajo escenarios idealizados de información perfecta, es decir, suponen que tanto las aerolíneas como el aeropuerto poseen la misma información. Sin embargo, tal como se ha hecho hincapié anteriormente, en la realidad los agentes manejan distinta información, en particular las aerolíneas poseen mejores pronósticos de sus funciones de costos y demanda reales que las que puede inferir el aeropuerto, y no poseen incentivos a priori para revelarlas.

Es por esta razón que resulta de utilidad revisar literatura relacionada con herramientas de regulación de mercado bajo información imperfecta, cuyos análisis no se basan necesariamente en mercados de características similares a las del aéreo, pero sirven de base para futuras extensiones. Por otra parte, en economía existe un área que ha ganado un espacio relevante en las últimas décadas, el diseño de mecanismos, el cual constituye el eje central de herramientas económicas que buscan incentivar a los agentes a revelar su información privada.

En el presente capítulo se describe la literatura relevante sobre el problema existente en los aeropuertos para el desarrollo de la tesis, posteriormente se reporta los trabajos sobre políticas de regulación bajo información imperfecta y diseño de mecanismos. La sección finaliza con comentarios y conclusiones.

2.2. Políticas de regulación en aeropuertos congestionados

El primer trabajo en observar mediante modelos analíticos el fenómeno de que las aerolíneas internalizan parte de la congestión que generan fue el de Brueckner (2002), el cual señala que las tarifas pigouvianas tal como se usan para tratar la congestión vial, asumiendo que los agentes son atomísticos y que la decisión de cada uno contribuye muy poco a la condición del sistema, fallan para este caso. Por lo tanto, un sistema tarifario que cobra únicamente la congestión no internalizada podría mejorar las condiciones de tráfico en los aeropuertos.

El estudio se basa en un análisis de dos períodos de tiempo: uno *peak* y uno *no peak*, en el primero existe congestión que afecta los costos operacionales de las aerolíneas e impone costos de tiempo para los pasajeros, en el segundo, la demanda es siempre pequeña comparada con la capacidad del aeropuerto y por lo tanto está libre de congestión. Se considera además un continuo de pasajeros que se diferencian en los beneficios que le reportan viajar en cada uno de los intervalos de tiempo. El modelo estudia como se asignan los pasajeros bajo diferentes sistemas de operación de las aerolíneas (monopolio, competencia Cournot y mercado competitivo) y los compara con el óptimo social. Para hacerlo considera que el número de vuelos en el período *no peak* y *peak* son q_o y q_p respectivamente, los costos operacionales por vuelo generado son constantes e iguales a $\bar{c}$ en ausencia de congestión y se elevan en $g(q_p)$ en el periodo *peak*, con $g(\cdot)$ no decreciente y convexa. Todos los vuelos operan a capacidad, siendo ésta constante e igual a s para todos. Los pasajeros son representados y diferenciados por una variable δ que de distribuye uniforme entre cero y uno con densidad unitaria y que caracteriza sus preferencias por viajar en cada uno de los intervalos de tiempo . Los beneficios del viaje dependen de esta variable, siendo iguales a $b_o(\delta)$ para el período *no peak* y $B_p(\delta, q_p)$ para el congestionado. Por simplicidad e interpretación de resultados, la última función se asume aditivamente separable en sus variables: $B_p(\delta, q_p) = b_p(\delta) - t(q_p)$ donde $t(\cdot)$ es no decreciente y convexa y representa los costos de tiempo para los pasajeros por viajar durante el periodo *peak*. Se imponen además ciertas condiciones sobre las funciones b_o y b_p para hacer el problema tratable: (1) $b_o'(\delta) > 0 \ \forall \ \delta \in [0, 1]$, lo mismo ocurre para b_p, lo que permite ordenar a los consumidores en orden creciente con respecto a sus beneficios. (2) $b_o(\delta)$ y $b_p(\delta)$ satisfacen la propiedad de *single crossing*, en particular se asume que $b_p' > b_o' \ \forall \ \delta \in [0, 1]$.

Para caracterizar el óptimo social se busca el intervalo de pasajeros que viaja en cada uno de los períodos, dada la propiedad de *single crossing* se tendrá que los pasajeros con valores altos de δ viajarán en intervalo *peak*. Por lo tanto, se maximiza el bienestar social sobre los puntos $\underline{\delta}$ y δ^* que representan el valor de δ a partir del cual los pasajeros viajan y el pasajero crítico que separa a ambos grupos de viajeros respectivamente. De esta manera, el bienestar social puede escribirse como:

$$BS = \int_{\underline{\delta}}^{\delta^*} b_o(\delta) d\delta + \int_{\delta^*}^{1} \left(b_p(\delta) - t\left(\frac{1-\delta^*}{s}\right)\right) d\delta - \bar{c}\frac{1-\underline{\delta}}{s} - \frac{1-\delta^*}{s} g\left(\frac{1-\delta^*}{s}\right) \tag{2.1}$$

Donde el primer y segundo término representan los excedentes de los pasajeros que viajan en el período *no peak* y *peak* respectivamente, mientras que los dos últimos corresponden a los costos operacionales de la aerolínea.

Asumiendo que $b_o(0) < \frac{\bar{c}}{s}$ y considerando soluciones interiores, la condición de primer orden con respecto a $\underline{\delta}$ será:

$$b_o(\underline{\delta}) = \frac{\bar{c}}{s} \tag{2.2}$$

Y con respecto a δ^*

$$(b_p(\delta^*) - t(q_p) - b_o(\delta^*)) - q_p t'(q_p) - \frac{1}{s}\left(g(q_p) + q_p g'(q_p)\right) = 0 \tag{2.3}$$

Donde $q_o = \dfrac{\delta^* - \underline{\delta}}{s}$ y $q_p = \dfrac{1-\delta^*}{s}$.

La ecuación 2.2 muestra que el beneficio del pasajero con δ más bajo que viaja es igual al costo de su asiento. A su vez, 2.3 señala que el beneficio adicional que recibe el pasajero δ^* por cambiarse desde un vuelo de hora *no peak* a una *peak* (primer término de la ecuación) debe ser igual al costo extra en tiempo que impone sobre los pasajeros (segundo término) de ese horario más el incremento en costos operacionales y de congestión para las aerolíneas (tercer término).

Si las aerolíneas fueran agentes atomísticos, es decir, produjeran sólo un vuelo, se tendría el resultado de competencia perfecta, en cuyo caso los precios de los vuelos sólo alcanzarían para cubrir los costos operacionales, es decir:

$$f_p = \frac{\bar{c} + g(q_p)}{s} \tag{2.4}$$

$$f_o = \frac{\bar{c}}{s} \tag{2.5}$$

Para determinar la asignación de pasajeros en este escenario, el consumidor δ^* debe estar indiferente entre volar en el período *peak* y el *no peak*, lo que se tiene imponiendo la siguiente condición: $b_o(\delta^*) - t(q_p) - f_p = b_o(\delta^*) - f_o$. Para determinar el pasajero de valoración más baja que viaja, se debe cumplir que $b_o(\underline{\delta}) >= f_o$, condición que es idéntica a la que determina $\underline{\delta}$ para el óptimo social. Sin embargo, se genera una ineficiencia al determinar el valor de δ que divide a los pasajeros de ambos períodos, basta reemplazar 2.4 y 2.5 en la ecuación de indiferencia, con lo que se obtiene:

$$[b_p(\delta^* - t(q_p) - b_o(\delta^*))] - \frac{1}{s}g(q_p) = 0 \tag{2.6}$$

Comparando la ecuación anterior con 2.3 es posible observar que los términos que reflejan la congestión no aparecen para este caso, es decir, las aerolíneas no consideran el incremento en los costos del sistema que genera un pasajero extra en el horario *peak*, obteniéndose un δ^* que es inferior al eficiente, y por lo tanto se genera una sobretutilización del período *peak*. El aeropuerto podría inducir el óptimo social, cobrando una tarifa en el período *peak* igual al costo de congestión que genera un vuelo adicional:

$$\tau(q_p) = sq_p t'(q_p) + q_p g'(q_p) = 0 \tag{2.7}$$

El cobro anterior modificará la tarifa en el horario *peak* y por lo tanto se moverán algunos pasajeros al horario *no peak*.

Brueckner estudia además el caso en el cual es operado por una única aerolínea, en cuyo caso la condición de indiferencia para determinar δ^* se mantiene, es decir, se tiene: $b_o(\delta^*) - t(q_p) - f_p = b_o(\delta^*) - f_o$. Sin embargo, para determinar al individuo con la valoración más baja que viajará en horario *no-peak* se impone la condición de que la tarifa en tal horario debe ser igual al beneficio que le reporta al pasajero caracterizado por $\underline{\delta}$ viajar en ese horario: $f_o = b_o(\underline{\delta})$. Con las restricciones anteriores, la utilidad del monopolista se puede escribir como:

$$[b_p(\delta^*) - t(q_p) - b_o(\delta^*)]\,(1-\delta^*) + b_o(\underline{\delta})(1-\underline{\delta}) - \bar{c}\frac{(1-\underline{\delta})}{s} - \frac{(1-\delta^*)}{s} g\left(\frac{1-\delta^*}{s}\right) \tag{2.8}$$

Y las restricción de primer orden del problema de maximización de utilidades con respecto a $\underline{\delta}$ es:

$$b_o(\underline{\delta}) - (1-\underline{\delta})b_o'(\underline{\delta}) \geq \frac{\bar{c}}{s} \tag{2.9}$$

Y con respecto a δ^*:

$$[b_p(\delta^*) - t(q_p) - b_o(\delta^*)] - q_p t'(q_p) - \frac{1}{s}\left[g(q_p) + q_p g'(q_p)\right] - (1-\delta^*)\left[b_p'(\delta^*) - b_o'(\delta^*)\right] = 0 \tag{2.10}$$

De 2.9 se tiene que $\underline{\delta}$ es mayor que el obtenido en el caso de máximo bienestar social o competencia perfecta, ya que $b_o' > 0$, es decir, el monopolista está explotando su poder de mercado, dejando fuera a un conjunto de consumidores. Si se compara la ecuación que caracteriza la elección de δ^* con la equivalente a la del óptimo social se observa que los costos de congestión son completamente internalizados por la aerolínea, sin embargo, se genera una ineficiencia producto del poder de mercado que ésta ejerce sobre sus pasajeros. Haciendo uso de la condición $b_p' > b_o'$, se tiene que en el equilibrio monopólico δ^* es más alto comparado con el eficiente, asignado menos pasajeros al horario *peak* que lo socialmente óptimo.

Finalmente, Brueckner estudia el caso de k aerolíneas que compiten Cournot, determinando el número de vuelos que ofrecerán en cada período, q_o^i y q_p^i con lo que implícitamente se determinarán los valores de $\underline{\delta}$ y δ^*, cumpliéndose que $1-\delta^* = s\sum_{i=1}^{k} q_p^i$ y $\delta^* - \underline{\delta} = s\sum_{i=1}^{k} q_o^i$, las condiciones para los precios fijados por las aerolíneas son las mismas que en el caso monopólico. De esta manera, la utilidad de la firma j puede escribirse como:

$$f_o s q_o^j + f_p s q_p^j - c(q_o^j + q_p^j) - q_p^j g\left(\sum q_p^i\right) \tag{2.11}$$

Reemplazando las condiciones para los precios de los vuelos y asumiendo simetría entre las firmas, se obtiene que la cantidad de vuelos que la firma j escogerá operar en el horario *peak* es tal que:

$$[b_p(\delta^*) - t(q_p) - b_o(\delta^*)] - \frac{q_p}{k}t'(q_p) - \frac{1}{s}\left[g(q_p) + \frac{q_p}{k}g'(q_p)\right] - s\frac{(1-\delta^*)}{k}\left[b_p'(\delta^*) - b_o'(\delta^*)\right] = 0 \tag{2.12}$$

Donde el total de vuelos en horario *peak* es $q_p = kq_p^j$. Esta condición difiere de la del caso monopólico en dos aspectos: el primero corresponde a los términos de la congestión asociados. En este caso cada aerolínea sólo internaliza una fracción igual a $\frac{1}{k}$ del efecto de ésta, la cual corresponde únicamente a la externalidad que se impone a si misma. Una segunda diferencia se refleja en el último término de la ecuación, mostrando que ahora el poder de mercado se ejerce sólo sobre sus pasajeros.

Brueckner propone solucionar el problema de la sobreutilización del período *peak* cobrando una tarifa (por unidad producida) igual a la congestión no internalizada:

$$\tau(q_p) = \left(1 - \frac{1}{k}\right)\left[s q_p t'(q_p) + q_p g'(q_p)\right] \tag{2.13}$$

Sin embargo, esta tarifa sólo se hace cargo de la congestión, el poder de mercado sigue distorsionando la asignación con respecto al óptimo social. Por esta razón, tal como observa Brueckner, intervenir el mercado con esta única herramienta puede no mejorar el bienestar social con respecto a una situación en que las aerolíneas compiten libremente sin intervención de un regulador. Para justificar lo anterior, basta considerar el caso en el cual el efecto del poder de mercado, que tiende a generar una subutilización del horario *peak*, es superior al de la congestión no internalizada, entonces un cobro adicional a las aerolíneas en hora *peak* disminuirá la cantidad de vuelos ofrecidos en ese horario, alejando aún más al sistema del óptimo social.

Considerando la observación anterior, Pels & Verhoef (2004) buscan una tarifa que sea capaz de corregir tanto las distorsiones generadas por el poder de mercado como la congestión no internalizada. Su modelo considera una red compuesta por único par origen destino y dos aeropuertos estatales operados por dos aerolíneas homogéneas que compiten Cournot. Cada vuelo de las aerolíneas es operado a capacidad, la que puede ser normalizada a uno sin pérdida de generalidad. La demanda está representada por $P^D(Q) = a - bQ$, donde $Q = q_1 + q_2$ es la producción conjunta de las aerolíneas. La congestión en cada aeropuerto se refleja en un aumento en el tiempo de espera de los pasajeros, lo cual se traduce en un costo lineal en Q dado por ϕQ. Para las firmas, su costo operacional se incrementa en βQ por vuelo producido. El precio que cobrará cada aerolínea corresponde a la máxima disposición a pagar de los pasajeros: $P^D(Q) - 2\phi Q$, donde el 2 refleja la espera en ambos aeropuertos.

Cada aeropuerto k cobra una tarifa τ_{ki} a las aerolínea i, las cual además poseen un costo medio fijo operacional por cada vuelo producido igual a $\bar{c}$. Dado que el problema es simétrico, la tarifa que cobra cada aeropuerto es la misma e incluso una puede ser fijada en cero sin problemas. Bajo estos supuestos, las firmas escogen un nivel de producción q_i tal que:

$$\underset{q_i}{\text{Maximizar}} \quad \pi_i = (a - b(q_1 + q_2) - 2\phi(q_1 + q_2))\, q_i - q_i(2\tau + \bar{c} + 2\beta(q_1 + q_2)) \tag{2.14}$$

Cuya ecuación de primer orden es:

$$a - b(q_1 + q_2) - 2\phi(q_1 + q_2) - q_i(b + 2\phi) - 2\,(\tau + \beta(q_1 + q_2)) - \bar{c} - 2q_i\beta = 0 \tag{2.15}$$

Un regulador global, que maximiza los excedentes de pasajeros y aerolíneas, actuará como un líder de Stackelberg para escoger las tarifas óptimas:

$$\begin{aligned}
\underset{\tau}{\text{Maximizar}} \quad & BS = \int_0^{q_1+q_2} (a - bx)dx - 2(q_1 + q_2)^2\alpha - (q_1 + q_2)(\bar{c} + \beta(q_1 + q_2)) \\
\text{sujeto a} \quad & a - b(q_1 + q_2) - 2\phi(q_1 + q_2) - q_1(b + 2\phi) - 2\,(\tau + \beta(q_1 + q_2)) - \bar{c} - 2q_1\beta = 0 \\
& a - b(q_1 + q_2) - 2\phi(q_1 + q_2) - q_2(b + 2\phi) - 2\,(\tau + \beta(q_1 + q_2)) - \bar{c} - 2q_2\beta = 0
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Con lo que se obtiene que la tarifa óptima es:

$$\tau_i^* = q_j(\phi + \beta) - \frac{1}{2} b q_i \tag{2.17}$$

De la ecuación anterior se observa que la tarifa óptima tiene dos componentes: el primer término es un cobro por la congestión no internalizada (inducen a la firma a disminuir su producción) y corresponde a la tarifa propuesta por Brueckner (2002), y el segundo un subsidio que busca corregir las distorsiones generadas por el duopolio (inducen a la firma a aumentar su producción). El signo de la tarifa no es conocido a priori y dependerá del efecto que domine, es decir, si el efecto de poder de mercado es superior al de congestión entonces será un subsidio. La tarifa que únicamente intenta disminuir la congestión es mayor que la socialmente óptima y cuando el efecto poder de mercado domina disminuye el bienestar social. 2.17 muestra además que la firma con menor participación de mercado pagará más por unidad que una aerolínea de mayor tamaño, y que tanto la congestión no internalizada como el poder de mercado ayudan a incrementar la brecha entre las tarifas de ambas aerolíneas.

Morrison & Winston (2007) criticando el sistema de precios actual, donde existe un cobro a las aerolíneas basado en el tamaño de sus aviones y no en la congestión que generan, comparan empíricamente los efectos sobre el bienestar social que se generan al utilizar dos sistemas de tarifas. El primero es el propuesto por Brueckner (2002), donde sólo se cobra la congestión no internalizada y el segundo que corresponde al enfoque clásico de las tarifas por congestión del caso urbano, donde se trata a las aerolíneas como agentes atómisticos. El estudio utiliza datos del año 2005 para 74 aeropuertos de Estados Unidos, se calibraron funciones de demoras, demanda y costos para cada una de las 22 aerolíneas operantes, y en base a ellas se determinó una forma funcional específica para el bienestar social y el patrón de vuelos que se produciría con cada una de las políticas de tarifas. Los resultados muestran que las ganancias en bienestar social con ambos enfoques son similares, generando una mejora notable con respecto a la situación actual.

Como un apoyo a la discusión actual sobre la implementación de distintas medidas económicas que buscan resolver el problema de la congestión en los grandes aeropuertos, la literatura más reciente se ha centrado en buscar otros mecanismo de regulación que sean eficientes. Como se ha mencionado anteriormente, las tarifas diferenciadas no son implementables en la realidad, ya que exige un pago mayor a las aerolíneas de menor tamaño, y si bien las tarifas uniformes resuelven el problema anterior, la asignación final resulta siendo ineficiente. Por esta razón, Brueckner (2009) explora la implementación de herramientas de regulación basadas en cantidad, en particular, remate y *trading de slots* y su impacto sobre el bienestar social, cuya principal diferencia con los enfoques basados en tarifas son que en éstos la cantidad de *slots* o vuelos está fija para las firmas y por lo tanto la congestión también lo está, desapareciendo de esta manera las externalidades entre las aerolíneas.

El modelo de Brueckner (2009) considera un único aeropuerto y un único periodo de tiempo que se asume siempre congestionado, operado por dos aerolíneas asimétricas, denotadas por 1 y 2, que compiten Cournot entre ellas y enfrentan una demanda perfectamente elástica (ausencia de poder de mercado). Las aerolíneas sirven distintos mercados pero la congestión impacta a ambas de la misma manera. Los pasajeros están dispuestos a pagar un precio total igual a p_1 y p_2, con $p_1 > p_2$ respectivamente, el cual incluye los costos de tiempo adicionales que le significan la congestión, los cuales se representan con una función $t(q_1 + q_2)$, donde q_1 y q_2 es la cantidad de vuelos que opera cada aerolínea y satisface las siguientes propiedades $t(0) = 0$, $t' \geq 0$ y $t'' \geq 0$. Adicionalmente, la congestión impacta a las aerolíneas elevando sus costos operacionales en $g(q_1 + q_2)$ por cada vuelo que producen, esta función comparte las mismas propiedades de t. Las firmas además enfrentan costos medios de producción representados por una función $\omega(q_i)$, los cuales son crecientes con el volumen de la aerolínea, es decir, existen retornos decrecientes a escala.

Con estos supuestos, las utilidades de cada aerolínea pueden escribirse como:

$$\pi_i = [p_i - t(q_1 + q_2)]\, q_i - [\omega(q_i) + g(q_1 + q_2)]\, q_i \tag{2.18}$$

$$\pi_i = [p_i - \omega(q_i)]\, q_i - c(q_1 + q_2)q_i \tag{2.19}$$

Donde c es una función que contiene el costo total en tiempo de pasajeros y aerolíneas cuando se considera el número de asientos de cada vuelo igual a uno.

$$c(q_1 + q_2) = t(q_1 + q_2) + g(q_1 + q_2) \tag{2.20}$$

Dado que no existe poder de mercado, el bienestar social está dado simplemente por la suma de las utilidades de ambas aerolíneas:

$$BS = \pi_1 + \pi_2 \tag{2.21}$$

Derivando el bienestar social con respecto a q_1 y q_2 se generan las siguientes ecuaciones que caracterizan la asignación óptima (q_1^*, q_2^*) :

$$p_1 - \omega(q_1) - q_1\omega'(q_1) - c(q_1 + q_2) - (q_1 + q_2)c'(q_1 + q_2) = 0 \tag{2.22}$$

$$p_2 - \omega(q_2) - q_2\omega'(q_2) - c(q_1 + q_2) - (q_1 + q_2)c'(q_1 + q_2) = 0 \tag{2.23}$$

Utilizando las condiciones sobre las funciones, se tiene que en el óptimo la firma 1 (por la cual los pasajeros poseen una mayor disposición a pagar) produce más vuelos que su competidora: $q_1^* > q_2^*$. A continuación se expondrán las diferentes políticas de regulación analizadas por Brueckner (2009):

- **Tarificación diferenciada:** Cuando se deja a las aerolíneas competir Cournot libremente en el aeropuerto, la producción está caracterizada por las siguientes ecuaciones:

$$p_1 - \omega(q_1) - q_1\omega'(q_1) - c(q_1 + q_2) - q_1 c'(q_1 + q_2) = 0 \tag{2.24}$$

$$p_2 - \omega(q_2) - q_2\omega'(q_2) - c(q_1 + q_2) - q_2 c'(q_1 + q_2) = 0 \tag{2.25}$$

De 2.24 y 2.25 se observa que al no haber poder de mercado, la única desviación con respecto al óptimo social es la de la congestión no internalizada. La aerolínea i ignora parte de la congestión que genera cuando decide incrementar su producción, y como ya se ha analizado anteriormente, sólo internaliza la congestión que se genera a si misma y no la que produce sobre su competidora. Por esta misma razón, se obtiene que en el equilibrio las aerolíneas, en conjunto, producen una mayor cantidad de vuelos y, por ende, un nivel de congestión mayor al socialmente óptimo.

El aeropuerto puede inducir el óptimo social mediante el cobro de tarifas diferenciadas, donde cada aerolínea pagará una cantidad igual a la congestión no internalizada evaluada en el óptimo social, por cada vuelo que desea producir. Es decir, la firma i pagará un monto igual a $\tau_i = q_j^* c'(q_1^* + q_2^*)$ por cada uno de sus q_i vuelos producidos, lo que la llevará a producir finalmente q_i^*. Dado que la aerolínea 2 es la que internaliza una menor proporción de la congestión que genera, la tarifa por congestión que cobra el aeropuerto será mayor.

- **Tarificación uniforme:** Un segundo enfoque basado en precios es la tarificación uniforme o venta de *slots*, en el cual el aeropuerto anuncia un precio, denominado por τ, para éstos y las aerolíneas pueden comprar la cantidad que deseen a ese precio. Para determinar el precio a cobrar, el aeropuerto maximiza sobre τ el bienestar social anticipando la mejor respuesta de las aerolíneas frente a este precio. En otras palabras, el aeropuerto resuelve:

$$\begin{aligned} \underset{\tau}{\text{Maximizar}} \quad & \pi_1 + \pi_2 \\ \text{sujeto a} \quad & p_1 - \omega(q_1) - q_1\omega'(q_1) - c(q_1 + q_2) - q_1 c'(q_1 + q_2) - \tau = 0 \\ & p_2 - \omega(q_2) - q_2\omega'(q_2) - c(q_1 + q_2) - q_2 c'(q_1 + q_2) - \tau = 0 \end{aligned} \tag{2.26}$$

Si bien la tarifa uniforme soluciona el problema de implementabilidad, es ineficiente. Esta tarifa penaliza demasiado a la aerolínea 1 y no lo suficiente a las 2, induciendo una producción menor a la del óptimo social para la primera y una mayor para la segunda. Lo que ocurre con el nivel de congestión es ambiguo, habiendo casos en los cuales la producción total que induce una tarifa de este tipo es mayor a la eficientes y otros en los que ocurre lo contrario.

Debido a la pérdida de eficiencia que genera una tarifa uniforme, Brueckner (2009) estudia la implementación de políticas basadas en una cantidad y no un precio como las vistas anteriormente. Bajo este enfoque, el aeropuerto escoge una cantidad total de *slots* y mediante algún mecanismo de asignación, que puede ser distribuirlos de manera gratuita entre las firmas y dejar que ellas los renegocien o un remate, los entrega a las aerolíneas.

- **Trading de slots:** Si el aeropuerto reparte un total de n permisos entre ambas aerolíneas, y asigna n_i permisos a la aerolínea i con $n = n_1 + n_2$, las utilidades de las firmas quedan dadas por:

$$\pi_i = [p_i - \omega(q_i)]\, q_i - c(n)q_i - z(q_i - n_i) \tag{2.27}$$

Donde q_i es la cantidad de vuelos que produce la firma i una vez que las aerolíneas negocian los permisos repartidos previamente por el regulador y z es el precio unitario al cual los transan. Por lo tanto, si $q_i > n_i$ significa que la firma compró permisos a la firma j. Asumiendo que no hay comportamiento estratégico por parte de las firmas, el único equilibrio posible en este mercado secundario se alcanzará cuando la disposición a pagar de la firma i por un *slot* adicional sea igual a la pérdida de utilidad que le genera a la firma j producir una unidad menos. Es decir, en equilibrio se igualan las valoraciones marginales de las firmas, cumpliéndose:

$$p_1 - \omega(q_1) - q_1\omega'(q_1) - c(n) = z \tag{2.28}$$

$$p_2 - \omega(q_2) - q_2\omega'(q_2) - c(n) = z \tag{2.29}$$

$$q_1 - n_1 = -(q_2 - n_2) \Rightarrow q_1 + q_2 = n_1 + n_2 = n \tag{2.30}$$

La principal diferencia entre las ecuaciones que caracterizan el equilibrio entre un sistema de precios y uno de cantidad corresponde a la ausencia de los términos que involucran c', debido a que en este último, el número total de vuelos permanece constante y por lo tanto los costos de congestión no se modifican con la decisión de producción de las firmas.

Para reproducir el óptimo social, el aeropuerto sólo necesita repartir una cantidad de permisos $n = n^*$, siendo n^* la cantidad de *slots* del primer mejor, no necesitándose ninguna condición adicional sobre n_1 y/o n_2, y dejar que las aerolíneas negocien entre ellas. Las firmas alcanzarán por decisión propia la asignación óptima, y transarán los *slots* a un precio igual a $n^*c'(n^*)$.

- **Remates:** Otro mecanismo de asignación óptimo basado en cantidades es un remate, que dado que se está en condiciones de información perfecta, puede ser uno de precio uniforme[1] , donde el aeropuerto anuncia una cantidad n a ser rematada, la postura de las aerolíneas es su disposición a pagar por cada *slot* adicional y corresponde a su valoración marginal: $p_i - \omega(q_i) - q_i\omega'(q_i) - c(n)$. Dado que los *slots* son asignados a la aerolínea que más los valora, la asignación final estará caracterizada por el punto (n_1, n_2) donde se igualan las posturas de las firmas. Es decir, se cumplirá:

$$p_1 - \omega(n_1) - n_1\omega'(n_1) - c(n) = p_2 - \omega(n_2) - n_2\omega'(n_2) - c(n) \tag{2.31}$$

$$n_1 + n_2 = n \tag{2.32}$$

  Se observa de 2.31 y 2.32 que si se remata la cantidad que corresponde al número total de vuelos del primer mejor, el remate induce la asignación óptima.

Por lo tanto, las conclusiones de Brueckner (2009) son que si bien las tarifas diferenciadas no son implementables para alcanzar el primer mejor, éste se puede lograr mediante mecanismos de asignación basados en cantidad como lo son el remate y el intercambio de *slots* entre las aerolíneas, herramientas que si parecen ser fácil de utilzar.

El modelo estudiado anteriormente considera ausencia de poder de mercado (que ha sido introducido utilizando demandas perfectamente elásticas), supuesto que juega un rol crucial para poder implementar el óptimo social mediante un remate o el intercambio de *slots*. Haciendo uso de

[1] Bajo información imperfecta este tipo de remate no es óptimo, ya que a las firmas no les conviene revelar su verdadera valoración. Se entrega más detalles en los capítulos siguientes

esta observación, Basso (2010) argumenta que si bien fijar el número de *slots* hace desaparecer las externalidades de congestión, no puede hacerse cargo del poder de mercado de las firmas, razón por la cual continúan siendo ineficientes. Mediante un modelo más general donde relaja los supuesto de demanda perfectamente elástica, demuestra la fuente de tales ineficiencias y muestra incluso, casos en los cuales el remate puede generar resultados peores en términos de bienestar social que una situación donde las aerolíneas compiten libremente sin intervención de un regulador.

El modelo considera dos aerolíneas asimétricas, denotadas 1 y 2, con poder de mercado operando en un único aeropuerto congestionado. Asumiendo una capacidad unitaria para los aviones de ambas aerolíneas, la demanda de cada aerolínea es una función $q_i(\rho_i, \rho_j)$, donde $\rho_i = t_i + \alpha D(q_1 + q_2)$ y representa el costo generalizado para los pasajeros, es decir, la suma de la tarifa que cobra la aerolínea i (t_i) y el valor de los costos de tiempo que le genera la congestión ($\alpha D(q_1 + q_2)$). Invirtiendo el sistema de demandas anterior, se obtienen las inversas dadas por: $\rho_i(q_i, q_j) = d_i(q_i, q_j)$. Lo anterior permite escribir la tarifa como t_i como $t_i = d_i(q_i, q_j) - \alpha D(q_1 + q_2)$. La función de costos de la firma i es $C_i(q_i, q_j) = c_i(q_i) + \beta_i D(q_1 + q_2)q_i$, donde el primer término es el costo operacional y el segundo los costos de congestión. De esta manera el bienestar social, correspondiente a la suma de las utilidades de las dos aerolíneas y el excedente de los consumidores, se escribe como:

$$BS(q_i, q_j) = \sum_{i,j} \underbrace{\left[d_i(q_i, q_j)q_i - c_i(q_i) - [\alpha + \beta_i]\, D(q_i + q_j)q_i\right]}_{\pi_i} + \underbrace{\int_{\rho}^{\bar{\rho}} \sum_{i,j} q_i(\rho_i, \rho_j)}_{EC} \tag{2.33}$$

Las condiciones de primer orden que caracterizan al máximo bienestar social si éste es interior, son:

$$\begin{aligned} \frac{\partial BS}{\partial q_i} &= \frac{\partial d_i}{\partial q_i} + d_i - c_i'(q_i) - [\phi + \beta_i]\, D(q_i + q_j) - [\phi + \beta_i]\, D'(q_i + q_j)q_i \\ &- \left(\left[\phi + \beta_j\right] D'(q_i + q_j)q_j - \frac{\partial d_j}{\partial q_i} q_j + q_i \frac{\partial d_i}{\partial q_i} + q_j \frac{\partial d_j}{\partial q_i} \right) \\ &= 0 \end{aligned} \tag{2.34}$$

Reordenando los términos:

$$\frac{\partial BS}{\partial q_i} = d_i - c_i'(q_i) - [\alpha + \beta_i]\, D(q_i + q_j) - [\alpha + \beta_i]\, D'(q_i + q_j)q_i - \left[\alpha + \beta_j\right] D'(q_i + q_j)q_j = 0 \tag{2.35}$$

Mientras que si las aerolíneas compiten libremente, el equilibrio Cournot interior estará caracterizado por:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = \frac{\partial d_i}{\partial q_i} + d_i - c_i'(q_i) - [\alpha + \beta_i]\, D(q_i + q_j) - [\alpha + \beta_i]\, D'(q_i + q_j)q_i = 0 \tag{2.36}$$

Comparando 2.35 con 2.36 se observa, como ya se ha descrito anteriormente, que la aerolínea al tomar la decisión de producción no considera la congestión que genera a su competidora ni la pérdida de excedente de los consumidores. Se incorpora además un efecto adicional: al haber competencia entre las firmas por los pasajeros (los vuelos tienen un grado de sustitución entre sí), cuando la aerolínea i decide incorporar un vuelo adicional, está afectando la demanda de su competidora, lo cual se refleja en el término $-\frac{\partial d_j}{\partial q_i} q_j > 0$

Para que un remate o intercambio de *slots* entre las aerolíneas alcance la eficiencia, se necesita, en primer lugar que la cantidad a rematar o repartir sea igual a la del primer mejor (n^*). Si se remata esta cantidad, la ecuación que caracterizará la asignación resultante (siempre y cuando sea una cantidad positiva para ambas firmas) estará dada por el punto (q_1, q_2) donde se igualan las valoraciones:

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = \frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} \tag{2.37}$$

$$q_1 + q_2 = n^* \tag{2.38}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial d_1}{\partial q_1} + d_1 - c_1'(q_1) - [\alpha + \beta_1] D(n^*) = \frac{\partial d_2}{\partial q_2} + d_2 - c_2'(q_2) - [\alpha + \beta_2] D(n^*) \tag{2.39}$$

De 2.35 se obtiene que en el primer mejor se cumple:

$$d_1 - c_1'(q_1) - [\alpha + \beta_1] D(n^*) = d_2 - c_2'(q_2) - [\alpha + \beta_2] D(n^*) \tag{2.40}$$

Comparando 2.40 y 2.39 se concluye que el remate sólo genera la asignación óptima cuando $\frac{\partial d_i}{\partial q_i} = 0$, es decir, cuando no existe poder de mercado. Basso (2010) encuentra casos (formas funcionales y valores de parámetros) para los cuales intervenir el mercado utilizando una política de remate de *slots* genera peores resultados en términos de bienestar social que no hacerlo, mostrando además que el espacio donde esto ocurre no es pequeño.

La no equivalencia entre tarificación y remates no sólo ocurre cuando existe poder de mercado por parte de las aerolíneas, aún cuando la demanda sea perfectamente elástica. Si el aeropuerto tiene restricciones de presupuesto o presenta algún grado de privatización, nuevamente divergen los resultados del bienestar social alcanzado. Lo anterior fue analizado por Basso & Zhang (2010), quienes extendieron el modelo de Brueckner (2009) para introducir estas nuevas características al mercado, modificando la función objetivo que anteriormente maximizaba el bienestar social:

$$FO(\eta) = \eta(\Phi_1 + \Phi_2) + \pi_1 - \Phi_1 + \pi_2 - \Phi_2 \qquad \alpha \geq 1 \tag{2.41}$$

donde Φ_i es un pago que hace la aerolínea al aeropuerto por el uso de las pistas de aterrizaje y que depende del mecanismo de asignación escogido. De 2.41 se observa que la nueva función objetivo es una combinación lineal de las utilidades de las aerolíneas y el aeropuerto; el parámetro η representa la importancia de las utilidades del aeropuerto en la función objetivo, que puede deberse a la necesidad de generar ingresos o el grado de privatización del terminal aéreo. Si $\eta = 1$, 2.41 representa el caso de un aeropuerto estatal sin restricción presupuestaria.

Si se utiliza el enfoque del remate a precio uniforme, el aeropuerto resolverá:

$$\begin{aligned} \underset{n}{\text{Maximizar}} \quad & \eta y(n)(q_1(n) + q_2(n)) + \sum_{i=1,2} [p_i - \omega(q_i(n)) - y(n) - c(n)]\, q_i(n) \\ \text{sujeto a} \quad & y(n) = p_1 - \omega(q_1(n)) - q_1(n)\omega'(q_1(n)) - c(n) \\ & y(n) = p_2 - \omega(q_2(n)) - q_2(n)\omega'(q_2(n)) - c(n) \end{aligned} \tag{2.42}$$

donde las restricciones caracterizan la asignación del remate y son idénticas a 2.31, ya que condicional en n la regla de asignación no cambia (se asigna al mayor postor). El término $y(n)$ representará el precio unitario de los *slot* cuando se rematan n.

Sin embargo, al utilizar un mecanismo de precios, el aeropuerto resuelve:

$$\begin{aligned} \underset{\tau_1, \tau_2}{\text{Maximizar}} \quad & \eta(\tau_1 q_1 + \tau_2 q_2) + \sum_{i=1,2} \left[p_i - \omega(q_i) - \tau_i - c(q_i + q_j)\right] q_i \\ \text{sujeto a} \quad & p_1 - \omega(q_1) - q_1\omega'(q_1) - c(q_1 + q_2) - q_1 c'(q_1 + q_2) - \tau_1 = 0 \\ & p_2 - \omega(q_2) - q_2\omega'(q_2) - c(q_1 + q_2) - q_2 c'(q_1 + q_2) - \tau_2 = 0 \end{aligned} \tag{2.43}$$

La condición de primer orden generan la ecuación que caracteriza la asignación resultante:

$$\eta\left[p_1-\omega(q_1)-q_1\omega'(q_1)\right]+(1-\eta)\left[(2\omega''(q_1)+q_1\omega''(q_1))q_1+(3q_1+q_2)c'(q_1+q_2)\right]=$$
$$\eta\left[p_2-\omega(q_2)-q_2\omega'(q_2)\right]+(1-\eta)\left[(2\omega''(q_2)+q_2\omega''(q_2))q_2+(3q_2+q_1)c'(q_1+q_2)\right] \quad (2.44)$$

Al comparar las restricciones de 2.54 y la ecuación 2.44 se puede demostrar que si $\eta \neq 1$ los mecanismos no son equivalentes en término de asignación y valor para la función objetivo. Y a diferencia de lo que ocurre en Brueckner (2009), donde las tarifas diferenciadas maximizan el bienestar social, no se puede concluir lo mismo en este caso, es decir, qué política es superior en términos de valor de $FO(\alpha)$ dependerá de los parámetros del problema.

Brueckner & Verhoef (2010) critican una gran inconsistencia al tratar el enfoque de tarifas de la manera que se ha expuesto anteriormente: resulta contradictorio que agentes no atomísticos, con poder de mercado sobre sus consumidores y que no internalizan el costo que sus decisiones ejercen sobre sus competidores no actúen de forma estratégica frente a la tarifa que anuncia el regulador. Por esta razón, proponen un enfoque alternativo de las tarifas diferenciadas que se hace cargo del comportamiento manipulador que las aerolíneas deberían tener sobre éstas. El regulador anuncia una *regla tarifaria* que corresponde a una función que depende de la producción de ambas aerolíneas, éstas a su vez compiten a lo Cournot, escogiendo niveles de producción que afectarán el valor de la tarifa finalmente cobrada. Para determinar la regla tarifaria óptima a cobrar, el procedimiento es similar al del enfoque tradicional, es decir, el aeropuerto anticipa la respuesta de las firmas.

El modelo considera un único par origen-destino operado por dos aerolíneas asimétricas, denotadas por 1 y 2 que compiten Cournot. La cantidad de vuelos generada por cada firma es q_1 y q_2 respectivamente y el tamaño de los aviones es normalizado a la unidad. La demanda inversa de los pasajeros está dada por la función $P^D(q_1+q_2)$ y los costos en tiempo para cada pasajero debido a la congestión por $t(q_1+q_2)$. Los costos operacionales de las firmas se asumen lineales e igual es $\omega_i \cdot q_i$, y la congestión impone un costo medio a cada aerolínea igual $g_i(q_1+q_2)$. Las funciones $g(\cdot)$ y $t(\cdot)$ son convexas. El regulador anuncia una regla tarifaria diferenciada dada por la función $Z_i(q_i, q_j)$ a la aerolínea i, la cual no es un cobro por unidad, sino por el total de vuelos q_i que produce la firma.

El bienestar social está dado por:

$$BS=\int_0^{q_1+q_2} P^D(x)dx-\omega_1\cdot q_1-\omega_2\cdot q_2-q_1\cdot c_1(q_1+q_2)-q_2\cdot c_2(q_1+q_2) \quad (2.45)$$

Donde $c_i(q_1+q_2)=g_i(q_1+q_2)+t(q_1+q_2)$ corresponde al costo total que la congestión impone sobre la aerolínea i. La condición de primer orden para alcanzar el óptimo social es:

$$P^D(q_1+q_2)-\omega_i-c_i(q_1+q_2)-q_ic_i'(q_1+q_2)-q_jc_j'(q_1+q_2)=0 \quad (2.46)$$

Adicionalmente, dada una regla tarifaria $Z_i(q_1, q_2)$ la mejor respuesta de la aerolínea i se obtiene maximizando su utilidad:

$$\max_{q_i} \quad \pi_i=P^D(q_1+q_2)q_i-\omega_i\cdot q_i-c_i(q_1+q_2)q_i-Z_i(q_1,q_2) \quad (2.47)$$

$$\Rightarrow q_iP^{D\prime}(q_1+q_2)+P^D(q_1+q_2)-\omega_i-q_ic_i'(q_1+q_2)-c_i(q_1+q_2)-\frac{\partial Z_i(q_1,q_2)}{\partial q_i}=0 \quad (2.48)$$

Por lo tanto, para alcanzar el óptimo social con un sistema de reglas tarifarias, el regulador deberá cobrar $Z_i(q_1, q_2)$ tal que:

$$\frac{\partial Z_i(q_1, q_2)}{\partial q_i} = q_i P^{D\prime}(q_1 + q_2) + q_j c_j'(q_1 + q_2) \tag{2.49}$$

Integrando:

$$\Rightarrow Z_i(q_1, q_2) = -\left[\int_0^{q_i} P^D(x + q_j)dx - q_i P^D(q_1 + q_2)\right] + q_j c_j(q_1 + q_2) + K_i \tag{2.50}$$

K_i representa la constante de integración, la que es determinada imponiendo la condición de que la firma i pagará cero si no produce. De esta manera se obtiene que $K_i = -q_j c_j(q_j)$. De esta manera se reordena 2.50 y se obtiene:

$$Z_i(q_1, q_2) = -\left[\int_0^{q_i} P^D(x + q_j)dx - q_i P^D(q_1 + q_2)\right] + \left[q_j c_j(q_1 + q_2) - q_j c_j(q_j)\right] \tag{2.51}$$

El primer paréntesis corresponde a menos el excedente de los consumidores y el segundo al incremento en los costos de congestión que la producción de la firma i genera sobre la j. Al igual que las tarifas pigouvianas, la regla de tarifaria incorpora los fenómenos de poder de mercado y congestión, y por lo tanto, lo que finalmente pagan las firmas puede ser positivo o negativo, siendo negativo cuando el excedente de los consumidores es superior al incremento en el costo de congestión impuesto a la competidora. Para obtener el cobro total que realiza el aeropuerto a cada aerolínea, basta reemplazar las producciones óptimas q_1^* y q_2^* en 2.51

Obsérvese que si en este mismo modelo se omite el supuesto que las aerolíneas manipulan la tarifa, el aeropuerto habría cobrado a cada aerolínea una tarifa τ_i de dos partes igual a:

$$\tau_i = q_i P^{D\prime}(q_1 + q_2) + q_j q_j'(q_1 + q_2) \tag{2.52}$$

Donde el primer término, tal como fue identificado previamente por Pels y Verhoef (2004), busca corregir el fenómeno del poder de mercado que ejerce la aerolínea i y el segundo representa la congestión no internalizada. Utilizando una tarifa como la descrita en 2.52, cada firma paga un total de:

$$\tau_i = \left[q_i^* P^{D\prime}(q_1^* + q_2^*) + q_j^* c_j'(q_1^* + q_2^*)\right] q_i^* \tag{2.53}$$

2.3. Información imperfecta y mecanismos de regulación

Como se ha visto antes, bajo ciertas condiciones (ver por ejemplo Brueckner, 2009) existe una equivalencia entre regulación de precios (cobrar a una firma y dejar que ella escoja su nivel de producción) y cantidad (limitar el nivel de producción) para generar el óptimo social. Sin embargo, cuando existen asimetrías de información, la equivalencia y eficiencia de estos mecanismos de regulación se ve afectada. El primero en estudiar este fenómeno fue Weitzman (1984), quien analiza bajo qué escenarios resulta más ventajoso utilizar una determinada política de regulación para una firma competitiva.

El modelo de Weitzman considera un único bien que es producido por un monopolio competitivo, producir una cantidad q del bien tiene un costo privado de $C(q)$ y genera un beneficio $B(q)$, se asume además que $B''(q) < 0$, $C''(q) > 0$, $B'(0) > C'(0)$ y $B'(q) < C'(q)$ para q suficientemente grandes. Las asimetrías de información (o incertidumbre) son introducidas a través de variables aleatorias distribuidas de manera independiente: una variable θ representa las asimetrías de información entre la firma y el planificador, siendo $C(q,\theta)$ la función de costos que percibe este último. Una variable η refleja la incertidumbre que posee el regulador con respecto a los beneficios reales que genera la producción del bien.

Si se decide regular a la firma imponiendo el precio del bien, el planificador actuará como un líder de Stackelberg: si anuncia un precio p, la firma, dado que es tomadora de precios, escogerá un nivel de producción $h(p,\theta)$ tal que $p = C_1(h(p,\theta),\theta)$. El regulador por su parte, se anticipará a la respuesta de la firma y escogerán un $\tilde{p}$ que maximice el bienestar social esperado, es decir:

$$\begin{aligned} \underset{p}{\text{Maximizar}} \quad & E\left[BS\right] = E\left[B(q,\eta) - C(q,\theta)\right] \\ \text{sujeto a} \quad & q = h(\tau,\theta) \end{aligned} \tag{2.54}$$

Cuya condición de primer orden es:

$$E\left[B_1(h(\tilde{p},\theta),\eta)h_1(\tilde{p},\theta)\right] = E\left[C_1(h(\tilde{p},\theta),\eta)h_1(\tilde{p},\theta)\right] \tag{2.55}$$

$$\Rightarrow \tilde{p} = \frac{E\left[B_1(h(\tilde{p},\theta),\eta)h_1(\tilde{p},\theta)\right]}{E\left[h_1(\tilde{p},\theta)\right]} \tag{2.56}$$

Siendo $\tilde{q}(\theta) = h(\tilde{p},\theta)$ la cantidad de equilibrio.

Si se regula a la firma por cantidad, entonces se impone un nivel de producción igual a $\hat{q}$ tal que $E\left[B_1(\hat{q},\eta)\right] = E\left[C_1(\hat{q},\theta)\right]$. Ninguna de estas medidas resulta ser $ex - post$ óptima. Sin embargo, como veremos a continuación, Weitzman es capaz de caracterizar los escenarios en que una se impone a la otra. Se define Δ como la diferencia del bienestar social esperado alcanzado con cada una de las regulaciones:

$$\Delta = E\left[B(\tilde{q}(\theta),\eta) - C(\tilde{q}(\theta),\theta)\right] - E\left[B(\hat{q},\eta) - C(\hat{q},\theta)\right] \tag{2.57}$$

Asumiendo que las funciones de costos y beneficio son cuadráticas en torno a $\hat{q}$ y que la incertidumbre es lo suficientemente pequeña en torno a ese punto, se realiza una expansión de taylor :

$$C(q,\theta) = f(\theta) + \left(C' + \alpha(\theta)\right)(q-\hat{q}) + \frac{C''}{2}(q-\hat{q})^2 \tag{2.58}$$

$$B(q,\eta) = g(\eta) + \left(B' + \beta(\eta)\right)(q-\hat{q}) + \frac{B''}{2}(q-\hat{q})^2 \tag{2.59}$$

Donde C', C'', B' y B'' y $f(\theta) = C(\hat{q},\theta)$ y $g(\eta) = B(\hat{q},\eta)$, funciones que sin pérdida de generalidad pueden ser estandarizadas. Utilizando las ecuaciones y supuestos anteriores se demuestra que:

$$\Delta = \frac{\sigma^2 B''}{2C''^2} + \frac{\sigma^2}{2C''} \tag{2.60}$$

Siendo σ^2 la varianza de $f(\theta)$ que resulta ser equivalente al error cuadrático medio del costo marginal. Como $B'' < 0$ y $C'' > 0$, no es posible determinar el signo de Δ a priori. En otras palabras, el signo de Δ estará determinado por el signo de $C'' + B''$. De 2.60 se observa que la ventaja (desventaja) de una determinada política de regulación es lineal en σ^2 y que dependerá de la curvatura de las funciones de costo y beneficio. Por ejemplo, si la función de beneficios es prácticamente lineal utilizar una política de precios resulta mejor; esto ocurre ya que los beneficios marginales son casi constantes y la incertidumbre sólo está en los costos de la firma. Por lo tanto, es mejor que ella encuentre el óptimo de producción por si misma, ya que de esta manera, elimina la incertidumbre. Si la función de costos es lo suficientemente curva, entonces en términos de valor de la función objetivo, no hay mayor diferencia entre regular por precios o cantidad.

En otra línea de investigación, está el enfoque de Diseños de Mecanismos, que en términos generales, son herramientas que por medio de una regla de asignación y una de transferencias buscan que los agentes revelen su información privada y en base a ella asignar los recursos de una economía según un criterio previamente establecido. Una aplicación clásica, son los remates, que a través de una regla de asignación (se lleva el bien quien declara una mayor postura) y una regla de pagos (primer precio, segundo precio, etc.) permiten, generalmente, entregar el bien al agente que posee una valoración más alta por él. Cuando un mecanismo es diseñado de tal manera que induce a los agentes a revelar su verdadera información privada, se dice que es compatible en incentivos (CI); en este caso, decir la verdad es una estrategia dominante.

Dentro de la rama de Diseño de Mecanismos, están los denominados Mecanismos Eficientes, los cuales buscan repartir los recursos de tal manera que la asignación resultante maximice el bienestar social. Son conocidos como mecanismos *VCG* (Vickrey - Clark - Groves), y se caracterizan por su regla de pago, la cual corresponde a la externalidad que genera cada agente al resto de los participantes. En estos mecanismos, decir la verdad es una estrategia débilmente dominante, por lo que resultan ser *ex-post* eficientes. Para ilustrar su funcionamiento, consideremos I el conjunto de agentes, indexados por $i = 1, 2, ..., I$. Existe además un conjunto finito de alternativas sociales que pueden ser implementadas $k = 1, 2, ..., K$. Cada agente i es caracterizado por un vector, que posee su valoración por cada una de las alternativas que pueden ser implementadas, es decir $v_i = (v_i(1), v_i(2), ..., v_i(K)) \in R^K$ es el *tipo* del individuo i. En un mecanismo VCG, la regla de asignación es simplemente aquella que maximiza el bienestar social y la de transferencias (lo que debe pagar cada jugador que declara ser un tipo v) está dado por:

$$\begin{aligned} \mu_i^{VCG}(t) &= \sum_{i \neq j} v_j\left(k^*\left(0, v_{-i}\right)\right) - \sum_{i \neq j} v_j(k^*(v)) \\ &= BS_{-i}(0, v_{-i}) - BS_{-i}(v) \end{aligned} \tag{2.61}$$

Donde k^* es la asignación eficiente condicional en los tipos de los individuos. El primer término de 2.61 representa el bienestar social del resto de los jugadores cuando el agente i no es considerado en la determinación de la asignación óptima (equivalente a que fuera de tipo 0) y el resto de los jugadores son de tipo t_i, mientras que el segundo término corresponde al bienestar de los demás jugadores cuando el agente i declara ser de tipo v_i, es decir, tal como se mencionó anteriormente, el pago corresponde a la externalidad que el jugador i impone sobre los demás por ser tipo v_i. Este sistema de transferencias transforma la utilidad de los agentes en el bienestar social, lo cual alinea su función objetivo con la del regulador. Se puede ver que el primer término es una constante, es decir, no depende de la información que revele el individuo. Por otro lado, el signo de 2.61 está indeterminado, puede darse el caso en que algunos jugadores reciban dinero y otros paguen.

El remate de múltiples objetos diseñado por *Vickrey* (1961) es un caso particular de un mecanismo VCG. En este remate se asignan K bienes homogéneos entre I participantes, los cuales poseen una valoración marginal decreciente por éstos. La postura de cada jugador corresponde a un vector v_i, cuyas componentes reflejan la valoración extra que genera ganar un objeto adicional. Es decir, el valor de v_i^k es el aumento en su utilidad cuando pasa de tener $k-1$ objetos a tener k. La regla de asignación es repartir los objetos entre las K valoraciones más altas, generando la posibilidad de que un mismo individuo se adjudique más de un bien. Si el jugador i gana k_i unidades, entonces deberá pagar (en total) una cantidad igual a las k_i posturas más altas rechazadas. Se define e_{-i} como un vector de $I \cdot K - K$ elementos que poseen en orden decreciente las posturas de los jugadores excluyendo las de i. De esta manera, el pago que realizará el jugador i si se adjudica k_i elementos será:

$$\sum_{k=1}^{k_i} e_{-i}^{K-k^i+k} \tag{2.62}$$

Que corresponde a la externalidad que ejerce sobre el resto de los participantes. Esto genera la posibilidad de que individuos que se adjudican la misma cantidad de objetos, tengan que pagar diferentes cantidades, en otras palabras, el remate de *Vickrey* es un remate discriminatorio: cada objeto tiene un precio distinto.

Una desventaja de *VCG* es que no necesariamente induce a los agentes a participar, ya que podría pasar que los agentes reciban una utilidad mayor no participando en él. Por esta razón, el regulador debe implementar un mecanismo que cumpla con la restricción de participación voluntaria (PV), es decir, que independiente del tipo que sean los jugadores, éstos siempre reciban una utilidad mayor (en esperanza) del mecanismo que si quedaran fuera de él.

Krishna & Perry (1998) proponen una modificación del mecanismo *VCG* que es capaz no sólo de asegurar la participación de los agentes e inducirlos a declarar la verdad, sino que también maximiza las ganancias (o minimiza las pérdidas) del regulador. La diferencia con el enfoque clásico de *VCG* está en el pago: el nuevo mecanismo modifica el valor de la constante de 2.61 de manera apropiada. En vez de considerar que los agentes son de tipo 0, se fija un vector de tipos $s = \{s_1, s_2, ..., s_I\} \in V$,y se dice que es un mecanismo *VCG* con base s que tiene como transferencias para el agente i:

$$\begin{aligned} \mu_i^*(v \mid s_i) &= s_i(k^*(s_i, v_{-i})) + \sum_{i \neq j} v_j\left(k^*\left(s_i, v_{-i}\right)\right) - \sum_{i \neq j} v_j(k^*(t)) - IR_i(s_i) \\ &= \left[BS(s_i, v_{-i}) - BS_{-i}(v)\right] - IR_i(s_i) \end{aligned} \tag{2.63}$$

Donde $IR_i(s_i)$, es la utilidad de reserva del individuo i cuando es de tipo s_i. Se observa que si $s_i = 0$ y $IR_i(0) = 0$ se recupera 2.61. Este mecanismo cumple con la restricción de CI $\forall s$, por lo que ahora, sólo resta escoger la base de tal manera que maximice los pagos de los agentes. Se puede demostrar que si escoge la base de la siguiente manera se logra el objetivo:

$$\begin{aligned} \underline{v}_i &\in \underset{v_i \in V_i}{\text{argmin}} E_{v_{-i}} \left[\sum_{j=1}^{I} v_j\left(k^*\left(v\right)\right)\right] - IR_i(v_i) \\ &= \underset{v_i \in V_i}{\text{argmin}} E_{v_{-i}} \left[BS(v)\right] - IR_i(v) \end{aligned} \tag{2.64}$$

Es decir, la base para cada individuo es su tipo que menos gana con el mecanismo. Entre todos los mecanismos eficientes que cumplen con CI y PV, el mecanismo *VCG* con base $\underline{v}$ es el que maximiza los pagos de cada agente.

Montero (2006), con el objetivo de buscar una manera efectiva de regulación bajo información imperfecta para alcanzar el óptimo social, implementa *VCG* mediante herramientas económicas tradicionales: a través de un remate de cantidad endógena (el total de objetos a ser rematados es desconocida inicialmente y se determina en base a la información revelada por los participantes) y precio uniforme, donde parte de la recaudación es repartida de manera diferenciada entre los participantes, es capaz de alcanzar la asignación eficiente de los recursos.

Para entender el remate de Montero, es útil pensar en el mercado de la contaminación, donde en la realidad es común que un regulador benevolente reparta derechos de emisión de contaminación entre distintas firmas y éstas los transen entre ellas una vez asignados. En este caso, la información privada son los costos que poseen las firmas por disminuir sus niveles de contaminación (y por ende es desconocida la disposición a pagar por los permisos de cada agente), es imposible para un regulador determinar, sin previa interacción con las firmas, el nivel eficiente de permisos que busca rematar entre ellas. El modelo considera I firmas indexadas por $i = 1, 2, ..., I$ cada una de las cuales posee una función, que es información privada, de demanda por contaminación $P_i(x_i)$, siendo x_i el nivel de contaminación monitoreado por el regulador. La curva de demanda agregada se denota por $P(x)$ donde $x = \sum_{i=1}^{n} x_i$ es el total de contaminación. Adicionalmente, un nivel x de contaminación genera un daño social dado por $S(x)$ con $S(0) = 0$, $S'(x) > 0$ y $S'' \geq 0$, la que puede ser interpretada como la función de oferta de licencias del regulador.

En ausencia de regulación, cada firma emitirá un nivel de contaminación x_i^0 dado por $P_i(x_i^0) = 0$, por lo tanto, si disminuye su emisión de x_i^0 a x_i incurrirá en un costo $C_i(x_i) = \int_{x_i}^{x_i^0} P_i(z)dz$. El planificador busca asignar los niveles de contaminación de tal manera que minimice el costo total del sistema: $S(x) + C(x)$. La asignación eficiente está caracterizada por:

$$P(x^*) = S'(x^*) = P_i(x_i^*) \tag{2.65}$$

El remate propuesto por Montero (2006) para alcanzar la asignación anterior consiste en:

1. Informar a las firmas previamente sobre las reglas utilizadas para la asignación de los permisos y la recaudación que le será devuelta.
2. El regulador pregunta a cada firma su función de demanda, éstas declaran $\hat{P}_i(x_i)$
3. Para cada firma i, el regulador calcula su función de daño marginal u oferta residual utilizando la función de demanda declarada por el resto de las firmas:

$$S_i'(x_i) \equiv S'(x) - \hat{P}_{-i}(x_{-i}) \tag{2.66}$$

   Donde $\hat{P}_{-i}(x_{-i})$ es la demanda agregada de todas las firmas excepto la i.
4. Utilizando $S_i(l_i) \equiv \int_0^{l_i} S_i'(l)dl$ el regulador determina la fracción del pago $\alpha_i(l_i)$ que le será devuelta a cada firma.
5. El regulador establece para cada firma el precio (y_i) y la cantidad de licencias (l_i) que le serán vendidas de acuerdo a la siguiente regla:

$$y_i = \hat{P}_i(l_i) = S_i'(l_i) \tag{2.67}$$

6. Cada firma recibe l_i licencias, las cuales son vendidas a un precio y_i. Finalmente, el regulador le devuelve una cantidad igual a $\psi_i(l_i)y_il_i$

Para determinar $\psi_i(l_i)$ se resuelve utilizando *backward induction*: el regulador busca la asignación eficiente anticipando la respuesta de las firmas. Se demuestra que la solución es:

$$\psi_i(l_i) = 1 - \frac{S_i(l_i)}{S_i'(l_i)l_i} \tag{2.68}$$

Es decir, cada firma pagará en total:

$$(1 - \psi_i(l_i))y_il_i = S_i(l_i) \tag{2.69}$$

Lo que corresponde al daño residual causado por su contaminación. Este mecanismo es CI y permite alcanzar el óptimo social, es decir $l_i = x_i^* \ \forall i$. Además, si bien el precio es uniforme $y_i = y^*$, las firmas terminan pagando de manera diferenciada la externalidad que generan, debido a las devoluciones asimétricas.

Montero (2006) también extiende el modelo al caso en el cual las firmas generan externalidades privadas, es decir, escenarios en los cuales las utilidades de la firma i no sólo dependen de los permisos de contaminación que le son asignados, sino que también de los que son asignados a los demás participantes[2]. Para ello, la información privada de cada firma es su función de utilidad, la que es denotada como $\Pi(x_1, ..., x_i, ..., x_n)$ con $\frac{\partial \Pi_i(\cdot)}{\partial x_i} > 0$ y $\frac{\partial^2 \Pi_i(\cdot)}{\partial x_i^2} < 0$. Asumiendo que no hay otro tipo de fallas de mercado, el primer mejor corresponde al vector $\mathbf{x}^* = (x_1^*, \ldots, x_n^*)$, donde se cumple:

$$\frac{\partial \Pi_i(\mathbf{x}^*)}{\partial x_i} + \sum_{j \neq i} \frac{\partial \Pi_j(\mathbf{x}^*)}{\partial x_i} = 0 \quad i = 1, \ldots, n \tag{2.70}$$

Cada firma declara su postura $\hat{P}_i(x_1, ..., x_i, ..., x_n)$, la que en este caso corresponde a un conjunto de funciones. El regulador, utiliza la información entregada para recuperar la función de utilidad de cada firma:

$$\hat{\Pi}_i(x_i, \mathbf{x}_{-\mathrm{i}}) = \int_0^{x_i} \hat{P}_i(x_1, ..., x_{i-1}, y, x_{i+1}, ..., x_n) dy \tag{2.71}$$

Lo que finalmente es utilizado para determinar la función de daño residual:

$$S_i(x_i) \equiv \sum_{i \neq i} \hat{\Pi}_j(x_1^{**}, ..., x_{i-1}^{**}, 0, x_{i+1}^{**}, ..., x_n^{**}) - \sum_{i \neq i} \hat{\Pi}_j(x_1^*(x_i), ..., , x_i, ..., x_n^*(x_i)) \tag{2.72}$$

Se puede observar que los términos de 2.72 son equivalentes a los de 2.61. El primer término de 2.72 representa el máximo bienestar social (en este caso la utilidad) del resto de las firmas cuando la i produce 0, mientras que el segundo corresponde al bienestar social eficiente del resto de los jugadores cuando la firma i produce $x_i > 0$. Es decir, al igual que en *VCG*, el pago total ($S_i(l_i)$) corresponde a la externalidad o pérdida de utilidades que genera la existencia de la firma i sobre las demás.

Notamos que el remate Montero (2006) no presenta ventajas en términos de implementabilidad a uno *VCG* clásico, en ambos se requiere consultar y procesar el mismo tipo y cantidad de información. Además, para el caso de escenarios de externalidades privadas, no permite utilizarlo en escenarios donde las firmas poseen poder de mercado, fenómeno común en el mercado aéreo.

2.4. Síntesis y Conclusiones

Hemos visto los principales mecanismos de regulación para solucionar el problema de la congestión en los aeropuertos. Hasta la fecha, el análisis ha sido realizado considerando supuestos de información perfecta, y el principal resultado es que sólo las tarifas diferenciadas son una herramienta eficaz para implementar el primer mejor en escenarios donde existe poder de mercado y congestión. Por esta razón, nos interesa evaluar el rendimiento de esta herramienta cuando modelamos un escenario más realista, que incluye asimetrías de información entre las aerolíneas y el regulador.

[2] Aquí vemos una aproximación al mercado aéreo, donde la valoración de los *slots* por parte de la firma i depende, entre otras cosas, de la cantidad de permisos que son repartidos a sus competidoras

En el último tiempo, el estudio de políticas alternativas a las tarifas diferenciadas (remate y *trading* de *slots*) ha generado gran interés, y, como fue presentado en esta sección, corresponden herramientas económicas que son capaces de implementar el óptimo social siempre y cuando no exista poder de mercado. En este caso, podemos decir que existe un equivalencia entre regular al mercado por medio de una política de precio (tarifas diferenciadas) o una de cantidad (remates y *trading*). Cuando extendemos este análisis a uno que presenta información imperfecta, sabemos que el remate analizado por Brueckner (2009) ya no es eficiente, puesto que el aeropuerto desconoce información relevante para determinar la cantidad óptima de *slots* a rematar. Sin embargo, aún resta por determinar si existe alguna equivalencia entre las políticas de regulación de cantidad y precio utilizando estos supuestos sobre la información.

Si el objetivo es simplemente implementar una asignación eficiente cuando enfrentamos escenarios de información imperfecta , un mecanismo *VCG* resuelve el problema. Si se desea además maximizar las transferencias de las aerolíneas se puede utilizar el mecanismo de Krishna & Perry. Se obtiene el mismo resultado (siempre y cuando no haya poder de mercado) si se implementa el remate propuesto por Montero (2006). No obstante, la implementación de estos mecanismos no es sencilla, se requiere una gran cantidad de información que debe ser consultada a las firmas y posteriormente procesada por el regulador para determinar la asignación deseada. Por ejemplo, para un caso duopólico el regulador cuando pide a las firmas declarar su tipo, este corresponde a un vector v_i cuyas componentes corresponden a la utilidad de la firma i para cada asignación (q_i, q_j) posible. Además, tal como ocurre con la tarificación diferenciada en el caso de información perfecta, los pagos de las firmas son asimétricos, lo que dificultaría aún más sus posibilidades de implementación.

Es precisamente el problema de implementabilidad de los mecanismos VCG que nos ha motivado a extender el análisis de medidas de regulación estudiadas para el problema de congestión en los aeropuertos como las tarifas y remates, los que si bien corresponden a políticas que no son socialmente óptimas *ex-post* se ajustan a la realidad de lo que puede utilizar un aeropuerto para controlar la congestión en sus instalaciones.

Capítulo 3

El modelo y el benchmark de información perfecta

3.1. Introducción

En el capítulo anterior se han presentado las principales características del problema de congestión en aeropuertos y los mecanismos de regulación que buscan corregirlo. En este capítulo se describirá el modelo a estudiar y se presentarán las principales propiedades de las políticas de regulación a ser estudiadas cuando se trabaja en escenarios de información perfecta. En particular, mostraremos que cuando suprimimos el poder de mercado, el primer mejor puede ser implementado mediante tarifas diferenciadas y/o remates de precio uniforme.

3.2. Caracterización del modelo

Tal como se ha mencionado anteriormente, las principales características de la interacción de las aerolíneas en un aeropuerto son el poder de mercado y la congestión. Este último fenómeno difiere del observado normalmente en las calles porque corresponde a una interacción entre agentes no atomísticos, los cuales compiten entre sí por el uso de la capacidad del terminal de transporte en cuestión[1]. Sin embargo, dado que nuestro objetivo principal es analizar los efectos que generan las asimetrías de información sobre las tarifas, y con el motivo de mejorar la comparación de los artículos relevantes recientes, utilizaremos como modelo de análisis uno en el cual las firmas no poseen poder de mercado, lo que se verá reflejado en el tipo de demanda que enfrentan, las que serán perfectamente elásticas[2]. Bajo estas condiciones, el bienestar social está dado simplemente por la suma de las utilidades de las aerolíneas.

Consideraremos un mercado compuesto por dos firmas que serán denotadas por 1 y 2 respectivamente. La disposición a pagar de cada uno de los pasajeros de la aerolínea i es p_i y cada firma produce una cantidad de vuelos igual a q_i, los cuales poseen capacidad constante que puede ser igualada a la unidad sin pérdida de generalidad. La congestión aumenta los costos de tiempo de los pasajeros, fenómeno que será representado por una función $t(Q)$ que satisface las siguientes condiciones: $t(0) = 0$, t', $t'' \geq 0$. Por lo tanto, las aerolíneas deberán cobrar un precio final a los pasajeros igual a $p_i - t(Q)$.

Los costos operacionales de la firma i en ausencia de congestión están dados por la función $\omega^i(q_i)$ y cumple con las propiedades $\omega^{i\prime} > 0$ y $\omega^{i\prime\prime} \geq 0$. La producción de la firma j eleva los costos

[1]Notar que pueden existir agentes no atomísticos sin poder de mercado

[2]Supuesto que ha sido previamente considerado por Brueckner(2009) y Brueckner & Van Dender (2008)

medios de operación de la firma i, debido al efecto de la congestión. Este costo extra depende del total de vuelos ($Q = q_1 + q_2$) generados y no de la producción específica de cada aerolínea y será denotado por $g(Q)$, que también satisface $g(0) = 0$, g', $g'' \geq 0$.

Al igual que Brueckner (2009) denotaremos como $c(q_1 + q_2) = t(q_1 + q_2) + g(q_1 + q_2)$ a la función que representa el costo medio total que genera la congestión sobre las aerolíneas. De esta manera, podemos escribir la utilidad de la firma i como:

$$\begin{aligned} \pi_i(q_i, Q) &= (p_i - t(Q))\, q_i - \omega^i(q_i) - g(Q)q_i & (3.1) \\ &= p_i q_i - \omega^i(q_i) - c(Q)q_i & (3.2) \end{aligned}$$

Dado que las demandas son perfectamente elásticas, el excedente de los consumidores es nulo, y por lo tanto el bienestar social está dado simplemente por la suma de las utilidades de las firmas:

$$\begin{aligned} BS(q_1, q_2) &= \pi_1(q_1, Q) + \pi_2(q_2, Q) & (3.3) \\ &= p_1 q_1 - \omega^1(q_1) - c(Q)q_1 + p_2 q_2 - \omega^2(q_2) - c(Q)q_2 & (3.4) \end{aligned}$$

3.2.1. Óptimo Social:

Para determinar el óptimo social, se deriva 3.3 con respecto a cada una de las producciones. Las siguientes ecuaciones caracterizan la asignación óptima:

$$\begin{aligned} \frac{\partial BS}{\partial q_1} &= \frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} + \frac{\partial \pi_1}{\partial Q} \cdot \underbrace{\frac{\partial Q}{\partial q_1}}_{=1} + \frac{\partial \pi_2}{\partial Q} \cdot \underbrace{\frac{\partial Q}{\partial q_1}}_{=1} = 0 & (3.5) \\ &= p_1 - \omega^{1\prime}(q_1) - c(q_1 + q_2) - (q_1 + q_2)c'(q_1 + q_2) = 0 & (3.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial BS}{\partial q_2} &= \frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} + \frac{\partial \pi_2}{\partial Q} \cdot \underbrace{\frac{\partial Q}{\partial q_2}}_{=1} + \frac{\partial \pi_1}{\partial Q} \cdot \underbrace{\frac{\partial Q}{\partial q_2}}_{=1} = 0 & (3.7) \\ &= p_2 - \omega^{2\prime}(q_2) - c(q_1 + q_2) - (q_1 + q_2)c'(q_1 + q_2) = 0 & (3.8) \end{aligned}$$

La solución del problema anterior se denotará (q_1^*, q_2^*), donde $Q^* = q_1^* + q_2^*$. Observemos que de 3.5 y 3.7 se puede escribir la siguiente condición que se cumple en el óptimo social:

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1}(q_1^*, Q^*) = \frac{\partial \pi_2}{\partial q_2}(q_2^*, Q^*) \qquad (3.9)$$

A modo de benchmark analizaremos y compararemos las siguientes políticas de regulación: Tarificación diferenciada y Remates, medidas que han sido previamente estudiadas en Brueckner (2009), y que dado que estamos en escenarios de información perfecta y ausencia de poder de mercado, sabemos con anticipación que reproducen la asignación óptima. Este análisis servirá como base para posteriormente comparar estas mismas políticas cuando se introducen asimetrías de información.

3.2.2. Tarificación diferenciada

La asignación óptima puede ser alcanzada cobrando tarifas diferentes a cada aerolínea. Para determinar el valor de éstas, el aeropuerto actúa como un líder de Stackelberg maximizando el bienestar social y anticipando la respuesta de las aerolíneas, las cuales compiten Cournot por la capacidad de aeropuerto.

El juego de las aerolíneas es el siguiente: condicional en la tarifa (por vuelo) que les cobra el aeropuerto, deciden el nivel de producción que maximiza su utilidad. De esta manera, si a la aerolínea i se le cobra una tarifa τ_i, ésta escogerá su nivel de producción resolviendo:

$$\underset{q_i}{\text{Maximizar}} \quad \pi^i(q_i, Q) - \tau_i q_i$$

$$\Rightarrow \pi_1^i(q_i, Q) + \pi_2^i(q_i, Q) - \tau_i = 0 \tag{3.10}$$

$$\Rightarrow \tau_i = \pi_1^i(q_i, Q) + \pi_2^i(q_i, Q) \tag{3.11}$$

Reemplazando tenemos:

$$\Rightarrow \tau_i = p_i - \omega^{i\prime}(q_i) - c'(Q)q_i - c(Q) \tag{3.12}$$

De 3.12 es posible obtener la función de mejor respuesta de la firma, la cual denotaremos como $q^i(\tau_i, q_j)$

Finalmente, para determinar las tarifas, el regulador resolverá:

$$\begin{aligned} \underset{\tau_1,\tau_2}{\text{Maximizar}} \quad & BS = \pi^1(q_1, Q) + \pi^2(q_2, Q) \\ \text{sujeto a} \quad & q_1 = q^1(\tau_1, q_2) \\ & q_2 = q^2(\tau_2, q_1) \end{aligned}$$

Cuyas condiciones de primer orden son:

$$\left[\pi_1^1(q^1(\tau_1, q_2), Q) + \pi_2^1(q^1(\tau_1, q_2), Q)\right] q_1^1(\tau_1, q_2) + \pi_2^2(q^2(\tau_2, q_1), Q)q_1^1(\tau_1, q_2) = 0 \tag{3.12}$$

$$\left[\pi_1^2(q^2(\tau_2, q_1), Q) + \pi_2^2(q^2(\tau_2, q_1), Q)\right] q_1^2(\tau_2, q_1) + \pi_2^1(q^1(\tau_1, q_2), Q)q_1^2(\tau_2, q_1) = 0 \tag{3.13}$$

Reemplazando 3.11 en 3.12 y 3.13 tenemos:

$$\tau_i = -\pi_2^j(q^j(\tau_j, q_i), Q) = c'(q^1(\tau_1, q_2) + q^2(\tau_2, q_1))q_j \tag{3.14}$$

De 3.14 se observa que la tarifa cobrada a cada aerolínea corresponde a la externalidad no internalizada que genera sobre la competidora. Es decir a la firma i se le cobra el costo extra que su último vuelo genera sobre la firma j y viceversa. Dicho de otra manera, corresponden a las clásicas tarifas pigouvianas.

Para implementar el primer mejor mediante este sistema de regulación, el aeropuerto no necesita resolver el problema de tarificación. Basta con cobrar a cada firma una tarifa igual al costo marginal de congestión no internalizado evaluado en la asignación correspondiente al primer mejor. Si dicha asignación pudiera ser impuesta desde un principio, no se necesitaría inducirlas mediante un sistema de tarifas.

3.2.3. Remates

Corresponde a un remate de múltiples unidades idénticas (*slots*). La literatura distingue diferentes formatos de remates para este caso, por ejemplo: realizar un remate a sobre abierto o cerrado, rematar las unidades de manera secuencial o asignarlas todas en un único remate. En cuanto a las decisiones sobre el precio, se puede vender todas las unidades al mismo valor o a uno diferenciado, etc. Todas éstas son decisiones que debe tomar el regulador al momento de diseñar el remate.

Brueckner (2009) demuestra que si no existe poder de mercado es posible alcanzar el óptimo social cuando se remata la cantidad óptima Q^*, dado que el total de permisos permanece fijo, independiente de la asignación final que resulte del remate, los costos medios asociados a la congestión también lo están y por ende $c'(Q) = 0$. La postura de la firma i estará dada por la siguiente función decreciente de demanda inversa:

$$
\begin{aligned}
P_i(q_i, Q^*) &= \frac{\partial \pi^i(q_i, Q^*)}{q_i} && (3.15)\\
&= p_i - \omega^{i\prime}(q_i) - c(Q^*) && (3.16)
\end{aligned}
$$

la cual establece el precio al cual están dispuestos a comprar el $q_i - iésimo$ *slot* cuando en total se rematan Q^*. Dado que no hay asimetrías de información, la postura representa la verdadera valoración por los permisos de producción.

Se podría realizar un remate Vickrey[3] o uno de precio discriminatorio donde cada participante paga exactamente la valoración que posee por cada *slot* que se adjudica, sin embargo, los pagos asimétricos que involucra este tipo de remates generan la misma dificultad de implementación que las tarifas diferenciadas. Por esta razón, y dado que estamos en un escenario de información perfecta, el regulador podría implementar un remate de precio uniforme, que corresponde a un remate estándar[4] a sobre cerrado en el cual cada una de las Q^* unidades son vendidas a un *market-clearing price*. Dado que las valoraciones de los jugadores en este caso son independientes, el resultado de este remate puede ser inducido a través de un remate equivale a sobre abierto, el remate inglés[5]. El equilibrio del remate a precio uniforme está caracterizado por las siguientes ecuaciones:

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial \pi^1}{\partial q_1}(q_1, Q^*) &= \frac{\partial \pi^2}{\partial q_2}(q_2, Q^*) \Rightarrow p_1 - \omega^{1\prime}(q_1) = p_2 - \omega^{2\prime}(q_2) && (3.17)\\
q_1 + q_2 &= Q^* && (3.18)
\end{aligned}
$$

Que de acuerdo a 3.9 corresponden a la asignación óptima (q_1^*, q_2^*). El precio que pagará cada firma por cada *slot* adjudicado será $y^* = \frac{\partial \pi_1(q_1^*, Q^*)}{\partial q_1} = \frac{\partial \pi_2(q_2^*, Q^*)}{\partial q_2}$, generando una ganancia para el aeropuerto de $y^*(q_1^* + q_2^*)$.

Se ha demostrado que bajo información perfecta y ausencia de poder de mercado, remates y tarificación diferenciada son políticas capaces de implementar la asignación calculada en el óptimo social o primer mejor . Además, un remate de precio uniforme soluciona el problema de implementabilidad de la tarificación. En el próximo capítulo se verá que en presencia de asimetrías de información lo anterior no se cumple.

[3]ver capítulo 2

[4]remate en el cual los bienes son asignados a las posturas más altas.

[5]Para mayor información ver Krishna 2009

Capítulo 4

Regulación en aeropuerto congestionado e información imperfecta

En el capítulo anterior se ha desarrollado un modelo de competencia duopólica en aeropuertos bajo información perfecta, y se ha mostrado la equivalencia entre distintas políticas de regulación, en el sentido que permiten implementar una asignación óptima. Esta sección tiene como objetivo extender el modelo a uno de información imperfecta en el cual las aerolíneas poseen información privada con respecto a su función utilidad y describir cómo se modifican las políticas de regulación analizadas previamente para finalmente compararlas.

Al introducir asimetrías de información, el primer mejor del capítulo anterior se transforma en el mecanismo de regulación que hemos denominado Asignación Directa, donde se produce la primera gran diferencia con el capítulo 3. Bajo este enfoque, ya no podemos hablar de una asignación óptima, puesto que la asignación resultante con este mecanismo corresponde a una elección de cantidades a repartir a cada firma maximizando el bienestar social *ex-ante*[1], y no *ex-post*[2] lo que caracterizaría un verdadero óptimo social. Hemos utilizado la Asignación Directa para demostrar que las tarifas óptimas ya no pueden ser fijadas evaluando la congestión no internalizada en la asignación correspondiente a la obtenida con él. Es decir, las tarifas pigouvianas miopes son subóptimas. De la misma manera, el remate de precio uniforme que antes reproducía el óptimo social rematando la cantidad de *slots* correspondientes al primer mejor, bajo estas condiciones no genera las mismas asignaciones que la Asignación Directa.

Simplificando el escenario a uno donde los costos medios de congestión son lineales, hemos podido establecer que bajo este supuesto, la tarificación diferenciada es siempre preferible a asignar un nivel de producción a las firmas sin una previa interacción con ellas. Sin embargo, cuando esta cantidad total de *slots* es sometida a un remata *Vickrey*, éste puede generar un bienestar social esperado mayor que las tarifas diferenciadas.

Debido a la desventaja que poseen tanto el remate *Vickrey* como las tarifas diferenciadas[3], podemos justificar el uso de las tarifas uniformes. Argumentamos para ello que en escenarios donde las tarifas diferenciadas son superior a la asignación directa y al remate propuesto en este capítulo, habrá espacio para que la implementación de una tarifa uniforme una opción preferible, en el sentido que supera las dificultades de implementación y alcanza un bienestar social esperado mayor.

[1] Al utilizar el término *ex-ante* eficiente, nos referimos a maximizar el bienestar social esperado, independiente de cual sea el verdadero valor de la información privada

[2] Una asignación *ex-post* eficiente es aquella que dado el verdadero valor de la información privada maximiza el bienestar social

[3] Ambos enfoques requieren un pago diferenciado por parte de las aerolíneas

Para el propósito de este capítulo, se extienden las características presentadas en la sección anterior.La información imperfecta será de carácter unidimensional y la introduciremos mediante una nueva variable en la función de utilidad de las firmas. Esta variable puede representar costos de operación, congestión o ingresos de las aerolíneas, y corresponden a valores privados que sólo son conocidos por la firma en cuestión. El regulador y la firma competidora sólo conocen la función de densidad de probabilidad de la variable.

La utilidad de cada aerolínea depende ahora de tres variables y puede escribirse como $\pi^i(q_i, \theta_i, Q)$, donde θ_i representa la información privada. Se considerará que el parámetro θ_i sigue una distribución continua f en un intervalo acotado: $\theta_i \sim f[\underline{\theta}_i, \bar{\theta}_i]$. Asumiremos que los costos de congestión son de conocimiento común. Como se verá más adelante, las políticas de regulación no requieren supuestos adicionales sobre la función en la cual introducimos las asimetrías de información, las demostraciones que realizaremos funcionan ya sea para información privada en la variable que caracteriza la demanda o en los costos operaciones, por lo que consideraremos, sin pérdida de generalidad que la información privada se encuentra en la función $\omega^i(q_i, \theta_i)$.

4.1. Políticas de regulación

A continuación se describen tres políticas de regulación que buscan paliar la congestión en un aeropuerto congestionado en un escenario de información imperfecta. Se basan en las herramientas tradicionales de regulación estudiadas en la literatura: asignación, remates y tarificación. No obstante, las asimetrías de información producen ciertas distorsiones que impiden una aplicación tan directa como ocurre con un ambiente de información perfecta.

4.1.1. Asignación directa

Es a una regulación por cantidad, la que bajo información perfecta corresponde al óptimo social, es decir, a la asignación óptima para cada firma. Esta vez, dado que el regulador no desconoce información privada de las firmas, calcula la asignación que maximiza el bienestar social esperado, y las firmas no pueden renegociar los *slots* una vez que son entregados. El problema que resuelve el aeropuerto es:

$$\max_{q_1, q_2} \quad E_\theta [BS] = E_\theta \left[\pi^1(q_1, \theta_1, Q) + \pi^2(q_2, \theta_2, Q)\right] \tag{4.1}$$

Diferenciando se obtienen las ecuaciones de primer orden:

$$E_{\theta_1}\left[\frac{\partial \pi^1}{\partial q_1} + \frac{\partial \pi^1}{\partial Q}\right] + E_{\theta_2}\left[\frac{\partial \pi^2}{\partial Q}\right] = 0 \tag{4.2}$$

$$E_{\theta_2}\left[\frac{\partial \pi^2}{\partial q_2} + \frac{\partial \pi^2}{\partial Q}\right] + E_{\theta_1}\left[\frac{\partial \pi^1}{\partial Q}\right] = 0 \tag{4.3}$$

Este problema entrega como solución una asignación que será denominada de aquí en adelante como (q_1^{AD}, q_2^{AD}), de la misma manera la cantidad total de vuelos está dada por $Q^{AD} = q_1^{AD} + q_2^{AD}$. El regulador, al asignar la producción a cada firma conoce *ex-ante* el nivel de congestión final, pero no el bienestar social *ex-post*, sólo el esperado: $E_\theta\left[\pi^1(q_1^{AD}, \theta_1, Q^{AD}) + \pi^2(q_2^{AD}, \theta_2, Q^{AD})\right]$. Lo que no resulta ser un instrumento de regulación *ex-post* eficiente:

$$q_i^{AD} \neq q_i^*(\theta_i) \qquad i = 1, 2. \tag{4.4}$$

Donde $q_i^*(\theta_i)$ caracteriza el óptimo social que se obtiene con 3.5 y 3.7. Este resultado no sorprende, ya que el regulador escoge las cantidades a ser producidas sin una interacción con las partes informadas, por lo que es imposible que pueda fijar los niveles de producción eficientes con la limitada información que posee.

4.1.2. Tarificación diferenciada

Esta técnica de regulación posee la ventaja de que la decisión final de producción queda en manos del agente informado: es la aerolínea i la que conociendo su verdadero valor de θ_i escoge la cantidad de vuelos que le resulta más conveniente. Dicho de otra manera, es una herramienta flexible, que permite a la firma regulada utilizar su información privada para ajustar su producción. Sin embargo, al ser un mercado oligopólico, esta misma decisión de producción presenta la desventaja de que la información es usada de manera estratégica por las firmas.

El regulador escoge un par de tarifas (τ_1, τ_2) anticipando la respuesta de las aerolíneas. Las firmas a su vez participan en un juego de información imperfecta, ya que no conocen el verdadero valor del parámetro θ_i de su competidora.

$$\begin{aligned}
\max_{\tau_1,\tau_2} \quad & E_\theta\,[BS] = E_\theta\left[\pi^1(q_1,\theta_1,Q) + \pi^2(q_2,\theta_2,Q)\right] \\
s.a: \quad & E_{\theta_2}\left[\frac{\partial \pi^1}{\partial q_1} + \frac{\partial \pi^1}{\partial Q}\right] - \tau_1 = 0 \qquad (4.5) \\
& E_{\theta_1}\left[\frac{\partial \pi^2}{\partial q_2} + \frac{\partial \pi^2}{\partial Q}\right] - \tau_2 = 0 \qquad (4.6)
\end{aligned}$$

Las restricciones bajo las cuales optimiza el regulador corresponden a las que determinan el equilibrio Cournot-Bayes entre las firmas, es decir, aquellas que se obtienen cuando las firmas maximizan su utilidad tomando el τ_i como un dato y conociendo sólo la distribución de la variable θ_j de su competidora.

Bajo este mecanismo de regulación, la decisión de producción es delegada a cada firma y por lo tanto el nivel de producción final y el de congestión son desconocidos *ex-ante*. En otras palabras, cuando el regulador resuelve el problema y anuncia las tarifas a las aerolíneas, no conoce con certeza la cantidad de vuelos que serán generados finalmente por las firmas. A continuación obtendremos una expresión para la tarifa cobrada a la aerolínea i dada la forma funcional que estamos estudiando:

Si el regulador cobra una tarifa τ_i a la firma i, dado que ésta no conoce el verdadero valor de θ_j de su competidora, maximiza su utilidad esperada para calcular su función de mejor respuesta:

$$\underset{q_i}{\text{Maximizar}} \quad E_{\theta_j}\left[\pi^i(q_i,\theta_i,Q)\right] = E_{\theta_j}\left[p_i q_i - \omega^i(q_i,\theta_i) - c(Q)q_i - \tau_i q_i\right] \tag{4.7}$$

Donde se obtiene:

$$\tau_i = p_i - \omega_1^i(q_i,\theta_i) - E_{\theta_j}\left[c'(q_i(\theta_i) + q_j(\theta_j))\right] q_i - E_{\theta_j}\left[c(q_i(\theta_i) + q_j(\theta_j))\right] \tag{4.8}$$

Ecuación de la cual se obtiene la función de mejor respuesta $q^i(\theta_i, \tau_i)$

El regulador, para determinar las tarifas óptimas resuelve:

$$\begin{aligned}
\underset{\tau_1,\tau_2}{\text{Maximizar}} \quad & E\,[BS] = E\left[p_1 q_1 - \omega^1(q_1,\theta_1) - c(Q)q_1 + p_2 q_2 - \omega^2(q_2,\theta_2) - c(Q)q_2\right] \\
\text{sujeto a} \quad & \tau_1 = p_1 - \omega_1^1(q_1,\theta_1) - E_{\theta_2}\left[c'(q_1(\theta_1) + q_2(\theta_2))\right] q_1 - E_{\theta_2}\left[c(q_1(\theta_1) + q_2(\theta_2))\right] \\
& \tau_2 = p_2 - \omega_1^2(q_2,\theta_2) - E_{\theta_1}\left[c'(q_1(\theta_1) + q_2(\theta_2))\right] q_2 - E_{\theta_1}\left[c(q_1(\theta_1) + q_2(\theta_2))\right]
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Con lo que se obtienen las siguientes ecuaciones que caracterizan la solución:

$$\begin{aligned} E\left[p_1 q_1^i(\tau_1,\theta_1) - \omega_1^i(q_1(\tau_1,\theta_1),\theta_1)q_1^i(\tau_i,\theta_i) - c(q_1(\tau_1,\theta_1)+q_2(\tau_2,\theta_2))q_1^i(\tau_i,\theta_i) - \right. \\ \left.(q_1(\tau_1,\theta_1)+q_2(\tau_2,\theta_2))c'(q_1(\tau_1,\theta_1)+q_2(\tau_2\theta_2))q_1^i(\tau_i,\theta_i)\right] = 0 \end{aligned} \tag{4.10}$$

Reemplazando 4.8 en 4.10 se obtiene que la tarifa óptima está dada por:

$$\tau_i^T = \frac{E\left[q^j(\tau_j,\theta_j)c'(q^1(\theta_1,\tau_1)+q^2(\theta_2,\tau_2))q_1^i(\tau_i,\theta_i)\right]}{E_{\theta_i}\left[q_1^i(\tau_i,\theta_i)\right]} \tag{4.11}$$

A la asignación inducida por estas tarifas, la llamaremos $(q_1^T(\theta_1), q_2^T(\theta_2))$ y el flujo total será $Q^T = q_1^T(\theta_1) + q_2^T(\theta_2)$.

Si consideramos una distribución delta de dirac para la variable aleatoria θ: $\delta(\theta-\theta_0)$ con $\theta_0 \in \left[\underline{\theta}_i, \bar{\theta}_i\right] \quad i = 1, 2$, utilizando la propiedad:

$$\int_a^b f(\theta)\delta(\theta-\theta_0)d\theta = \begin{cases} f(\theta_0) & \text{si } a < \theta_0 < b \\ 0 & \text{si } \theta_0 < a \text{ o } \theta_0 > b \end{cases} \tag{4.12}$$

podemos demostrar que la tarifa 4.12 converge a la de información perfecta caracterizada por 3.14 si eliminamos las asimetrías de información:

$$\tau_i^T(\theta_0) = q^j(\tau_j,\theta_0)c'(q^1(\tau_1,\theta_0)+q^2(\tau_2,\theta_0)) \tag{4.13}$$

4.1.3. Remate

Cuando existen asimetrías de información, el regulador es incapaz de calcular la cantidad total de *slots* socialmente óptima. Por ende, bajo condiciones como éstas, y aún cuando sigamos en un escenario donde las firmas no poseen poder de mercado, es imposible reproducir los mismos resultados que el caso de información perfecta, por la sencilla razón de que el aeropuerto no puede anunciar un remate con la cantidad óptima.

Una alternativa es utilizar el remate propuesto por Montero (2006), para aplicar este mecanismo, el regulador debería preguntar a las firmas sobre su postura para cada total de *slots* a ser rematados, es decir, las firmas, condicional en Q declararán $\hat{P}_i(q_i, Q)$. Se ha discutido anteriormente[4] que este mecanismo es *ex-post* eficiente, equivalente a uno VCG y que por la cantidad de información que requiere para ser implementado se aleja de lo que en la práctica puede ejecutar un regulador. Por esta razón, buscamos un remate sencillo, que si bien no nos permite alcanzar un resultado eficiente *ex-post*, se ajusta a la realidad de lo que puede realizar un aeropuerto.

Como principal requisito, queremos un remate donde la cantidad de *slots* sea fija, es decir, que el regulador anuncie con exactitud el total de bienes que serán repartidos. Dado que el regulador desconoce la cantidad eficiente que deberían ser rematados, cualquier valor que fije sin previa interacción con las aerolíneas será *ex-post* ineficiente, y por ende el remate será incapaz de reproducir el primer mejor. Sin embargo, a pesar de esta desventaja, resulta de interés compararlo con las demás políticas de regulación previamente descritas. Una alternativa razonable para la elección de la cantidad a rematar es escoger un total igual a Q^{AD}, el total del enfoque de asignación directa. Un remate de precio uniforme bajo información perfecta, permite asignar los recursos de manera eficiente y además supera los problemas de implementación de las tarifas diferenciadas. Sin embargo, cuando

[4] ver capítulo 2

las valoraciones son de carácter privado, un remate de este tipo no es un mecanismo compatible en incentivos, y como consecuencia condicional en la cantidad rematada, resulta ser generalmente ineficiente. Por esta razón, se utilizará un remate *Vickrey*, el que como se ha mencionada antes induce a las firmas ha declarar su verdadera valoración por los *slots*. Bajo este supuesto, lo que se busca es una asignación donde el nivel de congestión es idéntico al de asignación directa (porque el total de vuelos es el mismo), pero que entrega un bienestar social esperado y *ex-post* distinto. Para este caso, la asignación del remate corresponde al par (q_1^R, q_2^R) donde:

$$\hat{P}_1(q_1^R, Q^{AD}) = \hat{P}_2(q_2^R, Q^{AD}) \tag{4.14}$$

Esta ecuación caracteriza a todos los remates estándar[5]. Y dado que es compatible en incentivos, también se cumple:

$$\frac{\partial \pi^1}{\partial q_1}(q_1^R, Q^{AD}) = \frac{\partial \pi^2}{\partial q_2}(q_2^R, Q^{AD}) \tag{4.15}$$

En un remate de este tipo, el pago que realizará la firma i viene dado por:

$$T_i = \int_{q_j}^{Q^{AD}} \frac{\partial \pi^j}{\partial q_j}(q, Q^{AD})dq \tag{4.16}$$

Al igual que el remate a precio uniforme posee un remate equivalente a sobre abierto cuando las valoraciones de los jugadores son independientes, el resultado del remate *Vickrey* puede ser implementado mediante un remate de sobre abierto: el remate *Ausubel*[6].

Ninguno de estos enfoques es capaz de reproducir el óptimo de información perfecta, sin embargo, nuestro objetivo es determinar que política alcanza un mayor valor del bienestar social esperado y qué factores son determinantes en el desempeño de estas herramientas de regulación.

Antes de considerar una competencia duopólica, se comenzará con una comparación de las dos primeras políticas de regulación consideradas para el caso de una firma, la tercera no será considerada pues carece de sentido cuando hay sólo un postor. El objetivo es mostrar de una manera simple el efecto de la información imperfecta en estas políticas de regulación.

4.2. Asignación directa vs. Tarificación en mercado monopólico

Se considerará una forma funcional para el bienestar social que satisface con los supuestos de interés a estudiar en la tesis, en otras palabras, un modelo donde existen externalidades, información privada y ausencia de poder de mercado. La única diferencia es que se omitirá, para empezar, la competencia, considerando un único agente a ser regulado.

Para analizar este caso adaptaremos el modelo de Weitzman (1974). La firma puede producir una cantidad q a un costo privado $C(q,\theta)$ donde θ es la variable que representa la información privada y por lo tanto es desconocido por el regulador, la demanda es perfectamente elástica e igual a $P^d = p$. Adicionalmente, producir el bien genera costos externos denotados por $CE(q)$, los que por ejemplo, pueden representar costos de contaminación ambiental. Con estos supuestos, el bienestar podemos escribirlo de la siguiente manera:

$$BS(q,\theta) = pq - C(q,\theta) - CE(q) \tag{4.17}$$

[5]Remates que asignan los bienes a los jugadores que declaran tener una valoración más alta por ellos

[6]Esta equivalencia sólo se mantiene cuando las valoraciones de los jugadores son independientes. Para mayor información ver Krishna 2009

El nivel de producción eficiente es $q^*(\theta)$ que satisface:

$$pq^*(\theta) = C_1(q^*(\theta), \theta) - CE_1(q^*(\theta)) \tag{4.18}$$

Si el planificador decide regular a la firma por medio de una política de asignación directa, escogerá una cantidad q^{AD} que maximice el bienestar social esperado:

$$\underset{q}{\text{Maximizar}} \quad E\left[BS(q,\theta)\right] = E\left[pq - C(q,\theta) - CE(q)\right] \tag{4.19}$$

Cuya solución satisface la condición de primer orden:

$$\Rightarrow \quad p - E\left[C_1(q^{AD}, \theta)\right] - CE_1(q^{AD}) = 0 \tag{4.20}$$

Cuando se utiliza para la regulación una tarifa τ, la firma ajustará su producción de acuerdo a su función de mejor respuesta: $q(\tau, \theta)$, la que se deriva del siguiente problema de optimización.

$$\underset{q}{\text{Maximizar}} \quad \pi(q,\theta) = pq - C(q,\theta) - \tau q \tag{4.21}$$

$$\Rightarrow \quad p - \tau = C_1(q(\tau,\theta), \theta) \tag{4.22}$$

Adelantándose a la decisión de la firma, mediante *backward induction* buscamos la tarifa $\tilde{\tau}$ que fijará el regulador:

$$\underset{\tau}{\text{Maximizar}} \quad E\left[pq(\tau,\theta) - C(q(\tau,\theta),\theta) - CE(q(\tau,\theta))\right] \tag{4.23}$$

$$\Rightarrow \quad pE\left[q_1(\tau,\theta)\right] = E\left[\left(C_1(q(\tau,\theta),\theta) + CE_1(q_1(\tau,\theta))\right) q_1(\tau,\theta)\right] \tag{4.24}$$

Reemplazando 4.22 en 4.24 se obtiene que la tarifa satisface:

$$\Rightarrow \quad \tilde{\tau} = \frac{E\left[CE_1(q(\tilde{\tau},\theta)) \cdot q_1(\tilde{\tau},\theta)\right]}{E\left[q_1(\tilde{\tau},\theta)\right]} \tag{4.25}$$

Lo que finalmente inducirá a la firma a producir:

$$\tilde{q}(\theta) = q(\tilde{\tau}, \theta) \tag{4.26}$$

Se define Δ como la diferencia esperada del bienestar social alcanzado con asignación directa y precios:

$$\Delta = E\left[BS(\tilde{q}(\theta),\theta) - BS(\hat{q},\theta)\right] \tag{4.27}$$

Al igual que Weitzman (1974) si consideramos que las asimetrías de información son lo suficientemente pequeñas para justificar una aproximación de segundo orden de $C(q,\theta)$ y $CE(q)$ en torno a q^{AD} se tiene:

$$C(q,\theta) = \beta(\theta) + \left(C' + \alpha(\theta)\right)(q - q^{AD}) + \frac{C''}{2}(q - q^{AD})^2 \tag{4.28}$$

$$CE(q) = \gamma + CE'(q - q^{AD}) + \frac{CE''}{2}(q - q^{AD})^2 \tag{4.29}$$

Donde $\beta(\theta) = C(q^{AD},\theta)$, $C' + \alpha(\theta) = C_1(q^{AD},\theta)$, $C'' = C_{11}(q^{AD},\theta)$, $CE' = CE'^{(q^{AD})}$, $CE'' = CE''(q^{AD})$, y $\gamma = CE(q^{AD})$. Sin pérdida de generalidad se considerará que $E[\alpha(\theta)] = 0$.

La varianza de $\alpha(\theta)$ corresponde al error cuadrático medio de la función de costo marginal privado:

$$\sigma^2 = E\left[(C_1(q,\theta) - E(C_1(q,\theta)))^2\right] = E\left[\alpha^2(\theta)\right] \tag{4.30}$$

Diferenciado 4.28 y 4.29 se obtiene:

$$\begin{aligned} C_1(q,\theta) &= (C' + \alpha(\theta)) + C''(q - q^{AD}) && (4.31)\\ CE'^{(q)} &= CE' + CE''(q - q^{AD}) && (4.32) \end{aligned}$$

Reemplazando 4.22 en 4.31 es posible obtener una ecuación para la función de mejor respuesta de la firma:

$$q(\tau,\theta) = q^{AD} + \frac{a - \tau - C' - \alpha(\theta)}{C''} \tag{4.33}$$

$$\Rightarrow \quad q_1(\tau,\theta) = -\frac{1}{C''} \tag{4.34}$$

Luego de reemplazar esta última ecuación en 4.25 se obtiene:

$$\tilde{\tau} = E\left[CE'^{(q(\tilde{\tau},\theta))}\right] \tag{4.35}$$

Reemplazando 4.33 en 4.32 y tomando la esperanza, se encuentra que:

$$\tilde{\tau} = CE' + CE''\left(\frac{p - \tilde{\tau} - C'}{C''}\right) \tag{4.36}$$

Evaluando q^{AD} en 4.31 y 4.32 y luego reemplazando estos valores en

$$p - C' = CE'' \tag{4.37}$$

Que luego de reemplazar en 4.36 permite obtener una expresión para la tarifa igual a:

$$\tilde{\tau} = p - C' \tag{4.38}$$

Lo que finalmente, induce un nivel de producción de la firma igual a:

$$\tilde{q}(\theta) = q^{AD} - \frac{\alpha(\theta)}{C''} \tag{4.39}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= E\left[BS(\tilde{q}(\theta),\theta) - BS(\hat{q},\theta)\right] && (4.40)\\ &= \frac{\sigma^2}{2C''}\left(\frac{C'' - CE''}{C''}\right) && (4.41) \end{aligned}$$

Por lo tanto, la ventaja en términos de valor esperado del bienestar social de cada uno de los mecanismos de regulación depende de la curvatura de las funciones de costos en torno a q^{AD}, el signo está dado por el valor de $C'' - CE''$. Se observa además que Δ depende linealmente del error cuadrático del costo marginal de la función de costos privada, si se elimina las asimetrías de información, es decir $\sigma \to 0$ ambas políticas resultan ser equivalentes, resultado congruente con la teoría de regulación bajo información perfecta.

Las tarifas resultan ser más convenientes cuando la función de costos externos es menos curva que la de costo privado. En un caso extremo, si por ejemplo $CE(q) = Kq$, entonces el regulador puede implementar el óptimo social *ex-post* estableciendo una tarifa $\tilde{\tau} = K$, y por ende, una regulación utilizando tarificación será superior a una de asignación directa no sólo en valor esperado, sino que además puntualmente. Más aún, el regulador no requiere información sobre θ para implementar el primer mejor. En otras palabras, cuando el costo marginal externo tiende a ser constante, es preferible delegar la decisión de producción a la firma.

Por otro lado, se tiene un $\Delta < 0$ si el costo externo es más curvo que el privado o bien cuando este último es casi lineal. En estos escenarios resulta preferible utilizar una política de cantidad.

Finalmente, notemos que a diferencia de información perfecta no es posible interpretar 4.25 como el costo marginal externo del primer mejor, el que puede obtenerse de un problema de asignación directa. En otras palabras, el impuesto pigouviano de información perfecta corresponde simplemente a evaluar q^* en $CE^(q)$. Mientras que en el caso donde existen asimetrías de información, no podemos escribir 4.25 como el costo marginal externo evaluado en q^{AD}, es decir: $\tilde{\tau} \neq CE'^{(q^{AD})}$. Llamaremos *Aplicación miope de tarifa pigouviana* al proceso que fija una tarifa evaluando la cantidad que maximiza el bienestar social esperado de asignación directa en el costo marginal externo y la denotaremos como $\hat{\tau}$. Esta tarifa genera aún más pérdidas sociales.

A modo de ilustración consideremos dos ejemplos: en el primero un costo externo lineal, y en el segundo uno cuadrático.

Ejemplo 4.2.1. Consideraremos las siguientes funciones como costos de producción y externalidades: $C(q,\theta) = \theta q + bq^2$, $CE(q) = Kq$.
Bajo información perfecta el óptimo social puede obtenerse fácilmente, y corresponde a un nivel de producción dado por:

$$q^* = \frac{a - \theta - K}{2b} \tag{4.42}$$

Si se utiliza la asignación directa como mecanismo de regulación, el aeropuerto fijará un q^{AD} resolviendo:

$$\underset{q}{\text{Maximizar}} \quad E\left[pq - \theta q - bq^2 - Kq\right] \tag{4.43}$$

$$\Rightarrow q^{AD} = \frac{p - E[\theta] - K}{2b} \tag{4.44}$$

Como es de esperar, el nivel de producción que escoge el regulador no depende del valor de θ, porque no es conocido por él, pero si de su valor esperado. Con esta herramienta de regulación es imposible alcanzar el primer mejor de información perfecta. Gráficamente, lo que ocurre se muestra en la Figura 4.1: Bajo información imperfecta lo que ocurre es que el regulador escoge una cantidad q^{AD}, sin embargo, si el verdadero valor del parámetro θ está por sobre su esperanza (θ_2), entonces el regulador está asignando una cantidad superior al óptimo (ex-post) produciéndose una pérdida de bienestar social *ex-post* igual al área del triángulo rojo. Lo contrario ocurre cuando el verdadero valor del parámetro es inferior a su esperanza (θ_1).

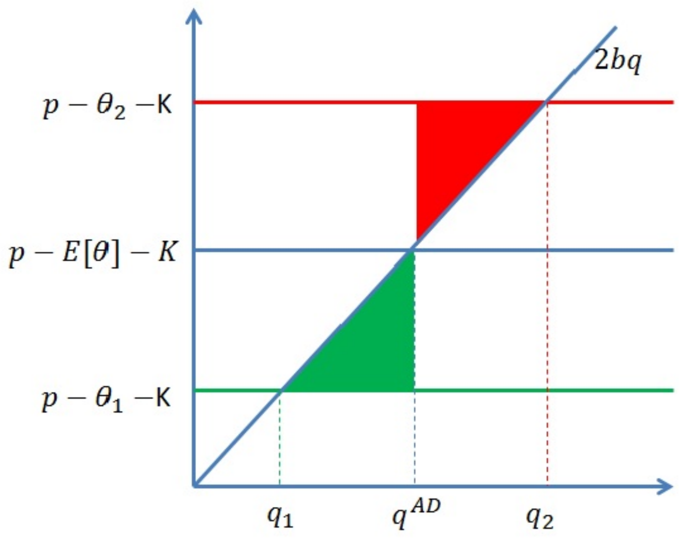


Figura 4.1: Pérdida de Bienestar Social *ex-post* bajo Asignación directa.

Si el regulador utiliza como mecanismo de regulación la tarificación, la aerolínea escogerá un nivel de producción:

$$q(\tau,\theta) = \frac{a-\theta-\tau}{2b} \Rightarrow q_1(\tau,\theta) = \frac{-1}{2b} \tag{4.45}$$

$$\tilde{\tau} = \frac{E\left[CE'^{(q(\tilde{\tau},\theta))\cdot q_1(\tilde{\tau},\theta)}\right]}{E\left[q_1(\tilde{\tau},\theta)\right]} = K \tag{4.46}$$

Con lo que se alcanza la producción óptima de información perfecta. En otras palabras, la información privada no afecta la implementación del óptimo *ex-post*. Se tiene entonces que para este caso particular, la tarificación es superior a la asignación directa no sólo en valor esperado ($C'' = 2b > k = CE''$), sino que también lo es para cada realización de θ, es decir puntualmente.

Ejemplo 4.2.2. La diferencia con el ejemplo anterior es que ahora consideramos $CE(q) = Kq^2$. El nivel de producción eficiente *ex-post* está dado por:

$$q^* = \frac{p-\theta}{2(b+K)} \tag{4.47}$$

Utilizando asignación directa se repartirá a la firma una cantidad de *slots* igual a:

$$q^{AD} = \frac{p-E[\theta]}{2(b+K)} \tag{4.48}$$

Lo que gráficamente genera la siguiente pérdida de bienestar social con respecto al primer mejor:

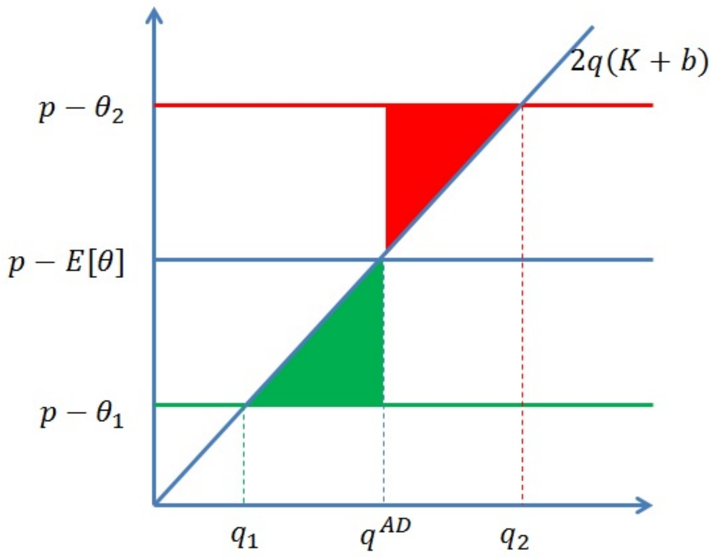


Figura 4.2: Pérdida de Bienestar Social *ex-post* bajo Asignación directa.

Si se utiliza tarificación, ésta cumplirá con la siguiente condición:

$$\tilde{\tau} = \frac{E\left[CE'^{(q(\tilde{\tau},\theta))\cdot q_1(\tilde{\tau},\theta)}\right]}{E\left[q_1(\tilde{\tau},\theta)\right]} = E\left[2K\left(\frac{p-\theta-\tilde{\tau}}{2b}\right)\right] \tag{4.49}$$

Despejando tenemos que el valor de $\tilde{\tau}$ será:

$$\tilde{\tau} = \frac{K\left(p-E\left[\theta\right]\right)}{b+K} \tag{4.50}$$

Lo que finalmente, llevará a la firma a producir una cantidad $\tilde{q}(\theta)$ que satisface:

$$p-\theta-\frac{K\left(p-E\left[\theta\right]\right)}{b+K} = 2b\tilde{q} \tag{4.51}$$

A diferencia del caso donde las externalidades son lineales, la producción final que se obtiene con las tarifas es distinta a la del primer mejor. Gráficamente, las tarifas producen la siguiente ineficiencia:

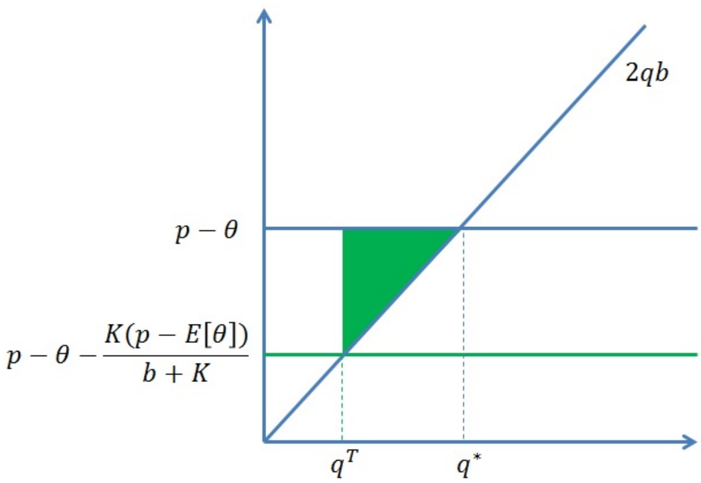


Figura 4.3: Pérdida de Bienestar Social *ex-post* bajo tarificación.

En este caso, ningún mecanismo es *ex-post* eficiente. En términos del valor del bienestar social esperado, tampoco hay uno que sea siempre preferible, mediante una simulación se detecta que existen algunas combinaciones de valores para los parámetros donde una supera a la otra y otras donde ocurre lo contrario.

4.3. Asignación directa vs. Tarificación en mercado oligopólico

En la sección anterior se pudo concluir que cuando el costo externo es lineal y se busca regular una firma, entonces la tarificación nos permite inducir a la firma a producir la cantidad de vuelos que maximiza el bienestar social *ex-post*. Por esta misma razón, hemos querido realizar los análisis posteriores, donde introducimos competencia, considerando que el costo medio de congestión es lineal.

Para lo que sigue, supondremos la siguiente forma funcional para las aerolíneas:

$$\pi^i(q_i, Q, \theta_i) = p_i q_i - \omega^i(q_i, \theta_i) - \alpha \cdot Q \cdot q_i \tag{4.52}$$

El modelo anterior cumple con los supuestos descritos en la caracterización del modelo presentada en el capítulo 3. El término $\alpha \cdot Q$ es el costo medio asociado a la congestión, el cual depende linealmente de la producción total $Q = q_1 + q_2$. De 4.52 se puede observar que los costos marginales externos asociados a la aerolínea i están dado por $\alpha \cdot q_j$, es decir, cuando la aerolínea i decide incrementar marginalmente su producción eleva los costos de la firma j en $\alpha \cdot q_j$. Este costo es constante en la producción de la firma que genera la externalidad:

$$\frac{\partial CC^j}{\partial q_i} = \alpha \cdot q_j \quad \forall q_i \tag{4.53}$$

Donde CC^j representa los costos de congestión de la firma j.
Con lo anterior, el bienestar social podemos escribirlo como:

$$BS(q_1, q_2, \theta_1, \theta_2) = p_1 q_1 - \omega^1(q_1, \theta_1) + p_2 q_2 - \omega^2(q_2, \theta_2) - \alpha \cdot (q_1 + q_2)^2 \tag{4.54}$$

En el primer mejor se cumple:

$$p_1 - \omega_1^1(q_1^*(\theta_1), \theta_1) - 2 \cdot \alpha \cdot (q_1^*(\theta_1) + q_2^*(\theta_2)) = 0 \tag{4.55}$$
$$p_2 - \omega_1^2(q_2^*(\theta_2), \theta_2) - 2 \cdot \alpha \cdot (q_1^*(\theta_1) + q_2^*(\theta_2)) = 0 \tag{4.56}$$

A continuación aplicaremos y contrastaremos los mecanismos de regulación descritos en la sección 4.3. Comenzaremos estudiando los mecanismos de asignación directa y tarificación.

4.3.1. Asignación vs. Tarificación diferenciada

Para comenzar, abordaremos un escenario en el que sólo la firma 2 posee información privada, el valor de la variable θ_1 es de dominio público. Cuando el aeropuerto utiliza una política de asignación directa, la asignación resultante (q_1^{AD}, q_2^{AD}) cumple con:

$$p_1 - \omega_1^1(q_1^{AD}, \theta_1) - 2 \cdot \alpha(q_1^{AD} + q_2^{AD}) = 0 \tag{4.57}$$
$$p_2 - E_{\theta_2}\left[\omega_1^2(q_1^{AD}, \theta_1)\right] - 2 \cdot \alpha(q_1^{AD} + q_2^{AD}) = 0 \tag{4.58}$$

Utilizando 4.11 sabemos que si se utilizan las tarifas diferenciadas para regular el mercado, el aeropuerto cobrará:

$$\tau_1^T = \alpha \cdot E_{\theta_2}\left[q^2(\tau_2, \theta_2)\right] \quad (4.59)$$
$$\tau_2^T = \alpha \cdot q^1(\tau_1) \quad (4.60)$$

Estas tarifas inducirán una producción final de las firmas que denotaremos q_1^T y $q_2^T(\theta_2)$, donde sólo la producción de la firma 2 es desconocida *ex-ante* por el regulador, ya que es la única que posee información privada. A pesar de que la externalidad es lineal, no se reproduce el primer mejor como ocurre cuando hay una firma. En este caso, debido a que los agentes son no-atomísticos, una tarifa óptima debería depender del nivel de producción de la competidora y por lo tanto de la información privada que ellas poseen. A pesar de ello, el hecho de tener externalidades lineales, nos permite realizar una interpretación económica del significado de las tarifas τ_i^t: la tarifa cobrada a la firma 2 corresponde al costo marginal externo que impone su producción sobre su competidora, por otro lado, a la firma 1 se le cobra el valor esperado de la externalidad no internalizada que genera. Observemos además, que si bien podemos interpretar las tarifas resultantes como tarifas pigouvianas, éstas están evaluadas en la misma asignación resultante que se genera cuando se aplican, y no una aplicación miope de las tarifas pigouvianas: $\tau_1^T \neq \alpha q_2^{AD}$ y $\tau_2^T \neq \alpha q_1^{AD}$. En otras palabras, las tarifas pigouvianas miopes son subóptimas.

En un intento de ordenar las políticas recientemente analizadas de acuerdo al nivel de bienestar social *ex-post*, se realizaron simulaciones numéricas, demostrándose que puntualmente (es decir, para todas las combinaciones de θ_1 y θ_2 posibles), no existe una dominancia de una sobre otra, para ciertas combinaciones de los valores dado a los parámetros del modelo y a la función $\omega^i(q_i, \theta_i)$, una es mejor que otra, pero para otros la relación se invierte. Sin embargo, es posible ordenarlas de acuerdo al valor esperado del bienestar social que cada una genera, resultado que es independiente de la funciones f de densidad de la variable θ_2 y $\omega^i(q_i, \theta_i)$.

Para demostrar lo anterior, consideraremos el siguiente mecanismo hídrido de regulación: a la firma 1 se le asigna una cantidad de producción igual a q_1^{AD}, y a la firma 2 que es la que posee información privada, se le fija una tarifa equivalente al costo marginal externo que produce cuando la aerolínea 1 está produciendo q_1^{AD} vuelos, es decir, se le cobra una tarifa igual a $\tau_2 = \alpha \cdot q_1^{AD}$ por cada unidad que desea producir. Este mecanismo es superior en términos de bienestar social esperado al de asignación directa, porque la firma 2 ajustará su nivel de producción al nivel de producción eficiente condicional en la producción de la firma 1. Por otro lado, la asignación resultante de este mecanismo hídrido, es posible alcanzarla utilizando un sistema de tarifas para ambas aerolíneas: a la firma 2 se le cobra $\tau_2 = \alpha \cdot q_1^{AD}$ y a la firma 1 una tarifa tal que la induzca a producir q_1^{AD}, es decir, se le cobra τ_1 tal que $q_1(\tau_1) = q_1^{AD}$.

A continuación presentamos el caso en el cual ambas firmas poseen información privada. Si se implementa asignación directa, entonces se tendrá que la asignación resultante (q_1^{AD}, q_2^{AD}) cumple la siguiente condición de primer orden:

$$p_1 - E_{\theta_1}\left[\omega_1^1(q_1^{AD}, \theta_1)\right] - 2 \cdot \alpha(q_1^{AD} + q_2^{AD}) = 0 \quad (4.61)$$
$$p_2 - E_{\theta_2}\left[\omega_1^2(q_1^{AD}, \theta_1)\right] - 2 \cdot \alpha(q_1^{AD} + q_2^{AD}) = 0 \quad (4.62)$$

En cambio, si se utiliza un sistema de tarifas para disminuir la congestión, utilizando 4.11 podemos obtener la forma que éstas tendrán:

$$\begin{aligned} \tau_1^T &= \alpha \cdot E_{\theta_2}\left[q^2(\tau_2, \theta_2)\right] && (4.63) \\ \tau_2^T &= \alpha \cdot E_{\theta_1}\left[q^1(\tau_1, \theta_1)\right] && (4.64) \end{aligned}$$

Estas tarifas inducirán una producción de equilibrio $(q_1^T(\theta_1), q_2^T(\theta_2))$. A diferencia del caso anterior, esta vez ambas tarifas corresponden al valor esperado del costo marginal externo evaluado en la asignación inducida por el sistema de tarifas (τ_1^T, τ_2^T). Tal como ha dado en los casos anteriores, una aplicación miope de las tarifas pigouvianas resulta ser subóptimo, las tarifas escogidas por el regulador no reflejan la externalidad en el par (q_1^{AD}, q_2^{AD}).

Nuevamente no hay una herramienta de regulación que siempre genere un bienestar social *ex-post* mayor, pero utilizando una demostración similar a la del caso previo, podemos demostrar que en términos esperado de la función objetivo, las tarifas son superiores a asignación directa. Consideramos el mecanismo de regulación híbrido en el cual a la firma 1 se le regula por cantidad, asignándole una cantidad de *slots* igual a q_1^{AD} y a la firma 2 se le regula por precio, fijándole una tarifa equivalente al costo de congestión no internalizado por ella cuando la firma 1 produce q_1^{AD}, es decir $\tau_2 = \alpha q_1^{AD}$, tarifa que como ya se ha mencionado anteriormente, induce a la firma 2 a producir la cantidad de vuelos que maximiza el bienestar social (puntual, no esperado) condicional en la producción q_1^{AD} de su competidora y por lo tanto genera un mejor resultado que asignación directa. Bajo este mecanismo, la producción escogida por la firma 2 la llamaremos $\tilde{q}_2(\theta_2)$ y satisface:

$$p_2 - \omega_1^2(\tilde{q}_2, \theta_2) - 2\alpha(q_1^{AD} + \tilde{q}_2) = 0 \tag{4.65}$$

Pero dado este nivel de producción de la firma 2, al regulador le gustaría inducir a la firma 1 a producir una cantidad $\hat{q}_1$ que maximiza el bienestar social esperado (con respecto a θ_2) cuando la firma 2 produce $\tilde{q}_2(\theta_2)$. Es decir, una cantidad $\hat{q}_1$ donde se cumpla:

$$p_1 - \omega_1^1(\hat{q}_1, \theta_1) - \alpha(\hat{q}_1 + E_{\theta_2}\left[\tilde{q}_2(\theta_2)\right]) - \alpha\hat{q}_1 - \alpha E(\tilde{q}_2(\theta_2)) = 0 \tag{4.66}$$

La combinación de producción 4.65 y 4.66 genera un bienestar social esperado mayor que la asignación inducida por el mecanismo hídrido, y por lo tanto mayor que el de asignación directa. Finalmente, podemos encontrar un par de tarifas $\hat{\tau}_1$ y $\hat{\tau}_2$ que induzcan a las firmas a producir esta combinación. Para ello, se deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} \hat{\tau}_1 &= \alpha E_{\theta_2}\left[\tilde{q}_2(\theta_2)\right] && (4.67) \\ 2\alpha q_1^{AD} &= \alpha E_{\theta_1}\left[\hat{q}_1\right] + \hat{\tau}_2 \Rightarrow \hat{\tau}_2 = 2\alpha q_1^{AD} - \alpha E_{\theta_1}\left[\hat{q}_1\right] && (4.68) \end{aligned}$$

La primera condición se obtiene de igualar la condición de primer orden que caracteriza la función de mejor respuesta de la firma 1 cuando el aeropuerto le cobra una tarifa igual a $\hat{\tau}_1$ con 4.66, y nos permite obtener de inmediato una expresión para la tarifa buscada. Análogamente, la segunda ecuación corresponde a igualar 4.65 con la ecuación de primer orden que caracteriza su función de mejor respuesta cuando el aeropuerto le cobra $\hat{\tau}_2$.

Observamos que el impuesto cobrado inicialmente a la aerolínea 2 es distinto a $\hat{\tau}_2$, a pesar de que ambas tarifas inducen el mismo nivel de producción por parte de la firma. Este fenómeno se debe a que en el sistema donde ambas firmas son reguladas por tarifas, la producción final de cada una es desconocida y por ende, la producción de la firma 1 ya no es un parámetro para la firma 2, y se debe ajustar la tarifa para alcanzar los niveles de producción.

Finalmente, $\hat{\tau}_1$ y $\hat{\tau}_2$ no son tarifas óptimas, ya que están dominadas por el par (τ_1^T, τ_2^T) que maximizan el bienestar social esperado considerando una competencia Cournot-Bayes entre las aerolíneas. Por lo tanto, el bienestar social esperado alcanzado con la combinación $\hat{q}_1(\theta_1)$ y $\tilde{q}_2(\theta_2)$ será superado por el que inducen $q_1^T(\theta_1)$ y $q_2^T(\theta_2)$.

La demostración sólo es válida cuando los costos de congestión son lineales, de otra manera, al fijar el nivel de producción de la firma 1 en el mecanismo híbrido, no se podría cobrar la congestión no internalizada a la firma 2 y conseguir de esta manera una asignación que domine a la asignación directa. En otras palabras, para llevar a cabo esta demostración se requiere que el costo marginal no internalizado de la firma 2 sea independiente del valor de la variable θ_2.

4.3.2. Tarificación vs. Remate

- **En términos de bienestar social esperado:**
  Aplicaremos el remate descrito en la sección **??**. De esta manera, la asignación alcanzada por el remate (q_1^R, q_2^R) está caracterizada por las siguientes ecuaciones:

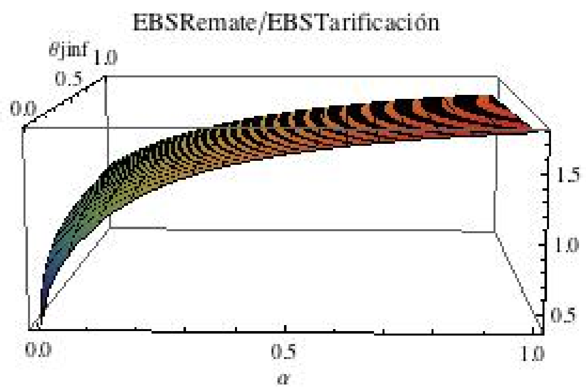
$$p_1 - \omega_1^1(q_1^R, \theta_1) = p_2 - \omega_1^2(q_2^R, \theta_2) \quad (4.69)$$
$$q_1^R + q_2^R = Q^{AD} \quad (4.70)$$

  Y los pagos de cada aerolínea están representados por:

$$y_1 = p_2\left(Q^{AD} - q_2^R\right) + \omega^2(q_2^R, \theta_2) - \omega^2(Q^{AD}, \theta_2) \quad (4.71)$$
$$y_2 = p_1\left(Q^{AD} - q_1^R\right) + \omega^1(q_1^R, \theta_1) - \omega^1(Q^{AD}, \theta_1) \quad (4.72)$$

  Cuando se compara el bienestar social alcanzado por este remate y el de las tarifas diferenciadas estudiadas en la sección anterior, no existe alguna que se imponga siempre sobre la otra *ex-ante* ni tampoco *ex-post*. Podemos ver lo anterior de manera gráfica en el siguiente ejemplo, en donde se gráfica la razón entre el bienestar social esperado obtenido con el remate descrito recientemente y con las tarifas.

  Ejemplo 4.3.1. Consideramos dos aerolíneas idénticas, utilizamos una función en particular para los costos de producción, los que estarán dados por $\omega^i(q_i, \theta_i) = \theta_i q_i^2$. Además, asumimos una distribución uniforme para las variables θ_1 y θ_2 en un intervalo $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$. Fijamos las variables que caracterizan la demanda en $p_1 = p_2 = 150$ y $\bar{\theta} = 1$, y variamos los valores para las variables α y $\underline{\theta}$. Como resultado, obtenemos el siguiente gráfico de comparación:



Como se observa, cuando los costos de congestión son pequeños la política de tarificación domina débilmente al remate, lo cual se justifica debido a que en este caso las únicas distorsiones con respecto a un óptimo social son las externalidades de congestión, si tales costos no existieran, las firmas alcanzarían por decisión propia el óptimo social, por lo tanto, si dichas externalidades son lo suficientemente pequeñas seguirá siendo mejor (ya no *ex-post* eficiente) que decidan ellas mismas cuanto producir y no asignarles una cantidad vía un remate.

- **En términos de Ingresos para el aeropuerto:**

Ejemplo 4.3.2. Consideramos una forma funcional idéntica a la del ejemplo ejem:costo lineal y los siguientes valores para las variables: $p_1 = p_2 = 150$, $\underline{\theta}_1 = \underline{\theta}_2 = 1$, $\bar{\theta}_1 = \bar{\theta}_2 = 2$ y variamos el valor de α en un intervalo $(0.1, 11)$. El siguiente gráfico muestra una comparación de los ingresos que percibe el aeropuerto cuando utiliza una política de regulación de remates y de tarifiación diferenciada.

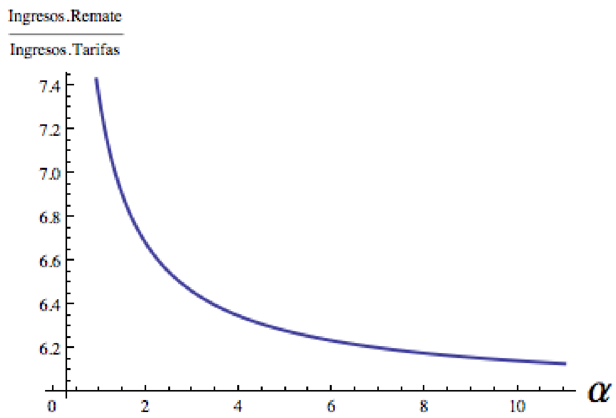


Figura 4.4: Comparación Ingresos del aeropuerto bajo Remates y Tarificación, variable α

Se observa que el remate genera mayores ingresos para el aeropuerto que la tarificación diferenciada, pero que la diferencia disminuye a medida que los costos de congestión se incrementan.

Ejemplo 4.3.3. Tomando los mismos valores para p_1, p_2, $\underline{\theta}_1$ y $\underline{\theta}_2$ del ejemplo anterior y fijando un $\alpha = 5$, variamos el límite inferior de la variable θ en un intervalo $(0.1, 1)$. Obtenemos el siguiente gráfico comparativo

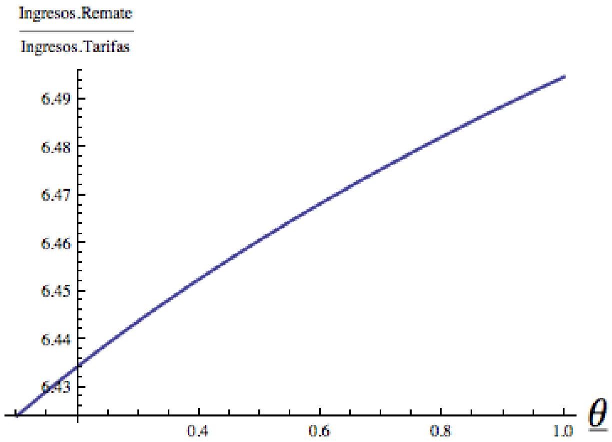


Figura 4.5: Comparación Ingresos del aeropuerto bajo Remates y Tarificación, variable $\underline{\theta}$

Nuevamente el remate es superior, pero a diferencia del caso anterior ésta va en aumento cuando aumentan los costos de producción.

Los dos ejemplos anteriores nos muestran que el remate es preferible para el aeropuerto en términos de ingresos. Ambas políticas cobran una *externalidad*, sin embargo, en el caso de la tarificación ésta sólo se refiere a la congestión no internalizada, mientras que el remate, corresponde a las utilidades que el competidor deja de percibir por el hecho de haber una firma más participando en el sistema. Por esta razón, no es de extrañar que los pagos sean mayores en un remate.

El remate analizado anteriormente es de cantidad exógena, es decir, la cantidad a rematar es decidida sin considerar la información que revelan las firmas con sus posturas. Se ha discutido anteriormente que existen mecanismos de cantidad endógena como los que implementan VCG: Krishna & Perry y el remate Montero (2006) que reproducen el óptimo social de información perfecta, y que por lo tanto el problema estudiando a lo largo de este trabajo pareciera estar solucionado. Sin embargo, se ha decidido analizar un remate como el anterior, ya que aún cuando la información privada es unidimensional utilizar alguno de estos mecanismos de asignación requiere un gran costo para el regulador.

En resumen, se ha comparado una política de cantidad con una de precios, y se ha obtenido que a diferencia de lo que ocurre en información perfecta no conducen al mismo resultado. Cuando no existen asimetrías de información entre los agentes, el regulador resuelve un problema de maximización de bienestar social con el que determina la cantidad de *slots* eficiente, remata esta cantidad e induce la asignación óptima. Con información imperfecta se pierde esta propiedad, no es posible alcanzar con un remate de cantidad exógena el resultado deseado socialmente, perdiéndose además, la equivalencia que existe entre el enfoque de tarifas diferenciadas y el remate.

4.3.3. Tarifas Manipulables

Brueckner & Verhoef (2010) cuestionan el enfoque clásico de tarifas como mecanismo de regulación en los aeropuertos. De acuerdo a estos autores existe una gran inconsistencia en él, resultando extraño que agentes no atomísticos no actúen de manera estratégica frente a la tarifa fijada por el regulador. Por esta razón, proponen un sistema tarifario en el cual la tarifa no es vista como un parámetro por las firmas, sino como una regla que puede ser manipulada por éstas, ya que su valor final dependerá del nivel de producción que escojan ambas aerolíneas.

Bajo información perfecta, es posible reproducir el óptimo social utilizando este enfoque de tarifas manipulables: El aeropuerto anuncia una regla tarifaria $Z_i(q_i, q_j)$ y $Z_j(q_i, q_j)$ a cada aerolínea respectivamente, que obtiene de un proceso de optimización del bienestar social anticipando que las firmas compiten Cournot entre ellas y que alteran el valor de las tarifas con sus decisiones de producción.

Se puede extender el modelo anterior añadiendo información imperfecta entre los agentes y demostrar que no es posible alcanzar el primer mejor con esta herramienta: El aeropuerto anuncia una regla tarifaría $Z_i(q_i, q_j)$ a la aerolínea i, la cual responderá maximizando su utilidad esperada, es decir, resuelve:

$$\underset{q_i}{\text{Maximizar}} E_{\theta^j}\left[\pi_i(q_i, \theta_i)\right] = p_i q_i - \omega^i(q_i, \theta_i) - E_{\theta_j}\left[c(q_i + q_j)\right] q_i - E_{\theta_j}\left[Z_i(q_i, q_j)\right] \tag{4.73}$$

Cuya condición de primer orden es:

$$p_i - \omega_1^i(q_i, \theta_i) - E_{\theta_j}\left[c'(q_i + q_j)q_i + g(q_i + q_j)\right] - E_{\theta_j}\left[\frac{\partial Z_i(q_i, q_j)}{\partial q_j}\right] = 0 \tag{4.74}$$

Por lo tanto, si el regulador busca alcanzar el óptimo social *ex-post* se debe cumplir:

$$E_{\theta_j}\left[c'(q_i + q_j)q_i + c(q_i + q_j)\right] + E_{\theta_j}\left[\frac{\partial Z_i(q_i, q_j)}{\partial q_j}\right] = c(q_i + q_j) + (q_i + q_j)c'(q_i + q_j) \tag{4.75}$$

Lo cual se reduce a la siguiente condición:

$$E_{\theta_j}\left[Z_i(q_i, q_j)\right] = (q_i + q_j)c(q_i + q_j) - E_{\theta_j}\left[q_i c(q_i + q_j)\right] + K_i \tag{4.76}$$

Donde K_i es la constante de integración.

De 4.76 se observa que el único término no constante de la ecuación es $(q_i + q_j)c(q_i + q_j)$, ya que dependen de la realización privada de θ_i y θ_j. Por lo tanto, la condición anterior no se puede cumplir, ya que exige que una expresión no constante sea igual a la suma de tres constantes. En conclusión, a pesar de que el regulador no requiere información para fijar valores paramétricos de las tarifas como ocurre con el enfoque clásico de las tarifas pigouvianas, al existir asimetrías de información entre las aerolíneas, es imposible generar el óptimo social *ex-post* por medio de una tarifa manipulable.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Síntesis, conclusiones y líneas futuras de investigación

Bajo supuestos de información perfecta Brueckner (2009) propone a las tarifas diferenciadas y los remates de precio uniforme como mecanismos sustitutos, ambos son capaces de inducir una asignación eficiente de los *slots* entre las aerolíneas, lo que resuelve el problema de implementación de las tarifas que ya hemos discutido en otros capítulos. Hemos demostrado que basta introducir asimetrías de información a nivel unidimensional, no sólo para que estos enfoques generen asignaciones diferentes y por ende niveles de bienestar social distintos, sino que además, ninguno es capaz de generar el resultado socialmente deseable *ex-post*. Esto último se debe a que ambas herramientas de regulación se basan en decisiones que toma el regulador sin una previa interacción con las firmas, agentes que poseen información privada relevante para la determinación de la asignación óptima.

Cuando la información es perfecta, el aeropuerto puede mediante un problema de optimización calcular los niveles de producción socialmente óptimos para cada firma (primer mejor) y luego implementar este óptimo utilizando un sistema de tarifas, en el cual cobra a cada aerolínea la congestión no internalizada evaluada en la asignación óptima. En un escenario donde existen asimetrías de información el primer mejor corresponde al enfoque de asignación directa, y concluimos que las tarifas las tarifas *ex-ante* óptimas, no heredan esta propiedad. En otras palabras, las tarifas escogidas por el regulador no representan a los costos marginales externos evaluados evaluada en la asignación obtenida con el enfoque de asignación directa. Mas aún, en general la tarifa resultante no se puede interpretar de manera directa como una externalidad o externalidad esperada.

Una conclusión similar se puede hacer con respecto a los remates, el regulador utilizando el primer mejor, obtiene la cantidad total de *slots* que generan el bienestar social eficiente, y luego a través de un remate de precio uniforme implementa este óptimo. Sin embargo, cuando las firmas poseen información privada, el regulador no es capaz de determinar la cantidad de permisos óptima *ex-post*. La extensión del remate de información perfecta es subastar el nivel de permisos que maximiza el bienestar social esperado, pero como esta cantidad no coincide con el nivel óptimo, es imposible con esta herramienta inducir una asignación eficiente. Es más, aún cuando el regulador conociera el nivel óptimo de *slots*, no podría implementarlo con un remate de precio uniforme, ya que este mecanismo no genera los incentivos necesarios para que las firmas revelen su verdadera valoración por los objetos en cuestión.

Utilizando la metodología de Weitzman (1974) se concluye que cuando lo que se busca regular es una firma, la ventaja de asignación directa sobre tarificación y viceversa depende exclusivamente de una comparación, en términos relativos, de la curvatura de la función de costos de producción y congestión. Cuando analizamos un escenario duopólico, nos restringimos al uso de costos de congestión lineales, obteniendo que bajo este supuesto las tarifas resultan ser un mecanismo superior a la asignación directa independiente de $c^i(q_i, \theta_i)$. Lo anterior, nos hace concluir que si el regulador busca regular casos en lo que los costos de congestión no sean lineales, la ventaja de una política sobre otra dependerá también de la curvatura de las curvas $g(Q)$ y $c^i(q_i, \theta_i)$.

Como alternativa a las tarifas diferenciadas, la literatura ha inspeccionado el uso de tarifas uniformes, las que si bien no resultan ser eficientes, logran superar el problema de que aerolíneas con menor participación de mercado pagan más que las aerolíneas que producen mayores flujos. Nuestro análisis sugiere que en ambientes de información imperfecta donde tarificación diferenciada resulte ser una política mejor a la asignación directa, podrían generarse escenarios en los cuales las tarifas uniformes induzcan un bienestar social esperado mayor a la asignación directa. En otras palabras, vender *slots* y dejar que las firmas decidan utilizando su información privada la cantidad que desean comprar, puede ser mejor que asignar, sin interacción entre los agentes, una cantidad determinada a cada aerolínea.

De la misma manera, a pesar de que nuestros resultados involucran un oligopolio sin poder de mercado, podemos extender algunas de las conclusiones a escenarios donde exista poder de mercado. En primer lugar, y dado que sabemos por Basso (2010) que bajo información perfecta el remate no reproduce el óptimo social, es decir, tarifas y remates inducen distintos niveles de producción entre las firmas, tampoco tendremos una equivalencia bajo información perfecta. Por otro lado, la tarifa óptima que en el caso de información perfecta es una de dos (o tres [1]) partes, corresponde a un subsidio por el poder de mercado y a un cobro por la congestión no internalizada evaluada en el primer mejor, bajo información imperfecta podremos distinguir estos dos efectos pero no interpretarlos de manera tan precisa como cuando no existen asimetrías de información y mucho menos estarán evaluadas en el resultado del enfoque de asignación directa.

5.2. Líneas futuras de investigación

Si bien nuestros análisis se realizan en un escenario de segundo mejor, han ayudado a comprender lo complejo que es implementar una asignación eficiente cuando hay asimetrías de información, demostrando que las herramientas comúnmente propuestas para disminuir la congestión en los aeropuertos no son suficiente si lo que buscamos es generar resultados *ex-post* óptimos. Sin embargo, sabemos que un mecanismo VCG resuelve este problema, generando asignaciones eficientes cualquiera sea el tipo y cantidad de información privada que posean las firmas. Si bien estos mecanismos funcionan teóricamente, en la práctica su implementación es poco frecuente, ya que generan un alto costo para el regulador. Montero (2006) ha implementado los mecanismos VCG mediante un remate de cantidad endógena que permite incluir externalidades como las tratadas en esta tesis, sin embargo, posee las mismas dificultades de implementación que un mecanismo VCG tradicional. Por esta razón, se necesita incursionar en la búsqueda de un remate de cantidad endógena sencillo, que se ajuste a las posibilidades de implementación que puede efectuar el aeropuerto.

[1] si las aerolíneas compiten entre si por la demanda de los pasajeros

Bibliografía

[1] Amstrong, M., and David Sappington. (2003), *Handbook of Industrial Organization vol. III*, North-Holland, Amsterdam.

[2] Basso, L. (2010), On the equivalence of congestion pricing and slot auctioning at congested airport, Working paper, Universidad de Chile.

[3] Basso, L., and A. Zhang. (2010), Pricing vs. slot policies when airport profits matter, *Transportation Research B 44*, 381-391.

[4] Brueckner, J. (2002), Airport Congestion when carriers have market power, *The American Economic Review 92(5)*, 1357-1375.

[5] Brueckner, J. (2009), Price vs. quantity-based approach to airport congestion management. *Journal of Public Economics 93(5-6)* , 681-690.

[6] Brueckner, J., and E. Verhoef. (2009), Manipulable Congestion Tolls, *Journal of Urban Economics 67(3)*, 325-321.

[7] Clarke, E. (1971), Multipart Pricing of Public Goods, *Public Choice 11(1)*, 17-33.

[8] Groves, T. (1973), Incentives in Teams, *Econometrica*, 41(4), 617-631.

[9] Krishna, V. (2009), *Auction Theory*, Academic Press, San Diego, US.

[10] Krishna, V. and Motty Perry. (1998), Efficient mechanism design, Working paper, Penn State University

[11] Montero, J.-P. (2006), A simple auction mechanism for the optimal allocation of the commons, *Documentos de Trabajo 311*, Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica.

[12] Morrison, S. and Clifford Winston. (2007), Another look at airport congestion pricing, *American Economic Review 97(5)*, 1970-1977.

[13] Pels, Eric., and Erik Verhoef. (2004), The economics of airport congestion pricing, *Journal or Urban Economics 55(2)*, 257-277.

[14] Starkie, D. (2008), *Aviation Markets: Studies in Competition and Regulatory Reform*, Ashgate, London.

[15] Ulrich, C. (2008), How the Present (IATA) Slot Allocation Works. En: Czerny, A., Forsyth, P., Gillen D., Niemeier, H.-M. (Eds.), *Airport Slot*, Ashgate, Aldershot, UK, pp. 9-21.

[16] Vickrey, W. (1961), Counterspeculation, Auction and Competitive Sealed Tenders, *Journal of Finance 16*, 8-37.

[17] Weitzman, Martin L. (1974), Prices vs quatities,*Review of Economics Studies 41*, 477-491.