



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

ANÁLISIS MICROECONÓMICO DE POLÍTICAS DE REGULACIÓN DEL MERCADO
DE RIDESOURCING

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

ALISSON MAURINNE GARCÍA HERRERA

PROFESOR GUÍA:
LEONARDO J. BASSO SOTZ
PROFESOR GUÍA 2:
ALEJANDRO TIRACHINI HERNÁNDEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDRÉS GÓMEZ-LOBO ECHENIQUE
CRISTIAN GUEVARA CUE

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN TRANSPORTE
POR: ALISSON MAURINNE GARCÍA HERRERA
FECHA: 2019
PROF. GUÍAS: SR. LEONARDO J. BASSO SOTZ Y SR. ALEJANDRO TIRACHINI
HERNÁNDEZ

ANÁLISIS MICROECONÓMICO DE POLÍTICAS DE REGULACIÓN DEL MERCADO DE RIDESOURCING

El acelerado crecimiento de las empresas de ridesourcing ha causado un gran impacto en la equidad social, eficiencia, competencia y sustentabilidad en las ciudades. Esto ha generado una amplia discusión a nivel mundial que busca comprender cómo afecta este nuevo servicio al desarrollo de las ciudades, y cuál sería una eficiente regulación que maximice el bienestar social.

Este trabajo analiza los efectos de diferentes mecanismos de regulación a las plataformas de ridesourcing, considerando su impacto a otros modos de transporte y a la congestión. Se desarrolla un modelo microeconómico de competencia con el objetivo de maximizar el bienestar social a partir del estudio de las características del mercado de ridesourcing y su impacto al sistema de transporte. Se programa un algoritmo de búsqueda aleatoria y se realiza simulaciones considerando el caso base de la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

El trabajo responde a dos preguntas de investigación relevante: ¿Se debe regular a las plataformas de ridesourcing? De ser así, ¿Cómo se deberá regular considerando competencia con otros modos y, en particular, con los taxis tradicionales que a su vez son una industria regulada? El modelo planteado es una herramienta que aporta a los reguladores, mediante la simulación del problema de optimización, al análisis de políticas de regulación lo que permitirá tener un criterio técnico en la toma de decisiones.

Los resultados muestran que el poder de mercado que ejerce la plataforma es mayor que la externalidad negativa de la congestión en escenarios cuando se alcanza velocidades mayores a 9 km/h, por lo tanto, el modelo sugiere que el gobierno subsidie a la plataforma. Este resultado se debe a que la tarifa de ridesourcing es menor con respecto a la no regulación y existen más conductores que trabajan en la plataforma, lo que disminuye tiempos de espera. Dado que la tarifa es menor y los tiempos de espera disminuyen, se generan más viajes y también la ganancia de los conductores de ridesourcing aumenta.

En el caso de velocidades menores, se observa que el poder de mercado de la plataforma está siendo dominado por el efecto externalidad por congestión, lo que lleva a un óptimo donde el regulador cobra un impuesto a la plataforma. Este resultado se debe a que la tarifa de la plataforma es mayor con respecto a la no regulación y se logra disminuir el número de conductores, lo que aumenta tiempos de espera. Por lo tanto, se generan menos viajes para la plataforma y la ganancia de sus conductores disminuye. Además, aumentan los viajes de los otros modos de transporte generando mayor consumer surplus y mayor ganancia para los taxistas y las empresas de transporte público.

Dedidado a mis padres, hermanos y a mi novia.

Agradecimientos

A través de estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que con sus conocimientos y soporte han colaborado en la realización de este trabajo de tesis.

Quiero expresar mi gratitud a Dios y la Virgen, quienes han sido mi guía y han llenado de luz este camino permitiéndome crecer, superarme y graduarme.

Muy especialmente a mis tutores, por la acertada orientación, el soporte y discusión crítica que me permitió un buen desarrollo del trabajo.

De mis compañeros del Departamento de Transporte, agradezco principalmente a Esteban, Nicolás, Kimberly y Felipe, por su ayuda, consejos, apoyo y gratos momentos en este arduo camino.

Agradezco a mi familia por su comprensión, comunicación constante y apoyo desde Ecuador. A mi hermana Melissa por su tenacidad, confianza y motivación.

Especial mención a Tania, te agradezco por ser mi soporte y un gran apoyo emocional en estos años de estudio, has sido mi fortaleza para continuar y no desistir en el camino.

Finalmente quiero expresar mi gran agradecimiento a la Universidad de Chile y al Departamento de Transporte por confiar en profesionales extranjeros y motivar a seguir estudiando e investigando en esta área.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Contexto: Situación de las plataformas de ridesourcing en Chile	3
2. Revisión Bibliográfica	4
2.1. Estudios empíricos	4
2.1.1. Industria de taxis de barrido	4
2.1.2. Transporte público	6
2.1.3. Calidad de servicio	7
2.1.4. Externalidades	8
2.2. Políticas de regulación	10
2.3. Estudios teóricos	12
3. Modelo de regulación de plataformas ridesourcing	13
3.1. Análisis del modelo	13
3.2. Generalidades y supuestos	15
3.3. Comportamiento de los jugadores	16
3.3.1. Comportamiento de los usuarios	16
3.3.2. Comportamiento de los vehículos de taxi	17
3.3.3. Comportamiento de los vehículos de ridesourcing	19
3.3.4. Comportamiento del transporte público	20
3.4. Congestión: Definición de la velocidad y el tiempo promedio de viaje en vehículo	21
3.5. Decisiones de los jugadores	22
3.5.1. Decisión de los conductores de ridesourcing	22
3.5.2. Decisión de la plataforma	23
3.5.3. Situación del sistema de taxis y transporte público	25
3.5.4. Decisión del gobierno	25
3.5.5. Equilibrio del subjuego	26
3.6. Modelo general de optimización	27
4. Programación	28
4.1. Algoritmo	28
4.2. Parámetros. Modelación caso Santiago	29
5. Resultados y análisis	33
5.1. Análisis de resultados	33
5.1.1. Escenario 1	34

5.1.2.	Escenario 2	37
5.1.3.	Análisis comparativo de políticas de regulación	39
5.1.3.1.	Impuesto: Porcentaje de la tarifa	39
5.1.3.2.	Impuesto: Valor por vehículo de ridesourcing	39
5.1.3.3.	Impuesto: Valor por viaje de ridesourcing	40
5.1.3.4.	Subsidio: Porcentaje de la tarifa	40
5.1.3.5.	Subsidio: Valor por vehículo	40
5.1.3.6.	Subsidio: Valor por viaje	41
5.1.4.	Análisis de sensibilidad	41
5.1.4.1.	Aumento de la cantidad de vehículos particulares	41
5.1.4.2.	Disminución ϕ_R : Valor monetario de otros factores de servicio de un vehículo de ridesourcing	43
5.1.4.3.	Disminución del valor de tiempo de espera del usuario a un vehículo de ridesourcing	45
6.	Conclusiones y recomendaciones	46
6.1.	Resumen y motivación	46
6.2.	Conclusiones y recomendaciones	47
	Bibliografía	50
	Anexos	53
	A. Políticas de regulación	54
	B. Consumer Surplus	62
B.1.	62

Índice de Tablas

3.1. Alternativas de regulación a analizar	15
5.1. Resultados del escenario 1	36
5.2. Resultados del escenario 2	38
5.3. Resultados del escenario 1b	42
5.4. Resultados del análisis de sensibilidad	44
A.1. Políticas de regulación	55
A.2. Políticas de regulación	56
A.3. Políticas de regulación	57
A.4. Políticas de regulación	58
A.5. Políticas de regulación	59
A.6. Políticas de regulación	60
A.7. Políticas de regulación	61

Índice de Ilustraciones

3.1. Diagrama de decisiones de los jugadores del modelo	14
3.2. Comportamiento de un taxi de barrido por el periodo de una hora	17
3.3. Esquema temporal de producción de un taxi	17
3.4. Comportamiento de un vehículo de ridesourcing por el periodo de una hora .	19
3.5. Esquema temporal de producción de un vehículo de ridesourcing	19

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Ridesourcing se refiere a los servicios de transporte que conectan a los conductores (personas que conducen automóviles privados en lugar de vehículos comerciales) con los pasajeros a través de dispositivos móviles y aplicaciones. Hay muchos términos diferentes usados para describir esta opción emergente de transporte, los investigadores académicos de transporte usan ‘*ridesourcing*’ o ‘*ride-hailing*’ y las compañías se describen a sí mismos como ‘*transportation network companies (TNCs)*’ o ‘*mobility service providers (MSP)*’ (Shaheen y Chan, 2016). Ridesourcing se lo clasifica como una forma particular de movilidad compartida, por ejemplo Uber y Lyft en EE. UU., Didi Express en China, Ola en India, e incluso UberMOTO en Tailandia (Jin *et al.*, 2018).

Varios autores han identificado impactos positivos, Cramer y Krueger (2016) compararon la tasa de utilización de capacidad de los conductores UberX con los conductores de taxis en algunas ciudades de EE. UU., los resultados muestran que el porcentaje de horas de trabajo con un pasajero oscila entre 32 % y 49.5 % para los taxis, y 46.1 % a 54.3 % para UberX. Por otra parte, Henao (2017) encontró que este nuevo servicio genera un 12 % de viajes inducidos en Denver.

Sin embargo, también se ha identificado impactos que afectan la congestión y a otros modos de transporte, Tirachini y Gomez-Lobo (2019) encontraron que las plataformas de ridesourcing aumentan los VKT (*Vehicle Kilometers Traveled*) si la ocupación promedio es menor a 2 (pax/veh), debido a que muchos viajes son inducidos y reemplazan el transporte público. Otro estudio identifica que este nuevo servicio reemplaza los viajes en taxi, pero al menos la mitad de los viajes reemplazados corresponde a otros modos, con un fuerte impacto al transporte público (Rayle *et al.*, 2016).

La industria de ridesourcing ha atraído críticas y conflictos significativos por parte de la industria de taxis tradicionales (conductores con un permiso de operación que buscan y recogen pasajeros en la calle), atribuyéndole ser una competencia desleal que ha generado

cambios en la industria de los taxis. Por ejemplo, los precios de los medallones¹ de los taxis de cabina amarilla han ido disminuyendo desde la entrada de estas nuevas compañías en la ciudad de New York en el 2013, generando pérdidas de su valor en un 31 % para el año 2015 (Cetin y Deakin, 2017).

Los servicios de ridesourcing se han ido expandiendo tan rápidamente alrededor del mundo, que han generado debates sobre su legalidad y los gobiernos han tenido que actuar de manera acelerada en su regulación. Realizando una revisión de las reglamentaciones de varios países, se identificó cuatro enfoques generales que han adoptado:

1. Aprobar medidas regulatorias a las compañías de ridesourcing.
2. Alivianar restricciones para las compañías de taxis tradicionales.
3. Dejar que las compañías operen sin regulación.
4. Prohibir su operación.

El estudio de la regulación del ridesourcing a partir de un modelo económico, en un contexto de competencia con los taxis, transporte público, sustitución modal y considerando externalidades como congestión, es evidentemente relevante, pero no se ha llevado a cabo aún en la literatura. Existen varios estudios que analizan la regulación óptima de taxis tradicionales, de barrido o básico², sin embargo en la actualidad esos modelos deberán interactuar con otros elementos, como es la competencia con este nuevo servicio de movilidad compartida, por lo tanto este trabajo es una contribución a la literatura para comprender el impacto de las plataformas a diferentes mercados que forman parte del sistema de transporte, a los usuarios y a la congestión.

El objetivo general de la tesis es desarrollar un algoritmo de optimización que a partir de un modelo teórico microeconómico permita simular un sistema de transporte considerando la industria de ridesourcing, su competencia con los taxis tradicionales y transporte público, sustitución modal y externalidades, con el fin de analizar diferentes políticas de regulación y establecer la mejor situación en el largo plazo para esta alternativa de transporte considerando el bienestar social.

La estructura de la tesis está conformada por seis capítulos, empezando con una revisión del estado de arte respecto a las características del mercado de ridesourcing, el impacto a otros modos de transporte y un análisis de las políticas de regulación existentes en varios países, para entender y obtener estadísticamente los valores de los parámetros que son input en el modelo. En el Capítulo 3 se explica como se aborda el problema y se plantea el modelo considerando el comportamiento de los agentes involucrados y sus decisiones. Luego se explica el desarrollo del algoritmo general para resolver el problema de optimización y se detalla valores de los parámetros utilizados, los cuales han sido extraídos de estudios empíricos realizado por otros autores en el área. Finalmente en el capítulo 5 y 6 se analiza los resultados, las conclusiones y se indica las recomendaciones finales del trabajo desarrollado.

¹Permiso otorgado en ciudades de los Estados Unidos que permite que un conductor de taxi opere.

²Modalidad de taxi que permite recoger/dejar pasajeros en la calle y atender viajes cuyo destino es determinado por los pasajeros que lo utilizan, pudiendo contar con paraderos.

1.2. Contexto: Situación de las plataformas de ride-sourcing en Chile

La expansión de las plataformas de ridesourcing en Chile ha tenido un fuerte crecimiento. Los conductores suscritos a Uber y Cabify superan los 95 mil para el año 2018, y más de un tercio de ellos trabaja a tiempo completo (Gutiérrez, 2018), a diferencia de los taxis básicos donde se tiene un total de 34,425 en Chile ³ en el 2018. Esto ha ocasionado preocupaciones en temas tributarios, impacto en el sistema de transporte, externalidades y se ha generado varias manifestaciones de taxistas solicitando que se regule estas plataformas, logrando que el gobierno chileno genere un proyecto de ley para su regulación.

Actualmente, el proyecto de ley se encuentra en el Congreso, aprobado por los Diputados y en proceso para análisis en el Senado. Este proyecto define a una Empresa de Aplicación de Transporte (EAT) como toda persona jurídica que preste o ponga a disposición de los usuarios un servicio de plataforma digital, sistema informático o tecnología de cualquier tipo, que permita a un pasajero contactarse con el propietario, administrador o conductor de un vehículo, para ser transportado desde un origen a un destino determinado, pagando una tarifa por el servicio recibido.

Entre las principales regulaciones propuestas en este proyecto de ley se tiene: (i) las EAT son calificadas como empresas de transporte remunerado de pasajeros, con la obligación de inscribirse en un Registro de Empresas de Aplicación de Transportes, (ii) faculta al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones a establecer condiciones de operación para las EAT con el objetivo de mitigar congestión y contaminación, (iii) el conductor debe poseer licencia profesional A-1, y (iv) los conductores deberán contratar seguros de responsabilidad civil para los pasajeros.

A partir de esta problemática y la falta de información de este nuevo mercado, varios académicos del país han generado estudios que nos han permitido analizar sus características en temas de impacto a otros modos de transporte, impacto en la congestión a partir de los VKT y condiciones laborales de los conductores (Fielbaum y Tirachini, 2019b).

Como observamos, en el país es de vital importancia analizar, con una mirada micro-económica, las regulaciones óptimas para las Empresas de Aplicación de Transporte dando prioridad al bienestar de los agentes que forman parte de este sistema.

³<https://usuarios.subtrans.gob.cl/estadisticas/parques-vehiculares.html>

Capítulo 2

Revisión Bibliográfica

Este capítulo presenta una revisión de la literatura existente sobre el impacto de las plataformas de ridesourcing a los diferentes actores de una ciudad, además de un análisis de políticas de regulación y modelos teóricos que plasman las características de operación de estos servicios de movilidad compartida.

El objetivo es contribuir a comprender de manera clara y resumida la operación de las plataformas de ridesourcing y conocer cómo su operación afecta al desarrollo de las ciudades para finalmente desarrollar un modelo que refleje las características de esta industria lo más cercano a la realidad. La elaboración de una eficiente política de regulación inicia en analizar el sistema e identificar la problemática, por lo cual en este capítulo analizaremos el comportamiento de las plataformas y su impacto al sistema de transporte. Se ha dividido el análisis en tres subsecciones: estudios empíricos, políticas de regulación e investigaciones basados en modelos teóricos.

2.1. Estudios empíricos

2.1.1. Industria de taxis de barrido

En general, las compañías de ridesourcing han tenido un impacto económico negativo para la industria de taxis. Basado en estudios y datos disponibles, este impacto se lo ha estimado a través de la pérdida del valor de los medallones, ingresos económicos y cuota de mercado.

Jiang y Zhang (2018) realizan un análisis de periodos múltiples sobre el comportamiento de los taxistas basados en datos de trayectoria en Beijing para evaluar el impacto que ocasiona la industria de ridesourcing. Sus resultados revelan que la competencia influyó negativamente a la industria de taxi: en el año 2015 el número promedio de viajes de pasajeros por día por taxi disminuyó en un 18% y el promedio de viaje diarios por taxi disminuyó en un 19% con respecto al año 2012.

Cetin y Eryigit (2013), a través de un análisis de regulación de los taxis de barrido, encuentran que la disminución de un 1 % del total de taxis por 1000 personas en New York conduce a un incremento de 0.45 % en el precio real del medallón y esto ocasiona un incremento de tarifas alrededor del 0.12 % a largo plazo. Señalan que esto es un beneficio monopólico tanto para los precios de los medallones como para las tarifas de los taxis. Cetin y Deakin (2017) muestran que en la ciudad de New York los precios de los medallones han ido disminuyendo, con un 31 % de pérdida de valor en dos años desde el 2013, atribuyéndolo a la entrada de las plataformas en la ciudad.

Estudios revelan que el taxi es uno de los dos modos con mayor tasa de sustitución por las plataformas de ridesourcing (Zhen, 2015; Rayle *et al.*, 2016; Tirachini y del Río, 2019). A pesar de que parte de los usuarios han sustituido sus viajes en taxi por viajes de ridesourcing, existe un grupo de usuarios fieles al servicio de taxi porque no disponen de tarjeta de crédito, no poseen un teléfono inteligente, entre otras razones, como lo explica Nie (2017).

El autor examina el impacto del ridesourcing en la industria del taxi a través de datos de trayectorias del GPS de los taxis en Shenzhen, China, y analiza cómo los taxis pueden competir de manera más efectiva. Los taxis son más competitivos con las compañías de ridesourcing en período punta y en áreas con mayor densidad poblacional, como centros urbanos de mayor actividad. Esto se lo atribuye a dos razones: en primer lugar debido a la congestión pues trabajar en el período punta es más estresante y potencialmente menos rentable, lo que puede aliviar la competencia, y en segundo lugar porque tienen ventaja competitiva; los taxis tienen el derecho exclusivo de recoger pasajeros en la calle (pasajeros de negocios con prisa) y tienen más experiencia para manejar a través del tráfico pesado. (Nie, 2017)

En relación a la eficiencia del servicio de ridesourcing comparado con los taxis, Rayle *et al.* (2016), a través de una encuesta de intercepción a usuarios de ridesourcing en San Francisco, encontraron que el 93 % de los usuarios de ridesourcing esperan menos de 10 minutos en un día laboral. Sin embargo para la encuesta de usuarios de taxis, el 35 % de los encuestados dijeron que generalmente esperaban menos de 10 minutos en un día laboral, la cifra cayó al 16 % de los encuestados para las noches y fines de semana.

Tirachini y del Río (2019) a través de una encuesta de intercepción realizada en la ciudad de Santiago en el 2017, estimaron que la tasa de ocupación promedio de los vehículos de ridesourcing es de 1.5¹ (pax/veh), lo cual es similar a los taxis tradicionales que varían entre 1.3 y 1.4 (Tirachini, 2017). Este mismo estudio reveló que existen notables diferencias al comparar la tasa de ocupación según el ingreso del hogar, es decir cuanto mayor sea el ingreso familiar del usuario (en USD), mayor será la probabilidad de viajar solo. Encontraron que para los hogares en los rangos de bajos ingresos (\$0 a \$557), la tasa de ocupación promedio (según perspectiva del usuario) es de 2.2 (pax /veh), por otra parte, para el grupo de ingresos más alto (\$3375 o más), la tasa es de 1.7 (pax/veh).

Por otro lado, en relación al nivel de servicio, Wallsten (2015) revela que el número de

¹Esta tasa refleja un reajuste por los autores considerando que las tasas de ocupación calculadas, a través de las encuestas, son desde la perspectiva de los usuarios. Es decir, es lo que un observador externo estimaría después de encuestar aleatoriamente los viajes, siempre que la muestra sea representativa. Desde la perspectiva del usuario, la tasa de ocupación promedio es de 1.9 (pax/veh).

quejas por viaje en taxi en New York ha disminuido junto con el crecimiento de Uber, asociando que los taxistas están respondiendo a la competencia mejorando la calidad de servicio. En el caso de Chicago, el autor encontró que el crecimiento de Uber se correlaciona con menos quejas a los taxistas por parte de los usuarios en aspectos como la calefacción, aire acondicionado, conductores groseros y máquinas de tarjeta de crédito defectuosas.

Existe competencia directa entre estos dos modos de transporte, por lo tanto el gobierno debe analizar cómo afecta las regulaciones de las plataformas a otros modos de transporte y replantear si las actuales regulaciones a la industria de taxis son eficientes en la actualidad.

2.1.2. Transporte público

Una de las preguntas que muchos autores se han planteado es si el ridesourcing es un sustituto o complemento del transporte público. La respuesta a esta pregunta dependerá de varios aspectos, como por ejemplo la demanda de las operadoras de transporte, el tipo de transporte público, el lugar de operación, sea dentro o afuera de la ciudad, y de la calidad de servicio.

Rayle *et al.* (2016) compararon los tiempos promedio de viaje del transporte público y del servicio de ridesourcing en San Francisco y encontraron que en un viaje típico de ridesourcing se ahorra aproximadamente 10 minutos con respecto al viaje en transporte público, y de los viajes analizados según la encuesta realizada, el 65 % de los viajes hubieran sido dos veces más largos si se hubieran realizado en transporte público. Entre otros hallazgos encontraron que el 67 % de los viajes fueron con propósito de ocio, seguido por viajes que comenzaron en otro lugar que no fueron el hogar o trabajo con un 47 %. El 5 % de los encuestados nombró a una estación de transporte público como su origen o destino.

A partir de la encuesta realizada por Tirachini y del Río (2019) en la ciudad de Santiago se muestra que el 96.1 % de los encuestados utilizan el servicio de ridesourcing sin combinarlo con otros modos de transporte, el 2.6 % reportó viajes combinados con metro, el 0.8 % con bus y 0.4 % con otros modos de transporte. Los resultados de estos dos últimos estudios muestran que el modo ridesourcing llega a complementar al transporte público en un porcentaje muy bajo (menor al 5 %) de los viajes realizados.

Babar y Burtch (2017) encuentran que Uber ha complementado los servicios a larga distancia con un aumento de 2.6 %, y 7.2 % en el uso del metro y del tren suburbano, respectivamente. Encuentran que el grado de complementariedad se amplifica por la calidad de servicio mientras que el grado de sustitución modal se atenúa por la calidad de servicio de la agencia de transporte. En otro estudio, Hall *et al.* (2018) usaron el método de Diferencias en Diferencias a través de *Metropolitan Statistical Areas* (MSAs) de EE.UU. donde encontraron que Uber complementa a las operadoras de transporte público según su tipo; estimaron que es un modo complementario para el usuario de ferrocarril, con un aumento del 3 % en su uso.

Otro de los resultados de Hall *et al.* (2018) se basa en un análisis de complementariedad de Uber con el transporte público según la demanda de pasajeros de las operadoras. En el caso de las operadoras que tienen una demanda por debajo del promedio, el ingreso de Uber

a la ciudad provocó un incremento en el uso de transporte público de un 5.8% y para las operadoras que tienen demanda por encima del promedio, el ingreso de Uber provocó que esta demanda decrezca en un 2%.

Es interesante este último resultado, debido a que nos indica que Uber podría estar complementando más a las pequeñas operadoras de transporte en las grandes ciudades, lo cual podría ocurrir debido a que la pequeña operadora en una gran ciudad ofrece el servicio menos flexible en términos de frecuencia y rutas, y Uber agrega flexibilidad a estas operadoras.

Varias investigaciones encuentran que el servicio de ridesourcing es principalmente un sustituto del transporte público más que un complemento (Tirachini *et al.*, 2016; CNP, 2018; Henao *et al.*, 2019; Alemi y Rodier, 2018; Tang *et al.*, 2019). Rayle *et al.* (2016) a través de una encuesta de intercepción a usuarios de ridesourcing en San Francisco, encontraron que el 98% de los encuestados todavía habrían hecho el viaje si no hubiera la opción de ridesourcing. De aquellos que aún habrían hecho el viaje, el 39% dijo que de otra forma habría usado un taxi, mientras que el 33% dijo que el autobús o el tren y el 6% hubieran usado su propio automóvil.

CNP (2018) realizó una encuesta a través de un muestreo aleatorio espacial en Santiago de Chile y encontraron que el 34.5% de los encuestados hubiera realizado el viaje en transporte público si no hubiera tenido la opción de viajar a través del servicio de ridesourcing.

Estos últimos resultados son preocupantes en la eficiencia de un sistema en términos de congestión. Sin embargo, según lo que indica Tirachini y del Río (2019), es poco probable que los usuarios de ridesourcing reemplacen el transporte público por completo, porque ridesourcing es un modo para viajes poco frecuentes (7 de cada 10 encuestados realizan como máximo en promedio un viaje por semana) y el transporte público se considera el principal medio de transporte para la mayoría de la muestra.

2.1.3. Calidad de servicio

El servicio de ridesourcing ofrece una opción de transporte diferenciado con características que son valoradas por un grupo de personas al momento de elegir el modo de transporte. Este servicio ofrece un sistema de transporte punto a punto, un sistema de calificación a la calidad de servicio, información del conductor y del vehículo que pueden contribuir a mejorar la confiabilidad y seguridad, y un sistema de pago integrado. (Deloitte, 2016)

Uno de los análisis que realizaron Rayle *et al.* (2016) a través de una encuesta en San Francisco fue conocer los motivos de elección de este servicio de transporte. Encontraron que las tres primeras razones para el uso de las plataformas de ridesourcing son facilidad de pago, menor tiempo de espera y menor tiempo de viaje con un porcentaje de respuesta de 35%, 30% y 30%, respectivamente.

En la misma línea de análisis, a través de una encuesta realizada en Santiago de Chile, las principales razones por las cuales los usuarios usan el servicio de ridesourcing son comodidad y seguridad, y por ser el servicio más económico que otras alternativas con un 28.9% y 14.4%

respectivamente, seguido por un menor tiempo de viaje, menor tiempo de espera, facilidad de pago y tarifa transparente (Tirachini y del Río, 2019).

En un informe realizado por Alphabeta (2017) se presenta resultados de una encuesta a usuarios de Uber en Indonesia, y se encontró que entre las principales razones por las cuales los encuestados realizaron su viaje en Uber son porque el servicio es más económico, por comodidad y confiabilidad.

En este trabajo consideramos dichas características que son parte del modelo, cómo factores que se pueden estimar (tarifa, valor tiempo de viaje, valor del tiempo de espera) y otros factores como comodidad, confiabilidad, seguridad entre otros, que son incluidas en un parámetro del costo generalizado como el valor monetario de otros beneficios que ofrece el servicio de ridesourcing.

Además, las plataformas están participando en programas con el objetivo de beneficiar a grupos que requieren trasladarse pero por diferentes razones se les dificulta realizar el viaje. Ginger Goodin y Moran (2017) señalan que autoridades de transporte han introducido programas en conjunto con estas compañías de ridesourcing para beneficiar poblaciones de bajos ingresos que pueden enfrentar altos costos de transporte. Por ejemplo, Uber se asoció con el Condado de Pinellas, Florida, creando el Programa de Transporte Desfavorecido, el cual subsidia el transporte a los residentes de bajos ingresos, ofreciendo viajes gratuitos de Uber a los participantes que tienen trabajos nocturnos.

Por otro lado, algunas compañías ofrecen servicios que incorporan la opción de enviar vehículos diseñados para el transporte de personas con discapacidades con conductores capacitados para ofrecer dicho servicio, como por ejemplo UberAccess.

2.1.4. Externalidades

Uno de los análisis relevantes que se ha realizado en varios países ha sido la estimación del impacto en externalidades que genera este modo de transporte, principalmente en la congestión. Varios autores han logrado estimar este impacto a través de los kilómetros recorridos en vehículo (VKR) o millas viajadas en vehículo (VMT).

SFMTA (2017) realizó un análisis de VMT en la ciudad de San Francisco, mostrando que las compañías de ridesourcing estarían generando 10 veces más VMT que los taxis en un día laboral típico, y 12 veces más los días sábados, donde la mayor parte de las VMT generada por las compañías de ridesourcing ocurre durante el periodo punta mañana y tarde.

Para este caso, dado que las VMT generadas son durante períodos de alta demanda probablemente esté agravando la congestión, por ende presentando externalidades negativas. Sin embargo, se podría realizar el análisis considerando variables como la generación de nuevos viajes, sustitución modal y la tasa de ocupación del vehículo, con el fin de analizar a mayor detalle su impacto en la congestión.

Rayle *et al.* (2016) realizó encuestas de intercepción en la ciudad de San Francisco en el

2014, donde el 8 % de los encuestados indicaron que no habrían realizado el viaje si es que no hubieran tenido disponible el servicio de las plataformas de ridesourcing. De aquellos que aun así hubieran realizado el viaje, el 39 % indicó que hubiera viajado en taxi, el 33 % dijo que lo hubiera realizado en autobús y tren, y el 6 % en su propio automóvil.

Dado que existe un gran impacto en la sustitución modal del transporte público, existe un aumento de los VKR y por ende del tráfico vehicular. Sin embargo, sería necesario analizar estos viajes según el periodo del día en que se realizan y las zonas donde se generan, para así conocer el nivel de impacto en la congestión. Para el caso de sustitución modal en taxi, el análisis será un poco diferente, debido a que se deberá analizar además la tasa de ocupación.

Uno de los estudios empíricos en Santiago de Chile es el de Tirachini y Gomez-Lobo (2019), en el cual encontraron que las plataformas de ridesourcing aumentan los VKR si la ocupación promedio es menor a 2 pax/veh, debido a que muchos viajes son inducidos y reemplazan el transporte público.

Clewlou y Mishra (2017) descubrieron que el uso de TNC podría atribuirse a un aumento del 3 % en el uso del transporte público debido a una mejor accesibilidad. El mismo estudio también descubrió que la naturaleza sustitutiva versus complementaria del servicio de transporte varía mucho según el tipo de servicio de transporte público.

CNP (2018) encontró que un 4.5 % de los encuestados en Santiago de Chile no habrían realizado el viaje si no hubiera estado disponible el servicio de ridesourcing. El 32.4 % del total de encuestados lo hubiera realizado en taxi, el 34.5 % en transporte público y el 13.2 % en auto particular.

Basado en encuestas realizadas en Beijing, Gao et al. (2016) estiman los cambios en la elección de modo de viaje de los residentes de Beijing. Encuentran que el 58 % del total de viajes en ridesourcing son de personas que de otro modo usarían transporte público o bicicleta. En la misma línea, un informe sobre las características de uso de las plataformas en Boston por Gehrke *et al.* (2018), indica que esta tasa de sustitución de transporte público por las plataformas de ridesourcing es de aproximadamente 42 %.

En Santiago de Chile existe un gran impacto en la sustitución modal de estas plataformas con respecto al transporte público generando un aumento en los VKR. Cuando se realiza el análisis con los viajes sustituidos con respecto al taxi, se debe evaluar la tasa de ocupación promedio de estos y así establecer si disminuye, se mantiene o aumenta el tráfico vehicular, como lo realizaron Tirachini y Gomez-Lobo (2019).

Los viajes realizados por Alphabet (2017) el servicio de ridesourcing podría mantener el nivel de tráfico vehicular si el vehículo de ridesourcing reemplaza a un viaje en auto particular, donde el tiempo que se transita en la búsqueda de estacionamiento es equivalente al tiempo que el conductor transita sin pasajero (CNP, 2018).

Estos estudios nos da una idea más clara de cómo afecta este servicio al sistema de transporte a través de la congestión. Las plataformas de ridesourcing llegan a aumentar el tráfico vehicular principalmente cuando generan nuevos viajes o sustituyen viajes de transporte público debido a un aumento en los VKR, considerando la ocupación promedio. Sin embar-

go, los viajes que agravan a la congestión serán aquellos que se realicen en hora punta o se generen en zonas con niveles altos de congestión.

Por otro lado, podríamos pensar que estas plataformas generan externalidades positivas, por ejemplo, cuando se generan viajes compartidos. Un estudio de análisis en Boston realizado por Gehrke *et al.* (2019) encontraron que aproximadamente el 80 % de todos los viajes de ridesourcing no fueron viajes compartidos con otros usuarios. Del mismo modo, Schaller (2019) informó que alrededor del 78 % de todos los viajes de ridesourcing realizados dentro de la ciudad de Nueva York fueron viajes no compartidos.

Teniendo en cuenta estos estudios, los viajes de ridesourcing compartidos representan menos de un 25 %, por lo que no se puede atribuir un alto impacto positivo a la congestión generado por estas plataformas, a pesar que estos viajes compartidos podrían generar menos kilómetros recorridos en vehículo.

2.2. Políticas de regulación

Se examinó leyes, acuerdos y proyectos de regulación para las compañías de ridesourcing de varios países, considerando aspectos como: seguridad, tránsito, flota, impacto financiero, entre otros. Se ha compilado esta información en una tabla para facilitar el análisis, la cual se encuentra en el Anexo A. El propósito de este análisis es conocer cómo los gobiernos están actuando y qué soluciones están proponiendo ante la entrada de estas compañías, y así plasmar de mejor manera el comportamiento del gobierno en nuestro modelo para su posterior discusión y sugerencias de políticas.

Se ha identificado cuatro enfoques generales que han adoptado varios países:

- Aprobar medidas regulatorias a las compañías de ridesourcing.
- Alivianar restricciones para las compañías de taxis tradicionales.
- Dejar que las compañías operen al margen de la ley.
- Prohibir su operación.

Se observa regulaciones a distintos niveles de gobierno como por ejemplo en Brasil; regulación a nivel nacional y también políticas establecidas por la prefectura en ciudades como Sao Paulo, Brasilia, Vitória y Puerto Alegre, las cuales tienen diferencias significativas entre ellas, como se observa en el Anexo.

Varias políticas establecen explícitamente la prohibición de que los conductores acepten solicitudes de viaje que no sean a través de la plataforma. Esta política claramente está impuesta para diferenciar sus operaciones con los taxis.

En Estados Unidos varios estados mantienen una política de accesibilidad para personas de movilidad reducida, que consiste que las compañías deben proporcionar la opción de vehículos diseñados para este fin. Este es un gran aporte de inclusión en la movilidad que sería difícil operarlo y controlarlo en la industria de taxis de acuerdo a la normativa vigente.

Se han impuesto políticas para estas compañías las cuales deben proporcionar información a los entes reguladores así como: información de los vehículos registrados y los viajes realizados. Esto es una política de gran aporte al sector público por la poca información que han manejado, pudiendo analizar y formular proyectos sustentables que consideren temas como congestión, contaminación, impacto en transporte público.

Una de las regulaciones que más nos llama la atención, es que el esquema de tasas y/o impuestos, que establece el gobierno a estas compañías, es uno de los factores que más difiere entre países y ciudades. Se ha identificado cinco casos: valor por viaje (\$0.40 en Chicago), porcentaje de los ingresos brutos (0.3 % en California), valor por kilómetro (R \$0.10 como base en São Paulo), porcentaje de la tarifa (1.5 % en Ciudad de México), valor por vehículo (R \$73 mensuales en Porto Alegre).

En el caso de São Paulo, en el 2016 se estableció una política de regulación a las plataformas que consiste en el pago de un valor por kilómetro, el cual varía según el nivel de ocupación de la infraestructura. El precio base de un kilómetro se estableció en R \$0.10, pero si el total de kilómetros de las compañías está cerca de alcanzar un cierto nivel determinado por el regulador, éste puede aumentar el precio por kilómetro para desalentar el uso de las vías y así disminuir el impacto a la congestión.

São Paulo ha establecido otras medidas que son incentivos a las plataformas y que permiten mejorar de alguna manera otras áreas para el beneficio social. Existen incentivos que reducen de manera porcentual el valor base por kilómetro. Por ejemplo se tiene una reducción del 10 % si el 15 % de los kilómetros totales fueron realizados por conductores del género femenino. Se tiene incentivos por el uso de vehículos de accesibilidad universal, vehículos híbridos y por realizar viajes compartidos. Por otro lado, existe una medida para lograr reducir el monopolio e incentivar a las pequeñas empresas, que consiste en cuanto más kilómetros consume una compañía con respecto a la demás, más caro será el precio que deberán pagar.

La recaudación de estos valores son destinados en gran parte a proyectos de transporte, como vemos en las tablas de Anexos. Sin embargo, en sus decretos, leyes, ordenanzas no está claro a que área del transporte van destinados, muchos de ellos indican que estos fondos contribuyen a la industria de taxis. Como hemos visto en las secciones anteriores, existe un impacto no despreciable al transporte público por parte de las plataformas que los reguladores deben considerar al momento de determinar sus políticas. Además, los reguladores deben ir más allá de solo alivianar la competencia ofreciendo contribuciones a la industria de taxis, un camino sería analizar las regulaciones para las operadoras de taxi y determinar si en la actualidad con la presencia de compañías colaborativas son eficientes.

Por otro lado, al comparar con la normativa que rige a los taxis tradicionales, existen grandes diferencias en la regulación de tarifas y el control de entrada. La justificación para la regulación de los taxis se centra en las fallas de mercado, donde la regulación de tarifas se da comúnmente por la información imperfecta, y la limitación del número de taxis se da por las externalidades negativas de congestión y contaminación, para proteger el ingreso de los conductores y reducir accidentes por la competencia agresiva (Wyman, 2017).

2.3. Estudios teóricos

Uno de los estudios más relacionados con la competencia de taxis antes de la llegada de las compañías de ridesourcing es la de Fernández *et al.* (2006), donde muestran que bajo condiciones de corto y largo plazo un único equilibrio existe para una industria sin regulación y corresponde a una competencia monopolística. Además encuentra que la tarifa en el óptimo social produce pérdidas a los operadores, y que la entrada de regulación (control del tamaño de flota sin regulación de precios) produce peores condiciones del sistema que el libre mercado.

He y Shen (2015) proponen un modelo de equilibrio espacial utilizando un logit jerárquico que equilibra la oferta y la demanda de dos modos de servicios de taxi: aquellos que buscan pasajeros por las calles (taxis de barrido) y otros que utilizan plataformas e-hailing. Los clientes eligen cómo llamar a los taxis para minimizar sus propios costos percibidos del viaje, mientras que los taxistas vacantes deciden cómo y dónde buscar a los próximos clientes para minimizar su propia desutilidad percibida. A partir de este modelo, los autores encuentran el equilibrio que se logra en los tiempos de espera de taxi prevalecientes en diferentes ubicaciones y modos de servicio, de manera que ningún taxi y clientes puedan aumentar su propia utilidad percibida al cambiar unilateralmente sus opciones.

Los autores encuentran dos resultados relevantes: el tiempo de espera de los vehículos de ridesourcing reaccionan más sensiblemente con respecto al tamaño de flota en el equilibrio y la introducción de la aplicación e-hailing puede reducir el tiempo promedio de espera, aumentar la tasa promedio de utilización y atraer más pasajeros, pero también aumenta el tiempo de espera promedio de los pasajeros de taxis de barrido.

Zha *et al.* (2016) analizan el mercado de ridesourcing a través de un modelo donde el vínculo entre el conductor y pasajero son capturados por una función de matching. Encuentran que en general el tiempo promedio de espera de los pasajeros es proporcional al tiempo promedio de búsqueda de los conductores. Se encuentra que sin ninguna regulación (tarifa y flota) un monopolio de plataforma ridesourcing maximizará la ganancia conjunta con sus conductores. La solución de primer mejor no es sostenible si la función de matching tiene retornos crecientes a escala y la función de costos exhibe economías de escala. Finalmente, se encontró que la competencia entre plataformas de ridesourcing no necesariamente puede bajar los precios o mejorar el bienestar social.

Estos estudios analizan el comportamiento de las plataformas en el sistema de transporte, competencia entre plataformas y competencia con la industria de taxis. Sin embargo, no analiza el beneficio y perjuicio de las políticas de regulación a la plataforma incluyendo otros factores como sustitución modal con el transporte público y el impacto a la congestión. Este trabajo responde una pregunta de investigación relevante: ¿Cómo se debería regular a las plataformas de ridesourcing considerando competencia con otros modos y, en particular, con los taxis de barrido que a su vez son una industria regulada? Nuestros resultados ofrecen a los reguladores una comprensión más formal y teórica de las implicancias de las diferentes políticas de regulación a implementar. Además, el modelo planteado es una herramienta que aporta a los reguladores, mediante la simulación del problema de optimización, al análisis de cada política de regulación y su impacto a cada agente que forma parte del sistema de transporte.

Capítulo 3

Modelo de regulación de plataformas ridesourcing

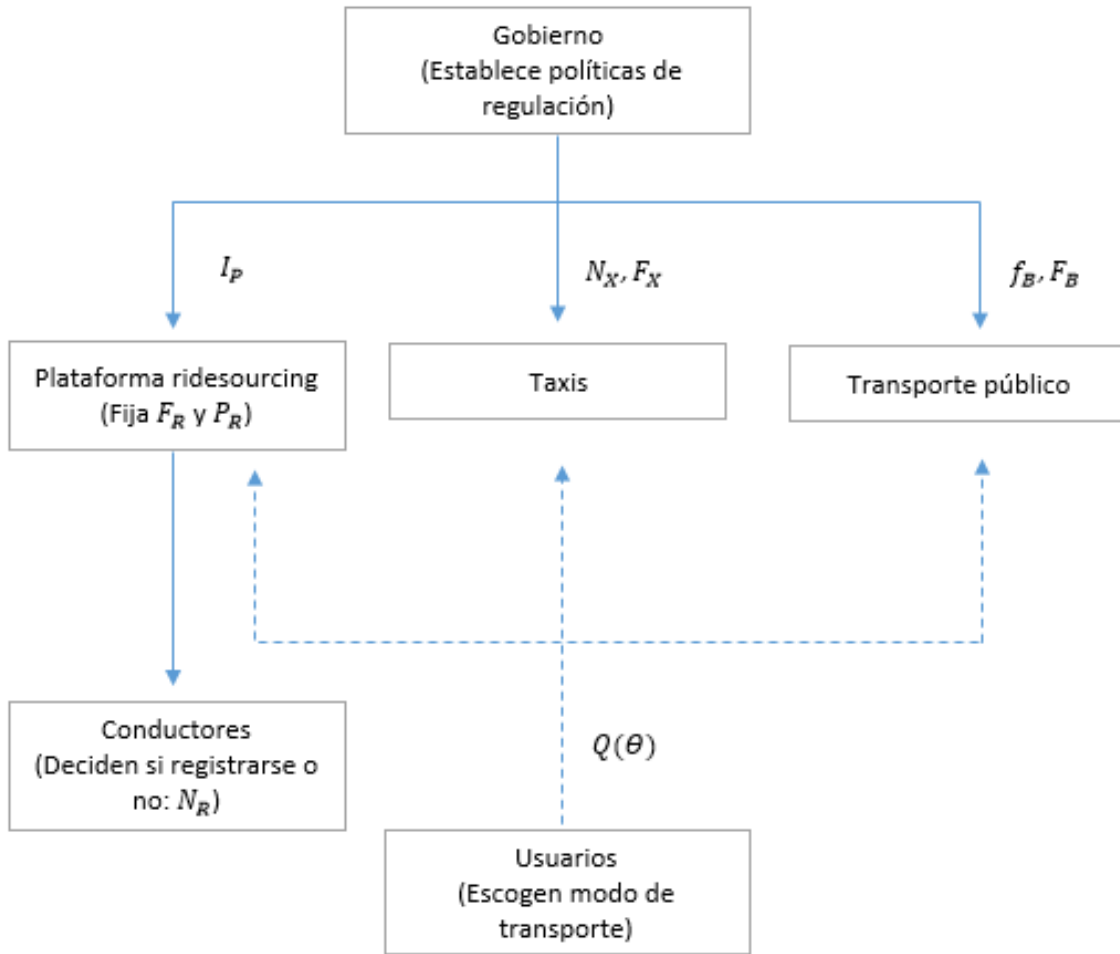
En este capítulo se plantea el modelo microeconómico de competencia entre los distintos modos de transporte: taxis, ridesourcing y transporte público. Se explica el comportamiento de cada agente que forma parte del modelo, estableciendo funciones de demanda, características de cada modo de transporte y su interacción en el sistema, que nos permita obtener escenarios que representen la realidad y así evaluar distintas acciones. Esto incluye la integración de variables relevantes como el tiempo de espera, tiempo de viaje, tarifa, demanda, decisiones individuales de los potenciales conductores de ridesourcing, entre otros.

3.1. Análisis del modelo

Considere un juego Stackelberg con varios agentes que cumplen diferentes funciones: (i) un gobierno que busca maximizar el bienestar social, como la suma del excedente del consumidor y el beneficio de los tres mercados, (ii) una plataforma de ridesourcing que maximiza su ganancia a partir de la decisión de los conductores de ridesourcing si trabajar en la plataforma de ridesourcing o no, (iii) un mercado de taxis cuya tarifa y tamaño de flota son reguladas por el gobierno y (iv) el transporte público cuya operación no es optimizada si no que se asume fija y, finalmente (v) un sistema de demandas diferenciadas que es función del vector de costos generalizados de los tres modos de transporte. En el modelo se incluye el transporte privado como un número fijo de autos que se encuentran rodando por las vías.

En el gráfico se describe el juego general de acuerdo al timing de cómo cada jugador va tomando decisiones, donde el líder del juego es el gobierno. El escenario general se describe a continuación, y a partir de este se analizan diferentes escenarios de acuerdo a las políticas de regulación a nivel de gobierno.

Figura 3.1: Diagrama de decisiones de los jugadores del modelo



En la primera etapa del juego el primero que decide es el gobierno, el cual potencialmente decide N_X (número de taxis operando), F_X (tarifa del viaje en taxi), N_B (número de buses de transporte público) y f_B (frecuencia de una línea de transporte público). Una vez que el gobierno decidió, los otros modos de transporte deciden simultáneamente si es que el gobierno los dejó elegir. Para el escenario general, el único que decide es la plataforma de ridesourcing, la cual establece F_R (tarifa del viaje en vehículo de ridesourcing) y P_P (Porcentaje de la tarifa que la plataforma de ridesourcing se deja para sí mientras el resto queda para el conductor). Luego los conductores de ridesourcing decidirán si ingresar o no a operar en la plataforma, lo que establece N_R (número de vehículos de ridesourcing). Una vez que se determinan todos estos valores, los usuarios eligen el modo de transporte a partir de los precios generalizados.

Resolvemos el modelo por inducción reversa para obtener el equilibrio. Por lo tanto, se establece la demanda condicional a todos los valores, luego se pasará al sub-juego de la plataforma y los conductores de ridesourcing basados en la demanda y la competencia con los otros modos de transporte. Finalmente el gobierno toma sus decisiones de regulación condicional a las decisiones de los otros jugadores.

Se analiza diferentes alternativas de regulación a partir de una tasa a las plataformas de ridesourcing I_P establecido por el gobierno. I_P puede ser valor fijo o porcentaje dependiendo del tipo de regulación como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3.1: Alternativas de regulación a analizar

Detalle de la política	Formulación
Tasa por viaje	$I_P * Q_R$
Porcentaje de la tarifa por viaje	$I_P * F_R * Q_R$
Valor por vehículo de ridesourcing	$I_P * N_R$

En este trabajo, la función del gobierno es maximizar el bienestar social de los consumidores y de los tres mercados de transporte. El gobierno establece una política de regulación a la plataforma de ridesourcing (ver la tabla 3.1) optimizando la variable I_P , que representa la tasa o porcentaje que el gobierno le cobra a la plataforma.

En este trabajo, la tarifa y el tamaño de flota del mercado de taxis son reguladas por el gobierno y se asumen parámetros fijos los cuales no se optimizan. De la misma manera el transporte público, cuya operación (frecuencia, tarifa) no se optimiza y se asume fija.

3.2. Generalidades y supuestos

Todos los vehículos operan en un área geográfica durante un periodo de tiempo. Esta área geográfica se asume lineal y el periodo de tiempo se asume que es de una hora. Los vehículos que forman parte de cada modo de transporte operan en condiciones homogéneas entre ellos. Los modos de transporte son sustitutos imperfectos.

Los taxistas operan de manera individual es decir poseen su propio vehículo y operan independientemente. Para el caso de la industria de ridesourcing, se considera una sola plataforma que trabaja con conductores los cuales deciden individualmente si ingresar o no a operar en la plataforma. Los buses de transporte público trabajan a partir de una frecuencia fija establecida por el gobierno y una flota ajustable en función del tiempo de ciclo.

Se considera tráfico mixto en la ciudad donde todos los vehículos utilizan las mismas vías, es decir, no existe segregación física. Se analizará el efecto de la congestión como función de la densidad de vehículos que operan en la red vial del área geográfica. El transporte particular impacta solo en la congestión, como un número fijo de vehículos que se encuentran en la red vial.

Los usuarios escogen el modo de transporte a partir de sus costos generalizados de transporte. A partir de sus precios generalizados y de preferencias intrínsecas, la demanda se asume lineal en los costos generalizados de cada modo transporte ya que se consideran sustitutos imperfectos como se explica más adelante.

3.3. Comportamiento de los jugadores

3.3.1. Comportamiento de los usuarios

Existe una demanda elástica por cada modo de transporte Q_i que es función de su costo generalizado θ_i y de los costos generalizados de los demás modos de transporte θ_{-i} . Se asume una demanda lineal en los costos generalizados, entonces se tiene:

$$Q_i(\theta) = a - b\theta_i + e\theta_j + e\theta_k \quad (3.1)$$

Donde a , b y e son parámetros positivos. Se asume además que $b > e$, de modo que un cambio en el costo generalizado del modo i , afecta más al modo i que al modo de transporte j . Por lo tanto, si aumenta el costo generalizado de los modos de transporte sustitutos j y k , entonces aumenta la demanda del modo i . Se define el costo generalizado de los usuarios de taxi, de vehículos de ridesourcing y transporte público como θ_X , θ_R , θ_B , respectivamente.

$$\theta_X = F_X + \beta_X W_X + \gamma_X T_X + \rho_X Acc_X \quad (3.2)$$

$$\theta_R = F_R + \beta_R W_R + \gamma_R T_R - \phi_R \quad (3.3)$$

$$\theta_B = F_B + \beta_B W_B + \gamma_B T_B + \rho_B Acc_B \quad (3.4)$$

Donde F_i es la tarifa promedio del servicio del modo de transporte i , β_i y γ_i son los valores del tiempo de espera y tiempo de viaje en vehículo del pasajero. En el modelo los valores de tiempo de viaje en vehículo son distintos para cada modo de transporte debido a que el tiempo de viaje en transporte público puede ser más agotador y tener un mayor efecto negativo por las paradas para dejar/recoger pasajeros o debido al hacinamiento comparado con el taxi o ridesourcing.

W_i representa el tiempo promedio de espera de un pasajero y T_i es el tiempo promedio de viaje del modo transporte i . ϕ_R es el valor monetario de otros beneficios que ofrece el servicio de ridesourcing como la seguridad, valorización del servicio, medio de pago, etc. ρ_i y Acc_i representan el valor del tiempo de acceso y el tiempo promedio de acceso al modo de transporte i .

A continuación se establece las funciones de demanda, en las cuales se ha incluido los costos generalizados de cada modo de transporte. Se observa diversas variables que dependen de otras variables y que están generando en el modelo puntos fijos. Por ejemplo, se observa que la demanda de ridesourcing Q_R depende del tiempo de espera de los usuarios por un vehículo de ridesourcing W_R , y dado que en la próxima sección definimos este tiempo de espera en la ecuación 3.20, W_R depende de la demanda de ridesourcing. Por lo tanto, a priori no podemos determinar el efecto que tiene un aumento o reducción de W_R sobre Q_R .

$$Q_X = a - b(F_X + \beta_X W_X + \gamma_X T_X + \rho_X Acc_X) + e(F_R + \beta_R W_R + \gamma_R T_R - \phi_R) + e(F_B + \beta_B W_B + \gamma_B T_B + \rho_B Acc_B) \quad (3.5)$$

$$Q_R = a - b(F_R + \beta_R W_R + \gamma_R T_R - \phi_R) + e(F_X + \beta_X W_X + \gamma_X T_X + \rho_X Acc_X) + e(F_B + \beta_B W_B + \gamma_B T_B + \rho_B Acc_B) \quad (3.6)$$

$$Q_B = a - b(F_B + \beta_B W_B + \gamma_B T_B + \rho_B Acc_B) + e(F_X + \beta_X W_X + \gamma_X T_X + \rho_X Acc_X) + e(F_R + \beta_R W_R + \gamma_R T_R - \phi_R) \quad (3.7)$$

3.3.2. Comportamiento de los vehículos de taxi

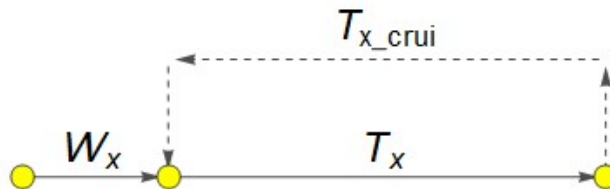
El comportamiento de los taxis está planteado en base al modelo propuesto por [Fernández et al, 2006]. Se modela solo a los taxis de barrido que son aquellos que conducen por las calles buscando un pasajero y se asume que los taxis no trabajan con aplicaciones móviles con GPS para encontrar a un pasajero.

Figura 3.2: Comportamiento de un taxi de barrido por el periodo de una hora



El esquema muestra el comportamiento de un taxi durante el periodo de análisis. Cuando un taxi encuentra un pasajero, lo traslada a su lugar de destino demorándose un tiempo promedio de viaje T_X . Luego de dejar al pasajero, el taxi conduce sin pasajero hasta encontrar un nuevo pasajero demorándose un tiempo promedio de cruceo T_{X_cru} . Dado este comportamiento, se determina el esquema temporal de producción de un taxi, como muestra el siguiente esquema.

Figura 3.3: Esquema temporal de producción de un taxi



Se define el número de carreras de un taxi por el periodo de una hora q_X como la razón entre el número total de carreras producidas por la industria de los taxi en una hora Q_X y el número total de taxis operando por un hora N_X .

$$q_X = \frac{Q_X}{N_X} \quad (3.8)$$

Se tiene que el esquema de producción del taxi es:

$$f_X = \frac{1}{T_X + T_{Xcrui}} \quad (3.9)$$

La frecuencia de producción de un taxi debe ser igual a su demanda, por lo tanto se define el tiempo promedio de cruce de la siguiente manera.

$$q_X = \frac{1}{T_X + T_{Xcrui}} \quad (3.10)$$

$$T_{Xcrui} = \frac{1}{q_X} - T_X \quad (3.11)$$

Por otro lado, se define el número de taxis vacantes que se encuentran operando por una hora N_X^{vt} , como función del número total de taxis N_X y el total de carreras producidas por la industria de taxis N_X^O .

$$N_X^{vt} = N_X - N_X^O \quad (3.12)$$

$$N_X^{vt} = N_X - Q_X T_X \quad (3.13)$$

Se define el tiempo promedio de espera a partir de la forma funcional determinada por Douglas (1972) .

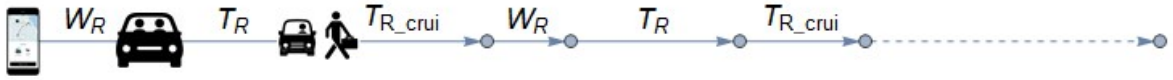
$$W_X = \frac{\tau}{N_X - Q_X T_X} \quad (3.14)$$

De acuerdo a el parámetro τ lo aproxima a $\tau = L/v$, la cual depende de la densidad de vehículos en el área geográfica a través de la velocidad v y L representa el número de kilómetros de la zona en que se encuentra operando el taxi (para este trabajo será una sola área). Si la velocidad se va cero es decir donde los autos no pueden circular por la congestión, el tiempo de espera es infinito.

3.3.3. Comportamiento de los vehículos de ridesourcing

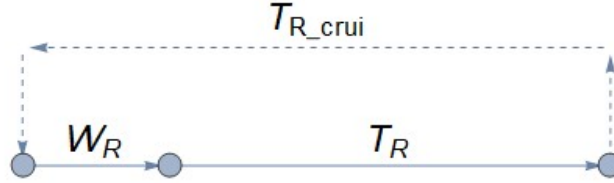
Se asume que un vehículo de ridesourcing permanentemente está conduciendo en el área por el periodo de análisis, como se muestra en el siguiente esquema. Cuando un usuario solicita el servicio a través de la aplicación móvil, inmediatamente le llega la solicitud al conductor. El conductor se dirige a recoger al pasajero demorando un tiempo que corresponde al mismo tiempo promedio de espera del usuario W_R . Una vez que recoge al pasajero, el conductor se dirige al lugar de destino demorando un tiempo promedio T_R . Finalmente, después de dejar al pasajero el conductor sigue conduciendo hasta que le llegue una nueva solicitud, demorando un tiempo promedio de cruceo T_{Rcru} .

Figura 3.4: Comportamiento de un vehículo de ridesourcing por el periodo de una hora



A partir de este comportamiento del vehículo de ridesourcing, se describe el esquema temporal de un vehículo como se presenta en la siguiente figura. Se observa que el tiempo promedio de espera del usuario de ridesourcing forma parte de la frecuencia de producción de un vehículo de ridesourcing, lo cual no ocurre en la frecuencia de producción de un taxi.

Figura 3.5: Esquema temporal de producción de un vehículo de ridesourcing



A continuación se define el esquema de producción del vehículo de ridesourcing.

$$f_R = \frac{1}{W_R + T_R + T_{Rcru}} \quad (3.15)$$

La frecuencia de producción de un vehículo de ridesourcing debe ser igual a su demanda, por lo tanto se define el tiempo promedio de cruceo de la siguiente manera.

$$q_R = \frac{1}{W_R + T_R + T_{Rcru}} \quad (3.16)$$

$$T_{Rcrui} = \frac{1}{q_R} - T_R - W_R \quad (3.17)$$

Por otro lado, se define el número de vehículos de ridesourcing vacantes que se encuentran operando por una hora como función del número total de vehículos de ridesourcing y el total de carreras producidas por la industria de ridesourcing.

$$N_R^{vt} = N_R - N_R^O \quad (3.18)$$

$$N_R^{vt} = N_R - Q_R(T_R + W_R) \quad (3.19)$$

A continuación se define el tiempo promedio de espera, el cual es inversamente proporcional al número de vehículos de ridesourcing vacantes.

$$W_R = \frac{\tau}{N_R - Q_R(T_R + W_R)} \quad (3.20)$$

3.3.4. Comportamiento del transporte público

Suponer que existen m rutas operando en el área geográfica, las cuales son establecidas por el gobierno. Se asume la frecuencia fija f_B e igual para todas las rutas. Se define el número de vehículos de la ruta N_j^B por la siguiente expresión.

$$N_j^B = f_B t_c \quad (3.21)$$

Donde t_c es el tiempo de ciclo de un bus, el cual se asume que es igual para todas las rutas y depende de la congestión. Se define N_B como el número total de vehículos de transporte público operando en el área geográfica por el periodo de una hora y Q_B la demanda total de transporte público por el periodo de una hora de todas las rutas.

$$N_B = \sum_{j=1}^m N_j^B \quad (3.22)$$

$$Q_B = \sum_{j=1}^m Q_j^B \quad (3.23)$$

Dada las expresiones anteriores, se tiene:

$$N_B = m f_B t_c \quad (3.24)$$

El tiempo de ciclo es la suma de dos componentes: el tiempo de la ruta sin paradas L_{ruta}/v más las demoras debido a las paradas de bus, dados por (i) el tiempo total de embarque y desembarque $\mu Q_B/f_B$, donde μ [s/pax] es el tiempo promedio de embarque y desembarque por pasajero y Q_B/f_B es el número de pasajeros por bus, y (ii) la demora de detención t_s y S el número de paradas a lo largo de la ruta (Tirachini, 2014).

$$t_c = \frac{L_{ruta}}{v} + \mu \frac{Q_B}{f_B} + St_s \quad (3.25)$$

La demora de detención t_s comprende demoras debido a la aceleración y desaceleración t_{da} , la espera en cola t_q y demora debido a la apertura y cierre de la puerta t_{oc} .

$$t_s = t_{da} + t_q + t_{oc} \quad (3.26)$$

El retraso debido a la desaceleración y la aceleración es directamente proporcional a la velocidad e inversamente proporcional a la tasa de aceleración a_o y tasa de frenado del bus a_1 .

$$t_{da} = \frac{v_o}{2} \left(\frac{1}{a_o} + \frac{1}{a_1} \right) \quad (3.27)$$

Asumiendo homogeneidad en las llegadas de buses a los paraderos, se define al tiempo promedio de espera y el tiempo promedio de viaje:

$$W_B = \frac{1}{2f_B} \quad (3.28)$$

$$T_B = t_c \frac{L_B}{L_{ruta}} \quad (3.29)$$

De esta manera se asume que el tiempo de espera de los usuarios no está siendo afectado por la congestión, sin embargo, en futuros trabajos se podrá levantar este supuesto y analizar las implicancias del mismo.

3.4. Congestión: Definición de la velocidad y el tiempo promedio de viaje en vehículo

Uno de los objetivos de este trabajo es analizar cómo impacta la congestión en los tiempos de viaje, tiempo de espera y la partición modal. El tiempo promedio de viaje en vehículo T_i es función de la densidad de vehículos que están operando en el área.

$$T_i = t_i(N_R, N_X, N_B) \quad i \in \{taxi, ridesourcing\} \quad (3.30)$$

Si aumenta el número de vehículos de ridesourcing, taxis o transporte público aumentará el tiempo promedio de viaje $\partial T_i / \partial N_R > 0$, $\partial T_i / \partial N_X > 0$, $\partial T_i / \partial N_B > 0$. Se define el tiempo de viaje en vehículo de la siguiente manera:

$$T_i = \frac{L_i}{v} \quad (3.31)$$

Donde L_i es la longitud promedio de recorrido del modo de transporte i y la velocidad de los tres modos de transporte se define de la siguiente manera:

$$v = v_l \left(1 - \frac{k}{k_e}\right) \quad (3.32)$$

Donde v_l es la velocidad a flujo libre, k es la concentración, es decir la cantidad de vehículos presentes y finalmente k_e es la concentración de embotellamiento. Donde $k_e = L / l$, y l es la longitud promedio que ocupa un vehículo, el cual se asumirá de 5 metros para fines de este trabajo.

$$k = N_R + N_X + \varepsilon N_B + N_{autos} \quad (3.33)$$

Donde ε es un factor de equivalencia de los buses que va entre 1,5 y 3. En el análisis de sensibilidad se trabaja con el aumento o reducción del parámetro del número de vehículos particulares N_{autos} , debido a que tiene un impacto directo en la velocidad.

3.5. Decisiones de los jugadores

3.5.1. Decisión de los conductores de ridesourcing

Existe un grupo de conductores potenciales N_R^P que decidirán si trabajar o no en la plataforma. Los conductores se unen a trabajar en la plataforma solo si sus ganancias trabajando en ella, es mayor que el costo de oportunidad de su tiempo.

La ganancia de un conductor esta dado por $(1 - P_P)F_R Q_R / N_R$, donde P_P representa el porcentaje de comisión que la plataforma cobra a los conductores de ridesourcing. Por lo tanto, un conductor con un costo de oportunidad menor o igual a esta ganancia, decidirá trabajar a través de la plataforma.

$$C_{op} \leq (1 - P_P)F_R \frac{Q_R}{N_R} \quad (3.34)$$

Para un F_R y un P_P dado existirá un conductor indiferente con un costo de oportunidad $\hat{\delta}$, es decir se cumple que $\hat{\delta} = (1 - P_P)F_R Q_R / N_R$. Los conductores que tengan un costo menor a $\hat{\delta}$ trabajarán en la plataforma y aquellos que tengan costo de oportunidad mayor no lo harán. Por lo tanto, el conjunto de conductores que se han unido a trabajar en la plataforma está dado por el término (3.35).

$$N_R = N_R^P H(\cdot) \quad (3.35)$$

Donde $H(\cdot)$ es una distribución de probabilidad en función de la ganancia del conductor; si todos los conductores deciden trabajar en la plataforma, debido a que el costo de oportunidad de cada conductor es menor o igual a su ganancia, entonces el número total de conductores N_R es igual al total de conductores potenciales N_R^P .

$$N_R = N_R^P H\left((1 - P_P)F_R \frac{Q_R}{N_R}\right) \quad (3.36)$$

Asumiendo que $H(\cdot)$ es una distribución uniforme entre 0 y δ , se obtiene el término (3.37). Donde δ es el costo de oportunidad máximo entre los conductores. Es decir, si el ingreso de los conductores es igual al costo de oportunidad máximo entre los conductores entonces todos los conductores potenciales ingresan a trabajar a la plataforma.

$$N_R = N_R^P \frac{\hat{\delta}}{\delta} \quad (3.37)$$

$$N_R = \sqrt{\frac{N_R^P}{\delta} (1 - P_P) F_R Q_R} \quad (3.38)$$

3.5.2. Decisión de la plataforma

La plataforma maximiza su ganancia sujeto a la decisión de los conductores. Notar que para nuestro modelo se deberá considerar el comportamiento de los demás jugadores, obteniendo ecuaciones con varios puntos fijos que son incluidas en el algoritmo como variables de decisión y parte de las restricciones. En esta sección analizamos de manera analítica parte del modelo considerando sólo la plataforma y sus conductores, excluyendo al transporte público y a los taxistas, con el fin de analizar analíticamente diferentes variables.

$$\max_{f_R, P_P} \pi_P = P_P F_R Q_R - C_P(Q_R) \quad (3.39)$$

s.a:

$$N_R = \sqrt{\frac{N_R^P}{\delta}(1 - P_P)F_R Q_R} \quad (3.40)$$

La ganancia es el ingreso total de la plataforma menos el costo de la plataforma en función de su demanda. El ingreso total depende de la política de regulación que se analice (porcentaje de la tarifa, tasa por viaje, valor por vehículo de ridesourcing), en la función objetivo de la ecuación 3.39, el ingreso representa el porcentaje de la tarifa por viajes totales realizados a través de la plataforma. La función de costos es una función creciente que depende de su demanda, corresponde a la suma de un costo fijo, dado por el sistema tecnológico que utiliza, y un costo variable que dependerá de la demanda de ridesourcing. Esta ganancia se maximiza con respecto a P_P y se obtiene la expresión (3.41). La expresión (3.42) se obtiene derivando con respecto a F_R .

$$\lambda = \frac{-1}{\frac{N_R^P}{\delta}} \quad (3.41)$$

$$F_R = \frac{\partial C_P}{\partial Q_R} + \frac{2N_R \frac{\partial N_R}{\partial F_R}}{\frac{\partial Q_R}{\partial F_R}} - \frac{Q_R}{\frac{\partial Q_R}{\partial F_R}} \quad (3.42)$$

El multiplicador de Lagrange λ representa la variación de la función objetivo cuando la restricción se relaja en una unidad, es decir la sensibilidad ante alguna variación N_R^P . Se tiene que la tarifa depende de tres términos que se presentan en la fórmula, el primer término corresponde al costo marginal de la plataforma ($\frac{\partial C_P}{\partial Q_R}$), el segundo término es el impacto indirecto de la tarifa en la calidad de servicio a través de la optimización de la decisión de los conductores de ridesourcing y el tercer término corresponde ($-F_R/\eta_F^Q$) corresponde al markup.

El segundo término del lado derecho de la ecuación (3.42) se refiere a la calidad de servicio en términos de tiempo de espera y congestión a través del número de conductores de ridesourcing. Por ejemplo, si la plataforma de ridesourcing sube la tarifa, afecta el costo marginal por ende también a su función de demanda, pero además afecta el número de conductores y a su vez al tiempo de espera y a la congestión, lo que se traduce en un impacto al nivel de servicio.

Sin embargo, este impacto a priori no se puede conocer si es negativo o positivo debido a que muchas variables cambian simultáneamente. Por ejemplo, ¿Qué sucede con el número de conductores de ridesourcing si la plataforma incrementa su tarifa? Puede que se registren más conductores, de ser así, aumenta la congestión, afecta los tiempos de espera y a su vez produce un impacto en su demanda por lo cual puede que la ganancia de los conductores sea menor, lo cual nos lleva a que probablemente menos conductores se registren a la plataforma. Por lo tanto, no podemos llegar a una conclusión analítica si un aumento en la tarifa produce un impacto negativo o positivo al nivel de servicio.

Finalmente, el tercer término ($-F_R/\eta_F^Q$) corresponde al markup, el cual mide el poder de mercado. Este último término será mayor cuanto menor sea la elasticidad de la demanda, si

la elasticidad de la demanda es menor a cero significa que la plataforma de ridesourcing con poder de mercado cobrará un precio por encima de su costo marginal.

3.5.3. Situación del sistema de taxis y transporte público

Como se ha indicado en secciones anteriores, el gobierno regula a los taxistas y al sistema de transporte público. En este trabajo, las tarifas de los dos modos de transporte, el número de taxis y la frecuencia de buses son parámetros fijos que no se optimizan. Esto nos permite captar la situación actual de varios países, donde han llevado años regulando a las compañías de taxi y transporte público, y tras una nueva opción de transporte determinan una política de regulación a estas plataformas de ridesourcing, sin volver a analizar las regulaciones de los otros dos modos de transporte.

Para fines de este trabajo, este análisis es importante porque nos permite medir cómo diferentes regulaciones a las plataformas de ridesourcing afectan a los otros modos de transporte tanto en la demanda (sustitución modal) como en sus ganancias. Esto es un análisis inicial para que en futuros trabajos se analice el escenario donde el gobierno ya no limite el número de taxis que pueden operar en una ciudad o deje de regular la tarifa de taxis.

3.5.4. Decisión del gobierno

Finalmente el gobierno maximiza el bienestar social a partir de la decisión de los demás jugadores. La siguiente ecuación representa la función objetivo la cual incluye la suma de cuatro términos: el excedente del consumidor, la ganancia de los conductores de ridesourcing, ganancia de los taxistas y ganancia de las empresas de transporte público.

$$BS = \int_{(\theta_R^O, \theta_X^O, \theta_B^O)}^{(\theta_R, \theta_X, \theta_B)} \sum_{i \in H} Q_i(\theta_R, \theta_X, \theta_B) d\theta_i + P_P F_R Q_R - C_P(Q_R) + F_X Q_X - c_X N_X + F_B Q_B - c_B N_B \quad (3.43)$$

Donde $H = \{R, X, B\}$. El excedente del consumidor está representado por el primer término definido por una integral de línea. A partir del trabajo realizado por Basso (2008) se demuestra que la integral de línea es igual a la expresión (3.44), dado que la integral de línea tiene solución independiente del camino de integración $\partial Q_i / \partial \theta_j = \partial Q_j / \partial \theta_i$. La demostración está detallada en Anexos.

$$\int_{(\theta_R^O, \theta_X^O, \theta_B^O)}^{(\theta_R, \theta_X, \theta_B)} \sum_{i \in H} Q_i(\theta_R, \theta_X, \theta_B) d\theta_i = \frac{B(Q_B^2 + Q_R^2 + Q_X^2)}{2} + E(Q_B Q_R + Q_B Q_X + Q_R Q_X) \quad (3.44)$$

Por lo tanto, la función objetivo, representada por la maximización del beneficio social, se define de la siguiente manera.

$$BS = \frac{B(Q_B^2 + Q_R^2 + Q_X^2)}{2} + E(Q_B Q_R + Q_B Q_X + Q_R Q_X) + P_P F_R Q_R - C_P(Q_R) + F_X Q_X - c_X N_X + F_B Q_B - c_B N_B \quad (3.45)$$

3.5.5. Equilibrio del subjuego

En el subjuego se genera la competencia de los tres modos de transporte, donde la plataforma maximiza sus ganancias sujeto a la decisión de los conductores (ver subsección 3.5.3.) y tomando en cuenta la competencia que se genera con las taxistas y el transporte público (ver subsección 3.5.4.).

En base a la decisión de la plataforma, se optimizan dos variables: P_p y F_R . Además, se optimiza N_R como parte de la decisión de los conductores potenciales de ridesourcing para trabajar en la plataforma. Así también, a partir del modelo planteado se generan varios puntos fijos (W_R, W_T, t_C) cuyas restricciones se incluyen en el subjuego.

$$\begin{aligned} & \max_{F_R, P_P, N_R, W_R, W_X, t_C} \pi_P \\ & \text{s.t.} \quad N_R = \sqrt{\frac{N_R^P}{\delta} (1 - P_P) F_R Q_R}, \\ & \quad \quad W_R = \frac{S}{N_R - Q_R(T_R + W_R)}, \\ & \quad \quad W_X = \frac{S}{N_X - Q_X T_X}, \\ & \quad \quad t_c = \frac{L_{ruta}}{v} + \mu \frac{Q_B}{f_B} + S t_s, \\ & \quad \quad Q_X \leq \frac{N_X}{T_X + W_X}, \\ & \quad \quad Q_R \leq \frac{N_R}{T_R + W_R}, \end{aligned} \quad (3.46)$$

El equilibrio del subjuego forma parte de la restricción del juego general, donde el planificador/gobierno sabe que este equilibrio ocurrirá. Por lo tanto, el juego general se basa en la maximización del bienestar social sujeto al equilibrio del subjuego, como veremos en la sección 3.6, siendo parte del problema de optimización.

3.6. Modelo general de optimización

El modelo de competencia se detalla en el siguiente problema de optimización; el planificador maximiza el bienestar social, sujeto al equilibrio del subjuego o competencia entre modos, que se modela mediante las restricciones 3.49.

$$\max_{I_P} BS \quad (3.47)$$

s.a.

$$\max_{F_R, P_P, N_R, W_R, W_X, t_C} \pi_P \quad (3.48)$$

$$\text{s.a.} \quad \begin{cases} N_R = \sqrt{\frac{N_R^P}{\delta} (1 - P_P) F_R Q_R} \\ W_R = \frac{S}{N_R - Q_R (T_R + W_R)} \\ W_X = \frac{S}{N_X - Q_X T_X} \\ t_c = \frac{Lruta}{v} + \mu \frac{Q_B}{f_B} + S t_s \\ Q_X \leq \frac{N_X}{T_X + W_X} \\ Q_R \leq \frac{N_R}{T_R + W_R} \end{cases} \quad (3.49)$$

En el problema de optimización se observan siete variables de decisión: la variable I_P forma parte del juego general en el cual el planificador maximiza el bienestar social y las otras seis variables corresponden al subjuego. La tarifa de ridesourcing y la comisión de la plataforma a los conductores, como hemos explicado en el modelo, son variables que depende de la decisión de la plataforma a partir del comportamiento de los demás agentes del sistema. Debido al planteamiento de este modelo se generan cuatro puntos fijos (tiempo de espera de los usuarios al taxi y ridesourcing, el número de vehículos de ridesourcing y el tiempo de ciclo de un bus) los cuales han sido considerados como variables de decisión en nuestro modelo y sus respectivas ecuaciones incluidas en las restricciones. Notar que no hay restricción de capacidad de buses ya que se asume flota fija y es suficiente para abastecer cualquier demanda por el servicio de transporte público.

Una vez planteado el modelo de competencia como un problema de optimización se procede a desarrollar el algoritmo considerando un método de búsqueda aleatoria para el problema de maximización de la ganancia de la plataforma, la cual se explica en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Programación

4.1. Algoritmo

El algoritmo es ejecutado en el software de programación *Wolfram Mathematica*. Se comienza con la declaración de parámetros y de las ecuaciones basadas en los comportamientos de los agentes involucrados. Se maximiza el beneficio social realizando un barrido de la variable de decisión I_p desde w hasta z , donde sus valores dependerán de la política de regulación analizada. Para cada valor de I_p , establecida por el gobierno, se maximiza la ganancia de la plataforma a través de un algoritmo de búsqueda aleatoria, obteniendo los valores de las variables de decisión y almacenando sus resultados.

A partir de este resultado, se calcula el valor del beneficio social (BS_{actual}) y se compara con el valor del beneficio social determinado en una ejecución anterior ($BS_{inicial}$). Si el valor del beneficio social actual es mayor que el anterior, se actualiza $BS_{inicial}$ por el valor de BS_{actual} . Se ejecuta las iteraciones hasta obtener el beneficio social óptimo y el valor de las variables para su posterior análisis.

Algorithm 1 Algoritmo de maximización del beneficio social

Result: BS_{opt} /* Beneficio social */

Input: Parámetros del modelo

Set Fórmulas del modelo

$BS_{ini} = 0$

for $I_p = w$ to z **do**

 /* Búsqueda aleatoria */

 Maximizar $\pi_P(F_R, P_P, N_R, W_R, W_X, t_c)$ sujeto a restricciones

$BS_{actual} = BS(F_R, P_P, N_R, W_R, W_X, t_c)$

if $BS_{actual} > BS_{ini}$ **then**

 | $BS_{inicial} = BS_{actual}$

end

$BS_{opt} = BS_{ini}$

end

Se ha utilizado este método de optimización debido a que son muy populares tanto en la teoría como en la práctica. Estos algoritmos a menudo son bastante insensibles a la irregularidad del comportamiento de la función objetivo, a la forma de la región factible, a la presencia de ruido en las evaluaciones de la función objetivo, e incluso al crecimiento de la dimensionalidad, y tienden a garantizar la convergencia. (Žilinskas y Zhigljavsky, 2016)

Los algoritmos de búsqueda aleatoria global son métodos de optimización global donde las decisiones aleatorias están involucradas en el proceso de elección de los puntos de observación. El algoritmo general de búsqueda aleatoria supone que se genera una secuencia de puntos aleatorios x_1, x_2, \dots, x_n donde para cada $j \leq n$ el punto x_j tiene alguna distribución de probabilidad P_j . Para cada $j \leq n$, la distribución P_j puede depender de los puntos anteriores x_1, x_2, \dots, x_{j-1} y de los resultados de las evaluaciones de la función objetivo en estos puntos. (Zhigljavsky y Zilinskas, 2007)

4.2. Parámetros. Modelación caso Santiago

A continuación se establece los valores de los parámetros a utilizar en la simulación, estos valores fueron extraídos de distintas fuentes basados en publicaciones y estudios empíricos. Estos valores estarán basados en asimilar lo más cerca posible la situación actual de la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

Tirachini y Gomez-Lobo (2019), a través de una encuesta a residentes de Santiago de Chile sobre el uso de Uber, establecen el cálculo de los kilómetros recorridos entre origen y destino para distintos modos de transporte. Este cálculo y resultados de sus encuestas son utilizados en este trabajo para establecer algunos valores de parámetros. Ellos establecen la cantidad de kilómetros recorridos entre el origen y el destino para el transporte público, taxis de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} L_B &= (1 + \tau_B)\bar{L} \\ L_X &= (1 + \tau_X)\bar{L} \end{aligned} \tag{4.1}$$

Donde \bar{L} es la distancia de ruta más corta de origen a destino de un viaje promedio, τ_B y τ_X son parámetros que reflejan los kilómetros de vehículo adicionales en viajes en transporte público y taxi por encima de la ruta más corta del viaje. Para los servicios de ridesourcing, los autores asumen que toman la ruta más corta posible \bar{L} .

Finalmente, Tirachini y Gomez-Lobo (2019) asumen que $L_B \in [4, 8]$, a partir de las encuestas realizadas. Así también, asumen que la duración promedio del viaje en taxi es hasta un 10% más grande que la duración promedio del viaje y asumen que $\tau_B \in [0.1, 0.3]$ debido a que en general los vehículos de transporte público se desvían de las rutas más cortas.

Para establecer la longitud total vial de la red, se utilizará información de SECTRA (2005) donde se establece la red de ESTRAUS que incorpora todos los arcos relevantes de la red de Santiago para el análisis estratégico, representando los ejes viales e intersecciones de calles

donde circulan todos los modos de transporte de superficie. Los kilómetros de red vial son 3.760, para fines de este trabajo se utilizará este valor.

Se asume que en el área geográfica solo existen paraderos de transporte público normales de dos puertas sin zona paga. En base al trabajo realizado por Tirachini *et al.* (2016), se establece los valores del tiempo promedio de bajada y subida de un pasajero en Santiago de 0.99 s/pax y 2.35 s/pax respectivamente.

Para el cálculo de los costos de operación de los vehículos de transporte público, se extrae la información en un estudio realizado por Xlibrium (2013), donde se realiza el cálculo del Precio por Kilómetro (PK) según tecnologías de propulsión y tipologías de buses del Sistema de Transporte Público de Santiago. Se utiliza de referencia un bus tipo B1-EURO IV, con un costo total por kilómetro de 278.44 CLP \$ (año 2012). Además se estima 809,856 kilómetros totales recorridos comercialmente por un bus en 12 años (Xlibrium, 2013), obteniendo un costo total por mes de 1,565,946.56. Por lo tanto, en este estudio se utiliza un costo total por mes de 1,733,189.68 al año 2015 considerando la inflación¹ de Chile de 1.93 %, 4.39 %, 4.35 % para los años 2013, 2014 y 2015 respectivamente.

Los valores del tiempo de viaje en vehículo, tiempo de espera y tiempo de acceso serán recogidos del trabajo realizado por Batarce *et al.* (2015). Una suposición de los autores es que el nivel de hacinamiento en el automóvil es igual al nivel de hacinamiento más bajo en el transporte público: 1 pax/m². A partir de esto, encuentran que el valor del tiempo de viaje en vehículo es de 2,626 CLP/h, por lo tanto, en este trabajo se asumirá este valor para los tres modos de transporte. Los autores encuentran un valor de tiempo de caminata y valor del tiempo de espera del transporte público de 4,642 CLP/h y 4,903 CLP/h, respectivamente.

Por otra parte, cuando los usuarios llegan a las estaciones de transporte público de acuerdo con el horario de los servicios (baja frecuencia), hay un costo de tiempo de espera fuera de las estaciones porque las salidas no son a la hora deseada por el usuario (llamado "schedule delay"), una penalización que aumenta cuanto más largo es el avance entre los vehículos. Como este tiempo de espera pasivo se puede gastar en el hogar u otro lugar donde los pasajeros pueden asignar su tiempo a un uso más productivo o por placer, el costo de oportunidad o el valor del ahorro de tiempo de espera pasivo, es menor que el valor de la estación o ahorro del tiempo de la espera activa. (Tirachini *et al.*, 2010)

La relación entre el valor del ahorro de tiempo de espera en el hogar y el valor del ahorro de tiempo de espera de la estación se asumirá 0.33, como proponen Tirachini *et al.* (2010). De acuerdo a este trabajo, el comportamiento del servicio de ridesourcing es muy similar donde el usuario solicita el servicio desde su teléfono móvil conociendo el tiempo de espera y pudiendo asignar ese tiempo a otra actividad, es por ello, que se asumirá que el valor del tiempo de espera por un vehículo de ridesourcing será 0.33 multiplicado por el valor del tiempo de espera del transporte público resultado del trabajo detallado anteriormente.

En la siguiente tabla se detalla los parámetros que se utilizaron para la ejecución del algoritmo y análisis de las políticas de regulación.

¹<https://es.inflation.eu/>

	Parámetro	Valor	Definición
Ridesourcing	L_R	6	Longitud promedio de recorrido del vehículo de ridesourcing (km).
	β_R	1,618	Valor del tiempo de espera de un vehículo de ridesourcing (CLP/h).
	γ_R	2,626	Valor del tiempo de viaje en vehículo de un vehículo de ridesourcing (CLP/h).
	ϕ_R	1,000	Valor monetario de otros factores de servicio de un vehículo de ridesourcing (CLP).
	c_P	1,373	Costo por pasajero de la plataforma de ridesourcing (CLP/pax)
Taxi	L_X	6.6	Longitud promedio de recorrido del vehículo de taxi (km)
	β_X	4,903	Valor del tiempo de espera de un vehículo de taxi (CLP/h)
	γ_R	2,626	Valor del tiempo de viaje en vehículo de un vehículo de taxi (CLP/h)
	Acc_X	60	Tiempo promedio de caminata para esperar por un taxi (s)
	c_X	28,873	Costo fijo de operación de un taxi (CLP/día)
Transporte Público	L_B	7.2	Longitud promedio de recorrido del vehículo de T.P. (km)
	β_B	4,903	Valor del tiempo de espera de un vehículo de T.P. (CLP/h)
	ρ_B	4,642	Valor del tiempo de acceso. (CLP/h)
	γ_B	2,626	Valor del tiempo de viaje en vehículo. (CLP/h)
	Acc_B	300	Tiempo promedio de caminata al paradero de T.P. (s)
	c_B	1,733,189	Costo promedio de transporte público (CLP/mes-bus)
	μ	3.34	Tiempo de subida y bajada de un pasajero (s/pax)
	a_o	1.2	Tasa de aceleración del bus (m/s)
	a_1	1.2	Tasa de desaceleración del bus (m/s)
	L_{ruta}	16	Largo de la ruta (km)
	t_{oc}	6.1	Tiempo por abrir y cerrar puertas (s)
	t_q	30	Demora en cola (s)
	ε	2.60	Factor de equivalencia de los buses
f_B	25	Frecuencia del transporte público (buses/h)	

La tarifa de taxis es un parámetro que se modifica en las simulaciones debido a que en Santiago los taxistas utilizan taxímetro y la determinación de la tarifa depende de los kilómetros recorridos o del tiempo transcurrido. Este valor se lo trabajó a partir de lo establecido en las regulaciones chilenas (resolución exenta No. 2862): un valor fijo de 300 pesos por la bajada de bandera correspondiente a los 200 metros recorridos, y un valor variable por cada 200 metros (alrededor de 130 pesos). Además se considera que el cobro variable de los 130 pesos es por cada 200 metros o 60 segundos, lo primero que se cumpla. Esto es incluido en el modelo debido a que se realizan las simulaciones en periodo punta, es decir escenarios de alta congestión.

Capítulo 5

Resultados y análisis

5.1. Análisis de resultados

Se ha considerado tres modos de transporte (taxi, transporte público, ridesourcing) y además se incluyó el transporte privado como un número fijo de autos que se encuentran conduciendo en la red vial. Se realizó varias ejecuciones del modelo dando como resultado que el impacto en la congestión tiene relación directa con la decisión del planificador en imponer un impuesto o aplicar un subsidio a la plataforma de ridesourcing. Es decir, en condiciones de alta congestión (aumento del número de vehículos particulares), el óptimo es aplicar un impuesto a la plataforma de ridesourcing, sin embargo, en condiciones de menor congestión (reducción del número de vehículos particulares) el óptimo es aplicar un subsidio a la plataforma.

A partir de ello, se realizó simulaciones de los siguientes escenarios, los cuales serán explicados a detalles más adelante en las subsecciones.

-Escenario 1. A mayor congestión, el óptimo se da cuando el gobierno aplica un impuesto a la plataforma de ridesourcing. Este resultado se lo compara con el óptimo cuando no se regula a la plataforma.

-Escenario 2. A menor congestión, el óptimo se da cuando el gobierno subsidia a la plataforma de ridesourcing. Este resultado es comparado con el óptimo de la no regulación a la plataforma.

Se analiza y se compara la eficiencia de los siguientes tres posibles instrumentos de regulación en condiciones de alta congestión (escenario 1) y en condiciones de menor congestión (escenario 2).

- Regulación 1: Porcentaje de la tarifa por viaje.
- Regulación 2: Valor por viaje realizado.
- Regulación 3: Valor por vehículo trabajando en la plataforma.

5.1.1. Escenario 1

Los resultados muestran que en escenarios donde se alcanza velocidades mayores a 9 km/hr el poder de mercado que ejerce la plataforma de ridesourcing es mayor que la externalidad negativa de la congestión lo que empuja a un subsidio.

A partir de este resultado, se realiza un análisis de sensibilidad aumentando el número de vehículos particulares ($N_{auto} = 420000$), dado que es un número fijo en nuestro modelo, y así lograr un mayor impacto en la congestión cuando un conductor de ridesourcing decide trabajar en la plataforma. A partir de este cambio de parámetro se analiza el comportamiento de las variables.

En este caso, se observa que el poder de mercado de la plataforma está dominado por el efecto de externalidad por congestión en la red vial, por lo cual el regulador quiere que existan menos vehículos de ridesourcing. Esto lleva a un óptimo con impuesto a la plataforma de ridesourcing.

El resultado del óptimo con impuesto a la plataforma se lo compara con el caso de la no regulación a la plataforma. Este análisis comparativo se lo realiza para las tres políticas de regulación, lo que se observa en la Tabla 5.1. Es decir, se analizó los siguientes casos:

- Óptimo con impuesto en base al porcentaje de la tarifa por viaje versus la no regulación a la plataforma.
- Óptimo con impuesto en base al valor por viaje realizado versus la no regulación a la plataforma.
- Óptimo con impuesto en base al valor por vehículo trabajando en la plataforma versus la no regulación a la plataforma.

Para los tres casos se observa de manera analítica el mismo comportamiento de variables. Se va comparando la variable cuando el gobierno aplica un impuesto versus la no regulación de la plataforma:

- El beneficio social, la ganancia de los taxis y la ganancia del transporte público aumentan.
- La ganancia de la plataforma y de sus conductores disminuye.
- La tarifa de ridesourcing aumenta
- El porcentaje de comisión que la plataforma cobra a los conductores de ridesourcing aumenta.
- El número de vehículos de ridesourcing y su demanda disminuye.
- La demanda de taxi y transporte público aumenta.
- La velocidad aumenta.

Este resultado se debe a que a partir del impuesto que el gobierno cobra la plataforma, la tarifa de la plataforma aumenta con respecto a la no regulación y existen menos conductores que trabajan en la plataforma, lo que aumenta tiempos de espera. Dado que la tarifa es mayor y los tiempos de espera del servicio de ridesourcing aumentan, se generan menos viajes para

este mercado y la ganancia de los conductores de ridesourcing disminuye. Por otra parte, aumentan los viajes generados por los otros modos de transporte generando mayor consumer surplus y un mayor beneficio en la ganancia para los taxistas y las empresas de transporte público.

Ahora realizamos una comparación numérica de la política de regulación en base al impuesto por porcentaje de la tarifa versus la no regulación a la plataforma. Disminuye en un 7% el número de viajes generados por la plataforma de ridesourcing y aumenta en un 4% y 1% el número de viajes generados en taxi y transporte público, respectivamente.

La ganancia de la plataforma disminuye en un 25% con respecto a la no regulación y la ganancia de sus conductores disminuye en un 11%. Aumenta la ganancia total de los taxistas y del transporte público con respecto a la no regulación en un 7% y 3%, respectivamente. Por lo tanto, el sector que obtiene beneficios con las políticas de regulación es el mercado de taxi y transporte público, sin embargo, se observa una mayor pérdida a la plataforma de ridesourcing y a sus conductores. Desde el punto de vista de vista del planificador, es importante tener a consideración la pérdida de los conductores, pues alrededor de 100.000 conductores trabajan en Chile.

Los resultados determinan un impuesto alrededor del 6% de la tarifa por cada viaje realizado. Diversos países están cobrando un impuesto a las plataformas en base al porcentaje de la tarifa: en Vitória cobran un impuesto de 1% del valor del viaje, en Ciudad de México existe un impuesto de 1.5% del valor del viaje, en New York se estableció un cobro del 4% de la tarifa de viaje. Nuestros resultados muestran un impuesto relativamente más alto al determinado por Vitória y la Ciudad de México, sin embargo, hay que tener en cuenta que en este escenario se alcanza un óptimo con impuesto para niveles alto de congestión, por lo tanto, podríamos considerar cobrar un impuesto en sectores de la ciudad con altos niveles de congestión según periodo del día.

Según la encuesta Origen Destino Santiago 2012, la ciudad registraba una velocidad media de 12.33 km/h para viajes entre 5 y 8 kilómetros para el periodo punta mañana, sin embargo, secciones viales de la ciudad alcanzaban velocidades menores a 15km/h. Una investigación¹ realizada por el Ministerio de Transportes y Waze analizó en el 2018 la congestión de diversas troncales de la ciudad de Santiago lo que reveló que los ejes de las avenidas Ossa, Vitacura, Pedro de Valdivia, Alameda, Manuel Rodríguez y Santa María son aquellas que concentran la menor velocidad de desplazamiento, por debajo de los 14km/h en hora punta.

Por otro lado, se observa una ganancia del conductor de ridesourcing de \$2.990, considerando que no se regula la plataforma, este dato es cercano a la estimación realizada por Fielbaum y Tirachini (2019a) en el cual calcula una ganancia promedio del orden de \$2800 (el conductor es el dueño del vehículo).

¹<https://www.pressreader.com/chile/pulso/20181228/281964608839655>

	<i>Regulación 1</i>	<i>Regulación 2</i>	<i>Regulación 3</i>	<i>No Regulación</i>
I_P	0.06	900	600	0
P_P [%]	0.40	0.42	0.41	0.39
V [km/h]	8.11	8.27	8.18	7.97
F_R [CLP]	8,585	8,669	8,620	8,510
N_R [veh/h]	17662	16217	17031	19003
W_R [h]	0.13	0.13	0.13	0.12
T_R [h]	0.74	0.73	0.73	0.75
Q_R [pax/h]	17278	15938	16702	18468
q_R [pax/h]	0.98	0.98	0.98	0.97
θ_R [CLP]	9,736	9,788	9,758	9,691
F_X [CLP]	6,643	6,524	6,590	6,759
N_X [veh/h]	12000	12000	12000	12000
W_X [h]	0.22	0.24	0.22	0.19
T_X [h]	0.81	0.80	0.80	0.83
Q_X [pax/h]	12800	13307	13030	12261
q_X [pax/h]	1.07	0.98	1.08	0.89
θ_X [CLP]	9,892	9,856	9,903	9,936
F_B [CLP]	720	720	720	720
N_B [veh/h]	5197	5105	5156	5286
W_B [h]	0.02	0.02	0.02	0.02
T_B [h]	0.94	0.92	0.93	0.95
Q_B [pax/h]	171015	172087	171487	169993
θ_B [CLP]	3,659	3,616	3,640	3,702
π_{IR} [CLP/h]	2,977	2,970	2,975	2,990
π_P [CLP/h]	27,818,805	21,464,910	26,182,346	36,992,886
π_R [CLP/h]	52,574,132	48,040,324	50,588,987	56,817,961
π_X [CLP/h]	56,241,678	58,029,350	57,080,461	54,068,024
π_B [CLP/h]	66,834,184	68,604,640	67,615,438	65,129,797
CS [CLP/h]	174,832,593	175,927,071	175,333,959	173,651,274
BS [CLP/h]	350,482,588	350,601,385	350,618,844	349,667,055

Tabla 5.1: Resultados del escenario 1

5.1.2. Escenario 2

En este escenario se compara el óptimo con subsidio en base a las tres políticas de regulación versus la no regulación a la empresa de ridesourcing.

- Óptimo con subsidio en base al porcentaje de la tarifa por viaje versus la no regulación a la plataforma.
- Óptimo con subsidio en base al valor por viaje realizado versus la no regulación a la plataforma.
- Óptimo con subsidio en base al valor por vehículo trabajando en la plataforma versus la no regulación a la plataforma.

Se realiza este análisis reduciendo el número de vehículos particulares ($N_{auto} = 417000$), es decir, reduciendo la concentración de vehículos particulares y logrando disminuir el nivel de congestión provocado por los vehículos particulares. Se va comparando la variable cuando el gobierno aplica un subsidio versus la no regulación de las plataformas:

- El beneficio social, la ganancia de la plataforma y de sus conductores aumentan.
- La ganancia de los taxis y la ganancia de transporte público disminuye.
- La tarifa de ridesourcing disminuye.
- El porcentaje de comisión que la plataforma cobra a los conductores de ridesourcing aumenta.
- El número de vehículos de ridesourcing y su demanda aumenta.
- La demanda de taxi y transporte público disminuye.
- La velocidad disminuye.

Este resultado se debe a que con el subsidio la tarifa de la plataforma es menor con respecto a la no regulación y existen más conductores que trabajan en la plataforma, lo que disminuye tiempos de espera. Dado que la tarifa es menor y los tiempos de espera disminuyen, se generan más viajes y también la ganancia de los conductores de ridesourcing aumenta. Se observa que subsidiando a la plataforma la velocidad disminuye en aproximadamente un 13 % con respecto a la no regulación .

Se realiza un análisis comparativo numérico de la política de regulación en base a un impuesto por porcentaje de la tarifa versus la no regulación a la plataforma. Se observa un aumento de alrededor de 12000 viajes generados por la plataforma de ridesourcing y una reducción menos de 3263 y 7710 viajes generados en taxi y transporte público, respectivamente.

La ganancia de la plataforma y de sus conductores aumentan significativamente a más del doble con respecto a la no regulación. Disminuye la ganancia total de los taxistas y del transporte público con respecto a la no regulación en un 15 % y 16 %, respectivamente. Por ende, se observa que en este escenario los agentes perjudicados son la industria de taxi y transporte público.

	<i>Regulación 1</i>	<i>Regulación 2</i>	<i>Regulación 3</i>	<i>No Regulación</i>
I_P	-0.1	-100	-100	0
P_P [%]	0.39	0.41	0.41	0.36
V [km/h]	7.97	8.16	8.14	9.12
F_R [CLP]	8,378	8,476	8,466	8,643
N_R [veh/h]	22000	20420	22940	11085
W_R [h]	0.11	0.12	0.12	0.39
T_R [h]	0.75	0.74	0.74	0.65
Q_R [pax/h]	21855	20333	20495	9779
q_R [pax/h]	0.99	1.01	1.01	0.88
θ_R [CLP]	9,542	9,600	9,594	10,025
F_X [CLP]	6,758	6,607	6,623	5,942
N_X [veh/h]	12000	12000	12000	12000
W_X [h]	0.18	0.22	0.22	0.38
T_X [h]	0.82	0.81	0.81	0.72
Q_X [pax/h]	12229	12933	12865	15492
q_X [pax/h]	1.01	1.07	1.07	1.29
θ_X [CLP]	9,923	9,892	9,895	9,799
F_B [CLP]	720	720	720	720
N_B [veh/h]	5286	5169	5181	4653
W_B [h]	0.02	0.02	0.02	0.02
T_B [h]	0.95	0.93	0.93	0.84
Q_B [pax/h]	169622	170955	170818	177332
θ_B [CLP]	3,702	3,646	3,652	3,402
π_{IR} [CLP/h]	3,020	3,002	3,004	2,910
π_P [CLP/h]	60,979,410	45,252,845	45,248,409	16,658,064
π_R [CLP/h]	66,440,180	60,752,447	61,346,152	32268644
π_X [CLP/h]	53,850,298	56,659,388	56,409,239	63,254.385
π_B [CLP/h]	64,864,478	67,091,367	66,862,782	77,274,237
CS [CLP/h]	176,632,969	178,188,281	178,037426	181,612,841
BS [CLP/h]	361,787,926	362,691,483	362,655,600	354,410,109

Tabla 5.2: Resultados del escenario 2

Al comparar ambos escenarios cuando el gobierno no regula las plataformas (escenario 1 alcanza una velocidad de 7.97km/h y escenario 2 alcanza una velocidad de 9.12 km/h) se observa que los beneficios sociales son similares. Esta ocurre debido a que no se está optimizando variables del mercado de taxis (flota, tarifa), ni del transporte público (frecuencia, tarifa), y en el único sector donde se está optimizando es en el mercado de ridesourcing (tarifa, flota, comisión). Dado que se tiene una demanda elástica lineal en los costos generalizados, se está generando una distribución de la demanda para los distintos modos de transporte.

5.1.3. Análisis comparativo de políticas de regulación

Se realiza un análisis de las diferentes regulaciones a la plataforma de ridesourcing con el fin de conocer las ventajas y desventajas de cada una de ellas. En el escenario 1, es decir con un nivel alto de congestión, la política que alcanza un mayor beneficio social es cuando el planificador le cobra un impuesto a la plataforma de ridesourcing en base a un valor por vehículo que se encuentra operando para la plataforma. Por otro lado, en el escenario 2 (menor nivel de congestión) la política de regulación en la cual se subsidia a la plataforma de ridesourcing en base a un valor por viaje realizado, es aquella que alcanza un mayor beneficio social con respecto a las demás.

5.1.3.1. Impuesto: Porcentaje de la tarifa

Se alcanza una tarifa de ridesourcing mayor que la tarifa del servicio de taxi. El número de vehículos de ridesourcing es un 47 % mayor que el número de taxis operando. Sin embargo, se observa que el costo generalizado del usuario de ridesourcing es menor que el de taxi, dado que el servicio de ridesourcing genera un menor tiempo de espera y tiempo de viaje, con una diferencia alrededor de 100 pesos chilenos.

5.1.3.2. Impuesto: Valor por vehículo de ridesourcing

El beneficio social considerando esta política de regulación a la plataforma es mayor que el beneficio social con la anterior política (porcentaje de la tarifa por viaje). Existe una mayor ganancia para las empresas de transporte público, taxi y los usuarios en relación con la anterior política, sin embargo, el beneficio es menor a 1 %.

Al aplicar un impuesto por vehículo que trabaja en la plataforma en relación a la política por porcentaje de la tarifa, se genera un aumento en la tarifa de ridesourcing, por lo que el costo generalizado aumenta logrando disminuir su demanda. Este efecto ocasiona una menor ganancia para cada conductor de ridesourcing por lo que menos conductores deciden trabajar en la plataforma, y a su vez, disminuye la ganancia total de los conductores de ridesourcing. Los conductores de ridesourcing y la plataforma son los únicos agentes perjudicados con esta política.

Dado que aumenta el costo generalizado del servicio de ridesourcing, usuarios sustituyen

su viaje de ridesourcing por otro modo de transporte, logrando aumentar la demanda de taxi y transporte público, y a su vez, aumentar sus ganancias, el consumer surplus y finalmente el beneficio social.

Para este caso, existe una reducción de menos del un 1 % (631 veh/hr) de vehículos de ridesourcing que operan en la red vial con respecto al escenario cuando el gobierno aplica una política considerando el porcentaje de la tarifa.

5.1.3.3. Impuesto: Valor por viaje de ridesourcing

Ahora comparemos la política del valor por viaje de ridesourcing realizado con respecto a la política del valor por número de vehículos trabajando en la plataforma. En general, el mercado beneficiado con esta política es el de ridesourcing, dado que aumenta la ganancia de la plataforma y de los conductores, con un aumento de menos de 1 % con respecto a la anterior política.

El beneficio social que se genera con esta política de valor por viaje realizado es menor con respecto a la política de regulación en base al valor por vehículo de ridesourcing dado que se está generando una reducción en la demanda de taxi y transporte público por lo que provoca una disminución en sus ganancias y un menor consumer surplus.

5.1.3.4. Subsidio: Porcentaje de la tarifa

Esta política de regulación es aquella que genera el menor beneficio social con respecto al subsidio en base a un valor por vehículo de ridesourcing y a un valor por viaje realizado. El número de vehículos que trabajan en la plataforma es un 83 % mayor que el número de taxis operando. La tarifa de ridesourcing sigue siendo mayor que la tarifa de taxis, con un costo generalizado al usuario de ridesourcing mayor al 3 % comparado con el costo generalizado al usuario de taxi. El tiempo de espera del usuario a un vehículo de ridesourcing es de aproximadamente 6 minutos, el cual es menor al tiempo de espera del usuario a un taxi.

5.1.3.5. Subsidio: Valor por vehículo

En este caso, el beneficio social es menor en comparación al BS con un subsidio en base al valor por viaje. Esto ocurre debido a que el gobierno subsidia a la plataforma por cada vehículo operando, el número de vehículos de ridesourcing es mayor, llevando a una menor tarifa con respecto al caso de un subsidio en base al valor por viaje realizado a través de la plataforma.

Al comparar esta regulación con la política de un subsidio en base al porcentaje de la tarifa, se observa que el beneficio social aumenta, así como también la ganancia de taxis, de transporte público y el consumer surplus. Los agentes beneficiados con esta regulación son los conductores de ridesourcing y la plataforma, sin embargo el aumento que se genera en

la ganancia con respecto a la anterior política es menor a 1%. El agente más beneficiado con esta política con respecto a la política de un subsidio por porcentaje de la tarifa, es la plataforma de ridesourcing, el cual se observa que su ganancia es mayor a un 25%.

5.1.3.6. Subsidio: Valor por viaje

La política de regulación a las plataformas de ridesourcing en base a subsidiar un valor por cada viaje generado genera un mayor beneficio social comparado al subsidio por porcentaje de la tarifa y valor por vehículo. Con esta política se genera un mayor consumer surplus, ganancia de los taxistas, ganancia del transporte público pero una menor ganancia de los conductores ridesourcing.

Los tiempos de espera y tiempos de viaje en cada modo de transporte no difieren en gran medida entre las tres políticas de regulación en base a un subsidio. Existe un aumento en la demanda de transporte público y de taxi.

5.1.4. Análisis de sensibilidad

En esta sección se realizará varios análisis de sensibilidad para tres parámetros del modelo con el objetivo de conocer el comportamiento de las variables según los escenarios planteados. Estos análisis consisten en: (I) un mayor aumento de la cantidad de vehículos particulares a partir del primer escenario, (II) disminuir un 20% el valor monetario de otros atributos del servicio de ridesourcing, y finalmente (III) disminuir de un 0.33 a un 0.25 por ciento el valor del tiempo de espera de un usuario al servicio de ridesourcing respecto al valor del tiempo de espera del servicio de taxi. En estos dos últimos análisis se trabaja a partir de la primera política de regulación (porcentaje de la tarifa de ridesourcing) en el escenario cuando el gobierno aplica un impuesto.

5.1.4.1. Aumento de la cantidad de vehículos particulares

En el escenario 1, se observa que el aumento del beneficio social que se genera al aplicar una política de regulación comparado con la no regulación es alrededor del 1%. Por tal razón se analizó las variables que pueden generar situaciones de aumento a este porcentaje. Se aumenta la cantidad de vehículos particulares ($N_{auto} = 428000$) generando un mayor impacto en la congestión y se observa un cambio significativo en las ganancias de cada mercado y en el beneficio social.

Realizando una análisis comparativo de aplicar las diferentes políticas de regulación versus no regular a la plataforma, se observa el mismo comportamiento de variables para los tres casos de regulación. Se compara la variable cuando el gobierno aplica un impuesto versus la no regulación de la plataforma, las cuales se observan en la Tabla 5.3.

	<i>Regulación 1</i>	<i>Regulación 2</i>	<i>Regulación 3</i>	<i>No Regulación</i>
I_P	0.25	2100	1900	0
P_P [%]	0.36	0.37	0.36	0.34
V [km/h]	8.28	8.25	8.18	7.42
F_R [CLP]	8,954	8,949	8,913	8,556
N_R [veh/h]	8059	8402	8976	15930
W_R [h]	0.2	0.19	0.19	0.14
T_R [h]	0.73	0.73	0.73	0.81
Q_R [pax/h]	6907	7228	7793	14020
q_R [pax/h]	0.86	0.86	0.87	0.88
θ_R [CLP]	10,183	10,172	10,149	9,919
F_X [CLP]	6,511	6,539	6,586	7,230
N_X [veh/h]	12000	12000	12000	12000
W_X [h]	0.25	0.25	0.24	0.10
T_X [h]	0.79	0.73	0.81	0.88
Q_X [pax/h]	13410	13299	13107	9123
q_X [pax/h]	1.12	1.11	1.09	0.76
θ_X [CLP]	9,926	9,931	9,939	10,113
F_B [CLP]	720	720	720	720
N_B [veh/h]	5095	5116	5152	5652
W_B [h]	0.02	0.02	0.02	0.02
T_B [h]	0.92	0.92	0.93	1.02
Q_B [pax/h]	173184	172933	172506	166945
θ_B [CLP]	3,611	3,621	3,639	3,875
π_{IR} [CLP/h]	2,880	2884	2890	2,959
π_P [CLP/h]	-2,427,890	-1,451,974	-2,184,516	21,718,971
π_R [CLP/h]	23,214,953	24,232,507	25,939,816	47,143,128
π_X [CLP/h]	58,528,013	58,173,175	57,529,775	37,163,100
π_B [CLP/h]	69,501,593	69,088,751	68,387,098	58,971,514
CS [CLP/h]	168,798,499	168,542,431	168,121,936	160,312,423
BS [CLP/h]	320,043,057	320,036,864	319,978,626	303,590,166

Tabla 5.3: Resultados del escenario 1b

Al comparar las diferentes variables del modelo cuando el gobierno aplica un impuesto versus la no regulación de la plataforma, se observa:

- Aumento de 18 % aproximadamente de las ganancias del transporte público.
- Aumento del 57 % aproximadamente de la ganancia total de los taxistas.
- Reducción del 50 % de la ganancia total de los conductores del servicio de ridesourcing.
- Aumento del 5 % del bienestar social y del 5 % del consumer surplus .
- El número de vehículos de ridesourcing y su demanda disminuye.
- Las ganancias de la plataforma disminuye ocasionando pérdidas.
- La demanda de taxi y transporte público aumenta.
- La demanda de ridesourcing disminuye.
- La tarifa de ridesourcing aumenta y la comisión de la plataforma también aumenta.
- El número de vehículos de ridesourcing disminuye.
- La velocidad aumenta.

En este escenario observamos cambios significativos para diferentes agentes del sistema. En general el beneficio social aumenta un 5 %, sin embargo, se observa un gran impacto en la ganancia total de los taxistas, por lo que en este escenario se está dando prioridad a los taxistas (aquellos que tienen un permiso de operación y el gobierno debe asegurar que su operación cubra sus costos). Además está ocasionando que la tarifa de ridesourcing aumente, menos usuarios escojan este servicio, logrando que menos conductores de ridesourcing decidan ingresar al sistema a trabajar, por lo tanto aumenta la demanda de taxis y de transporte público. Esto está ocasionando pérdidas para la plataforma de ridesourcing.

5.1.4.2. Disminución ϕ_R : Valor monetario de otros factores de servicio de un vehículo de ridesourcing

Se ha disminuido el valor monetario de otros factores de servicio de un vehículo de ridesourcing de 1000 pesos a 800 pesos, cuyos resultados se observa en la Tabla 5.4. Se observa que la tarifa de ridesourcing disminuye, la velocidad también disminuye logrando un mayor tiempo de viaje a través de un vehículo de ridesourcing. Dado que el valor monetario de otros factores disminuye, la plataforma logra disminuir su tarifa y su porcentaje de comisión con el fin de aumentar el número de vehículos de ridesourcing y a su vez su demanda. Esto ocurre porque el único modo de transporte que puede tomar decisiones es la plataforma y sus conductores.

Se observa que la plataforma y sus conductores son los únicos agentes beneficiados con esta política. Los modos de transporte de taxi y transporte público se ven afectados con esta política debido a que disminuye sus ganancias, así como también disminuye el consumer surplus logrando disminuir el beneficio social.

	<i>Regulación 3</i>	<i>Menor ϕ_R</i>	<i>Menor β_R</i>
ϕ_R [CLP]	1000	800	1000
β_R [CLP]	1648	1648	1225
I_P	0.06	0.09	0.09
P_P [%]	0.41	0.39	0.40
V [km/h]	8.11	8.03	7.96
F_R [CLP]	8,585	8,343	8553
N_R [veh/h]	17662	18421	19093
W_R [h]	0.13	0.13	0.13
T_R [h]	0.74	0.75	0.75
Q_R [pax/h]	17278	17956	18560
q_R [pax/h]	0.98	0.97	0.97
θ_R [CLP]	9,736	9,710	9687
W_X [h]	0.22	0.2	0.19
T_X [h]	0.81	0.82	0.83
Q_X [pax/h]	12800	12505	12221
q_X [pax/h]	1.07	1.04	1.02
θ_X [CLP]	9,892	9,926	9938
N_B [veh/h]	5197	5247	5292
W_B [h]	0.02	0.02	0.02
T_B [h]	0.94	0.94	0.95
Q_B [pax/h]	171015	170440	169921
θ_B [CLP]	3,659	3,683	3705
π_{IR} [CLP/h]	2,977	2,984	2,990
π_P [CLP/h]	27,818,81	33,348,321	37,972,784
π_R [CLP/h]	52,574,132	54,972,382	57,106,874
π_X [CLP/h]	56,241,678	55,085,826	53,896,261
π_B [CLP/h]	66,834,184	65,876,893	65,011,035
CS [CLP/h]	174,832,593	174,183,600	173,575,861
BS [CLP/h]	350,601,385	350,118,700	349,590,031

Tabla 5.4: Resultados del análisis de sensibilidad

5.1.4.3. Disminución del valor de tiempo de espera del usuario a un vehículo de ridesourcing

A principio se asumió que el valor del tiempo de espera del usuario a un vehículo de ridesourcing es de un 0.33 del valor del tiempo de espera del usuario a un taxi. Para este análisis disminuye este porcentaje a un 0.25 por ciento. Se observa un menor beneficio social, un mayor impuesto a la plataforma y menor comisión. Esto ocasiona que a pesar que disminuyó el valor del tiempo de espera del usuario, la plataforma logra disminuir su tarifa y su comisión, logrando disminuir su costo generalizado, y a su vez aumentar su demanda y las ganancias de la plataforma y sus conductores.

El modo de transporte de taxi y transporte público son los agentes perjudicados debido a que disminuye su demanda y al no poder decidir ante estos cambios, sus ganancias disminuyen. Los únicos beneficiados con este cambio es la plataforma y sus conductores cuyas ganancias han aumentado a un 12% y 8% , respectivamente.

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

6.1. Resumen y motivación

Los servicios de ridesourcing se han ido expandiendo por varios países generando discusiones y debates de sus beneficios y perjuicios a la sociedad y al sistema de transporte. Por la falta de claridad sobre la legalidad de estas plataformas y la competencia con otros modos de transporte, los gobiernos han tenido que tomar decisiones aceleradas en relación a su regulación, y en muchos casos sin estudios previos.

Este trabajo es un inicio del análisis de las implicaciones de las diferentes regulaciones a la plataforma en un país. En este trabajo nos hemos enfocado en analizar como afectan las diferentes políticas de regulación de la plataforma, no sólo al servicio de ridesourcing, si no también a los otros modos de transporte y el impacto que trae consigo a la congestión y a los usuarios de transporte.

Se desarrolla un modelo microeconómico de competencia del mercado de ridesourcing con la industria de taxis y sustitución modal con el transporte público, incluyendo su impacto a la congestión. El desarrollado de este modelo de optimización, a través de un algoritmo de búsqueda aleatoria, nos ha permitido analizar los efectos de los diferentes mecanismos de regulación a la plataforma de ridesourcing.

Se realizó varias simulaciones para el caso de Santiago de Chile considerando dos escenarios generales: (I) Escenario 1.- A mayor congestión, el óptimo se da cuando el gobierno aplica un impuesto a la plataforma de ridesourcing. (II) Escenario 2.- A menor congestión, el óptimo se da cuando el gobierno subsidia a la plataforma de ridesourcing. Para cada escenario se analiza la eficiencia de los tres posibles instrumentos de regulación: Porcentaje de la tarifa por viaje, valor por viaje realizado y valor por vehículo operando en la plataforma.

Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad para tres parámetros del modelo (I) aumento de la cantidad de vehículos particulares, (II) disminución el valor monetario de otros atributos del servicio de ridesourcing, y (III) disminución del valor del tiempo de espera de un usuario al servicio de ridesourcing.

6.2. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados muestran que para velocidades mayores a 9 km/hr el poder de mercado que ejerce la plataforma de ridesourcing es mayor que la externalidad negativa de la congestión, lo que lleva a un óptimo donde el gobierno deberá subsidiar a la plataforma con el objetivo de maximizar el bienestar social. Caso contrario, para velocidades menores se observa que el óptimo ocurre cuando el planificador cobra un impuesto a las plataformas con el objetivo de disminuir el impacto a la congestión.

Para entender este resultado, se comparó el óptimo con subsidio a la plataforma de ridesourcing versus el óptimo cuando no se regula la plataforma. Este resultado se debe a que con el subsidio la tarifa de la plataforma es menor con respecto a la no regulación y existen más conductores que trabajan en la plataforma, lo que disminuye tiempos de espera. Dado que la tarifa es menor y los tiempos de espera disminuyen, se generan más viajes y también la ganancia de los conductores de ridesourcing aumenta.

Vemos que en este caso el poder de mercado que ejerce la plataforma de ridesourcing es mayor que la externalidad negativa de la congestión, lo que lleva a un óptimo donde el gobierno deberá subsidiar a la plataforma. Sin embargo, esto podría cambiar si existe competencia entre plataformas, es decir, si el regulador permite la libre entrada y competencia de las distintas plataformas de ridesourcing. Esto último sería un análisis importante en trabajos futuros.

Ahora veamos el caso en que al disminuir el número de vehículos particulares, el ingreso de vehículos a trabajar en la plataforma tiene un mayor impacto negativo en la congestión. Esto sucede para velocidades muy bajas. En este caso, se observa que el poder de mercado de la plataforma está siendo dominado por el efecto externalidad por congestión, por lo cual el regulador querrá que existan menos vehículos de ridesourcing, llevando a un óptimo donde el gobierno establece un impuesto a la plataforma de ridesourcing.

Existen ejes viales en Santiago donde se alcanza velocidades menores a 14km/h en el periodo punta, como por ejemplo ejes de las avenidas Ossa, Vitacura, Pedro de Valdivia y Alameda. Hay que tener en cuenta que en estos casos, el aumento de vehículos de ridesourcing en las vías agravan la congestión de la ciudad y será necesario que el planificador/gobierno determine una política por la externalidad negativa que está ocasionando la plataforma de ridesourcing.

Así mismo, para entender el comportamiento de las variables, se comparó el óptimo con impuesto a la plataforma de ridesourcing versus el óptimo cuando no se regula la plataforma. Este resultado se debe a que con el impuesto, la tarifa de la plataforma es mayor con respecto a la no regulación y existen menos conductores que trabajan en la plataforma, lo que aumenta tiempos de espera. Dado que la tarifa es mayor y los tiempos de espera del servicio de ridesourcing aumentan, se generan menos viajes para este mercado y la ganancia de los conductores de ridesourcing disminuye. Por otra parte, aumentan los viajes generados por los otros modos de transporte generando mayor consumer surplus y un mayor beneficio en la ganancia para los taxistas y las empresas de transporte público.

Ahora nos enfocamos en analizar las políticas de regulación para ambos casos, ya sea que se llegue a subsidiar o a aplicar un impuesto a la plataforma de transporte. Nuestros resultados nos indica que cuando el óptimo nos lleva a aplicar un impuesto a la plataforma, la política de regulación que genera el mayor beneficio social es que el gobierno aplique una tasa a la plataforma por cada vehículo de ridesourcing, sin embargo este beneficio es menor a 1% con respecto a las demás políticas por lo cual podemos concluir que para efectos de bienestar social las tres políticas logran ser muy similares.

Al aplicar un impuesto por vehículo que trabaja en la plataforma en relación a la política por porcentaje de la tarifa, se genera un aumento en la tarifa de ridesourcing, por lo que el costo generalizado aumenta logrando disminuir su demanda. Este efecto ocasiona una menor ganancia para cada conductor de ridesourcing por lo que menos conductores deciden trabajar en la plataforma, y a su vez, disminuye la ganancia total de los conductores de ridesourcing. Los conductores de ridesourcing y la plataforma son los únicos agentes perjudicado con esta política.

Para el caso de que el óptimo lleve al gobierno a subsidiar a la plataforma, se encontró que la política de regulación que genera un mayor beneficio social es que se subsidie en base a un valor por viaje de ridesourcing realizado. Con esta política se genera un mayor consumer surplus, mayor ganancia a la plataforma, ganancia de los taxis, ganancia del transporte público, y una menor ganancia de los conductores de ridesourcing con respecto a la política de cobro por vehículo operando en la plataforma.

Finalmente, se encuentra que agravando la congestión, el gobierno puede cobrar un 25 por ciento de la tarifa a la plataforma de ridesourcing por cada viaje realizado aumentando un 5% con respecto al escenario en que el gobierno no regulara a las plataformas. Se observa beneficios significativos para diferentes agentes del sistema principalmente a los taxistas, seguido por el transporte público, pero siendo perjudicados los conductores de ridesourcing y ocasionando pérdidas a la plataforma.

Por lo tanto, encontramos que aún con el análisis de sensibilidad se alcanza una diferencia baja entre los beneficios sociales de las distintas políticas de ridesourcing, lo cual puede ser resultado de los parámetros utilizados y los diferentes supuestos del modelo.

Esta investigación es un aporte a la discusión de políticas públicas y una contribución a la elaboración de futuros trabajos que nos ofrezcan una visión más amplia del impacto de estas compañías de ridesourcing en otros escenarios, como por ejemplo que pasaría si el gobierno deja de regular a las compañías de taxi, el cual explicamos en la siguiente sección.

Para futuros trabajos se puede agregar variantes al modelo y analizar el escenario donde el gobierno no establece la flota máxima de los taxis pero sigue regulando la tarifa. Se puede asumir que el mercado de taxis está compuesto por taxis operados por el dueño, un taxi por dueño o firma. En un mercado de entrada libre competitivo, la oferta resultante satisface el equilibrio de mercado donde el ingreso marginal obtenido por la última unidad de servicio de taxi solo cubre sus costos. En este punto el incentivo individual de unirse a la industria de taxi desaparece (Yang *et al.*, 2005). Esto podría cambiar las conclusiones del trabajo, ya que se logra que variables del mercado de taxi se optimice y la plataforma no será el único agente que tome decisiones.

Por otra parte, en este modelo no se refleja la procedencia del valor total del subsidio y tampoco en qué se utiliza el valor recaudado por impuestos a la plataforma, lo cual podría ser considerado en futuros trabajos. Otro punto de vista, es considerar un costo de fondos públicos para financiar cualquier déficit resultante. Un ejemplo de lo indicado es cuando una parte del financiamiento del transporte público proviene de un impuesto a los viajes en taxis. Por lo tanto, las plataformas, al reducir los viajes en taxis, reducen el financiamiento al transporte público indirectamente, además de directamente por quitarle viajes también al transporte público. Esto podría justificar un impuesto a las plataformas independiente de las externalidades que se ha analizado en la tesis.

Con respecto a los vehículos particulares, se puede analizar el caso en que el dueño del vehículo decide dejar su vehículo en casa y accede a otro modo de transporte para realizar su viaje. Además, se sugiere nuevos enfoques no incluidos en este modelo, como la competencia entre plataformas de ridesourcing que pueden llegar a tener impacto significativo en las tarifas y las comisiones que cobran a sus conductores y en la decisión de los usuarios al momento de escoger un modo de transporte, así como también, tarificación de estacionamientos, tarifa dinámica del servicio de ridesourcing, optimización de frecuencia de buses, sustitución de un viaje de ridesourcing por el uso del automóvil particular.

Finalmente, para futuros trabajos se puede realizar análisis de sensibilidad para conocer que parámetros o supuestos del modelo ocasiona que la diferencia porcentual del beneficio social entre políticas de regulación sea menor al cinco por ciento, y que exista el riesgo de una falla regulatoria.

Bibliografía

- Alemi, F. y Rodier, C. (2018). Simulation of ridesourcing using agent-based demand and supply models regional: Potential market demand for first mile transit travel and reduction in vehicle miles traveled in the San Francisco Bay Area. Technical report.
- Alphabetá (2017). Rethinking urban mobility in Indonesia: The role of shared mobility services. Technical report, Alphabetá.
- Babar, Y. y Burtch, G. (2017). Examining the impact of ridehailing services on public transit use. *Forthcoming in Information Systems Research*.
- Basso, L. J. (2008). Airport deregulation: Effects on pricing and capacity. *International Journal of Industrial Organization*, 26(4):1015–1031.
- Batarce, M., Muñoz, J. C., Ortúzar, J. d. D., Raveau, S., Mojica, C., y Ríos, R. A. (2015). Valuing crowding in public transport systems using mixed stated/revealed preferences data: the case of Santiago. En *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers, Washington DC*.
- Cetin, T. y Deakin, E. (2017). Regulation of taxis and the rise of ridesharing. *Transport Policy*, 76:149–158.
- Cetin, T. y Eryigit, K. Y. (2013). The economic effects of government regulation: Evidence from the New York taxicab market. *Transport Policy*, 25:169–177.
- Clewlow, R. R. y Mishra, G. S. (2017). Disruptive transportation: The adoption, utilization, and impacts of ride-hailing in the United States.
- CNP (2018). Tecnologías disruptivas: Regulación de plataformas digitales. Technical report, Comisión Nacional de Productividad.
- Cramer, J. y Krueger, A. B. (2016). Disruptive change in the taxi business: The case of Uber. *American Economic Review*, 106(5):177–82.
- Deloitte (2016). *Economic Effects of Ridesharing in Australia: Uber*. Deloitte Access Economics.
- Douglas, G. W. (1972). Price regulation and optimal service standards: The taxicab industry. *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 116–127.

- Fernández, E., Ch, J. D. C., y Briones, J. (2006). A diagrammatic analysis of the market for cruising taxis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(6):498–526.
- Fielbaum, A. y Tirachini, A. (2019a). Características del trabajo de conducción en plataformas ride-hailing (tipo uber y cabify) en Chile.
- Fielbaum, A. y Tirachini, A. (2019b). Características del trabajo de conducción en plataformas ride-hailing (tipo uber y cabify) en Chile. Working Paper. Universidad de Chile.
- Gehrke, S., Felix, A., y Reardon, T. (2018). Fare choices; a survey of ride-hailing passengers in metro boston report# 1. *An MAPC Research Brief*.
- Gehrke, S. R., Felix, A., y Reardon, T. G. (2019). Substitution of ride-hailing services for more sustainable travel options in the greater boston region. *Transportation Research Record*, 2673(1):438–446.
- Ginger Goodin, P. y Moran, M. (2017). Transportation network companies. <https://policy.tti.tamu.edu/wp-content/uploads/2017/03/TTI-PRC-TNCs-SBC-031417.pdf>.
- Gutiérrez, S. (2018). Uber y Cabify se acercan a los 100 mil conductores y ya duplican la plaza de taxis. [urlhttp://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=448480](http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=448480). Accedido 31-10-2019.
- Hall, J. D., Palsson, C., y Price, J. (2018). Is Uber a substitute or complement for public transit? *Journal of Urban Economics*, 108:36–50.
- He, F. y Shen, Z.-J. M. (2015). Modeling taxi services with smartphone-based e-hailing applications. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58:93–106.
- Henao, A. (2017). *Impacts of Ridesourcing-Lyft and Uber-on Transportation Including VMT, Mode Replacement, Parking, and Travel Behavior*. University of Colorado at Denver.
- Henao, A., Marshall, W. E., y Janson, B. (2019). Impacts of ridesourcing on vmt, parking demand, transportation equity, and travel behavior. Technical report.
- Jiang, W. y Zhang, L. (2018). The impact of the transportation network companies on the taxi industry: Evidence from Beijing’s gps taxi trajectory data. *IEEE Access*, 6:12438–12450.
- Jin, S. T., Kong, H., Wu, R., y Sui, D. Z. (2018). Ridesourcing, the sharing economy, and the future of cities. *Cities*.
- Nie, Y. M. (2017). How can the taxi industry survive the tide of ridesourcing? evidence from Shenzhen, China. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79:242–256.
- Rayle, L., Dai, D., Chan, N., Cervero, R., y Shaheen, S. (2016). Just a better taxi? a survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco. *Transport*

Policy, 45:168–178.

SECTRA, M. (2005). Análisis y actualización del modelo ESTRAUS.

SFMTA (2017). Tncs today. a profile of San Francisco Transportation Network Company Activity. <https://www.sfmta.com/sites/default/files/agendaitems/2017/6-20-17%20Item%2014%20Transportation%20Network%20Company%20Activity%20Report.pdf>.

Shaheen, S. y Chan, N. (2016). Mobility and the sharing economy: Potential to facilitate the first-and last-mile public transit connections. *Built Environment*, 42(4):573–588.

Tang, B.-J., Li, X.-Y., Yu, B., y Wei, Y.-M. (2019). How app-based ride-hailing services influence travel behavior: An empirical study from China. *International Journal of Sustainable Transportation*, pp. 1–15.

Tirachini, A. (2014). The economics and engineering of bus stops: Spacing, design and congestion. *Transportation research part A: policy and practice*, 59:37–57.

Tirachini, A. (2017). ¿se justifica que los taxis usen las pistas de buses? <http://www.uchile.cl/noticias/136752/se-justifica-que-los-taxis-usen-las-pistas-de-buses>.

Tirachini, A., Camus, L., y Cruz, D. (2016). Modelación de tiempos de detención de buses en paraderos de Santiago y Valparaíso-Viña del Mar. *Ingeniería de Transporte*, 19(2).

Tirachini, A. y del Río, M. (2019). Ride-hailing in Santiago de Chile: Users' characterisation and effects on travel behaviour. *Transport Policy*, 82:46–57.

Tirachini, A. y Gomez-Lobo, A. (2019). Does ride-hailing increase or decrease vehicle kilometers traveled (vkt)? a simulation approach for Santiago de Chile. *International Journal of Sustainable Transportation*, pp. 1–18.

Tirachini, A., Hensher, D. A., y Jara-Díaz, S. R. (2010). Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit over a radial public transport network. *Research in transportation economics*, 29(1):231–242.

Wallsten, S. (2015). The competitive effects of the sharing economy: how is Uber changing taxis. *Technology Policy Institute*, 22:1–21.

Wyman, K. M. (2017). Taxi regulation in the age of Uber. *NYUJ Legis. & Pub. Pol'y*, 20:1.

Xlibrium (2013). Informe de avance no. 2. estudio para la actualización de la estructura de costos y evaluación del equilibrio económico de los contratos de operadores de vías del sistema de transporte público de Santiago mediante buses.

Yang, H., Ye, M., Tang, W. H., y Wong, S. C. (2005). Regulating taxi services in the presence of congestion externality. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(1):17–40.

Zha, L., Yin, Y., y Yang, H. (2016). Economic analysis of ride-sourcing markets. *Transport-*

tation Research Part C: Emerging Technologies, 71:249–266.

Zhen, C. (2015). *Impact of ride-sourcing services on travel habits and transportation planning*. Tesis doctoral, University of Pittsburgh.

Zhigljavsky, A. y Zilinskas, A. (2007). *Stochastic Global Optimization*. Springer Optimization and Its Applications. Springer US.

Žilinskas, A. y Zhigljavsky, A. (2016). Stochastic global optimization: a review on the occasion of 25 years of informatica. *Informatica*, 27(2):229–256.

Anexo A

Políticas de regulación

Tabla A.1: Políticas de regulación

	San Francisco	New York City	New York	Seattle
Datos Generales	Estatal	Local	Estatal	Local
Datos Generales	California Public Utilities Commission (CPUC)	Taxi and Limousine Commission	Department of Motor Vehicle (DMV)	Department of Finance and Administrative Services
Datos Generales	Transportation Network Company (TNC)	Transportation Network Company (TNC)	Transportation Network Company (TNC)	Transportation Network Company (TNC)
Datos Generales	TNC is a company or organization operating in California that provides transportation services using an online-enabled platform to connect passengers with drivers using their personal vehicles.	A TNC is a business, also known as a rideshare company”, licensed by DMV to use a digital network (smart phone app) to connect passengers to TNC drivers for prearranged trips.	A TNC is a business, also known as a rideshare company”, licensed by DMV to use a digital network (smart phone app) to connect passengers to TNC drivers for prearranged trips.	n/r
Seguridad	Verificación de antecedentes con el número de seguro social; verificación del historial del conductor a través del DMV Employer Pull Notice program.	Verificación de antecedentes con huella digital; verificación de antecedentes del historial del conductor. Prueba anual de drogas.	n/r	Verificación de antecedentes con opción de búsqueda de base de datos nacional de huellas dactilares o de terceros.
Seguridad	Inspección de 19 puntos del vehículo antes del servicio y cada año, o cada 50,000 millas.	Vehículos inspeccionados una vez cada cuatro meses.	n/r	Verificación de antecedentes con opción de búsqueda de base de datos nacional de huellas dactilares o de terceros.
Seguridad	Seguridad del conductor	Curso de manejo defensivo requerido cada tres años. Tiempo de conducción máximo de 10 horas en un período de 24 horas, se restablece después de un período de descanso de 8 horas.	n/r	Curso de manejo defensivo requerido. Tiempo máximo de conducción 12 horas durante un período de 15 horas en cualquier período de 24 horas. Se restablece después de un período de descanso de 10 horas.
Seguridad	Seguridad del pasajero	Política de cero tolerancias al alcohol.	n/r	Política de cero tolerancias al alcohol.
Seguridad	Seguro	Las TNCs brindan seguro durante el viaje (solicitud - previa al viaje, aceptación de viaje y transporte del pasajero).	n/r	Las TNCs brindan seguro durante el viaje (al aceptar y transportar al pasajero).
Tránsito	Operaciones	Las restricciones locales limitan el uso de paradas de autobús y carriles de tránsito.	Se excluye su operación en la ciudad de New York	Las restricciones locales limitan el uso de paradas de autobús y carriles de tránsito.
Tránsito	Manejo de la acera	Los conductores de TNC solo pueden solicitar pasajeros a través de plataformas.	Los conductores de TNC solo pueden solicitar pasajeros a través de plataformas.	Los conductores de TNC solo pueden solicitar pasajeros a través de plataformas.

Tabla A.2: Políticas de regulación

	San Francisco	New York City	New York	Seattle
Accesibilidad	Plan de accesibilidad anual requerido	Las TNCs deben proporcionar un vehículo accesible a pasajeros con discapacidades. Entrenamiento de accesibilidad requerido.	n/r	El conductor no puede rechazar el servicio. Las TNC pagan en el fondo de accesibilidad.
Flota	Manejo de la flota	Las TNCs tienen prohibido poseer flota.	n/r	Sin restricciones de propiedad de la flota.
Flota	Limitaciones del tamaño	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
Responsabilidad	Informes de viaje	Requisitos de informes de viaje anuales.	n/r	Requisitos de informes trimestrales de viaje.
Responsabilidad	Licencias y registro	Permiso de 3 años a las TNCs. Requisitos de la licencia comercial de los conductores locales. Restricciones de permisos de aeropuerto.	Presentar la solicitud ante el DMV	Requisitos de permisos y licencias de TNC. Licencias de TNC para el alquiler de vehículos y requisitos de licencia comercial.
Impacto financiero	Tasas de inscripción	Tarifa de solicitud inicial de \$1,000 para la TNC. Cuota anual de \$100.	Tarifa de solicitud de \$100,000, \$90,000 de los cuales son reembolsables si no se aprueba la compañía, así como una tarifa de renovación anual de \$60,000.	El costo de las aplicaciones y la licencia están cubiertos por el valor por tarifa por viaje, sin costos adicionales para los conductores de TNC.
Impacto financiero	Tasas de administración	Se cobra el 0,33% de los ingresos brutos de California y una tarifa administrativa de \$10. El Aeropuerto Internacional de San Francisco cobra \$3.80 según el modelo de recuperación de costos del programa TNC.	Se establece un cobro estatal del 4% sobre las tarifas de TNC, y evita que los condados, pueblos, ciudades y pueblos impongan un impuesto, tarifa o recargo adicional.	Las compañías de TNC deben pagar \$0.35 por tarifa de viaje (para viajes que se originen fuera de la ciudad) y \$0.14 por tarifa de viaje (para los viajes que se originen en la ciudad), para cubrir los costos de aplicación y regulación de licencias de TNC, endosos de vehículos y licencias de conducir. Deben pagar \$0,10 por viaje para el Fondo de servicios accesibles para sillas de ruedas.

Tabla A.3: Políticas de regulación

	Chicago	Boston	Ciudad de México	Panamá
Datos Generales	Tipo de regulación	Estatal	Local	Nacional
Datos Generales	Ente Regulador	Department of Business Affairs and Consumer Protection (BACP)	Secretaría	Autoridad de Tránsito y Transporte Terrestre (ATTT)
Datos Generales	Término legal	Transportation Network Company (TNC)	Servicio Privado de Transporte con Chofer	Transportes de Lujo TIC
Datos Generales	Definición	n/r	Servicio de transporte que pueden contratar los particulares a través de las personas que operen y/o administren aplicaciones y plataformas informáticas para el control, programación y/o geolocalización en dispositivos fijos o móviles que cuenten con el permiso correspondiente otorgado por la Secretaría.	Transporte terrestre, selectivo e individual, de pasajeros con especificaciones de comodidad, itinerario y tarifas especiales, solicitado y pagado a través de las plataformas tecnológicas.
Seguridad	Verificación de antecedentes	Verificación de antecedentes con huella digital; las empresas transnacionales deben obtener el registro de conducción de cada solicitante.	Búsqueda de bases de datos de antecedentes penales de múltiples estados y verificación de antecedentes de la base de datos de historial de manejo	Presentar récord policivo
Seguridad	Inspección vehicular	Inspecciones de 21 puntos para vehículos menores de seis años anualmente; vehículos de más de seis años semestralmente.	La inspección anual de vehículos y emisiones también inspecciona el frenado y la suspensión.	Los vehículos en buenas condiciones físicas y mecánicas.
Seguridad	Seguridad del conductor	Entrenamiento obligatorio del conductor. Tiempo máximo de conducción 10 horas en un período de 24 horas.	Realizar la revisión vehicular anual	La Empresa será responsable de verificar los requisitos de vehículos y los conductores
Seguridad	Seguridad del pasajero	Política de cero tolerancias al alcohol.	n/r	Ninguna política explícita de drogas y alcohol de cero tolerancia.
Seguridad	Seguro	Las TNCs brindan seguro durante el viaje (al aceptar y transportar al pasajero).	Poliza de seguro, amparando los daños que pudiesen ocasionar a usuarios, peatones, conductores, personas o terceros, tanto en su persona como en su patrimonio, así como a la infraestructura urbana, vial y de movilidad.	Los vehículos deberán estar protegidos por un seguro comercial, que ampare al conductor y a los ocupantes

Tabla A.4: Políticas de regulación

	Chicago	Boston	Ciudad de México	Panamá
Tránsito	Operaciones	Las restricciones locales limitan el uso de paradas de autobús y carriles de tránsito.	Las restricciones locales limitan el uso de paradas de autobús y carriles de tránsito.	El servicio solo podrá prestarse en las provincias de Panamá, Panamá Oeste, Colón y Coclé
Tránsito	Manejo de la acera	Los conductores de TNC solo pueden solicitar pasajeros a través de plataformas.	Los conductores de TNC solo pueden solicitar pasajeros a través de plataformas.	Se restringe tener una central física en donde los usuarios soliciten el servicio
Accesibilidad	Accesibilidad del pasajero	Plan de accesibilidad requerido. Los conductores no pueden rechazar el servicio. Entrenamiento de accesibilidad requerido.	Plan de accesibilidad requerido. Fuerza de trabajo de transporte accesible.	No especificado en el decreto
Flota	Manejo de la flota	Las TNCs tienen prohibido poseer flota o dar financiamiento para obtener, arrendar o poseer vehículos.	Las TNCs tienen prohibido poseer flota.	No especificado en el decreto
Flota	Limitaciones del tamaño	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
Responsabilidad	Informes de viaje	Informe de viaje a pedido.	Requisitos de informes de viaje anual y mensual.	Informe de las empresas mediante oficio
Responsabilidad	Licencias y registro	Requisitos locales de permisos. Requisito de licencia de conducir de TNC.	Requisitos anuales de permisos. Requisitos de la licencia de conducir.	No se especifica en el decreto
Impacto financiero	Tasas de inscripción	Las compañías de TNC pagan \$10,000 anualmente además de las tarifas de licencia.	La división puede cobrar a la empresa de la red de transporte una tarifa razonable para cubrir los costos.	No se especifica en el decreto
Impacto financiero	Tasas de administración	Tasa de transporte terrestre de la ciudad es de \$0.40 por viaje, mientras que en los aeropuertos es de \$5.40 por viaje. Tarifa administrativa adicional de \$0.02 por viaje aceptado. La Comisión puede evaluar tarifas adicionales por costos de procesamiento de huellas dactilares y fotos para la licencia de conducir. Tarifa de \$0.02 por viaje por costos administrativos. Pueden tener un costo de \$0.10 por viaje en un vehículo TNC no accesible.	Fondo Fiduciario para el Mejoramiento de la Infraestructura de Transporte: \$0.20 por viaje de contribución anual a los fondos para abordar los impactos tanto en términos de alentar alternativas de transporte como en la reorganización de la industria del taxi. Grupo de trabajo establecido para investigar una posible tarifa de recargo anual para mejorar el servicio de acceso para sillas de ruedas dentro de la industria de TNC.	No se especifica en el decreto

Tabla A.5: Políticas de regulación

	São Paulo	Brasilia	Vitória	Porto Alegre
Datos Generales	Nacional-local	Nacional-local	Nacional-local	Nacional-local
Datos Generales	Prefeitura	Prefeitura	Prefeitura	n/r
Datos Generales	Empresas de Redes Transporte (ERTs)	Empresas de Redes Transporte (ERTs)	Empresas de Redes Transporte (ERTs)	Empresas de Redes Transporte (ERTs)
Datos Generales	n/r	n/r	n/r	n/r
Seguridad	No especificado en decreto	Certificado criminal negativo	No especificado en decreto	No especificado en decreto
Seguridad	n/r	Los vehículos deberán pasar por controles periódicos.	n/r	Inspecciones anuales, observando criterios de seguridad, confort e higiene
Seguridad	Curso de formación con contenido a ser definido por la prefectura.	No especificado en decreto	No especificado en decreto	Curso de formación promovido por las empresas, contenidos de relaciones humanas y dirección defensiva
Seguridad	Ninguna política explícita de cero tolerancias a drogas y alcohol.	n/r	n/r	n/r
Seguridad	Contratación de seguro que cubra accidentes de pasajeros (APP) y el Seguro Obligatorio - DPVAT	Poseer seguro de accidentes personales con cobertura como mínimo, R \$50 mil por pasajero.	n/r	n/r
Tránsito	Sujeto a restricciones locales	Sujeto a restricciones locales	Sujeto a restricciones locales	Sujeto a restricciones locales
Tránsito	n/r	n/r	n/r	n/r
Accesibilidad	n/r	n/r	n/r	n/r
Flota	n/r	n/r	n/r	n/r
Flota	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
Responsabilidad	Datos conforme a solicitud	Datos conforme a solicitud	Datos conforme a solicitud	Información hasta el quinto día hábil de cada mes
Responsabilidad	Cada empresa deberá inscribirse y convertirse en una Operadora de Tecnología de Transporte Acreditada - OTTC.	Mantener actualizado el Certificado Anual de Autorización de la Secretaría de Movilidad	La empresa deberá ser acreditada por la prefectura y renovarse cada 12 meses	La acreditación se le aplicará durante 18 meses y podrá renovarse con antelación de 30 días antes de la fecha de expiración
Impacto financiero	No especificado en decreto	No especificado en decreto	No especificado en decreto	No especificado en decreto
Impacto financiero	R \$0,10 por kilómetro hasta 27 millones de kms rodados por mes, divididos entre todas las empresas registradas. Después el valor de la tasa aumenta. El valor recaudado debe destinarse a inversiones en movilidad urbana	Se autoriza el cobro de precios públicos por kilómetros rodados, en la forma del reglamento, pero nada se especifica al respecto.	Precio de otorgamiento del 1% del valor del viaje.	Cobro en el valor de 20 unidades financieras municipales (UFMs, equivalente a R \$73) mensualmente por vehículo.

Tabla A.6: Políticas de regulación

		La Paz	Chile
Datos Generales	Tipo de regulación	Local	Nacional
Datos Generales	Ente Regulador	AMTT del GAMLP (Gobierno Autónomo Municipal de La Paz)	Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones
Datos Generales	Término legal	Empresa de Movilidad Colaborativa	Plataformas tecnológicas
Datos Generales	Definición	Persona jurídica que opera, proporciona o administra una plataforma tecnológica	Entidades que operen, administren o proporcionen cualquier sistema, aplicación, tecnología o mecanismo, de carácter informático, que permita acceder a un servicio de transporte remunerado de pasajero prestado con taxis o con vehículos.
Seguridad	Verificación de antecedentes	Verificación de antecedentes (delitos)	Lo establecido en el código Penal
Seguridad	Inspección vehicular	Vehículo acreditado mediante Certificado de Propiedad de Registro del Vehículo Automotor	Vehículos inspeccionados antes del servicio.
Seguridad	Seguridad del conductor	No especificado en el reglamento	n/r
Seguridad	Seguridad del pasajero	Ninguna política explícita de drogas y alcohol de zero tolerance.	Ninguna política explícita de drogas y alcohol de cero tolerancia.
Seguridad	Seguro	La empresa obtener una póliza de seguro que cubra todo riesgo personal relacionado a la seguridad del usuario y del operador durante la prestación del servicio, desde que suban hasta que desciendan del vehículo	n/r

Tabla A.7: Políticas de regulación

	La Paz	Chile
Tránsito	Operaciones	Sujeto a restricciones locales
Tránsito	Manejo de la acera	Los conductores solo pueden solicitar pasajeros a través de plataformas.
Accesibilidad	Accesibilidad del pasajero	n/r
Flota	Manejo de la flota	n/r
Flota	Limitaciones del tamaño	Sin restricción
Responsabilidad	Informes de viaje	Informes de datos que faciliten la adopción de medidas de movilidad
Responsabilidad	Licencias y registro	Registro en la Subsecretaría de Transportes
Impacto financiero	Tasas de inscripción	n/r
Impacto financiero	Tasas de administración	En función de la cantidad de kilómetros efectivamente recorridos. Se establece un fondo para la innovación del transporte remunerado de pasajeros.

Anexo B

Consumer Surplus

B.1.

Se tiene $\partial Q_i / \partial \theta_j = \partial Q_j / \partial \theta_i$, $\forall i \in \{R, X, B\} \forall j \neq i$, por lo que la integral de línea tiene solución que es independiente del camino de integración. Por lo tanto, tomamos un camino de integración:

$$\Theta_i(\sigma) = \theta_i + \sigma(A - \theta_i), \quad \sigma \in [0, 1] \quad \forall i \in [R, X, B] \quad (\text{B.1})$$

Así, $\Theta_i(\sigma = 0) = \theta_i$ y $\Theta_i(\sigma = 1) = A$. Además se tiene, $d\Theta_i(\sigma) = (A - \theta_i)d\sigma$. A partir de esto, se realiza un cambio de variables:

$$\begin{aligned} CS &= \int_{(\theta_R^0, \theta_X^0, \theta_B^0)}^{(\theta_R, \theta_X, \theta_B)} \sum_{i \in H} Q_i(\theta_R, \theta_X, \theta_B) d\theta_i \\ &= \int_0^1 Q_i \sum_{i \in H} Q_i(\Theta_i(\sigma)(A - \theta_i)) d\sigma \\ &= \sum_{i \in H} (A - \theta_i) \int_0^1 Q_i(\Theta_i(\sigma)) d\sigma \end{aligned} \quad (\text{B.2})$$

Denominamos I y II como $I = (A - \theta_i)$, $II = \int_0^1 Q_i(\Theta_i(\sigma)) d\sigma$. Trabajaremos estos dos términos a continuación.

$$\begin{aligned} I &= A - \theta_i \\ &= A - (A - BQ_i - \sum_{j \neq i} EQ_j) \\ &= BQ_i + \sum_{j \neq i} EQ_j \end{aligned} \quad (\text{B.3})$$

Ahora calculamos II, reemplazando $Q_i(\Theta)$.

$$\begin{aligned}
II &= \int_0^1 Q_i(\Theta_i(\sigma)) d\sigma \\
&= \int_0^1 (a - b\Theta_i(\sigma) + \sum_{j \neq i} e\Theta_j(\sigma)) d\sigma \\
&= \int_0^1 Q_i(\theta) d\sigma + \int_0^1 (-Ab + b\theta_i + A \sum_{j \neq i} e - \sum_{j \neq i} e\theta_j) \sigma d\sigma \\
&= \frac{Q_i(\theta)}{2} + \frac{a - A(b - (N-1)e)}{2}
\end{aligned} \tag{B.4}$$

Dado que $\frac{a - A(b - (N-1)e)}{2}$ es igual a cero, tendremos II de la siguiente manera.

$$II = \frac{Q_i(\theta)}{2} \tag{B.5}$$

Finalmente, reemplazando I y II, obtenemos:

$$\begin{aligned}
CS &= \sum_{i \in H} (BQ_i + \sum_{j \neq i} EQ_j) \frac{Q_i(\theta)}{2} \\
&= \frac{B(Q_B^2 + Q_R^2 + Q_X^2)}{2} + E(Q_BQ_R + Q_BQ_X + Q_RQ_X)
\end{aligned} \tag{B.6}$$