



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE AGENTES ECONÓMICOS RACIONALES BAJO DISTINTOS ESQUEMAS DE INCENTIVOS EN UN CONTEXTO DE TRANSPORTE PÚBLICO

VICENTE NICOLÁS RAMÍREZ GARAT

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
PATRICIA VIVIANA GALILEA ARANDA

Santiago de Chile, abril 2021



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE AGENTES ECONÓMICOS RACIONALES BAJO DISTINTOS ESQUEMAS DE INCENTIVOS EN UN CONTEXTO DE TRANSPORTE PÚBLICO

VICENTE NICOLÁS RAMÍREZ GARAT

Miembros del Comité:

PATRICIA VIVIANA GALILEA ARANDA *Patricia Galilea*
LUIS IGNACIO RIZZI CAMPANELLA *Luis Rizzi Campanella*
JOAQUÍN JOSÉ POBLETE LAVANCHY *Joaquín Poblete*
HERNÁN EDUARDO DE SOLMINIHAC TAMPIER *Hernán de Solminihac*

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, abril 2021

*Dedicado a mis padres y a mis
hermanos por su amor y soporte
incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer el eterno apoyo de mis padres, Carole y Francisco, por aguantar mi estrés y ansiedad durante el desarrollo de mi tesis. Producto de la pandemia, llevar a cabo una tesis de magíster fue difícil y tormentoso, por lo que su soporte incondicional fue importante para sacar adelante esta investigación. Gracias por su amor y por la confianza que siempre tuvieron en mí. Además, a mis hermanos Francisca y Antonio, por entregarme risas cuando era difícil obtenerlas. También a mis abuelos Jorge y Silvia, por recalcar mis capacidades y aptitudes como sólo un(a) abuelo(a) puede hacer.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a quienes fueron mis mentores en esta investigación, sin ellos nada de esto hubiese sido posible. A mi profesora guía, Patricia Galilea, quien me motivó a investigar un tema tan interesante como lo es el mundo de los conductores y el transporte público, gracias por enseñarme a ver el transporte con otros ojos, más allá de números y datos. Por su parte, la investigación requirió materias que no hubiese podido adquirir si no fuera gracias a Joaquín Poblete; conocimiento, innovación y ganas de aportar a la ciencia. También me gustaría mencionar a dos profesores que aportaron al análisis de los datos y el desarrollo del experimento, Luis Rizzi y Hugo Silva; sin ningún interés más que ayudar, me entregaron un valioso *feedback* en momentos que resultaron muy complicados para el desarrollo de la tesis. Profesores como ustedes hacen que la academia sea un lugar interesante, lleno de desafíos y pasión por entender el mundo.

Finalmente, una mención especial de agradecimiento a mis amigos Nicolás, Emilio, Sergio, Alejandro, Juan Pablo y Romina, quienes me ayudaron a probar el experimento, entregando sus valiosas opiniones y recomendaciones.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ABSTRACT	xii
RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto	1
1.2. Motivación y Objetivos	4
1.3. Estructura	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Teoría de contratos	7
2.2. Incentivos y contratos en el transporte público	10
3. DISEÑO EXPERIMENTAL	12
3.1. Procedimiento y muestra de sujetos	12
3.2. Descripción del esquema grupal de incentivos propuesto	14
3.3. Descripción del experimento	15
3.3.1. Variables del juego experimental	17
3.3.2. Ganancias	20
3.3.3. Esquemas de incentivos y pagos	20
3.4. Hipótesis a comprobar	21
3.5. Limitaciones del experimento de laboratorio	23
4. RESULTADOS	26
4.1. Diferencias en la toma de decisiones operacionales	26

4.1.1. Velocidad de circulación	27
4.1.2. Decisión de esfuerzo	34
4.2. Estrategias y comportamientos	42
4.2.1. Distancia con respecto al bus trasero	42
4.2.2. Pasajeros totales transportados por el sistema	48
4.2.3. Tiempo extra total de control	50
4.2.4. Nivel de energía final	53
4.3. Ventajas y desventajas de cada esquema en un contexto de transporte público	56
4.3.1. Esquema grupal con pago por pasajero transportado por el equipo . . .	56
4.3.2. Esquema individual con pago por pasajero transportado	59
4.3.3. Esquema de pago fijo	62
5. CONCLUSIONES	64
5.1. Principales conclusiones	64
5.2. Limitaciones de la investigación	67
5.3. Recomendaciones para un contexto de transporte público	69
5.4. Futuras líneas de investigación propuestas	70
REFERENCIAS	72
ANEXO	77
A. Modelo de la relación de pago entre un principal y múltiples agentes	78
B. Esquema de la situación de elección para los agentes	81
C. Manual del juego experimental	82
C.1. Instrucciones y contexto	82
C.2. Velocidad	84
C.3. Esfuerzo	85
C.4. Ganancias	87
C.5. Esquema de pago	88
C.6. Tabla de notas	88

D.	Parámetros para la calibración del experimento	90
E.	Algoritmo para el cálculo de distancias entre buses	91
F.	Estadístico Kolmogorov-Smirnov	93
G.	<i>Test</i> K-S gráfico con respecto al esquema de salario fijo para velocidad . . .	94
H.	Resultados del <i>test</i> de Kolmogorov-Smirnov con respecto al esquema de salario fijo para velocidad	96
I.	Detalle de la velocidad por período para cada tipo de contrato	97
J.	<i>Test</i> K-S gráfico con respecto al esquema de salario fijo para tiempo extra en paradero	98
K.	Resultados del <i>test</i> de Kolmogorov-Smirnov con respecto al esquema de salario fijo para esfuerzo	100
L.	Detalle del esfuerzo por período para cada tipo de contrato	101
M.	Resultados del <i>test</i> de Kolmogorov-Smirnov con respecto al esquema de salario fijo para distancia trasera	102
N.	<i>Test</i> K-S gráfico con respecto al esquema de salario fijo para distancia respecto al bus trasero	103
O.	Detalle de la distancia con respecto al bus trasero por período para cada tipo de contrato	105
P.	<i>Test t</i> de pasajeros totales con respecto al esquema de salario fijo	106
Q.	<i>Test t</i> de tiempo extra en paradero con respecto al esquema de salario fijo . .	107
R.	<i>Test t</i> de energía residual con respecto al esquema de salario fijo	108

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Configuración de pago grupal por producción conjunta.	15
4.1	Decisiones de velocidad (media $\pm$ desviación estándar) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.	28
4.2	Decisiones de velocidad (<i>boxplot</i>) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.	29
4.3	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos individual y grupal, en términos de velocidad, para períodos 1 y 5.	31
4.4	Tiempo en paradero (media $\pm$ desviación estándar) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.	36
4.5	Tiempo en paradero (<i>boxplot</i>) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.	37
4.6	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos individual y grupal, en términos de tiempo extra en paradero, para períodos 7 y 10.	39
4.7	Distancia con respecto al bus trasero (media $\pm$ desviación estándar) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.	43
4.8	Distancia con respecto al bus trasero (<i>boxplot</i>) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.	44
4.9	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos individual y grupal, en términos de distancia trasera, para período 6.	46
4.10	Total de pasajeros (<i>boxplot</i>) transportados por tipo de contrato.	48
4.11	Tiempo extra total dedicado a controlar pasajeros por tipo de contrato.	51
4.12	Energía residual al finalizar el experimento por tipo de contrato.	54
B.1	Diagrama de la situación de elección para los agentes.	81

C.1	Figura de un conductor de bus del transporte público.	82
C.2	Situación esquemática que enfrenta el participante.	83
C.3	Distancia con respecto a los buses adyacentes.	83
C.4	Pantalla del experimento que representa el tiempo extra en paradero por controlar.	86
C.5	Representación gráfica de la energía personal del agente.	87
E.1	Situación distancia/tiempo para cada período del experimento.	91
G.1	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos individual y salario fijo, en términos de velocidad, para períodos 1 y 5.	94
G.2	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos grupal y salario fijo, en términos de velocidad, para períodos 1 y 5.	95
J.1	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos individual y salario fijo, en términos de tiempo en paradero, para períodos 7 y 10.	98
J.2	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos grupal y salario fijo, en términos de tiempo en paradero, para períodos 7 y 10.	99
N.1	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos individual y salario fijo, en términos de distancia trasera, para período 6.	103
N.2	Representación gráfica del <i>test</i> K-S comparando contratos grupal y salario fijo, en términos de distancia trasera, para período 6.	104

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Composición de la muestra por edad y género.	13
4.1	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.05$, comparando decisiones de velocidad entre contrato individual y grupal.	30
4.2	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.05$, comparando decisiones de esfuerzo entre contrato individual y grupal.	38
4.3	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando distancias con respecto al bus trasero entre contrato individual y grupal.	45
4.4	<i>Test t</i> de poder estadístico para diferencia de medias entre esquemas de pago individual y grupal, en términos de pasajeros totales del sistema.	49
4.5	<i>Test t</i> de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y grupal, en términos de tiempo extra total en paradero.	52
4.6	<i>Test t</i> de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y grupal, en términos de energía final.	54
C.1	Tabla de notas entregada a los participantes para que registren sus acciones durante la sesión.	89
D.1	Parámetros utilizados para la calibración del juego experimental.	90
H.1	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de velocidad entre contrato individual y salario fijo.	96
H.2	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de velocidad entre contrato grupal y salario fijo.	96
I.1	Detalle de las decisiones de velocidad por período agrupadas por tipo de contrato.	97

K.1	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de esfuerzo entre contrato individual y salario fijo.	100
K.2	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de esfuerzo entre contrato grupal y salario fijo.	100
L.1	Detalle de las decisiones de esfuerzo por período agrupadas por tipo de contrato.	101
M.1	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando distancias traseras entre contrato individual y salario fijo.	102
M.2	<i>Test</i> de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando distancias traseras entre contrato grupal y salario fijo.	102
O.1	Detalle de las distancias con respecto al bus trasero por período agrupadas por tipo de contrato.	105
P.1	<i>Test</i> t de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y salario fijo, en términos de pasajeros totales del sistema.	106
P.2	<i>Test</i> t de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago grupal y salario fijo, en términos de pasajeros totales del sistema.	106
Q.1	<i>Test</i> t de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y salario fijo, en términos de tiempo extra total en paradero.	107
Q.2	<i>Test</i> t de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago grupal y salario fijo, en términos de tiempo extra total en paradero.	107
R.1	<i>Test</i> t de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y salario fijo, en términos de la energía final.	108
R.2	<i>Test</i> t de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago grupal y salario fijo, en términos de la energía final.	108

ABSTRACT

Contract schemes have a direct impact on the decision-making of rational agents, as they seek to maximize their personal utility by making the least possible effort (Bolton & Dewatripont, 2005). The effect of different payment settings also depends on the type of organization in which they are applied, whether public or private (Burgess, 2003).

A particular example that shows how payment and incentive schemes affect an organization is the case of public transportation. Previous research argues that paying drivers based on their individual performance induces the agents to compete for passengers (Díaz, Gómez-Lobo, & Velasco, 2004; Muñoz & Gschwender, 2008), causing races between drivers, even when they belong to the same institution. On the other hand, drivers under fixed-wage contracts have no incentive towards competition.

In this research, performance of the two compensation schemes is compared with a team based contract. Operational decisions made by agents are analyzed and how they affect the system as a whole. A controlled experimental setting was carried out, where subjects decided on how to perform a task making a trade-off between effort and production.

Results show that, in general, the team based contract is able to induce levels of effort similar to the individual pay-for-performance scheme. In addition, the group contract generates positive consequences for a public transport system, such as regular time intervals between buses and a uniform distribution in the passenger load, even considering the appearance of the free-rider phenomenon.

Keywords: incentives, payment schemes, contracts, teams, public transport, drivers, free-riders.

RESUMEN

Los esquemas de incentivos tienen un impacto directo en la toma de decisiones de agentes racionales, pues buscan maximizar su utilidad personal realizando el menor esfuerzo posible (Bolton & Dewatripont, 2005). El efecto de los distintos esquemas de pago, además, depende del tipo de organización en el que sean aplicados, ya sean públicas o privadas (Burgess, 2003).

Un ejemplo particular que muestra cómo distintos contratos e incentivos afectan a una organización es el caso del transporte público. Investigaciones previas muestran que recompensar a los conductores basándose en su desempeño individual induce a los agentes a competir por pasajeros (Díaz et al., 2004; Muñoz & Gschwender, 2008), provocando carreras entre choferes en las calles, incluso cuando pertenecen a la misma institución. Por otro lado, cuando los conductores son recompensados a través de un esquema por salario fijo, se desincentiva la competencia entre agentes.

En esta investigación se compara el desempeño de los dos esquemas de compensación mencionados con una configuración grupal con pago por producción conjunta. Se analizan las decisiones operacionales adoptadas por los agentes y cómo afectan al sistema. Lo anterior se lleva a cabo a través de un experimento de laboratorio, donde los participantes deben decidir su comportamiento considerando un *trade-off* entre esfuerzo y producción.

Los resultados muestran que, en general, la configuración de pago grupal es capaz de inducir niveles de esfuerzo similares al esquema individual. Además, el contrato grupal genera consecuencias positivas para un sistema de transporte público, tales como intervalos regulares de tiempo entre buses y una distribución uniforme en la carga de pasajeros, incluso considerando la aparición del fenómeno del *free-rider*.

Palabras Claves: incentivos, esquemas de pago, contratos, equipos, transporte público, conductores, *free-riders*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

Los esquemas de pago impuestos a agentes tienen una incidencia directa en su comportamiento y toma de decisiones, pues ellos buscan maximizar su utilidad realizando el menor nivel de esfuerzo posible (Bolton & Dewatripont, 2005). El efecto de las distintas configuraciones de pago, además, depende del tipo de organización en el que sean aplicadas, ya sean públicas o privadas (Burgess, 2003).

En primer lugar, las compensaciones basadas en pagos por desempeño individual son efectivas para inducir mayores niveles de esfuerzo y, por tanto, incrementar los niveles de productividad de la organización (Itoh, 1991; Lazear, 2000; Mookherjee, 1984; Holmstrom & Milgrom, 1991). Este incentivo a realizar esfuerzos más altos viene dado por la competencia entre agentes y, en general, son deseables cuando los agentes no pueden incidir en el resultado de otros agentes (Itoh, 1992).

En segundo lugar, los contratos basados en configuraciones grupales buscan incentivar el desempeño conjunto de un equipo de agentes cuando los integrantes de un equipo son capaces de influir en el desempeño de sus compañeros. La idea de un esquema de pago grupal es inducir la cooperación y coordinación de esfuerzos entre los agentes, maximizando el pago que reciben por el desempeño del equipo (Che & Yoo, 2001; Holmström, 1982; Macho-Stadler & Pérez-Castrillo, 1993; McAfee & McMillan, 1991). En este tipo de configuraciones, no es posible desagregar ni observar la contribución marginal de cada uno de los agentes, por lo que naturalmente se produce la aparición del fenómeno del *free-rider* (Itoh, 1991).

En tercer lugar, los esquemas de pago por salario fijo son valiosos cuando el desempeño final de los agentes, además de considerar su esfuerzo individual, depende de una componente ruidosa exógena (Groves, 1973). Cuando el nivel de ruido es considerable, se debe compensar al agente averso al riesgo con una componente mayor de salario

fijo (Burgess, 2003). Por otro lado, este tipo de compensaciones no logra incentivar a los agentes a realizar altos niveles de esfuerzo, pues su recompensa no depende de su nivel de desempeño.

Un ejemplo que muestra cómo afectan estas configuraciones de pago a una organización pública es el caso de Transantiago, el sistema de transporte público superficial de la ciudad de Santiago, Chile. Previo al año 2007, el pago a los conductores de buses dependía directamente del número de pasajeros transportados. Este esquema de salarios incentivaba la competencia por pasajeros entre los choferes (Díaz et al., 2004; Muñoz & Gschwender, 2008). Esta última consecuencia provocaba carreras entre los conductores, incluso cuando pertenecían a la misma empresa o ruta. Además, producto del mismo incentivo a captar la mayor cantidad de pasajeros posibles para maximizar sus ganancias, los choferes tendían a detenerse sólo en las paradas de buses con mayor demanda, dejando de lado aquellas que no les reportaban mayores ganancias. Así, la competencia era el principal instrumento con el cual los conductores generaban sus ingresos.

Con la aparición de Transantiago, en febrero de 2007, uno de los principales cambios fue la obligación de adoptar un esquema de pago fijo entre las empresas operadoras y los conductores (Briones & Gómez-Lobo, 2013; Tiznado, Galilea, Delgado, & Niehaus, 2014). Es decir, las carreras entre choferes de buses desaparecieron al desincentivar la competencia por captar más pasajeros. Si bien esto mejoró el servicio en términos de seguridad ante accidentes para los pasajeros, también se tradujo en mayores tiempos de espera y viaje, atochamiento de usuarios en paraderos de buses, aumento de la evasión y un incremento en los costos generalizados de viaje (Briones & Gómez-Lobo, 2013) en una ciudad donde más de la mitad de los viajes motorizados se realiza en transporte público (Muñoz, Thomas, Navarrete, & Contreras, 2015).

Actualmente, el Estado paga a las empresas operadoras con respecto a los índices de calidad y cumplimiento decretados por el planificador central (Beltrán, Gschwender, & Palma, 2013). Pese a que el riesgo de la demanda es asumido en mayor proporción por el Estado, aproximadamente un 70% de los ingresos de las empresas operadores provienen

del pago por pasajero transportado (Gómez-Lobo & Briones, 2014). Es decir, el número de transacciones electrónicas incide directamente en los ingresos de las empresas operadoras, mientras que los conductores no, pues mantienen un salario fijo. En la práctica, hay permanentes negociaciones para ajustar el pago por pasajero transporte en el tiempo.

El trabajo y esfuerzo de los conductores (agentes) es importante tanto para la calidad de servicio percibida por los usuarios del transporte público como para las empresas operadoras (de la Vega, 2018). El comportamiento al conducir y el trato con los usuarios son dos de las características más valoradas por los pasajeros del transporte público de Santiago. Por su parte, la toma de decisiones operacionales de los conductores impacta en los índices de cumplimiento de la empresa operadora asociada. El esquema de incentivos impuesto a los choferes tendrá un impacto en esta dimensión.

Dado lo anterior, este estudio se centrará en analizar el impacto que tienen estas distintas modalidades de pago en las decisiones y niveles de esfuerzo que desempeñan agentes racionales en un contexto de transporte público superficial. En particular, se compararán las diferencias de comportamiento para tres tipos de contratos: salario fijo, pago por pasajero transportado individual y pago por pasajero transportado en una configuración grupal.

La investigación se llevará a cabo a través de un experimento de laboratorio. En él, sujetos racionales toman el rol de un conductor de bus de transporte público y deben ir tomando decisiones a lo largo del tiempo. Estas decisiones incluyen interacción con otros conductores de buses y decisiones de velocidad y esfuerzo por captar pasajeros. Se espera que los distintos esquemas de pago e incentivos tengan una incidencia directa en esta toma de decisiones y en la valorización de los distintos *trade-offs* presentes.

En particular, los resultados de la investigación alcanzan una mayor relevancia en contextos donde el *trade-off* entre esfuerzo y producción, en términos de pasajeros controlados, sea mayor. Por ejemplo, estos resultados serían más relevantes en ciudades que

enfrentan altos niveles de evasión y donde el esfuerzo ejercido por el chofer para controlar esta evasión pueda incidir en la probabilidad de pago del pasajero.

1.2. Motivación y Objetivos

Los agentes racionales buscan maximizar su beneficio individual, sujeto a las restricciones impuestas en su contrato y a la estructura de incentivos asociada (Holmström, 1979; Holmström & Milgrom, 1994). El objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento que adoptan agentes racionales cuando son inducidos a través de tres estructuras de pago: salario fijo, pago por producción individual y pago por producción en una configuración de equipo. Este experimento se realizará bajo el contexto de las labores de un chofer de bus del transporte público, donde su producción corresponde al número de pasajeros transportados. El comportamiento es medido a través de distintas variables operacionales, tales como pasajeros transportados, distancias con respecto a los buses adyacentes, decisiones de velocidad y esfuerzo por captar un mayor número de pasajeros.

El experimento de laboratorio busca captar las diferentes respuestas y estrategias que adoptan agentes económicos racionales en un contexto de transporte público superficial. En este caso particular, la estructura de incentivos cumple un rol importante en el comportamiento de los agentes y en la toma de decisiones operacionales. Estas diferencias tendrán un impacto en la calidad de servicio del sistema (de la Vega, 2018), en términos de las variables mencionadas anteriormente.

Así, se espera poder analizar el efecto de los distintos esquemas de pago a través de los perfiles de velocidad adoptados por los agentes, el esfuerzo que realizan por captar un mayor número de pasajeros y las distancias con respecto a los buses adyacentes.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- (i) Diseñar una estructura de incentivos grupales, tal que el pago resultante a un agente dependa del desempeño agregado del equipo. En el contexto de transporte público de buses, que el pago de un agente dependa de la cantidad de pasajeros transportados por el equipo al que pertenece.
- (ii) Diseñar un experimento de laboratorio que permita estudiar el impacto y las diferencias de comportamiento que adoptan los agentes racionales al ser incentivados a través de distintos esquemas de pago.
- (iii) Analizar la aparición del fenómeno del *free-rider* para el esquema de pago por desempeño grupal.
- (iv) Analizar y comparar los perfiles de velocidad, esfuerzos realizados, pasajeros transportados y distancias con respecto a los buses adyacentes para los distintos tipos de contrato.
- (v) Determinar si el esquema grupal propuesto incentiva comportamientos y estrategias deseables para un sistema de transporte público superficial.

1.3. Estructura

El documento consta de cinco capítulos: introducción, revisión bibliográfica, diseño experimental, resultados y conclusiones.

El segundo capítulo presenta la revisión de literatura necesaria para entender el preámbulo de la investigación y está subdividida en dos temas: teoría de contratos, necesaria para comprender la relación de pago entre un principal y múltiples agentes, ya sea en esquemas grupales, individuales o de salario fijo; incentivos y contratos en transporte público, donde se contextualizan las particularidades de un sistema de transporte, la producción como el número de pasajeros, la empresa operadora como un principal y los conductores como agentes.

El tercer capítulo se refiere al diseño experimental y se divide en cinco secciones: procedimiento y muestra de sujetos, donde se caracteriza a la muestra y el destino de las respuestas; descripción del esquema grupal, donde se propone una configuración de equipo con pago por desempeño conjunto; descripción del experimento, sección en la que se detalla el experimento realizado en la investigación, las variables de decisión y esquemas de pago; hipótesis a comprobar, área que plantea los resultados esperables para los distintos esquemas de pago en un contexto de transporte público; limitantes del experimento de laboratorio, donde se presentan las características no abarcables por la investigación.

El cuarto capítulo presenta los principales resultados de la investigación en tres áreas: diferencias en decisiones operacionales, donde se exponen los resultados respecto a la velocidad y esfuerzo adoptados por los agentes para las distintas configuraciones de pago; estrategias y comportamientos, donde a través de las respuestas y datos se puede inferir el raciocinio realizado por cada agente para tomar sus decisiones; ventajas y desventajas de cada esquema, donde se discuten las bondades y dificultades que tienen los resultados anteriores en un contexto particular como el transporte público.

En el quinto y último capítulo se discuten las principales conclusiones, recomendaciones para un contexto de transporte público, las limitantes de la investigación y futuras líneas de investigación.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presenta el marco teórico en el que se desarrolla esta investigación. En primer lugar, se estudian los conceptos que buscan modelar la relación entre la entidad que busca incentivar un cierto nivel de esfuerzo a mínimo costo (principal) y quienes realizan esta acción (agentes). Tanto la teoría económica como el comportamiento de los agentes económicos racionales son modelados a través de la Teoría de Contratos, en particular, en un contexto de equipos y riesgo moral. En segundo lugar, se analiza el estado del arte con respecto a los contratos dentro del transporte público, que es el caso particular de la investigación. Se consideran las diferencias que existen al configurar un esquema de incentivos en el sector público, en comparación con el sector privado. Estas dos bases bibliográficas permitirán justificar el experimento realizado en la investigación, además de contextualizar la importancia que tienen los esquemas de pago e incentivos en el comportamiento productivo de agentes racionales, en particular, en el transporte público.

2.1. Teoría de contratos

La base que se utilizará para modelar y entender la relación que existe entre los agentes económicos racionales y la entidad que busca generar un cierto nivel de esfuerzo a través de un esquema de pago es la teoría de contratos. En particular, el experimento que se llevará a cabo en esta investigación busca comparar las medidas de desempeño de tres tipos de contrato: salario fijo, pago por producción individual y pago por producción en una configuración grupal.

En primer lugar, la teoría de contratos modela matemáticamente la relación de pago entre un principal y varios agentes (Bolton & Dewatripont, 2005). El principal busca proponer un esquema de incentivos capaz de inducir a los agentes a realizar un cierto nivel de esfuerzo a mínimo costo (Itoh, 1991). La dificultad surge al considerar que el principal no es capaz de observar directamente los esfuerzos de los agentes, sino que sólo puede leer

señales difusas sobre éstos, llamadas variables de desempeño (Holmström, 1982; Macho-Stadler & Pérez-Castrillo, 1993; McAfee & McMillan, 1991). Así, los contratos entre el principal y los agentes no pueden ser contingentes en el esfuerzo (Rayo, 2007). Esta característica particular es conocida como *Moral Hazard* o Riesgo Moral.

En segundo lugar, la presencia de asimetrías de información en la relación principal-agente se denomina *Adverse Selection* o Selección Adversa. El *output* o resultado de cada agente, medido a través de sus variables de desempeño, no proviene sólo de una señal ruidosa sobre su esfuerzo, sino que también considera su nivel de habilidad (Hamilton, Nickerson, & Owan, 2003). El principal no es capaz de desagregar el resultado en estos dos términos, por lo que no puede identificar si el resultado proviene desde la habilidad del agente o desde el esfuerzo no observable realizado. Dado esto, el agente puede obtener ganancias al no revelar el nivel de habilidad que posee, lo que resulta en pérdidas de eficiencia.

En tercer lugar, la investigación utiliza la submateria de *teams* o equipos. La configuración de equipo ha sido estudiada por varios autores en el pasado (Arya, Fellingham, & Glover, 1997; Che & Yoo, 2001; Groves, 1973). El trabajo grupal busca obtener potenciales ganancias en eficiencia basadas en la cooperación y la coordinación de esfuerzos (Macho-Stadler & Pérez-Castrillo, 1993). Por otro lado, la principal consecuencia negativa de este esquema de incentivos grupales es el fenómeno del *free-rider*. Este último efecto se da al considerar que, dada una estructura de producción conjunta, el principal sólo es capaz de observar el resultado del equipo de forma agregada, por lo que no puede identificar el aporte marginal de cada uno de los agentes. Las principales herramientas estudiadas para contrarrestar este fenómeno son el *side-contracting* (contratos horizontales) y el monitoreo mutuo.

Estas dos últimas herramientas son consideradas como incentivos implícitos dentro de una organización. A diferencia de los esquemas de pagos propuestos por el principal, este tipo de contratos informales se dan entre los mismos agentes y buscan generar reglas que regulen el comportamiento eficiente de los trabajadores (Meyer & Vickers, 1997).

Además, el monitoreo mutuo incentiva el aprendizaje y la cooperación entre los miembros de un equipo, donde los integrantes de habilidad alta son capaces de enseñar e instruir a los de habilidad baja.

Se considera un principal neutral al riesgo, agentes aversos al riesgo y un juego repetido debido a las interacciones a largo plazo entre los trabajadores y la firma. Dado lo anterior, los esquemas de compensación que premian a un agente cuando el desempeño de su compañero es adecuado son preferidos a la competencia entre trabajadores, sobre todo cuando los agentes pueden incidir en el desempeño de sus compañeros (Che & Yoo, 2001; Itoh, 1992; Macho-Stadler & Pérez-Castrillo, 1993; Meyer & Vickers, 1997). Además, la evaluación de desempeño relativa (competitiva) incentiva el sabotaje entre trabajadores de la misma firma (Mookherjee, 1984).

En una configuración de equipos, los agentes coordinan sus esfuerzos y logran compartir los riesgos de una manera Pareto eficiente (Holmström & Milgrom, 1990; Itoh, 1993). La evaluación de desempeño conjunta (*joint-performance*) provee motivación a los agentes más bajos en habilidad, al observar a los más habilidosos (Hamilton et al., 2003). Además, los más habilidosos tienen incentivos a castigar a los que desempeñen esfuerzos subóptimos. Este tipo de contratos horizontales e informales no tienen costos para el principal, por lo que los costos de incentivar a sus trabajadores disminuyen. La dependencia mutua y la habilidad potencial de poder sabotear a los otros agentes es muy valiosa, pues empodera a los trabajadores a castigar a quienes se estén desviando (Che & Yoo, 2001).

En el Anexo A se encuentra una descripción detallada del modelo matemático que explica la relación entre un principal y múltiples agentes. En particular, cuando la relación entre los resultados de los agentes es nula o positiva, el principal se beneficia de una configuración grupal, donde los miembros del equipo son capaces de generar contratos implícitos entre ellos y monitorearse mutuamente en el largo plazo (Holmström & Milgrom, 1990; Itoh, 1991).

2.2. Incentivos y contratos en el transporte público

Un ejemplo de estudio particular es el caso del transporte público y la operación de los conductores de buses. Los choferes deben tomar decisiones operacionales, tales como la velocidad de circulación y un esfuerzo por captar pasajeros. Este comportamiento está influenciado directamente por la estructura de pagos impuesta.

Dado que la investigación analiza las diferencias de comportamiento entre agentes económicos racionales con respecto a tres esquemas de incentivos propuestos por el principal, se considera la situación en que los conductores de buses son aversos al riesgo, mientras que el principal es neutral al riesgo. Esta consideración impacta directamente en la estructura de incentivos y pagos, puesto que la señal que recibe el principal, con respecto al esfuerzo realizado por el agente, incluye una componente de ruido aleatorio. Es importante notar que, al incentivar una estructura grupal de trabajo, los riesgos se dispersan entre los miembros del equipo, fenómeno conocido como *risk-sharing* o riesgo compartido (Harris & Raviv, 1979; Itoh, 1993). Con esta estructura, los conductores se comportan como si fuesen un solo agente, cuya tolerancia al riesgo es la suma de las tolerancias de cada chofer. Así, el principal reduce el riesgo sin necesidad de reducir los incentivos en las variables de desempeño (Holmström & Milgrom, 1990).

En este contexto, la empresa operadora (quien actúa como el principal) observa las variables de desempeño de los conductores, consideradas señales sobre el esfuerzo realizado por estos, y determina el pago a cada agente. Por otro lado, los agentes de un equipo interactúan entre ellos observando las decisiones de esfuerzo de forma más directa en el largo plazo (Holmström, 1979; Varian, 1990), generando incentivos implícitos entre ellos, denominado monitoreo entre pares o *peer-monitoring*.

Tomando en cuenta la teoría económica anteriormente descrita, en el siguiente capítulo se describe el experimento de laboratorio desarrollado en esta investigación, que busca analizar el efecto de los distintos esquemas de pago e incentivos en las decisiones productivas y operacionales de los agentes. A continuación, se describe su diseño experimental,

ejercicio de muestreo, configuración e incentivo grupal propuesto y una descripción detallada del experimento.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente capítulo describe el experimento de laboratorio realizado en esta investigación. En primer lugar, se establece una simulación controlada que busca representar situaciones en las que agentes económicos racionales toman decisiones operacionales, dados sus respectivos esquemas de incentivos, en un contexto de transporte público superficial, tales como su perfil de velocidad y el nivel de esfuerzo por captar pasajeros. En segundo lugar, se busca medir los efectos que tienen los distintos esquemas de pago sobre las decisiones que toman los agentes en la operación de buses del transporte público. Para los propósitos anteriores, se diseñó un experimento donde los participantes deben tomar decisiones de esfuerzo en contextos dinámicos, donde existe un *trade-off* entre las distintas alternativas.

El experimento de laboratorio busca simular el contexto en el que los conductores de buses toman decisiones operacionales basados en su esquema de pago. En él, los agentes deben decidir sus acciones y esfuerzos, considerando los *trade-offs* entre las distintas opciones. El objetivo es lograr identificar y cuantificar las distintas estrategias y comportamientos adoptados por los agentes racionales, dependiendo de su tipo de contrato.

Se estudian tres tipos de contrato en particular: (1) salario fijo; (2) pago individual por pasajero transportado; (3) pago grupal por pasajero transportado por el equipo.

3.1. Procedimiento y muestra de sujetos

El diseño del experimento fue programado y ejecutado a través de los *softwares* z-Tree (Fischbacher, 2007) y z-Leaf, programas que permiten plantear experimentos económicos a través de una interfaz gráfica. Los participantes del experimento corresponden a estudiantes de pregrado y postgrado de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, además de profesionales dedicados al rubro del transporte público. El reclutamiento se realizó en línea, a través de las plataformas de cursos de la Escuela, grupos de investigación de postgrado y listas de correos electrónicos de personas ligadas al

transporte en Chile. La invitación fue abierta y voluntaria. En total, se obtuvo una muestra de 157 participaciones asignadas de manera aleatoria a los tres esquemas de pago. 52 fueron asignados a un esquema de salario fijo, 52 a un contrato con pago individual por pasajero transportado y 53 a la configuración grupal con pago por pasajero transportado por el equipo.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo durante el mes de noviembre de 2020, por lo que se adoptaron las medidas sanitarias atinentes a la pandemia. Cada sesión experimental se realizó de manera individual a través de la plataforma Zoom. Al igual que la participación, el proceso de reclutamiento e inscripción se llevó a cabo en línea.

En la Tabla 3.1 se muestra la composición de la muestra según tipo de contrato, edad y género:

Tabla 3.1. Composición de la muestra por edad y género.
Fuente: Elaboración propia.

	Grupal		Individual		Salario fijo	
Rango etario	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
18 - 24 años	13	9	16	6	12	10
25 - 26 años	14	6	13	7	16	8
27+ años	9	2	5	5	5	1
Total	36	17	34	18	33	19

Cuando la muestra de sujetos experimentales corresponde a agentes profesionales o con experiencia económica, su comportamiento se acerca más al equilibrio racional a través de sus respuestas (Palacios-Huerta, 2003).

Con la finalidad de que los participantes tomaran decisiones racionales y justificadas a través de su comportamiento, maximizando su utilidad esperada al final del experimento,

se propuso un premio de US\$ 70 al participante que obtuviera la mayor cantidad de ganancias para cada tipo de contrato.

Luego de cada participación, los datos sobre las decisiones adoptadas por cada agente son registradas en un documento de texto. Así, al finalizar el experimento, se genera una base de datos en el *software* estadístico R para poder analizar los datos. Usando series de tiempo para las variables de decisión y *tests* estadísticos como Kolmogórov-Smirnov se pueden comparar los comportamientos de los participantes, agrupándolos por su esquema de pago, con respecto a variables de desempeño y producción como el número de pasajeros transportados, su perfil de velocidad y la distancia con respecto a los buses adyacentes.

3.2. Descripción del esquema grupal de incentivos propuesto

Antes de comenzar el experimento, cada participante sabe con antelación el tipo de contrato que determinará su estructura de pago. Es decir, se enfrentan a una única estructura de incentivos entre tres: salario fijo, pago por producción individual o pago por producción grupal.

La estructura de los contratos basados en salario fijo y los esquemas de incentivos con pago por producción individual es trivial, pues están basados en el individuo particular. Por otro lado, las configuraciones grupales deben estar definidas previamente, pues su estructura determinará el comportamiento de los miembros del equipo para el caso del esquema de pago grupal.

Para este contexto particular de transporte público superficial, se propone estructura presentada en la Figura 3.1:

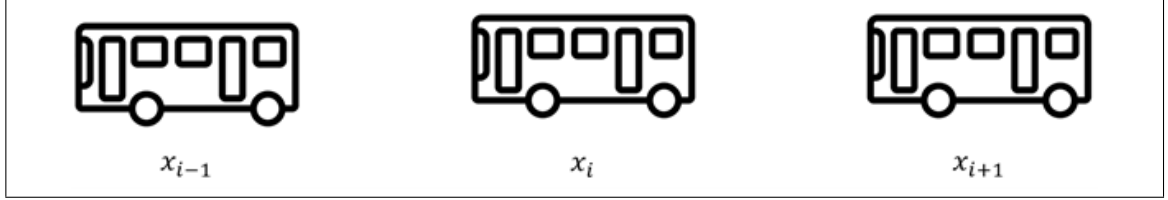


Figura 3.1. Configuración de pago grupal por producción conjunta.
Fuente: Elaboración propia.

Donde la producción (o resultado) del agente i es x_i . El esquema de pago propuesto en esta investigación es el que se muestra en la Ecuación 3.1:

$$w_i = w(x_{i-1}, x_i, x_{i+1}) = P_G * (x_{i-1} + x_i + x_{i+1}) \quad (3.1)$$

Considerando que el pago al agente i está dado por w_i a través de una función de compensación w .

En particular, el pago por período corresponde a la suma simple de las producciones individuales de cada uno de los miembros, x_{i-1} , x_i y x_{i+1} , multiplicada por un parámetro de producción conjunta, P_G .

3.3. Descripción del experimento

Los participantes del experimento toman el rol de un conductor de bus del transporte público. Además de esta caracterización, cada uno tiene asignado un esquema de compensación conocido previamente.

Cada experimento individual consta de 10 períodos. En cada período, se considera la situación en la que el participante acaba de salir de un paradero, es decir, se enfrenta a un trayecto que debe recorrer para alcanzar el siguiente paradero y suplirlo. En el Anexo B se puede encontrar un esquema que ejemplifica este contexto.

Por un lado, los jugadores tienen la siguiente información con respecto al estado de su entorno:

- Distancia (en minutos) con respecto al bus delantero.
- Distancia (en minutos) con respecto al bus trasero.
- Nivel de demanda del siguiente paradero.

Donde el nivel de demanda se conoce de forma discreta, es decir, el jugador sabe si el siguiente paradero tiene una tasa de afluencia muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto.

Así, con esta información, los participantes deben elegir:

- Velocidad de circulación para el siguiente trayecto (km/hr).
- Nivel de esfuerzo por captar pasajeros.

En la siguiente sección se explican las consecuencias que tienen las decisiones sobre estas variables operacionales y su impacto en el número de pasajeros controlados, tanto para el bus del participante como para los buses adyacentes.

La velocidad de circulación, que no considera el tiempo en paraderos, es una variable entera que puede tomar valores entre 20 y 40 km/hr, mientras que el nivel de esfuerzo es una variable discreta que puede tomar cinco posibles valores, desde un esfuerzo nulo hasta un máximo esfuerzo por captar más pasajeros.

Esforzarse por captar pasajeros es una actividad costosa para los conductores, en términos de energía personal y tiempo (Tiznado et al., 2014). A mayor esfuerzo, la energía del conductor disminuye y debe dedicar más tiempo en el paradero.

Al final de cada período, los participantes observan el número de pasajeros que lograron ser controlados (es decir, aquellos usuarios que efectivamente realizaron la transacción electrónica al abordar el bus) y sus ganancias respectivas, dependiendo de las decisiones que hayan tomado y el esquema de pago correspondiente. En el siguiente período, las distancias temporales con respecto a los conductores adyacentes se actualizan, basado en

las decisiones tomadas en el período anterior, y se muestra el nivel de demanda del nuevo siguiente paradero.

Es importante notar que, pese a que los agentes tienen información de utilidad con respecto a su entorno en todo momento, a través de las distancias temporales y la demanda de los siguientes paraderos, los participantes no tienen certeza sobre las decisiones que toman los buses adyacentes. Es decir, el agente sólo puede ver el desempeño de sus compañeros a través de su resultado, al igual que el principal, que corresponde al número de pasajeros transportados en cada período, pero no es capaz de desagregar ni identificar el nivel de esfuerzo.

Antes de comenzar cada sesión experimental, los participantes cuentan con 5 períodos de práctica. Esta instancia es útil para dos objetivos: (1) familiarizarse con la interfaz gráfica del experimento; (2) analizar cuál podría ser su estrategia de comportamiento para el experimento real. Los períodos de prueba no afectan a las ganancias finales. Una vez finalizada esta instancia, el experimento se reinicia.

En el Anexo C se encuentra el manual entregado a cada uno de los participantes. En él, se detallan las características del juego, el rol de los participantes y la relación entre las variables.

En el Anexo D se especifican los parámetros operacionales utilizados para el juego experimental.

3.3.1. Variables del juego experimental

En la presente sección se explican las variables consideradas dentro del juego experimental, que buscan replicar el contexto ambiental en el que los conductores del transporte público toman sus decisiones operacionales de forma dinámica.

3.3.1.1. Velocidad

La velocidad promedio (km/hr) con la que se recorre un trayecto influye directamente en la distancia temporal con respecto a los buses adyacentes.

Al recorrer un trayecto a una velocidad alta, con respecto a la velocidad de los buses adyacentes, ocurren dos situaciones:

- Disminuye la distancia con respecto al bus delantero.
- Aumenta la distancia con respecto al bus trasero.

Por otro lado, si se recorre un trayecto a una velocidad baja, con respecto a la velocidad de los buses adyacentes:

- Aumenta la distancia con respecto al bus delantero.
- Disminuye la distancia con respecto al bus trasero.

Además, la distancia entre dos buses incide en la cantidad de usuarios que se acumulan en un paradero.

Es decir, al decidir una velocidad baja:

- Se acumularán más usuarios en el paradero siguiente, aumentando los potenciales pasajeros que podrá captar el jugador.
- Se acumularán menos usuarios para el bus trasero, disminuyendo el número de pasajeros que podrá captar el bus detrás del jugador, perjudicando el desempeño de su compañero.

Mientras que si decide una velocidad alta:

- Se acumularán menos usuarios en el paradero siguiente (incluso podría no haber pasajeros si termina muy cerca del bus delantero), disminuyendo los potenciales pasajeros que podrá captar el jugador.

- Se acumularán más pasajeros para el bus trasero, aumentando el número de pasajeros que podrá captar el bus detrás del jugador, resultando en mayores ganancias para su compañero.

En resumen, el perfil de velocidad elegido por los participantes afecta tanto la cantidad de pasajeros captados por el jugador como por los buses adyacentes. Esta acción no constituye un costo (esfuerzo) personal por parte del conductor.

En el Anexo 5 se muestra el algoritmo que permite actualizar las distancias entre un participante y los buses adyacentes, dadas sus decisiones.

3.3.1.2. Esfuerzo

Esforzarse por captar más pasajeros influye directamente en la proporción de usuarios que serán controlados al abordar el bus.

Para el juego experimental, existen cinco posibles niveles de esfuerzo. Estos niveles van desde un control nulo hasta un máximo esfuerzo. Un control nulo se traduce en que un 60% (DTPM, 2018) de los usuarios presentes en el paradero pagará su pasaje, mientras que un esfuerzo máximo provoca que un 95% de los usuarios realice la transacción electrónica.

Por otro lado, un mayor esfuerzo por captar pasajeros provoca que el bus deba detenerse por más tiempo en el paradero. A mayor control, más tiempo le dedica a cada pasajero.

Además, esforzarse por captar un mayor número de pasajeros representa un costo personal para el conductor, pues es una actividad estresante (Tiznado et al., 2014). A mayor control, la energía del conductor disminuye más rápido, por lo que terminará el experimento con un menor nivel de energía y una menor utilidad personal asociada a su cansancio.

3.3.2. Ganancias

Una vez que el jugador ha decidido sus acciones en un período, visualiza cuántos pasajeros logró transportar él y los buses adyacentes. Este resultado entrega las ganancias asociadas para ese período. La forma en la que se calculan las ganancias de cada período depende del esquema de pago asociado al jugador. Los tipos de contratos, esquemas de incentivos y pagos son detallados en la siguiente sección.

Una vez finalizado el experimento, el jugador ve:

- Total de pasajeros transportados por el bus trasero.
- Total de pasajeros transportados por el bus delantero.
- Total de pasajeros transportados por el jugador.
- Energía restante.
- Ganancias finales.

Así, las ganancias finales corresponden a la suma de las ganancias de cada período, que consideran las penalizaciones asociadas a infringir la distancia mínima permitida respecto a los buses adyacentes, más una bonificación por la energía residual del jugador.

3.3.3. Esquemas de incentivos y pagos

Cada participante es informado, previo al experimento, cuál es el esquema de incentivos que determina la forma en la que genera sus ganancias en cada período.

Hay tres esquemas de incentivos:

- (i) Salario fijo: el conductor recibe un monto fijo al final de cada período, independiente del número de pasajeros transportados por él o sus compañeros.
- (ii) Pago individual por pasajero transportado: el conductor recibe un monto por cada pasajero transportado en el período.

- (iii) Pago grupal por pasajero transportado por el equipo: el conductor forma parte de un equipo compuesto por él, el bus trasero y el bus delantero. Recibe un monto por cada pasajero transportado por el equipo en el período.

3.4. Hipótesis a comprobar

Las hipótesis del experimento tienen relación al comportamiento que tiene cada sujeto, dependiendo del esquema de pagos e incentivos en el que se desenvuelve. En particular, se espera que:

- Sujetos con un esquema de pago fijo no realicen esfuerzo por captar un mayor número de pasajeros, pues no se benefician al incrementar el número de pasajeros transportados y pierden su energía personal sin obtener recompensas. Al no esforzarse, se beneficiarán de la energía residual al final de los períodos experimentales. Su perfil de velocidad no tendrá grandes variaciones, pues su única preocupación es mantenerse dentro de la distancia permitida para no provocar penalizaciones. Según Briones y Gómez-Lobo (2013), el desincentivo a la competencia por captar más pasajeros es una consecuencia del esquema de pago fijo.
- Sujetos con un esquema individual con pago por pasajero transportado obtendrán más pasajeros, individualmente, con respecto al esquema de pago fijo y al esquema grupal con pago por pasajero transportado por el equipo. Captarán a sus pasajeros utilizando velocidades bajas y altos esfuerzos por captar pasajeros en los paraderos más concurridos, perjudicando el desempeño del bus trasero y acercándose a él. Por otro lado, cuando se enfrentan a paraderos de baja afluencia, preferirán altas velocidades y un bajo o nulo esfuerzo por captar pasajeros. Dado esto, se espera que su perfil de velocidad sea variable y extremo en el tiempo. La competencia por incrementar la producción individual que genera ese tipo de contrato también ha sido estudiada con anterioridad por Díaz, Gómez-Lobo y Velasco (2004) y Muñoz y Gschwender (2008).

- Sujetos con un esquema grupal con pago por pasajero transportado por el equipo obtendrán más pasajeros para el sistema en su totalidad. Captar pasajeros individualmente, perjudicando al bus trasero, no genera ganancias para el equipo en su totalidad, por lo que se espera que mantengan intervalos de tiempo regulares con respecto a los buses adyacentes. En términos de esfuerzo, se espera la aparición de distintas estrategias por parte de los participantes. Por un lado, habrá participantes que decidan bajos o nulos esfuerzos por captar pasajeros, para así ahorrar su energía y obtener ganancias al final del experimento; este comportamiento corresponde al fenómeno del *free-rider*. Por otro lado, existirán participantes que decidan altos esfuerzos por captar más pasajeros y aportar a las ganancias de su equipo.

En primer lugar, el esquema de pago por salario fijo no genera ningún incentivo para decidir mayores niveles de esfuerzo y generar una mayor producción. Dado que su desempeño en términos del número de pasajeros transportados no impacta su pago, los agentes debieran decidir no esforzarse por captar un mayor número de pasajeros, pues representa un costo (en términos de energía personal) que no obtiene recompensas. No obstante, los conductores deben cuidar la distancia temporal con respecto a los buses adyacentes, por lo que su única preocupación es elegir adecuadamente la velocidad para ajustarse al intervalo de distanciamiento permitido.

En segundo lugar, los sujetos con pago individual por pasajero transportado tienen incentivos para incrementar su producción personal, sin importar el desempeño del sistema en su totalidad ni la *performance* de los buses adyacentes. En él, los conductores debieran sólo preocuparse de captar la mayor cantidad de pasajeros posibles a mínimo costo, sin importar el impacto que su conducta pueda tener sobre el sistema en su totalidad. Es decir, debiesen preferir velocidades bajas y altos esfuerzos por captar pasajeros cuando se enfrentan a paraderos de alta demanda, pues se acumulará una mayor cantidad de pasajeros. Esta decisión tiene tres consecuencias negativas para el sistema: (1) los usuarios del paradero tendrán que esperar más, en promedio; (2) perjudica el desempeño

del bus trasero, pues disminuye la distancia temporal entre el conductor y su compañero; (3) provoca *bus-bunching* o apelotonamiento de buses con respecto al bus trasero. Por otro lado, los sujetos con este esquema de pago debieran utilizar los paraderos menos concurridos para recuperar la distancia perdida en el fenómeno anterior. Así, sus perfiles de velocidad resultan extremos, lo que también se traduce en potenciales problemas de seguridad vial.

En tercer lugar, los sujetos con una configuración grupal y pago por pasajero transportado por el equipo debieran buscar nuevas alternativas para obtener mayores ganancias. La estrategia de utilizar perfiles de velocidad extremos para captar pasajeros no es efectiva, pues perjudicar el desempeño de sus compañeros no aumenta las ganancias personales en este esquema de incentivos. En particular, se espera que los participantes con este tipo de contrato adopten estrategias para lograr mantener el centro temporal con respecto a los buses adyacentes. Con respecto al esfuerzo por captar un mayor número de pasajeros, existirá una batería de posibles comportamientos. Por un lado, un comportamiento válido es gastar grandes cantidades de energía para que las ganancias del equipo aumenten. Por otro lado, no gastar energía y ahorrarla para obtener ganancias al final del experimento también es un comportamiento racional. Este último fenómeno corresponde al *free-rider*, donde el agente espera a que sus compañeros realicen los esfuerzos para obtener ganancias, mientras él no incurre en ningún costo o penalización (Arya et al., 1997; Hamilton et al., 2003; Holmström, 1982; Itoh, 1991).

3.5. Limitaciones del experimento de laboratorio

El objetivo del experimento de laboratorio presentado en esta investigación es identificar y medir las diferencias de comportamiento en la toma de decisiones operacionales de agentes racionales cuando son incentivados a través de tres esquemas de pago. Pese a esto, hay ciertos aspectos que el experimento no es capaz de captar. A continuación, se presentan las limitaciones prácticas con respecto a la teoría de contratos e incentivos.

La presencia de asimetrías de información entre el principal y los agentes se denomina Selección Adversa. Este fenómeno representa la incapacidad de desagregar el resultado de un agente en términos de su esfuerzo personal y su habilidad intrínseca (Hamilton et al., 2003; McAfee & McMillan, 1991). Esto es importante en un contexto real, pues el agente puede obtener ganancias, en el largo plazo, al no revelar el nivel de habilidad que posee, para que así el principal piense que sus resultados provienen de altos niveles de esfuerzo. Pese a que el experimento está subdividido en períodos temporales, el esquema de pago de los agentes no se ve modificado en el tiempo. Es decir, el principal no puede obtener conclusiones con respecto a la habilidad de los agentes, para así modificar sus contratos. El experimento no será capaz de modelar ni analizar la presencia de este fenómeno.

La investigación y experimento incluyen una evaluación de desempeño conjunta, al considerar un esquema de pago grupal por pasajero transportado por el equipo. Una de las consecuencias negativas estudiadas con respecto a esta configuración es la aparición del fenómeno del *free-rider*, dado que el principal no es capaz de desagregar el aporte marginal de cada uno de los miembros de un equipo. Las principales herramientas para solucionar este fenómeno, propuestas por la teoría e investigaciones científicas anteriores, son el *side-contracting* y el monitoreo mutuo, denominadas incentivos implícitos, pues no representan un costo directo para el principal. Este tipo de contratos informales se dan en el largo plazo entre los agentes y buscan generar reglas que regulen el comportamiento eficiente entre los compañeros de un equipo (Meyer & Vickers, 1997). Además, el monitoreo mutuo incentiva el aprendizaje y la cooperación entre los agentes, donde los agentes de mayor habilidad enseñan e instruyen a quienes se desempeñan de maneras menos eficientes (Che & Yoo, 2001). Estas herramientas requieren de una interacción privada entre los agentes, además de relaciones personales que interactúen en el tiempo. El experimento no considera este tipo de interacciones, por lo que estas herramientas no serán captadas en esta investigación.

Cuando los agentes son capaces de observar las decisiones de esfuerzo con mayor detalle que el principal, se genera una nueva forma de incentivos implícitos denominada

peer-monitoring (Holmström, 1979; Varian, 1990). Este fenómeno también requiere de una interacción personal entre agentes en el largo plazo. El experimento presentado en la investigación no considera interacciones entre participantes, por lo que no existen relaciones entre ellos. Por otro lado, los buses adyacentes al participante son *bots* programados con cierto comportamiento no-inteligente, por lo que no modifican sus decisiones basándose en la estrategia del participante.

Tomando en cuenta las limitaciones y la especificación del experimento de laboratorio realizado, en el siguiente capítulo se presentan los resultados obtenidos y su respectivo análisis estadístico.

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los principales resultados de esta investigación, comparando las respuestas del experimento para los tres tipos de contrato propuestos. Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a cada uno de los tres esquemas de pago. En primer lugar, se analizan y comparan las decisiones operacionales escogidas por los agentes, como la velocidad de circulación y el esfuerzo por captar pasajeros para las tres configuraciones contractuales. En segundo lugar, se analizan las estrategias y comportamientos adoptados por los agentes en cada esquema de pago, para así estudiar el efecto que tienen sobre el sistema en su totalidad, en términos de regularidad y pasajeros totales transportados. En tercer lugar, se analiza la conveniencia, ventajas y desventajas de cada esquema de pago para un sistema de transporte público.

Los datos de cada experimento fueron importados al *software* estadístico R, para luego generar una base de datos con las decisiones operacionales de cada uno de los participantes por período. Tanto los gráficos, *tests* estadísticos y análisis fueron realizados a través del mismo programa.

Tanto las sesiones experimentales como las decisiones tomadas por los participantes son individuales y no influyen el comportamiento de los demás sujetos de la muestra. Para el experimento de 10 períodos, la muestra de 157 participantes se subdivide en:

- 52 respuestas para el esquema de pago por salario fijo.
- 52 respuestas para el esquema de pago individual por pasajero transportado.
- 53 respuestas para el esquema de pago grupal por pasajero transportado por el equipo.

4.1. Diferencias en la toma de decisiones operacionales

En cada período, los agentes tienen información de utilidad sobre su entorno antes de tomar sus decisiones. Por un lado, saben la distancia temporal con respecto al bus

delantero y bus trasero. Por otro lado, los participantes saben la demanda (tasa de llegada de usuarios) del paradero que deben suplir a continuación. Tanto la demanda, las distancias temporales con respecto a los buses adyacentes y las decisiones de velocidad y esfuerzo tendrán una incidencia directa en los pasajeros transportados por el agente particular y el desempeño de sus compañeros.

A continuación, se analizan estadísticamente las decisiones operacionales escogidas por los participantes.

4.1.1. Velocidad de circulación

La primera decisión que deben elegir los agentes, al enfrentarse a una situación de demanda conocida, esquema de pago asignado e información certera sobre la distancia con respecto a los buses adyacentes es la velocidad de circulación. En el experimento, los participantes podían elegir una velocidad entera entre 20 y 40 km/hr.

En ese instante, el agente no sabe qué decidirán sus compañeros, por lo que en primera instancia, no tiene certeza sobre qué velocidad adoptarán los conductores de los buses adyacentes.

En la Figura 4.1 se ilustran las decisiones de velocidad adoptadas por los agentes de manera agregada por tipo de contrato. Los datos puntuales representan la velocidad media, dada por la Ecuación 4.1:

$$\overline{v_{tk}} = \frac{\sum_{n=1}^{N_k} v_{ntk}}{N_k} \quad \forall t \in T, \forall k \in K \quad (4.1)$$

Donde $\overline{v_{tk}}$ representa la velocidad de circulación promedio elegida en el período t ($t = 1, \dots, 10$) para los agentes del tipo k ($k \in \{\text{grupal, individual, salario fijo}\}$).

Además, para cada período y tipo de contrato, se grafica la variación en las respuestas a través de su desviación estándar:

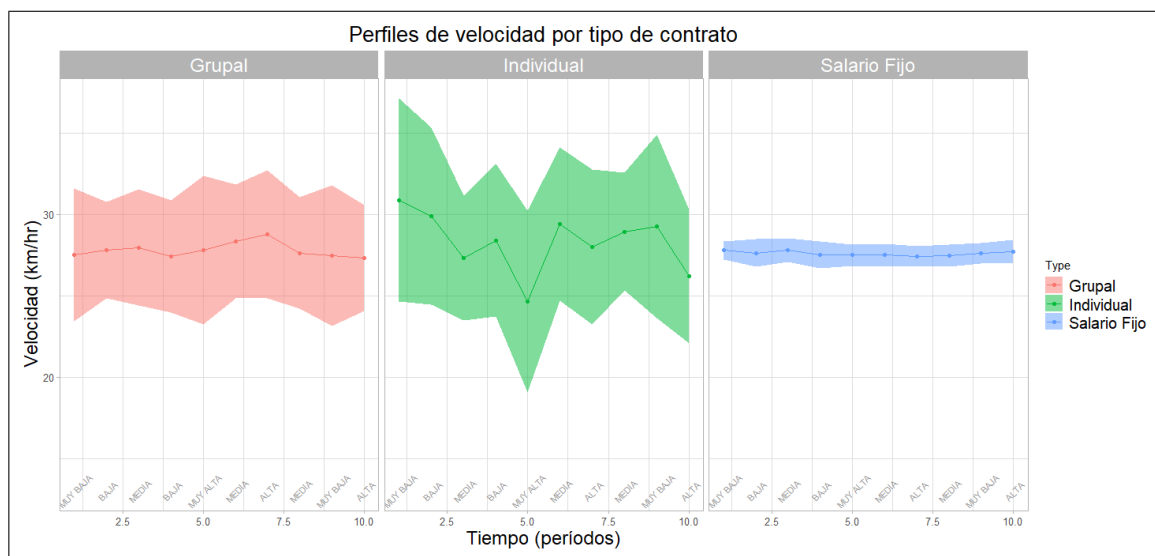


Figura 4.1. Decisiones de velocidad (media $\pm$ desviación estándar) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Por otro lado, la desviación estándar y la media son estadísticos que se ven afectados fuertemente por *outliers* (Leys, Ley, Klein, Bernard, & Licata, 2013), por lo que también se analizan los datos a través de *boxplots*, que permiten estudiar la distribución de las respuestas a través de sus cuartiles, tal como se muestra en la Figura 4.2:

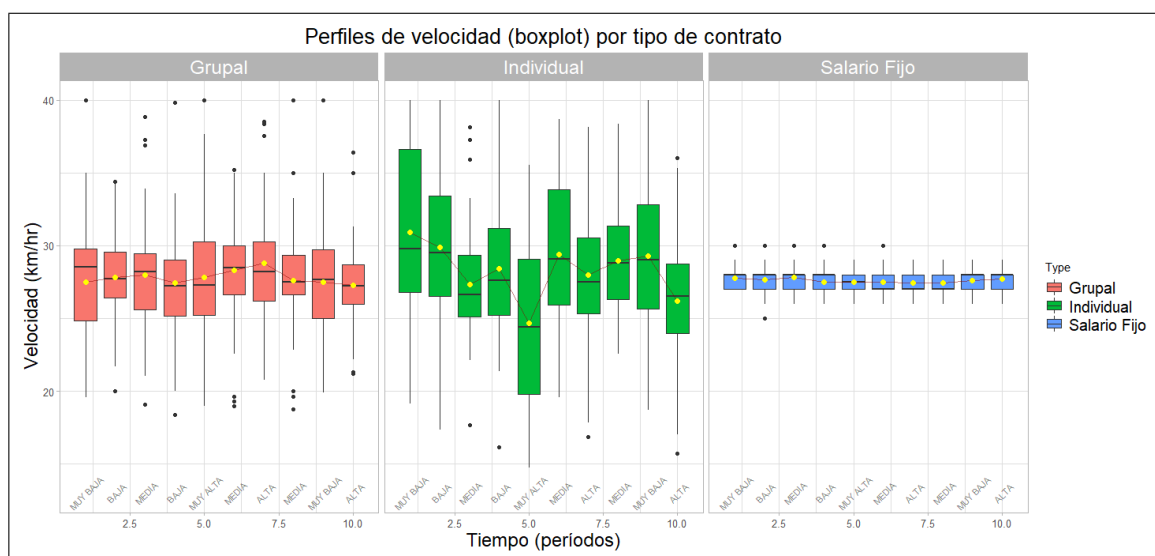


Figura 4.2. Decisiones de velocidad (*boxplot*) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

En la Figura 4.2 se muestran los *outliers* para cada período como puntos negros. Además, el diagrama de caja permite identificar los cuartiles de la muestra, en términos de la velocidad de circulación escogida. La barra transversal de cada caja representa la mediana, mientras que los puntos amarillos representan la media para ese período. El tamaño de la caja es una medida de dispersión de los datos.

Tanto la Figura 4.1 como la Figura 4.2 muestran diferencias significativas en la toma de decisiones con respecto a la velocidad de circulación para la mayoría de los períodos. Para cada período y tipo de contrato, es posible generar una función de distribución con las respuestas registradas y sus frecuencias. Así, se puede determinar si la función de distribución del esquema de pago A es estadísticamente igual (o distinta) a la función de distribución del esquema de pago B en el período t . Esta prueba se denomina Kolmogorov-Smirnov (o K-S), y determina la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí (Massey, 1951). La definición de esta prueba no paramétrica se encuentra en el Anexo F.

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados de la prueba K-S para los esquemas de pago individual por pasajero transportado y pago grupal por pasajero transportado por el equipo en cada uno de los períodos, usando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$:

Tabla 4.1. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.05$, comparando decisiones de velocidad entre contrato individual y grupal.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.293904	0.021464	rechaza
2	BAJA	0.274310	0.038506	rechaza
3	MEDIA	0.163280	0.486016	acepta
4	BAJA	0.177431	0.380398	acepta
5	MUY ALTA	0.327648	0.007137	rechaza
6	MEDIA	0.196299	0.263952	acepta
7	ALTA	0.175616	0.393109	acepta
8	MEDIA	0.271407	0.041845	rechaza
9	MUY BAJA	0.197024	0.260053	acepta
10	ALTA	0.254354	0.066995	acepta

Es decir, el *test* concluye que para los períodos 1, 2, 5 y 8, las distribuciones de las respuestas para la velocidad de circulación son estadísticamente distintas entre el esquema de pago individual por pasajero transportado y la configuración grupal con pago por pasajero transportado por el equipo, con un nivel de significancia del 95%.

La diferencia estadística se presenta, en general, en períodos de demandas extremas: muy bajas, muy altas, bajas y altas. Al observar las Figuras 4.1 y 4.2, se puede interpretar la forma con la que estos dos contratos se enfrentan a las distintas demandas.

En la Figura 4.3 se muestra la representación gráfica del *test* K-S para los períodos 1 y 5, que corresponden a paraderos de demanda muy baja y muy alta, respectivamente:

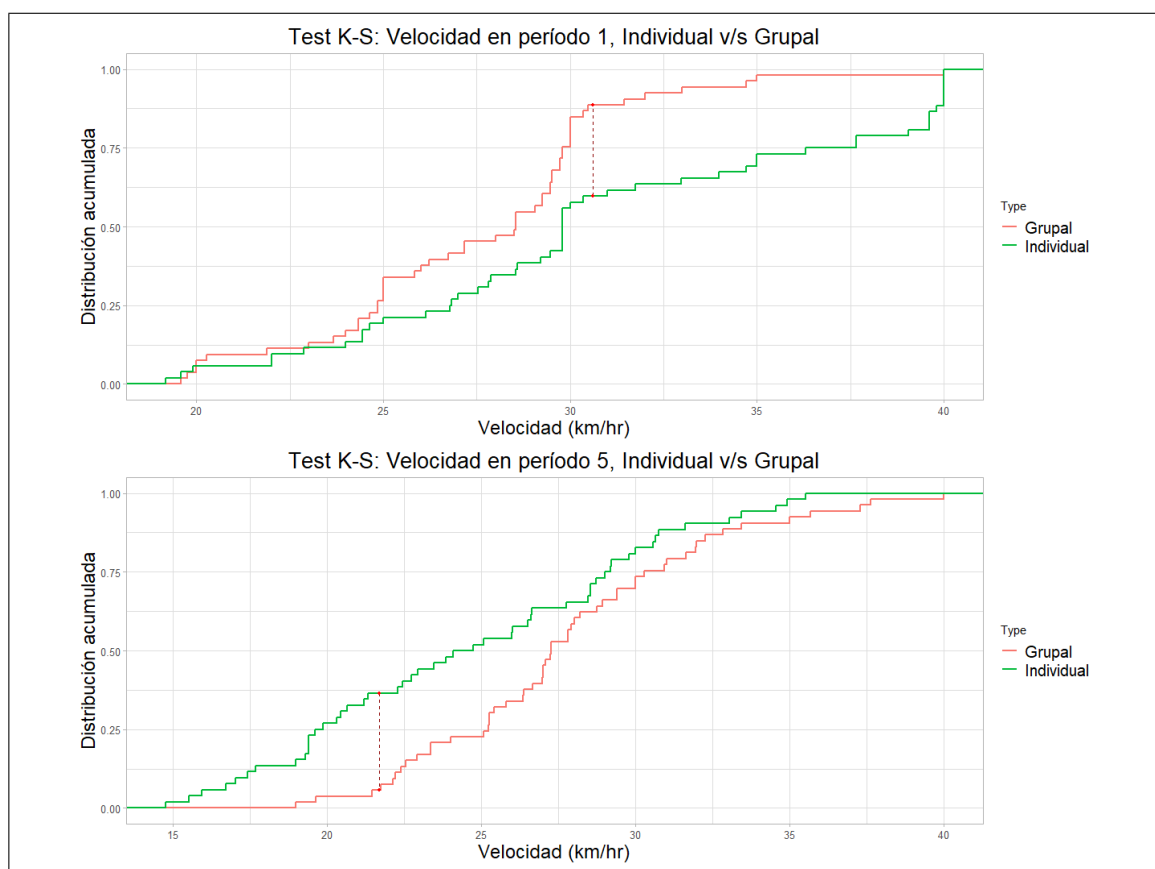


Figura 4.3. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos individual y grupal, en términos de velocidad, para períodos 1 y 5.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

La línea roja representa la función de distribución acumulada para las frecuencias de elección de la velocidad de circulación para el esquema de pago grupal, mientras que el color verde representa las decisiones acumuladas del contrato individual. La línea vertical punteada representa la máxima diferencia entre estas las dos distribuciones para cada período. En el Anexo G se muestran los gráficos de la prueba comparando los mismos períodos con respecto a las decisiones del salario fijo.

Para el primer período, que corresponde a una demanda muy baja, los agentes con el contrato grupal decidieron una velocidad de circulación cercana a los 27 km/hr en promedio; por su parte, los agentes con el esquema de pago individual eligieron una velocidad

cercana a los 31 km/hr. Para el quinto período, que corresponde a una demanda muy alta, los agentes con el contrato grupal decidieron una velocidad de circulación cercana a los 28 km/hr en promedio; por su parte, los agentes con el esquema de pago individual eligieron una velocidad cercana a los 24 km/hr. Esta diferencia se puede explicar a través de las estrategias adoptadas por los agentes, dados sus distintos tipos de contrato.

Todos los agentes, independiente de su tipo de contrato, buscan maximizar su utilidad personal. Por un lado, el esquema de pago individual obtiene ganancias al sabotear a los buses adyacentes, ya que es una estrategia válida para incrementar el número de pasajeros transportados sin la necesidad de gastar su energía personal a través de esfuerzos por controlar pasajeros. En ese sentido, un comportamiento económicamente racional es elegir velocidades relativamente bajas cuando se enfrentan a paraderos de altas demandas y velocidades relativamente altas en paraderos de bajas demandas. Al adoptar una baja velocidad de circulación en un período de demanda (tasa de llegada de usuarios) alta, el bus tardará más en llegar al siguiente paradero, por lo que habrá más pasajeros esperando. Los paraderos de demandas bajas son de utilidad para obtener una distancia de holgura con respecto al bus trasero y así no caer en penalizaciones. Esta estrategia provoca que el perfil de velocidad de este esquema de pago sea extremo y variable en el tiempo, tal como se mostró en las Figuras 4.1 y 4.2.

Por otro lado, el esquema de pago grupal recompensa a los agentes por el desempeño del equipo en conjunto, por lo que sabotear el rendimiento de los buses adyacentes no representa ganancias para el agente. Por esta razón, las velocidades de circulación adoptadas por los participantes con este tipo de contrato son, en general, cercanas a los 28 km/hr, sin grandes varianzas, en comparación con lo observado en el esquema individual. Este comportamiento genera un perfil de velocidad estable en el tiempo, lo que podría ser un atributo deseable para un contexto de transporte público, tal como se discutirá más adelante.

En el Anexo H se encuentra el resultado del *test* de Kolmogorov-Smirnov para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal, para determinar si las funciones de distribución son estadísticamente iguales (o distintas).

Tanto para el caso Salario Fijo - Pago Individual (H.1) y Salario Fijo - Pago Grupal (H.2), existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que plantea que ambos pares de funciones provienen de la misma función de distribución para cada uno de los períodos, independiente de su nivel de demanda, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$. Es decir, para ambos pares de funciones, las funciones de distribución en cada situación de elección son estadísticamente distintas.

Lo anterior se puede explicar analizando las decisiones de velocidad de circulación de los agentes con salario fijo. Para el primer período, que corresponde a una demanda muy baja, los participantes con salario fijo decidieron una velocidad de 28 km/hr en promedio; en el quinto período, que corresponde a una demanda muy alta, los participantes con este tipo de contrato eligieron una velocidad de 27 km/hr en promedio. En términos medios, estas decisiones son similares a las elecciones adoptadas por el esquema grupal, pero difieren en su varianza con respecto a sus promedios. Las respuestas en el esquema de pago por equipo tienen, en promedio, una desviación estándar de 3.7 km/hr por período, mientras que el salario fijo tiene una desviación estándar de 0.7 km/hr por período. Esta diferencia está dada porque los agentes con la configuración de pago grupal deben ajustar su velocidad con respecto a su nivel de esfuerzo (tiempo extra de control a pasajeros). El contrato con salario fijo no tiene incentivos a realizar esfuerzos, por lo que sólo debe preocuparse de mantener una velocidad constante en el tiempo, para así no arriesgar caer en penalizaciones.

En términos de variabilidad de los datos, se puede ver que tanto el esquema grupal de pago como el contrato individual tienen mayor dispersión, en términos de velocidad, con respecto al esquema por salario fijo. Si se promedian las desviaciones estándar de todos los períodos, para cada tipo de contrato, se obtiene que las desviaciones estándar promedio son las siguientes:

- $\overline{\sigma_{VG}} = 3.71 \text{ km/hr}$
- $\overline{\sigma_{VI}} = 4.86 \text{ km/hr}$
- $\overline{\sigma_{VF}} = 0.7 \text{ km/hr}$

Lo anterior puede interpretarse a través de las estrategias adoptadas por los agentes en cada esquema de pago. Tal como se mencionó en la sección de hipótesis a comprobar (3.4) y se corroboró a través de los datos mostrados en esta sección, se esperaban perfiles de velocidad extremos para el esquema de pago individual y perfiles de velocidad más regulares para el contrato grupal. Pese a esto, hay participantes que se acercaron más a este tipo de comportamientos, mientras que otros decidieron una estrategia mixta con una mayor aversión al riesgo.

En el Anexo I se encuentra el detalle de las decisiones de velocidad agregadas por tipo de contrato para cada período.

4.1.2. Decisión de esfuerzo

La segunda decisión operacional que deben decidir los agentes es el esfuerzo que desean realizar por captar más pasajeros. En este contexto, el esfuerzo representa cuánto tiempo extra desean dedicar a cada usuario presente en el paradero, con la finalidad de que realice la transacción. En el experimento, los participantes debían escoger entre cinco niveles de esfuerzo. Al decidir cierto nivel de esfuerzo por usuario, el agente perderá energía (costo personal). La energía restante al final del experimento se traduce en ganancias extras para el agente, por lo que perder energía es equivalente a un costo. Esto provoca la aparición de un *trade-off*; a mayor nivel de esfuerzo, más pasajeros logra captar el agente, pero incurre en un costo personal mayor.

El primer nivel equivale a un esfuerzo nulo, dedicando 0 segundos extra por pasajero. Esta acción no le genera costos extras al participante, en términos de su energía personal, pero provoca que sólo el 60% de los usuarios presentes en el paradero realice la transacción al abordar el bus.

Por otro lado, el quinto y último nivel de esfuerzo equivale a dedicar 14 segundos extra por pasajero. Esta acción genera una pérdida de energía personal para el agente, pero provoca que el 95% de los usuarios presentes en el paradero realice la transacción al abordar el bus.

Los niveles de esfuerzo intermedios están asociados a tiempos extra por pasajero entre 0 y 14 segundos. El detalle de estos parámetros se encuentra en el Anexo D. El porcentaje de usuarios que realiza la transacción al abordar el bus para los niveles intermedios de esfuerzo están intercalados linealmente.

En la Figura 4.4 se grafica el tiempo extra dedicado al control de pasajeros por período, agrupado por tipo de contrato. Al igual que en el caso de la velocidad de circulación, presentado en la sección 4.1.1, los datos puntuales representan el tiempo extra promedio en paradero para un período. El cálculo está dado por la Ecuación 4.2:

$$\overline{e_{tk}} = \frac{\sum_{n=1}^{N_k} e_{ntk}}{N_K} \quad \forall t \in T, \forall k \in K \quad (4.2)$$

Mientras que el área sombreada corresponde a la desviación estándar superior e inferior.

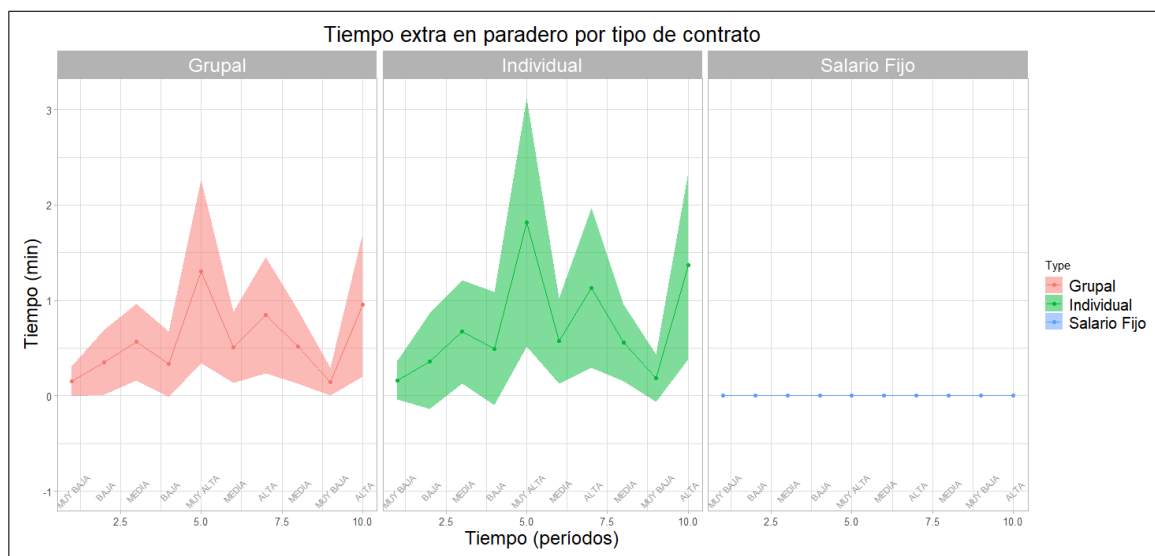


Figura 4.4. Tiempo en paradero (media $\pm$ desviación estándar) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Tal como se argumentó para el caso de la velocidad de circulación, es importante analizar los datos con respecto a sus cuartiles utilizando *boxplots*. Este procedimiento permite resaltar los *outliers*. La Figura 4.5 muestra el diagrama de caja para el tiempo extra en paradero por período para cada tipo de contrato:

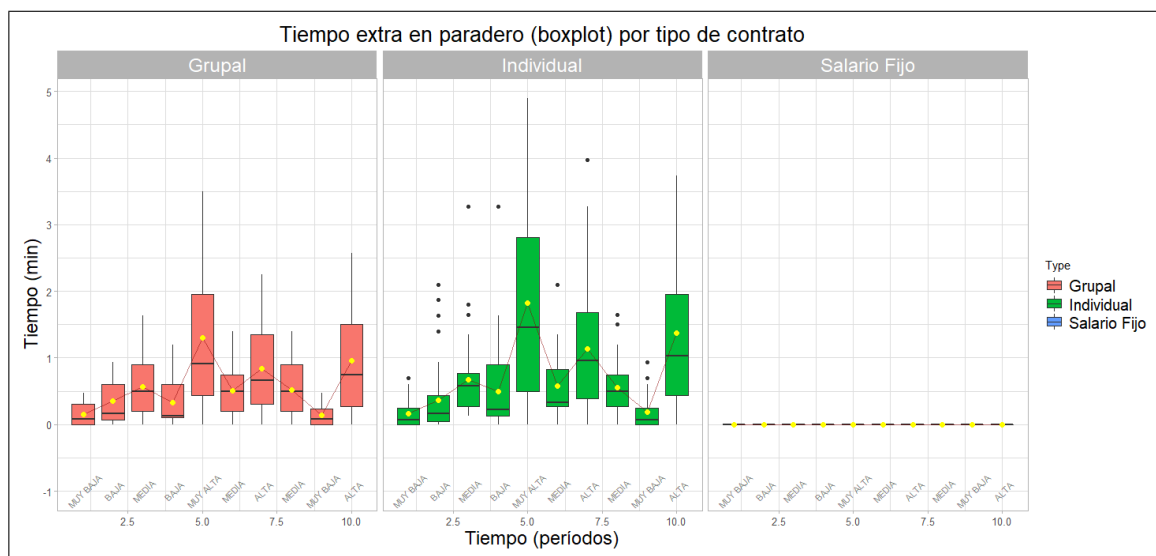


Figura 4.5. Tiempo en paradero (*boxplot*) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Donde los *outliers* se muestran como puntos negros, mientras que la caja representa la dispersión de los datos a través de sus cuartiles. La línea transversal de cada caja corresponde a la mediana, mientras que el punto amarillo representa la media del tiempo extra en paradero para ese período.

En la Tabla 4.2 se presentan los resultados de la prueba K-S para los esquemas de pago individual por pasajero transportado y pago grupal por pasajero transportado por el equipo en cada uno de los períodos, usando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$:

Tabla 4.2. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.05$, comparando decisiones de esfuerzo entre contrato individual y grupal.

Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.162917	0.488906	acepta
2	BAJA	0.204281	0.223369	acepta
3	MEDIA	0.197750	0.256197	acepta
4	BAJA	0.201016	0.239362	acepta
5	MUY ALTA	0.233672	0.113788	acepta
6	MEDIA	0.244194	0.087398	acepta
7	ALTA	0.276487	0.036157	rechaza
8	MEDIA	0.242743	0.090701	acepta
9	MUY BAJA	0.136066	0.716052	acepta
10	ALTA	0.272133	0.040987	rechaza

Es decir, el *test* concluye que para los períodos 7 y 10, las distribuciones de las respuestas para el esfuerzo (representado a través del tiempo extra en paradero) son estadísticamente distintas entre el esquema de pago individual por pasajero transportado y la configuración grupal con pago por pasajero transportado por el equipo, con un nivel de significancia del 95%. Estos períodos corresponden a demandas altas.

En la Figura 4.6 se muestra la representación gráfica del *test* K-S para los períodos 7 y 10, que corresponden a paraderos de demanda alta:

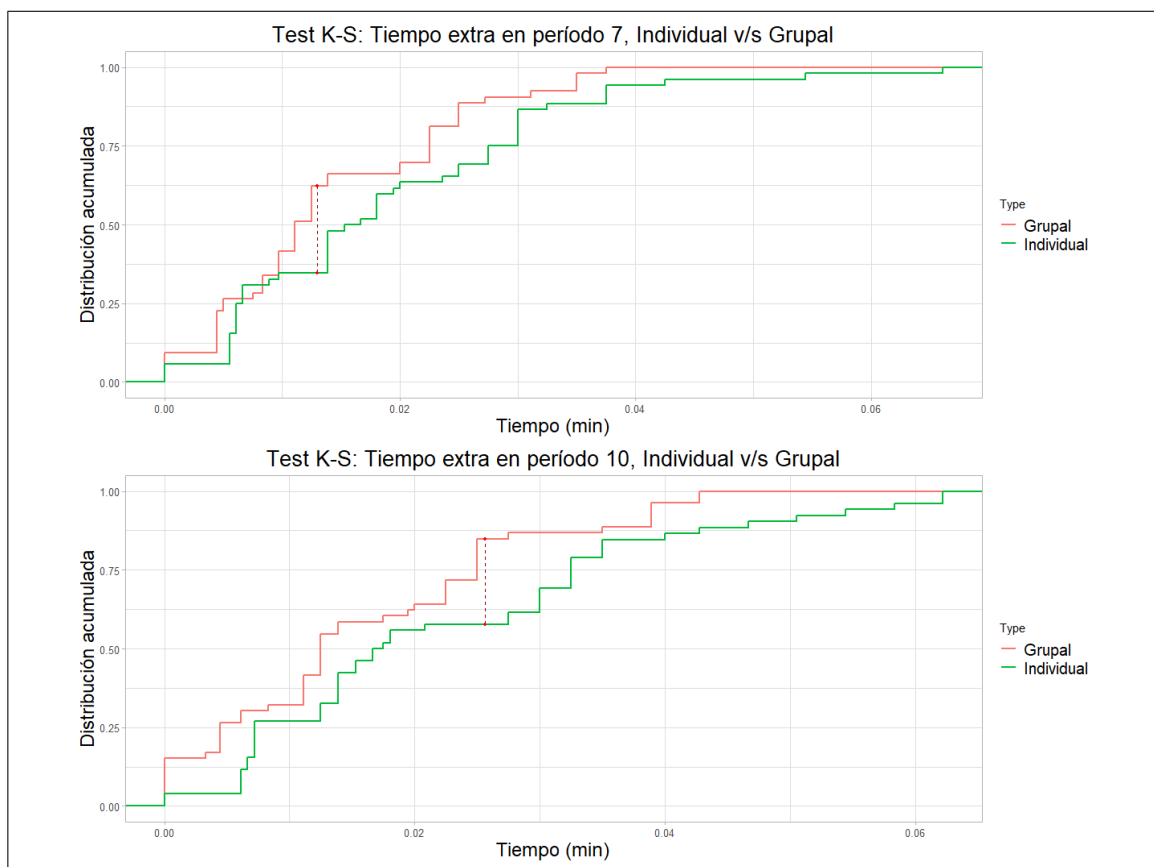


Figura 4.6. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos individual y grupal, en términos de tiempo extra en paradero, para períodos 7 y 10.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

En el Anexo J se muestra esta comparación gráfica del *test* con respecto a las decisiones del salario fijo.

Siguiendo con las hipótesis planteadas en la sección 3.4, se puede ver dispersión en las respuestas para el nivel de esfuerzo en el esquema de pago grupal. La dispersión puede ser explicada a través de las distintas estrategias que son rentables para esta configuración. Por un lado, un agente puede comportarse de tal forma de aportar su energía personal para incrementar la producción conjunta de su grupo. Es decir, incurre en costos para poder sumar un mayor número de pasajeros transportados al equipo. Por otro lado, también

es rentable que un agente decida bajos o nulos esfuerzos por captar pasajeros, no incurriendo en costos personales y esperando que sus compañeros de equipo aporten la mayor proporción a la producción conjunta. Este fenómeno se conoce como el problema del *free-rider*.

Ambas estrategias, evidentemente opuestas, son rentables para los agentes con contrato grupal. Esto hace que se produzca una batería de posibles estrategias válidas para los participantes, lo que genera dispersión en las respuestas, sobre todo en períodos de demandas más altas. La decisión de estrategia por parte de los agentes está dada por la interpretación del *trade-off* entre gastar energía personal (costo) y aportar un mayor número de pasajeros a la producción conjunta.

Por su parte, el esquema de pago individual también presenta dispersión en sus respuestas. Pese a que se esperan altos niveles de control y esfuerzo para este tipo de contrato, no existió una única tendencia sobre cuándo realizar estos esfuerzos. En este caso, se presentaron dos estrategias de comportamiento entre los participantes. Por un lado, un agente se beneficia económicamente al realizar altos esfuerzos por controlar pasajeros en períodos de demandas altas, pues hay más usuarios esperando en el paradero. Esta acción incurre en altos costos pero recibe mayores recompensas. Por otro lado, un agente puede decidir no realizar esfuerzos en períodos de alta demanda, pues representan un elevado costo y tiempo en paradero, por lo que prefieren esforzarse y controlar más en paraderos de demandas bajas, para lograr captar una mayor proporción de usuarios en el paradero con un bajo costo.

Ambas estrategias producen ganancias para los agentes con contrato individual, por lo que también se genera un umbral de posibles comportamientos factibles, lo que podría explicar la dispersión de las respuestas en términos de su tiempo en paradero. La elección de estrategia también depende de la interpretación del *trade-off* entre las ganancias adicionales al esforzarse por controlar pasajeros y los costos personales incurridos.

Considerando lo anterior y analizando las tendencias por período de las Figuras 4.4 y 4.5 se puede ver que, en términos absolutos, el contrato individual realiza mayores esfuerzos que el contrato grupal en paraderos de alta demanda. Se debe recordar que la decisión de esfuerzo que decide el agente es cuánto tiempo extra desea invertir en cada usuario para que realice la transacción electrónica. Como se estudió en la sección de velocidad (4.1.1), en general los participantes con esquema individual deciden velocidades más bajas en períodos de alta demanda, comparado con las elecciones de los agentes del esquema grupal, por lo que aún decidiendo el mismo nivel de control por pasajero, los agentes con contrato individual estarán más tiempo controlando usuarios en el paradero, pues en promedio tienen un mayor número de usuarios esperando. Este efecto está dado por la conducta de sabotaje que tienen los agentes con esquema de pago individual, pues buscan obtener ganancias al perjudicar el desempeño del bus trasero, a diferencia de los agentes con esquema de pago grupal, quienes no se benefician con este comportamiento.

Pese a lo anterior, en los períodos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 y 9 no existe evidencia estadística para argumentar que las funciones de distribución para las decisiones de esfuerzo del esquema grupal son distintas a las del esquema individual. Esto quiere decir que, en general (exceptuando períodos de demanda alta), los niveles de esfuerzo adoptados por el esquema grupal son similares a los escogidos por el esquema individual. Así, el contrato grupal propuesto es capaz de inducir niveles de esfuerzo semejantes a los realizados por los agentes con contrato individual, sin incentivar comportamientos de sabotaje entre compañeros.

Los resultados del *test* K-S con respecto al esquema de salario fijo se encuentran en el Anexo K. Tanto para el caso Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que plantea que ambos pares de funciones provienen de la misma función de distribución para cada uno de los períodos, independiente de su nivel de demanda, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$. Es decir, para ambos pares de funciones, las funciones de distribución en cada situación de elección son estadísticamente distintas.

Tal como se planteó en la sección de hipótesis (3.4), los agentes con salario fijo no realizan esfuerzos por captar pasajeros en ningún período. Esto se debe a que el *trade-off* que enfrentan es siempre desfavorable, pues no obtienen beneficios al controlar pasajeros y sólo incurren en costos personales si deciden esforzarse.

En el Anexo L se encuentra el detalle de las decisiones de esfuerzo traducidas a tiempo en paradero agregadas por tipo de contrato para cada período.

4.2. Estrategias y comportamientos

La base de las decisiones adoptadas por los agentes en cada una de las situaciones está dada por su estrategia racional. Esta determina el comportamiento de los participantes en cada período y determina cómo se desenvuelve el sistema en su totalidad.

Luego de analizar las decisiones operacionales elegidas por los agentes en cada período, dado su esquema de incentivos, a continuación se estudiarán y analizarán las estrategias que rigen estas elecciones. Estos comportamientos no sólo tienen un impacto en la producción de cada uno de los agentes y los buses adyacentes, sino que también generan implicancias directas en el rendimiento y operación de todo el sistema.

4.2.1. Distancia con respecto al bus trasero

Una de las principales métricas que permite estudiar las estrategias adoptadas por los agentes es la distancia temporal con respecto al bus trasero. Esta distancia se ve afectada por ambas decisiones operacionales escogidas por los participantes en cada uno de los períodos.

Si el participante decide una velocidad de circulación relativamente baja, con respecto a los buses adyacentes, terminará el período (y comenzará el siguiente) a una menor distancia con respecto al bus trasero y a una mayor distancia con respecto al bus delantero. Además, si el agente decide realizar altos esfuerzos por controlar y captar más pasajeros,

tendrá que detenerse por un mayor tiempo en el paradero, por lo que la distancia con respecto al bus trasero disminuirá.

En la Figura 4.7 se presenta el gráfico que muestra la distancia promedio con respecto al bus trasero en cada período, agregado por tipo de contrato. Además, se muestra la desviación estándar superior e inferior para cada dato:

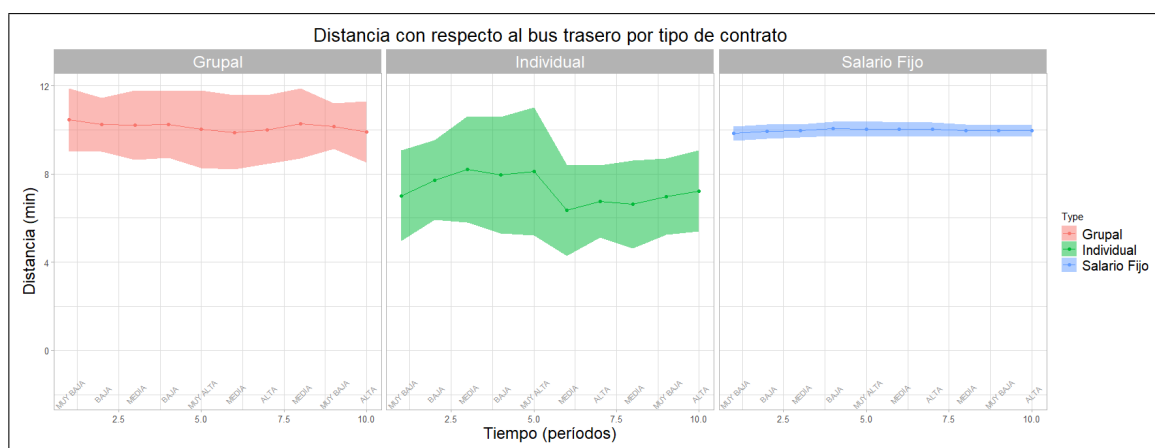


Figura 4.7. Distancia con respecto al bus trasero (media $\pm$ desviación estándar) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

En la Figura 4.8 se muestran las distancias con respecto al bus trasero en cada período agregadas por tipo de contrato pero en formato *boxplot*. Esto permite identificar *outliers* y estudiar la distribución de las respuestas a través de sus cuartiles:

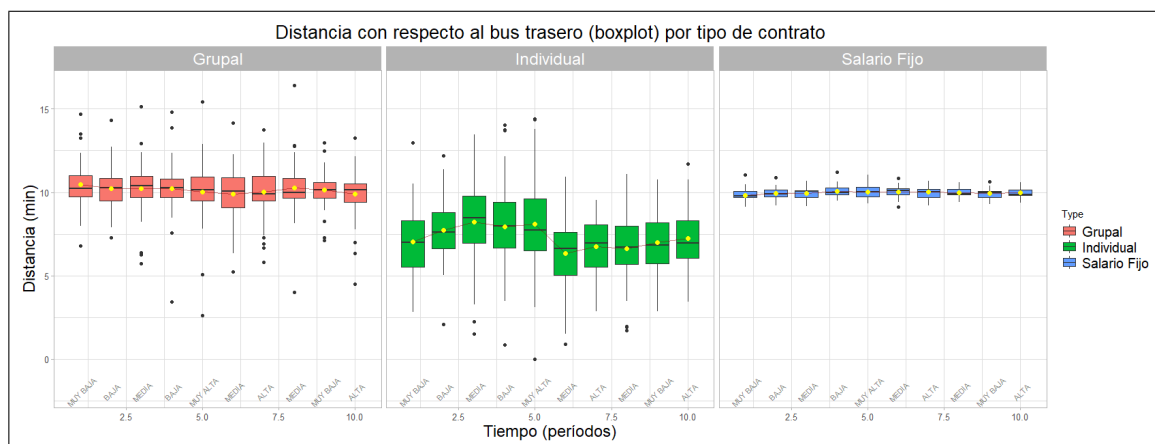


Figura 4.8. Distancia con respecto al bus trasero (*boxplot*) en el tiempo agregadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Al igual que en las figuras anteriores, los puntos amarillos representan la media para la distancia trasera en cada uno de los períodos.

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar si, en cada período, la distribución de las respuestas para los contratos individual y grupal provienen de la misma función de distribución.

Tabla 4.3. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando distancias con respecto al bus trasero entre contrato individual y grupal.

Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.771407	5.428e-14	rechaza
2	BAJA	0.694484	2.019e-11	rechaza
3	MEDIA	0.541727	4.077e-07	rechaza
4	BAJA	0.638243	1.032e-09	rechaza
5	MUY ALTA	0.598330	1.377e-08	rechaza
6	MEDIA	0.716255	4.026e-12	rechaza
7	ALTA	0.754354	2.126e-13	rechaza
8	MEDIA	0.866473	0.000e+00	rechaza
9	MUY BAJA	0.847605	1.110e-16	rechaza
10	ALTA	0.714441	4.614e-12	rechaza

Es decir, existen argumentos estadísticos para concluir que las funciones de distribución de ambos esquemas de pago son distintas en cada uno de los períodos con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$. Los resultados de este *test* para los casos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal se encuentran en el Anexo M, donde se rechazan las hipótesis para ambos pares de funciones en todos los períodos con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$.

En la Figura 4.9 se muestra la representación gráfica del *test* K-S para el período 6, que corresponden al período posterior a una demanda muy alta:

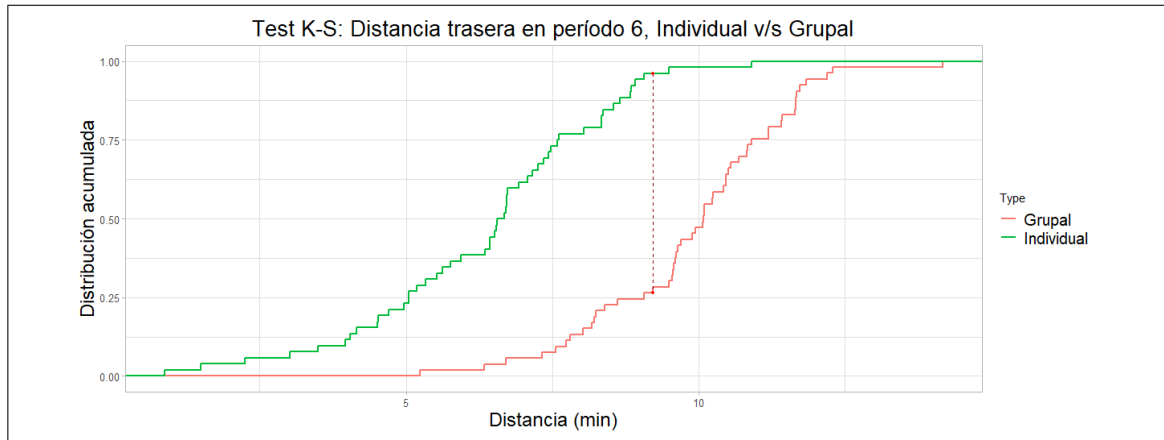


Figura 4.9. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos individual y grupal, en términos de distancia trasera, para período 6.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

En el Anexo N se muestra esta comparación gráfica del *test* con respecto a las decisiones del salario fijo.

En términos de variabilidad de los datos, se puede ver que tanto el esquema grupal como el contrato por salario fijo no tienen gran dispersión en sus respuestas, a diferencia de lo que ocurre con el esquema de pago individual, en términos de la distancia con respecto al bus trasero. Si se promedian las desviaciones estándar de todos los períodos, para cada tipo de contrato, se obtiene que las desviaciones estándar promedio son las siguientes:

- $\overline{\sigma_{DG}} = 1.47 \text{ min}$
- $\overline{\sigma_{DI}} = 2.11 \text{ min}$
- $\overline{\sigma_{DF}} = 0.3 \text{ min}$

Al combinar los efectos de la velocidad de circulación y el esfuerzo por controlar pasajeros a través de la distancia con respecto al bus trasero se puede inferir el tipo de estrategia adoptada para cada esquema de pago.

En primer lugar, la baja variabilidad y constancia de las distancias traseras por período para el esquema de pago grupal indican que los agentes no tienen incentivos a alejarse

del intervalo regular. Es decir, parte de su estrategia consiste en mantener una distancia relativamente constante con respecto al bus trasero y bus delantero. El intervalo perfectamente regular se alcanza a una distancia de 10 minutos con respecto al bus trasero. Por un lado, los participantes con esta configuración de pago prefieren no disminuir esta distancia, porque eso significaría mayores tiempos de control y esfuerzo dedicado a usuarios, que se traduce en un aumento de los costos personales para el agente. Por otro lado, acercarse al bus trasero provoca un traspaso de usuarios desde el bus trasero al bus del participante. Como el esquema de pago grupal propuesto no discrimina por quién lleva a los pasajeros, no obtiene ganancias con esta estrategia. En particular, parte del comportamiento de este tipo de configuración de pago fue mantener el centro del intervalo regular para que así cada integrante del equipo aportara cantidades similares de pasajeros a la producción conjunta, para así compartir los riesgos.

En segundo lugar, el esquema de pago individual presenta una estrategia de sabotaje al bus trasero. En general, este comportamiento consiste en adoptar velocidades altas cuando los agentes se enfrentan a un paradero de baja demanda, para así tener una distancia de holgura con respecto al bus trasero. Cuando el período corresponde a una demanda alta, deciden velocidades bajas para que se acumule la mayor cantidad de pasajeros y también generar un traspaso de usuarios desde el bus trasero, perjudicando el desempeño de su compañero. Al observar los datos presentados en las Figuras 4.7 y 4.8, se puede ver que dadas las decisiones alta velocidad en períodos de demandas bajas, el siguiente período presenta una mayor distancia con respecto al bus trasero, como ocurre en los períodos 1, 2 y 9. A su vez, cuando los agentes se enfrentan a paraderos de altas demandas, como en los período 5 y 7, sus bajas velocidades fueron tales que disminuyeron su distancia promedio con el bus trasero en 1.76 minutos. A diferencia de lo que ocurre con el esquema de pago grupal, este tipo de contrato sí recompensa al agente por el traspaso de usuarios desde el bus trasero al bus del participante, pues sí discrimina por quién lleva a los pasajeros. Esto hace que sea económicamente rentable sabotear el desempeño del bus trasero para así maximizar las ganancias individuales.

En tercer lugar, al no tener incentivos para esforzarse por captar pasajeros, el esquema a través de salario fijo sólo se preocupa por mantener su intervalo de distancias constante. Este es un comportamiento defensivo que busca no alejarse del centro de los buses adyacentes para no caer en penalizaciones por infracción a la distancia mínima.

En el Anexo O se encuentra el detalle de las distancias con respecto al bus trasero agregadas por tipo de contrato para cada período.

4.2.2. Pasajeros totales transportados por el sistema

Tal como se mencionó al comienzo de la sección, las estrategias que determinan las decisiones de los agentes en cada esquema de pago influyen en la cantidad de pasajeros controlados por el agente y en la operación del sistema en su totalidad.

En la Figura 4.10 se muestra el total de pasajeros transportados por el sistema en los 10 períodos del experimento, agregados por tipo de contrato.

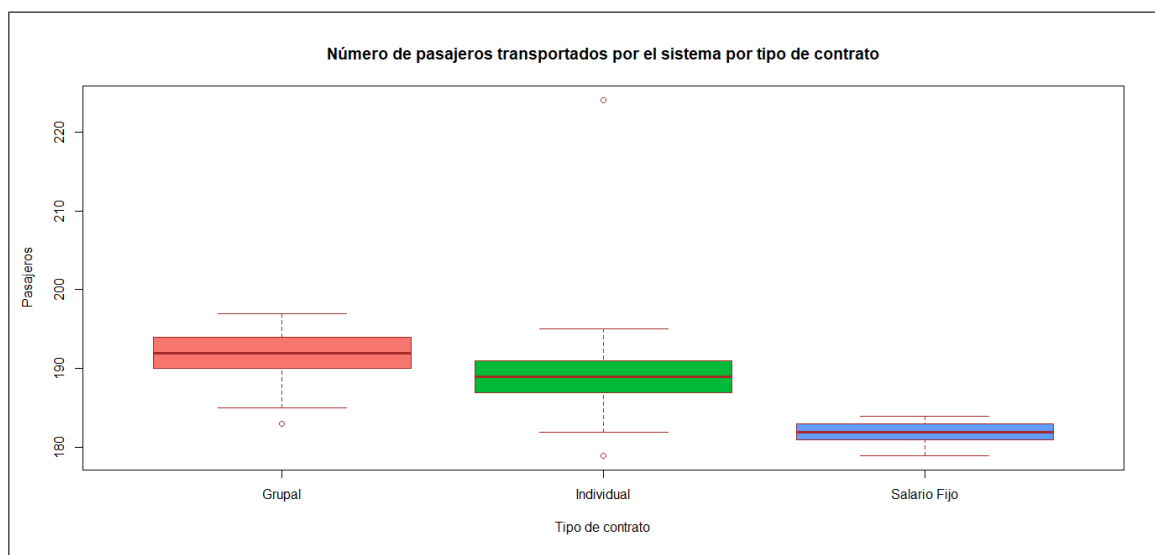


Figura 4.10. Total de pasajeros (*boxplot*) transportados por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Para poder medir la significancia estadística de las diferencias que se ven en la Figura 4.10 se utiliza el *test t* para probar diferencias de medias entre dos muestras. La hipótesis nula es que la media de pasajeros transportados es la misma para dos tipos de contrato. En la Tabla 4.4 se muestra el resultado de este *test*, comparando el esquema de pago individual con la configuración grupal:

Tabla 4.4. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquemas de pago individual y grupal, en términos de pasajeros totales del sistema.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Pasajeros.Sistema	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	0.3438718
<i>sig. level</i>	0.05
<i>power</i>	0.477968
<i>alternative</i>	two.sided

Donde *n* corresponde al tamaño de la muestra de cada subgrupo, *d* es el tamaño del efecto, *sig.level* es el nivel de significancia, y *power* es el poder estadístico.

El tamaño del efecto se refiere a qué tan fuerte es el impacto de un esquema de pago sobre una variable, como por ejemplo el número de pasajeros transportados por un sistema de transporte. El tamaño del efecto se calcula a través de la fórmula de Cohen (Thalheimer & Cook, 2002), dado por la Ecuación 4.3:

$$d = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2}}} \quad (4.3)$$

Al comparar las medias del total de pasajeros transportados por el contrato individual con el esquema grupal, se obtiene un poder estadístico de 0.478. Esto quiere decir que el 47.8% de las veces se obtendrán resultados significativos, mientras que en el 52.2% de los casos, las respuestas no son estadísticamente significativas. Es decir, representa la

probabilidad de encontrar una diferencia entre las dos medias de pasajeros transportados por el sistema al cambiar el esquema de pago.

Lo anterior se puede interpretar como que no existe una diferencia significativa en el número total de pasajeros transportados por los contratos individual y grupal, pues sus resultados no son estadísticamente distintos. Es decir, la configuración de pago grupal es capaz de incentivar e inducir esfuerzos por captar pasajeros a un nivel similar a lo que ocurre con el esquema de pago individual. Las estrategias que se generan al implementar un esquema de pago grupal generan comportamientos eficientes para el sistema en su totalidad, en términos de pasajeros transportados.

En el Anexo P se pueden encontrar los resultados del *test t* para los casos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal. En ambas pruebas se obtiene un poder estadístico de $power = 1$. Es decir, se obtienen resultados estadísticamente distintos con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$. Es decir, para estos pares de contratos, el efecto sí es estadísticamente significativo y las medias sí son distintas.

Lo último quiere decir que efectivamente un cambio en la configuración de pagos e incentivos, con respecto al esquema por salario fijo, aumenta el número de pasajeros transportados por el sistema en su totalidad, pues induce a los agentes a realizar mayores esfuerzos por incrementar la producción, ya sea conjunta o individual.

Esta conclusión viene dada por la única estrategia económicamente rentable para los agentes con contrato por salario fijo. Al no obtener ganancias por pasajeros transportados, prefieren no realizar esfuerzos, pues representan un costo que no tiene recompensa. Esto provoca que no tengan incentivos para controlar pasajeros, disminuyendo la cantidad de usuarios transportados por el sistema.

4.2.3. Tiempo extra total de control

La segunda métrica que permite aproximar el nivel de esfuerzo realizado por los agentes de los distintos contratos es el tiempo extra que dedicaron a captar pasajeros en

los paraderos. Se debe recordar que, al decidir un mayor nivel de control, el participante destinará una mayor cantidad de tiempo a cada uno de los usuarios que estaban presentes en el paradero.

En la Figura 4.11 se muestra el tiempo extra total dedicado a controlar pasajeros, agregado por tipo de contrato:

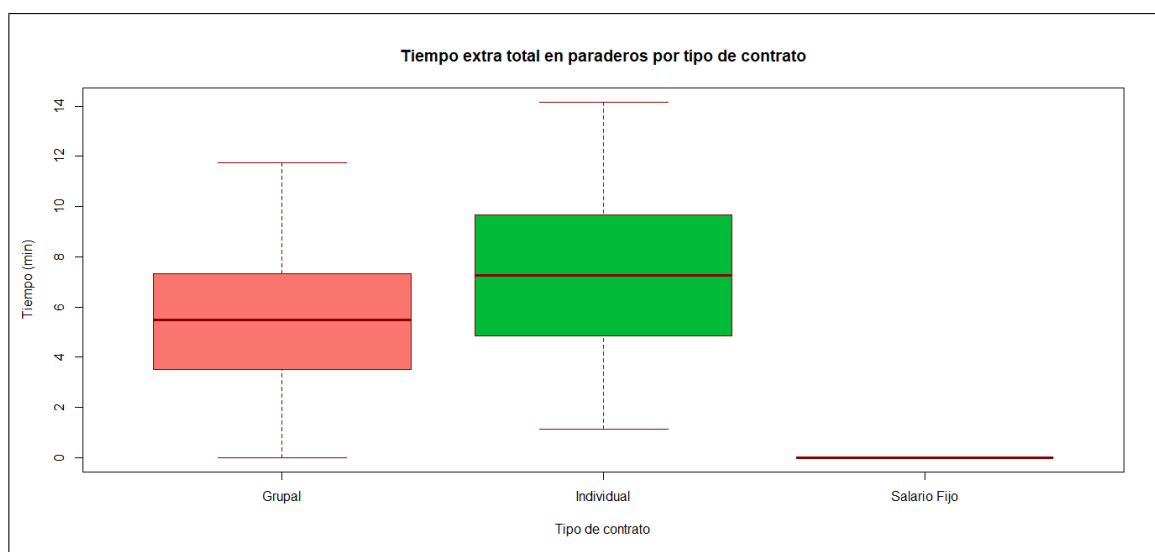


Figura 4.11. Tiempo extra total dedicado a controlar pasajeros por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Para poder determinar si la diferencia entre las medias presentadas son estadísticamente significativas, se realiza el *test t* para probar diferencias de medias entre dos muestras. En la Tabla 4.5 se muestra el resultado de este *test* que compara las medias de tiempo extra total en paraderos para los esquemas de pago individual y la configuración grupal.

La prueba entrega un poder estadístico de $power = 0.822$, por lo que en un 82.2% de los casos se encontrarán diferencias estadísticamente significativas. Es decir, la hipótesis de que efectivamente existe una diferencia entre el tiempo extra total que dedican los agentes con un esquema de pago individual, comparando con lo que ocurre en la configuración grupal, puede ser falsa en sólo un 17.8% de los casos.

Tabla 4.5. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y grupal, en términos de tiempo extra total en paradero.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Tiempo Paraderos	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	0.538437
<i>sig. level</i>	0.05
<i>power</i>	0.8224401
<i>alternative</i>	two.sided

Considerando lo expuesto para el caso del total de pasajeros transportados por el sistema en la sección anterior (4.2.2), esta diferencia se explica por las estrategias que predominan para los dos tipos de contratos.

Los agentes con el esquema de pago individual tienden a mantener una baja distancia con respecto al bus trasero, a diferencia de lo que ocurre con los participantes con la configuración grupal, que tienden a mantener una distancia regular con respecto a ambos buses adyacentes. Esto hace que, en general, se acumule una mayor cantidad de usuarios en los paraderos para los agentes con el contrato individual. Así, al decidir el mismo nivel de esfuerzo o control sobre los pasajeros, el participante con el esquema individual destinará más tiempo extra en el paradero que el agente con la configuración grupal. Se debe recordar que el nivel de esfuerzo o control por captar pasajeros se mide en tiempo/pasajero.

Por su parte, los agentes con el esquema de pago grupal tienen un umbral de posibles estrategias factibles. Por un lado, un comportamiento económicamente rentable es realizar altos niveles de esfuerzo para aportar pasajeros a la producción conjunta del equipo, determinando grandes cantidades de tiempo en paraderos controlando usuarios. Por otro lado, la estrategia de desempeñar bajos o nulos niveles de esfuerzo también es factible. Este comportamiento *free-rider* provoca que este tipo de participantes decida no dedicar grandes cantidades de tiempo en los paraderos.

En el Anexo Q se pueden encontrar los resultados del *test t* para los casos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal. En ambas pruebas, se obtiene un poder estadístico de $power = 1$ con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$. Es decir, existen argumentos para concluir que existen diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo extra total en paraderos en ambas comparaciones.

Lo anterior quiere decir que un cambio en la configuración de pagos, con respeto al esquema por salario fijo, aumenta el tiempo extra total en paraderos, pues es capaz de generar incentivos para que los agentes dediquen más tiempo controlando pasajeros.

Esto se explica por la única estrategia dominante en el esquema de salario fijo. Al no tener incentivos para realizar esfuerzos, los agentes con este tipo de contrato deciden no controlar pasajeros en los paraderos, por lo que cuentan con un nulo tiempo extra total.

4.2.4. Nivel de energía final

La tercera métrica que permite analizar el impacto que tienen los distintos esquemas de incentivos en el sistema de producción es el porcentaje con el que los agentes finalizan el experimento. Representa el nivel de esfuerzo realizado al terminar los períodos de operación.

Al igual que el tiempo extra total en paraderos, la energía residual es un *proxy* sobre el nivel de esfuerzo realizado por los agentes. Tanto el nivel de control elegido por los participantes como el número de pasajeros acumulados en cada período influye en la cantidad de energía gastada en cada instante de tiempo.

En la Figura 4.12 se muestra la media de energía residual al finalizar el experimento, agregada por tipo de contrato:

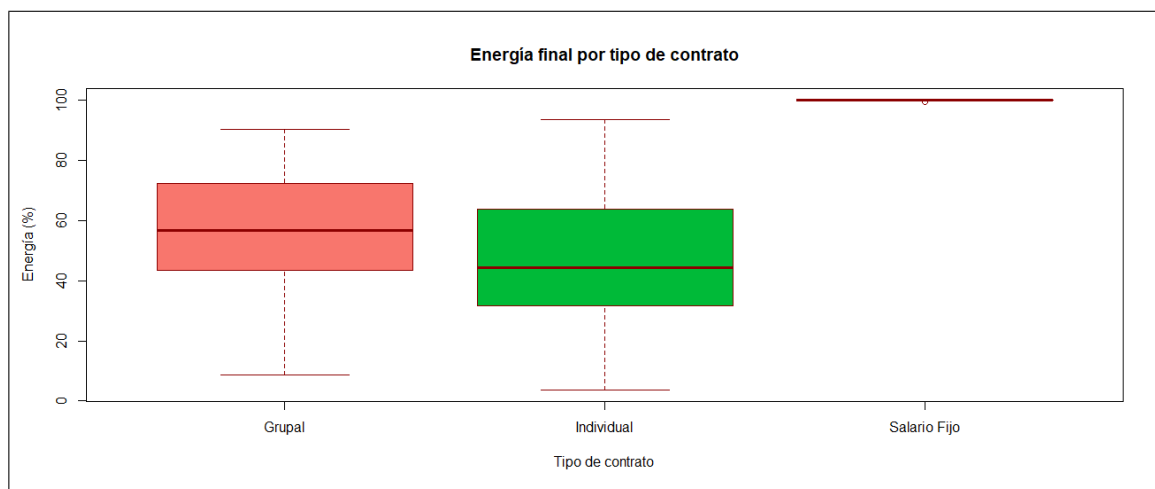


Figura 4.12. Energía residual al finalizar el experimento por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

Al igual que en las secciones anteriores, se analiza estadísticamente la diferencia entre las medias presentadas en la figura anterior. La Tabla 4.6 muestra los resultados del *test t* con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$:

Tabla 4.6. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y grupal, en términos de energía final.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Energia_Final	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	0.4642105
<i>sig. level</i>	0.05
<i>power</i>	0.707983
<i>alternative</i>	two.sided

Los resultados del *test t* muestran que el poder estadístico es de $power = 0.707$. Es decir, existe una probabilidad de un 29.3% de cometer un error tipo 2 en la diferencia de medias entre el contrato individual y el esquema de pago grupal, en términos de la energía residual al finalizar el experimento.

Es decir, la prueba muestra que en la mayoría de los casos, los agentes con un esquema de pago individual terminan el experimento con un nivel de energía menor, en promedio, respecto al esquema de pago grupal. Existen dos posibles interpretaciones para explicar esta diferencia.

En primer lugar, similar a lo ocurrido en el caso de tiempo extra total en paraderos, naturalmente existirá un mayor esfuerzo para los agentes con un contrato individual. Al adoptar una estrategia de sabotaje, disminuyendo su distancia promedio con respecto al bus trasero, más usuarios se acumulan en los paraderos que debe suplir. Así, eligiendo el mismo nivel control que un participante con esquema de pago grupal, el primero gastará más energía al tener más usuarios que controlar. Esto provoca que al final del experimento, los agentes con un esquema de pago individual tengan un menor nivel de energía. En general, los participantes más aversos al riesgo prefieren controlar menos en períodos de alta demanda y más en paraderos de demandas bajas, terminando el experimento con un mayor nivel de energía, asegurando ganancias provenientes del bono por energía restante.

En segundo lugar, se debe recordar que una de las estrategias económicamente rentables para los agentes con el esquema de pago grupal es ser un *free-rider*. Esta estrategia consiste en elegir bajos o nulos niveles de esfuerzo para así no gastar energía, mientras que los compañeros de equipo realizan mayores esfuerzos para incrementar la producción conjunta. La aparición de este fenómeno provoca que la media de energía residual aumente. Por otro lado, también existen participantes que deciden gastar grandes cantidades de energía para aportar pasajeros a la producción conjunta, lo que disminuye la media de energía residual al finalizar el experimento.

En el Anexo R se encuentran los resultados del *test t* para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal. En ambas pruebas se obtiene un poder estadístico de $power = 1$ con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Es decir, las medias de energía residual son estadísticamente distintas para ambos pares de contratos.

Esta diferencia se explica, nuevamente, por la estrategia que adoptan los agentes con salario fijo cuando toman decisiones. Al no tener incentivos a realizar esfuerzos, terminan el experimento con el máximo de energía. Controlar pasajeros requiere gastar energía. Esta acción genera un costo sin recompensa para los agentes con este tipo de contrato.

4.3. Ventajas y desventajas de cada esquema en un contexto de transporte público

En esta sección se analizarán las virtudes y defectos que tienen los comportamientos inducidos por los distintos esquemas de pago en la toma de decisiones operacionales de los agentes y sus consecuencias para el sistema en su totalidad.

Luego de presentar y analizar la toma de decisiones adoptadas por los agentes para los distintos esquemas de pago en las secciones anteriores (4.1 y 4.2), a continuación se discutirá su conveniencia para el contexto particular del transporte público.

4.3.1. Esquema grupal con pago por pasajero transportado por el equipo

Las respuestas y el análisis realizado previamente muestran que existen dos polos opuestos de comportamiento. Por un lado, es rentable económicamente realizar bajos o nulos esfuerzos por captar un mayor número de pasajeros; esta estrategia permite al agente no realizar esfuerzos, para así obtener un mayor bono por energía residual, mientras que sus compañeros de equipo aportan la mayor proporción de pasajeros a la producción conjunta. Por otro lado, también es factible realizar altos esfuerzos por controlar un mayor número de pasajeros, aportando así una proporción considerable de usuarios a la producción conjunta. Como ambas estrategia opuestas son rentables, se genera un umbral de posibles estrategias económicamente factibles para los participantes.

Es importante notar que las estrategias difieren, principalmente, respecto al nivel de esfuerzo realizado por los agentes. En cuanto a las decisiones de velocidad y distancia con respecto a los buses adyacentes, este tipo de contrato induce a que los participantes

mantengan intervalos regulares con respecto a ambos buses. Es decir, intentan mantener el centro para así no perjudicar el desempeño de sus compañeros.

A continuación se discutirán las ventajas y desventajas que tienen estos comportamientos para un sistema de transporte público.

4.3.1.1. Ventajas

En primer lugar, el esquema grupal con pago por pasajero transportado por el equipo incentiva a los agentes a no sabotear el desempeño de sus compañeros. En un sistema de transporte público, esto equivale a mantener distancias constantes con respecto a los buses adyacentes. Al mantener el centro, se generan intervalos de tiempo regulares entre los buses del sistema. Esto último es una característica que podría ser altamente deseable en una organización de este tipo, pues existirá una menor varianza en el tiempo de espera de los pasajeros y, en el largo plazo, la incertidumbre sobre la regularidad del sistema podría disminuir. La distancia promedio con respecto al bus trasero fue de 10.14 minutos, con una desviación estándar de 1.47 minutos.

Para mantener distancias relativamente constantes en el tiempo, los agentes con este tipo de contrato deciden velocidades poco variables en el tiempo. Con una media en el tiempo de 27.8 km/hr y una desviación estándar promedio de 3.7 km/hr, la circulación no presenta grandes variaciones a medida que transcurren los períodos. Esta constancia también podría ser una característica positiva para un sistema de transporte público, pues genera mayores niveles de seguridad vial, tanto para los pasajeros del bus como para los agentes que interactúan con los buses: peatones, ciclistas y automovilistas. Al tener tiempos de espera más cercanos a la uniformidad, el valor esperado para el tiempo de espera se reduce a la mitad para los pasajeros.

Además, mantener distancias regulares y constantes con respecto a los buses adyacentes provoca que la carga de pasajeros sea distribuida de manera uniforme entre los agentes, generando perfiles de carga regulares entre los buses del sistema.

En segundo lugar, los niveles de esfuerzo escogidos por los agentes con este esquema de pago son comparables a los que deciden los agentes con el contrato individual, pese a que la teoría indica que este último genera los incentivos productivos más fuertes. Incluso considerando la aparición de *free-riders*, los participantes desempeñaron un control de pasajeros relativamente alto, sobre todo si se le compara al esquema por salario fijo.

En promedio, los agentes con una configuración grupal de pago destinaron 0.567 minutos adicionales controlando pasajeros en cada paradero, con una desviación estándar de 0.445 minutos.

Como la elección de esfuerzo se mide en tiempo/pasajero, naturalmente esta métrica será menor para los participantes con el esquema grupal, considerando que mantienen el centro del intervalo. A diferencia de lo que ocurre con los agentes con contrato individual, que al acercarse al bus trasero, enfrentan un mayor número de usuarios.

En tercer lugar, la configuración de pago grupal logra alcanzar una producción total de sistema similar al esquema individual, pero sin la necesidad de inducir comportamientos como el sabotaje o perfiles de velocidad extremos. En otras palabras, el contrato grupal es capaz de generar incentivos para desempeñar mayores niveles de esfuerzo e incrementar la producción total, sin las consecuencias negativas del esquema de pago individual. A su vez, genera diferencias positivas considerables en producción total al compararlo con el esquema por salario fijo.

En cuarto lugar, el esquema logra repartir los riesgos asociados a la operación entre los miembros del equipo. Esta distribución, en general, se considera Pareto eficiente. El pago a un agente ya no depende solamente de su producción, sino que sus compañeros de grupo también aportan a su ganancia final.

Finalmente, en términos de energía residual, los agentes con el contrato grupal terminaron el experimento con un nivel de energía mayor que lo que ocurre en el caso individual. Es decir, los agentes lograron niveles comparables de producción con un menor

nivel de esfuerzo y control, haciendo a este esquema más eficiente para el sistema en su totalidad.

4.3.1.2. Desventajas

La principal desventaja que presenta este tipo de contrato es la aparición natural de *free-riders*. En promedio, los participantes con este esquema terminaron el experimento con una energía residual de 57%, con una desviación estándar de 20.1%.

Tal como se postuló en la sección de hipótesis (3.4) y avalado por los datos, una proporción de participantes decidió realizar bajos o nulos esfuerzos por captar pasajeros. Esta opción es rentable económicamente para ellos, pues no desempeñan esfuerzos y no gastan energía. Así, sus compañeros de equipo son los que aportan a la producción conjunta y los *free-riders* generan ganancias por energía residual al finalizar el experimento.

Esto último es rentable individualmente para el participante, no así para el sistema en su totalidad que se ve perjudicado por el bajo desempeño del agente.

Esta consecuencia negativa se soluciona en el largo plazo, al considerar incentivos implícitos entre los miembros de un equipo. Así, los agentes que tienen mejor desempeño tienen el poder de castigar y enseñar a los de menor rendimiento (Meyer & Vickers, 1997). El experimento llevado a cabo en esta investigación no permite captar y estudiar este efecto, pues no existe interacción personal entre los participantes.

4.3.2. Esquema individual con pago por pasajero transportado

En términos de velocidades y distancias con respecto a los buses adyacentes, en general los agentes con este tipo de contrato decidieron adoptar perfiles de velocidad extremos en el tiempo. Cuando se enfrentaban a paraderos con demandas altas, los participantes adoptaban velocidades bajas para acercarse al bus trasero y así acumular una mayor cantidad de usuarios en el paradero. Esta conducta de sabotaje fue adoptada por todos los

participantes, pues les permite generar ganancias al incrementar el número de pasajeros sin un costo asociado, perjudicando el desempeño de sus compañeros.

Además, con respecto a la decisión de esfuerzo, aparecieron dos estrategias entre los participantes. Por un lado, una proporción de las respuestas decidió realizar altos esfuerzos por controlar pasajeros en demandas altas, incurriendo en mayores costos pero recompensas superiores. Por otro lado, el resto de los participantes escogió niveles de esfuerzo altos en paraderos de demandas más bajas, para así captar a todos los usuarios del paradero sin incurrir en grandes costos. La elección de la estrategia para este tipo de contrato podría estar dada por el grado de aversión al riesgo del agente.

4.3.2.1. Ventajas

La principal ventaja del contrato individual es que induce a los agentes a desempeñar altos niveles de esfuerzo en su producción. Visto de manera personal, es un esquema eficiente cuando se trata de un agente cuya operación no afecta el desempeño de otros agentes. Los participantes con este tipo de contrato terminaron el experimento con una energía residual media de 46%.

En este contexto, las acciones de un agente sí tienen consecuencias sobre el desempeño de los buses adyacentes, por lo que se generan incentivos a sabotear a los compañeros de trabajo para incrementar las utilidades personales de los participantes.

Por un lado, el alto gasto de energía también se refleja en el tiempo extra que dedican los agentes con este contrato para controlar pasajeros. Como el 100% de los ingresos de los participantes con esta configuración depende de su propio desempeño, deciden dedicar grandes cantidades de tiempo en cada período.

Por otro lado, la configuración de pago individual tiene beneficios para el principal, en cuanto a la distribución del riesgo de la demanda. Al no considerar una componente fija, este contrato traspasa todo el riesgo de la demanda al agente, eliminando la prima por riesgo.

4.3.2.2. Desventajas

La consecuencia negativa del esquema de pago individual es justamente lo rentable que es su estrategia de sabotaje a los buses adyacentes.

En primer lugar, este contrato incentiva a los agentes a adoptar perfiles de velocidad extremos en el tiempo, decidiendo altas velocidades al enfrentarse a paraderos de bajas demandas y bajas velocidades en períodos de demanda alta. La velocidad promedio de circulación en el tiempo fue de 28.3 km/hr, pero con una desviación estándar promedio de 4.9 km/hr. En particular, los períodos con demandas extremas (muy altas o muy bajas) presentaron las mayores variaciones de velocidad. Este comportamiento tiene consecuencias negativas para la seguridad vial del sistema, tanto para los usuarios del transporte público como para los distintos agentes que lo componen: peatones, ciclistas y automovilistas.

En segundo lugar, el comportamiento dominante en este esquema de incentivos fue acercarse al bus trasero para intentar generar un traspaso de usuarios hacia el bus del agente. Esta acción produce ganancias para el participante sin la necesidad directa de esforzarse. Por un lado, acercarse al bus trasero perjudica el desempeño del bus trasero, provocando diferencias considerables en los perfiles de carga de los buses del sistema. Por otro lado, esta estrategia produce que los intervalos de tiempo entre buses sean irregulares, característica no deseable para un sistema de transporte público.

En tercer lugar, un contrato que traspasa todo el riesgo de la demanda al conductor tiende a no ser factible en el largo plazo cuando los agentes son aversos al riesgo. Cuando las ganancias de los agentes dependen netamente de su desempeño individual y son capaces de influir en las ganancias de los otros agentes, naturalmente aparece competencia. En un contexto de transporte público, la competencia en las calles es una característica no deseable.

4.3.3. Esquema de pago fijo

El contrato por salario fijo paga un monto constante de dinero por período, sin importar la producción o resultado del agente. Es decir, los participantes con este tipo de esquema no tienen incentivos para realizar esfuerzos, pues representan un costo sin recompensa para el agente.

Esta estrategia provoca que los participantes decidan no controlar pasajeros en ningún período. Así, su única variable de decisión es la velocidad de circulación, manteniendo el nivel de esfuerzo nulo.

Dado esto, el comportamiento adoptado por los participantes con este contrato fue ajustar su velocidad manteniendo el centro del intervalo, similar a lo ocurrido con los agentes con esquema de pago grupal. El único objetivo de esto es no caer en penalizaciones por infringir la distancia mínima permitida entre buses.

4.3.3.1. Ventajas

La principal ventaja que tiene un esquema que basa sus recompensas en una componente fija es que traspasa el riesgo de la demanda al principal. Mientras mayor sea la aversión al riesgo por parte de los agentes, el principal deberá otorgar una mayor prima por riesgo.

Al no realizar esfuerzos por controlar pasajeros ni gastar tiempo en paraderos, la única preocupación de este tipo de contratos es mantener constante el intervalo regular en el tiempo. Al analizar los datos presentados en las secciones anteriores, los agentes con salario fijo fueron quienes presentaron la menor varianza en su distancia con respecto al bus trasero y su velocidad de circulación. Su velocidad promedio fue de 27.6 km/hr, con una desviación estándar de 0.69 km/hr. Por su parte, la distancia promedio con respecto al bus trasero fue de 9.97 minutos, con una desviación estándar de 0.3 minutos.

Estas dos últimas características son atributos deseables para un sistema de transporte público. Por un lado, mantener un intervalo regular entrega seguridad y certidumbre en los tiempos de viaje de los usuarios. Por otro lado, mantener un perfil de velocidad constante en el tiempo ayuda a mejorar los niveles de seguridad vial en las calles.

4.3.3.2. Desventajas

Pese a las ganancias en regularidad y constancia en las velocidades de circulación, la desventaja del contrato por salario fijo es que no entrega incentivos para realizar esfuerzos.

Controlar pasajeros es una actividad que presenta un *trade-off* entre gastar energía, que al final del experimento se traduce en ganancias, y obtener un mayor número de pasajeros. Como este esquema de pago no recompensa al agente por su desempeño, la acción de controlar sólo representa un costo para el participante. Así, el *trade-off* es siempre perjudicial para el agente, por lo que nunca le conviene realizar esfuerzos.

Al no realizar esfuerzos por incrementar la producción, este esquema presenta el menor nivel promedio de pasajeros transportados, pues destinaron una nula cantidad de energía y tiempo extra en paraderos a controlar usuarios. El promedio de energía residual al finalizar el experimento fue de un 100%, con una media de tiempo extra en paradero de 0 minutos.

5. CONCLUSIONES

El último capítulo presenta las principales conclusiones que se desprenden de los resultados expuestos previamente. Luego, en base a estas, se proponen políticas públicas y posibles futuras líneas de investigación. Además, se vuelve a dar énfasis en las limitaciones que posee el experimento de laboratorio.

5.1. Principales conclusiones

El principal objetivo de esta investigación es analizar las diferencias de comportamiento adoptadas por agentes racionales al ser incentivados a través de distintos esquemas de pago e incentivos, en un contexto de transporte público superficial. Luego de analizar las decisiones operacionales escogidas por los participantes del experimento y las consecuencias que éstas tienen en el sistema en su totalidad, efectivamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas en sus perfiles de velocidad, decisiones de esfuerzo, distancia con respecto a los buses adyacentes y pasajeros transportados por el sistema.

En primer lugar, la configuración grupal con pago por producción conjunta incentiva a los agentes a adoptar velocidades poco variables en el tiempo. Lo anterior es con la finalidad de desplazarse a intervalos regulares de tiempo con respecto a los buses adyacentes. Esta estrategia permite que los perfiles de carga de los buses se mantengan uniformemente distribuidos en el tiempo, pues los agentes no obtienen ganancias al sabotear o perjudicar el desempeño de sus compañeros.

Mantener velocidades y distancias constantes en el tiempo es una característica deseable para un sistema de transporte público, pues son variables que están relacionadas a la seguridad y regularidad del sistema.

Por su parte, el esquema de pago individual incentiva a los agentes a adoptar perfiles de velocidad extremos en el tiempo, altamente dependientes del nivel de demanda observado. Al enfrentarse a paraderos de demanda alta, los participantes deciden velocidades bajas

para así lograr acumular un mayor número de usuarios. Este comportamiento perjudica el desempeño del bus trasero, pues la baja velocidad disminuye la distancia con respecto a su compañero. Al buscar incrementar su producción individual, los perfiles de carga de pasajeros no están distribuidos de manera uniforme. Además, los intervalos de tiempo entre buses no son regulares, pues parte de la estrategia de este contrato es mantenerse cerca del bus trasero.

Un perfil de velocidad extremo, sabotaje entre compañeros y bajas distancias con respecto al bus trasero no son características deseables en un sistema de transporte público.

En segundo lugar, el esquema de pago grupal logra inducir niveles de esfuerzo similares al contrato individual, pese a la aparición de *free-riders*. Naturalmente, la métrica del tiempo extra total en paraderos es menor para el caso grupal, pues parte de su estrategia es mantener el centro del intervalo temporal con respecto a los buses adyacentes, lo que disminuye el número de usuarios esperando en el paradero con respecto al esquema individual.

El fenómeno del *free-rider* aparece al no existir castigos ni penalizaciones para aquellos agentes que se desempeñan de manera subóptima. Como el experimento no considera relaciones a largo plazo ni interacciones entre agentes, el participante puede elegir no aportar pasajeros a la producción conjunta y ahorrarse el costo de la energía. Estos agentes obtienen ganancias por el desempeño de sus compañeros de equipo.

Los agentes con un contrato individual son quienes más gastan energía en controlar pasajeros. Incluso decidiendo el mismo nivel de esfuerzo en paradero, incurren en mayores tiempos en paradero al tener un mayor número de usuarios por período. Esto último se debe a su estrategia de comportamiento dominante de acercarse al bus trasero.

Pese a la tendencia de adoptar altos niveles de control en el esquema individual, la decisión de cuándo esforzarse no fue dominante. Una proporción de participantes decidió realizar estos esfuerzos en paraderos de alta demanda, generando grandes ganancias pero incurriendo en altos costos. Por otro lado, la otra proporción de participantes decidió

controlar más en períodos de demanda baja, para así captar a todos los usuarios de esos paraderos sin incurrir en altos costos. La elección de la estrategia podría ser explicada por el grado de aversión al riesgo del agente.

En tercer lugar, los agentes con salario fijo no tienen incentivos a realizar esfuerzos por captar pasajeros. Como su esquema de pago no recompensa a los agentes por pasajero transportado, gastar energía controlando usuarios sólo representa un costo para ellos. Como el *trade-off* entre ganancias por captar pasajeros y costos asociados al esfuerzo es siempre negativo, este esquema decide un nulo esfuerzo en todos sus períodos y sólo se preocupa por controlar su velocidad. Para no caer en penalizaciones por infringir la distancia mínima entre buses, deciden velocidades poco variables y constantes en el tiempo, manteniendo el centro del intervalo.

En cuarto lugar, los agentes con un contrato grupal son capaces de generar una producción total del sistema similar a la producción del esquema individual, pues no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Ambos contratos obtuvieron una mayor producción total del sistema estadísticamente superior al contrato por salario fijo. Esta diferencia se explica a través de los incentivos que se generan para los dos primeros contratos, a diferencia de lo que ocurre con el tercer esquema, que induce a que los agentes no realicen esfuerzo en ningún período.

Para un contexto de transporte público, se puede interpretar como que la configuración de pago grupal es capaz de incentivar niveles de esfuerzo similares al contrato individual, sin la necesidad de inducir comportamientos de sabotaje. Esto último corresponde a una diferencia positiva, pues la estrategia de perjudicar el desempeño de los otros agentes para incrementar las utilidades personales afecta negativamente el funcionamiento de un sistema como el transporte público. El sabotaje provoca intervalos no regulares entre buses y perfiles de velocidad extremos. Dado esto, el esquema de pago grupal logra un total de pasajeros transportados por el sistema semejante al caso individual, sin inducir competencia en las calles.

5.2. Limitaciones de la investigación

Las principales limitaciones de la investigación tienen relación a la extrapolación de los resultados a un contexto real de transporte público superficial. Además de las restricciones del experimento en sí, mencionadas en la Sección 3.5, existen potenciales dificultades para llevar las conclusiones de la investigación a la práctica.

En primer lugar, los participantes del experimento de laboratorio son estudiantes o profesionales ligados a la ingeniería o al transporte, no son conductores reales. La línea de investigación utiliza al transporte público sólo como un contexto, enfocándose en los efectos que tienen los tres esquemas de incentivos en la producción individual de los participantes, por lo que extrapolar los resultados a conductores de buses debe ser estudiado con un mayor detalle. El experimento considera sólo el ámbito de incentivos, pagos y variables de desempeño. En la práctica, existen variables exógenas al contrato que son consideradas por los conductores al momento de tomar sus decisiones. Por ejemplo:

- Ruta asignada
- Horario de operación
- Perfil socioeconómico
- Relación con los demás conductores

Estas variables no tienen relación directa con el esquema de pago e incentivos utilizado en la investigación, pero sí podrían tener alguna incidencia en cómo los conductores de buses deciden sus acciones.

En segundo lugar, el esquema de pago grupal planteado en la investigación requiere de una logística adicional al sistema de despachos actual, pues requiere identificar con precisión cuáles son los equipos de trabajo y sus integrantes. La teoría sugiere que los equipos deben ser estáticos en el tiempo, para así solucionar problemas como el del *free-rider*, pues sus integrantes deben interactuar y monitorearse en el largo plazo. Es decir,

día a día, los terminales de buses deben identificar y despachar a cada equipo de trabajo en el orden adecuado.

Agregar restricciones y dificultades logísticas a la operación del sistema de despachos podría ser una limitación para el esquema propuesto.

En tercer lugar, el experimento llevado a cabo no considera interacciones entre los distintos agentes, sólo entre los participantes y los *bots*, que corresponden a los buses adyacentes.

Las interacciones entre agentes son importantes, en particular para el esquema de pago grupal propuesto. Las relaciones a largo plazo generan incentivos implícitos entre los integrantes de un equipo. Este tipo de contratos horizontales permite solucionar el problema del *free-rider* en el tiempo, pues los agentes con mayor rendimiento tienen incentivos a castigar y enseñar a quienes estén por debajo de cierto nivel aceptable.

Además, la no existencia de comunicación entre los agentes hace que la coordinación de esfuerzos y la cooperación no se presenten en totalidad.

Finalmente, pese a que los participantes no tenían certidumbre sobre el comportamiento adoptado por los buses adyacentes, estos corresponden a *bots* programados con anterioridad. Las decisiones tomadas por ellos están ingresadas al experimento de manera determinística, por lo que no reaccionan inteligentemente a las decisiones tomadas por los participantes. Se decidió esta modalidad para que los resultados fueran comparables entre ellos.

En la práctica, los agentes se enfrentan a situaciones de decisión que sí influyen en el desempeño de otros buses. Los buses adyacentes corresponden a otros agentes que reaccionan inteligente y racionalmente con respecto a las elecciones adoptadas por sus compañeros.

5.3. Recomendaciones para un contexto de transporte público

La investigación logró evidenciar el impacto que tienen los esquemas de incentivos en la operación de un sistema como el transporte público. La configuración de pago tiene una implicancia directa en las decisiones operacionales que adoptan los agentes. A su vez, estas variables influyen en el rendimiento del sistema en su totalidad.

Un esquema de pago que considera únicamente una componente fija no logra incentivar a los conductores a incurrir en esfuerzos por captar más pasajeros. Por otro lado, un contrato que premia a los choferes por su desempeño individual tampoco es deseable, pues induce comportamientos de sabotaje y competencia en las calles entre los conductores. Por su parte, una configuración grupal con pago por producción conjunta puede llegar a incentivar una conducta de *free-rider*, es decir, agentes que deciden realizar bajos o nulos esfuerzos por incrementar la producción conjunta, pues no pueden ser identificados ni castigados.

Cada esquema de pagos e incentivos tiene ventajas y desventajas, tal como se expuso en la Sección 4.3, por lo que una recomendación de implementación es un sistema mixto entre el salario fijo y la configuración grupal con un mínimo de producción individual.

Se debe considerar una componente fija para así asegurar cierto nivel de ganancias en el tiempo para el agente, traspasando cierta proporción del riesgo de la demanda hacia el principal. La segunda componente podría corresponder a la producción conjunta de un equipo de conductores, tal como se planteó en el experimento. A lo anterior, se le podría agregar una restricción mínima de producción individual, con la finalidad de regular la aparición de *free-riders*. Así, para obtener la componente fija del pago, el agente debe cumplir con un mínimo de pasajeros transportados por período. El cálculo de esta cota mínima de producción se puede obtener a partir de datos históricos de demanda.

5.4. Futuras líneas de investigación propuestas

La presencia de la pandemia provocó una serie de cambios en el experimento y su diseño. Las futuras líneas de investigación tienen relación a las limitaciones que estas modificaciones agregaron a la investigación, que podrían ser realizadas en tiempos sin pandemia.

En primer lugar, resultaría interesante realizar el experimento de forma empírica, en lugar de laboratorio. Es decir, considerar un grupo de choferes reales que deseen participar de un experimento de contratos e incentivos. El grupo de control podría corresponder a conductores que no sufran modificaciones en sus contratos.

Como el actual esquema de pagos a choferes corresponde a un tipo de salario fijo, la futura investigación podría comparar este sistema con un esquema de incentivos individual y grupal. Por un lado, se podría modificar el contrato de un grupo de conductores, tal que generen ganancias a partir de su propio desempeño individual. Por otro lado, se pueden plantear equipos de trabajo entre cierto grupo de conductores, de tal manera que puedan ser recompensados respecto a su desempeño conjunto.

Así, se podrían comparar las variables de desempeño de los tres tipos de contrato: salario fijo, esquema de pago individual y configuración grupal.

En segundo lugar, se propone una modificación al experimento de laboratorio realizado en esta investigación. En lugar de realizar una sesión experimental por participante, lo que provoca que no exista interacción entre agentes, se podría realizar una gran sesión con varios participantes simultáneamente. Así, los agentes de la sesión podrían interactuar entre sí, tomando decisiones inteligentes y basadas en la información que observan sobre los demás participantes.

Esta modificación, además, elimina el hecho de que los buses adyacentes correspondan a *bots* programados determinísticamente. Con esta configuración, los buses adyacentes

corresponden a otros participantes que toman decisiones intentando maximizar su propia utilidad.

En tercer lugar, se podría estudiar un tipo de contrato grupal que sea dinámico en el tiempo. Es decir, que la bonificación por pasajero transportado dependa de la actividad pasada observada por el principal. Esto podría incentivar a los agentes a realizar mayores niveles de esfuerzo, alejándose del fenómeno del *free-rider*, para no disminuir su pago por producción.

En la misma línea anterior, con miras a solucionar la aparición de *free-riders*, se podría considerar la incorporación de un nivel de producción mínimo. Es decir, los integrantes de un equipo obtienen recompensas por producción conjunta si y sólo si cumplen con un aporte mínimo a la producción del equipo. La determinación de este valor podría estar dado por niveles de producción históricos o por el rendimiento de los demás compañeros.

REFERENCIAS

- Arya, A., Fellingham, J., & Glover, J. (1997, may). Teams, repeated tasks, and implicit incentives. *Journal of Accounting and Economics*, 23(1), 7–30. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-1-61779-520-6_{_}11https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165410196004466 doi: 10.1016/S0165-4101(96)00446-6
- Beltrán, P., Gschwender, A., & Palma, C. (2013). The impact of compliance measures on the operation of a bus system: The case of Transantiago. *Research in Transportation Economics*, 39(1), 79–89. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2012.05.026> doi: 10.1016/j.retrec.2012.05.026
- Bolton, P., & Dewatripont, M. (2005). *Contract theory*.
- Briones, J., & Gómez-Lobo, A. (2013). *Incentive structure in transit concession contracts: The case of santiago, chile, and london, england*. Washington, DC: Documento de política preparado para Clean Air Institute.
- Burgess, S. (2003, jun). The Role of Incentives in the Public Sector: Issues and Evidence. *Oxford Review of Economic Policy*, 19(2), 285–300. Retrieved from <https://academic.oup.com/oxrep/article-lookup/doi/10.1093/oxrep/19.2.285> doi: 10.1093/oxrep/19.2.285
- Che, Y.-K. K., & Yoo, S.-w. W. (2001, jun). Optimal Incentives for Teams. *American Economic Review*, 91(3), 525–541. Retrieved from <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/aer.91.3.525> doi: 10.1257/aer.91.3.525
- de la Vega, J. M. (2018). Microeconomic Analysis of the Relationship Between Bus Operators and Drivers in Public Transport Through the Lens of Contract Theory. *Pontificia*

Universidad Católica de Chile.

Díaz, G., Gómez-Lobo, A., & Velasco, A. (2004). Micros en Santiago: de enemigo público a servicio público. *Centro de Estudios Públicos*, 96.

DTPM. (2018). Informe de Gestión 2018. , 102.

Fischbacher, U. (2007). Z-Tree: Zurich toolbox for ready-made economic experiments. *Experimental Economics*, 10(2), 171–178. doi: 10.1007/s10683-006-9159-4

Gómez-Lobo, A., & Briones, J. (2014). Incentives in Bus Concession Contracts: A Review of Several Experiences in Latin America. *Transport Reviews*, 34(2), 246–265. doi: 10.1080/01441647.2014.895451

Groves, T. (1973, jul). Incentives in Teams. *Econometrica*, 41(4), 617. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/1914085?origin=crossref> doi: 10.2307/1914085

Hamilton, B. H., Nickerson, J. A., & Owan, H. (2003). Team incentives and worker heterogeneity: An empirical analysis of the impact of teams on productivity and participation. *Journal of Political Economy*, 111(3), 465–497. doi: 10.1086/374182

Harris, M., & Raviv, A. (1979). Optimal incentive contracts with imperfect information. *Journal of Economic Theory*, 20(2), 231–259. doi: 10.1016/0022-0531(79)90073-5

Holmström, B. (1979). Moral Hazard and Observability. *The Bell Journal of Economics*, 10(1), 74. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/3003320?origin=crossref> doi: 10.2307/3003320

Holmström, B. (1982). Moral Hazard in Teams. *The Bell Journal of Economics*, 13(2), 324. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/3003457?origin=crossref> doi: 10.2307/3003457

Holmström, B., & Milgrom, P. (1990). Regulating Trade Among Agents. *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)*, 146(1), 85–105.

Holmstrom, B., & Milgrom, P. (1991). Multitask Principal-Agent Analyses: Incentive Contracts, Asset Ownership, and Job Design. *Journal of Law, Economics, and Organization*, 7(special), 24–52. doi: 10.1093/jleo/7.special_issue.24

Holmström, B., & Milgrom, P. (1994). The Firm as an Incentive System. *The American Economic Review*, 84(4), 972–991.

Itoh, H. (1991, may). Incentives to Help in Multi-Agent Situations. *Econometrica*, 59(3), 611. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/2938221?origin=crossref> doi: 10.2307/2938221

Itoh, H. (1992, apr). Cooperation in Hierarchical Organizations: An Incentive Perspective. *The Journal of Law, Economics, and Organization*. Retrieved from <https://academic.oup.com/jleo/article/8/2/321/819630/Cooperation-in-Hierarchical-Organizations-An> doi: 10.1093/oxford-journals.jleo.a037041

Itoh, H. (1993). *Coalitions, Incentives, and Risk Sharing* (Vol. 60) (No. 2). doi: 10.1006/jeth.1993.1050

Lazear, E. P. (2000). Performance pay and productivity. *American Economic Review*, 90(5), 1346–1361. doi: 10.1257/aer.90.5.1346

Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764–766. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013> doi: 10.1016/j.jesp.2013.03.013

Macho-Stadler, I., & Pérez-Castrillo, J. D. (1993). Moral hazard with several agents. The gains from cooperation. *International Journal of Industrial Organization*, 11(1), 73–100.

doi: 10.1016/0167-7187(93)90037-D

Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253), 68–78. doi: 10.1080/01621459.1951.10500769

McAfee, R. P., & McMillan, J. (1991, aug). Optimal Contracts for Teams. *International Economic Review*, 32(3), 561. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/2527107?origin=crossref> doi: 10.2307/2527107

Meyer, M. A., & Vickers, J. (1997). Performance comparisons and dynamic incentives. *Journal of Political Economy*, 105(3), 547–581. doi: 10.1086/262082

Mookherjee, D. (1984). Optimal Incentive Schemes with Many Agents. *The Review of Economic Studies*, 51(3), 433. doi: 10.2307/2297432

Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C., & Contreras, R. (2015). Encuesta origen-destino de Santiago 2012: Resultados y validaciones. *Ingeniería de Transporte*, 19(1), 21–36.

Muñoz, J. C., & Gschwender, A. (2008). Transantiago: A tale of two cities. *Research in Transportation Economics*, 22(1), 45–53. doi: 10.1016/j.retrec.2008.05.010

Palacios-Huerta, I. (2003). Professionals play minimax. *Review of Economic Studies*, 70(2), 395–415. doi: 10.1111/1467-937X.00249

Rayo, L. (2007). Relational incentives and moral hazard in teams. *Review of Economic Studies*, 74(3), 937–963. doi: 10.1111/j.1467-937X.2007.00443.x

Thalheimer, W., & Cook, S. (2002). How to calculate effect sizes from published research: A simplified methodology. *Work-Learning Research*, 1, 1–9.

Tiznado, I., Galilea, P., Delgado, F., & Niehaus, M. (2014). Incentive schemes for bus

drivers: The case of the public transit system in Santiago, Chile. *Research in Transportation Economics*, 48, 77–83. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.034> doi: 10.1016/j.retrec.2014.09.034

Varian, H. R. (1990). Monitoring Agents With Other Agents. *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)*, 146(1), 153–174.

ANEXO

A. MODELO DE LA RELACIÓN DE PAGO ENTRE UN PRINCIPAL Y MÚLTIPLES AGENTES

El problema del principal, para el caso con agentes múltiples, es diseñar un esquema de incentivos para toda la organización (y no de forma individual), incluyendo la posibilidad de que los individuos puedan interactuar entre ellos en un juego repetido (Bolton & Dewatripont, 2005). Al existir acciones ocultas por parte de los agentes, el problema a resolver se denomina *Moral Hazard in Teams*.

El objetivo del principal es lograr que todos los agentes de un equipo trabajen de manera óptima, y que ninguno se desvíe a esfuerzos subóptimos.

Se considera un principal y n agentes. Asumiendo que el principal es neutral al riesgo y que las funciones de utilidad de cada agente ($i = 1, \dots, n$) son separables en ingreso y esfuerzo, tal como se muestra en la Ecuación A.1:

$$U_i = u_i(w_i) - \psi_i(a_i) \quad (\text{A.1})$$

Donde $u_i(\cdot)$ es estrictamente creciente y cóncava, mientras que $\psi_i(\cdot)$ es estrictamente creciente y convexa. Además, la acción no observable del agente $a_i \in [0, \infty)$.

Las acciones ocultas del agente producen *outputs* para el principal, resumidos en el vector $q = (q_1, \dots, q_n)$, con una distribución condicional conjunta $F(q|a)$, donde $a = (a_1, \dots, a_n)$ denota los esfuerzos escogidos por los agentes.

Cuando el principal sólo observa el *output* agregado de todos los miembros del equipo, los n agentes se enfrentan a un problema de provisión privada de un bien público: cada agente provee una acción que le es costosa para incrementar el output común. Todos los agentes se benefician cuando uno de ellos incrementa su esfuerzo (Holmström, 1982).

Por otro lado, cuando el principal es capaz de observar el output individual de cada agente y estos, a su vez, pueden monitorearse entre ellos, se considera también una situación

de *side-contracting*. En este contexto, los agentes son capaces de observar el esfuerzo de los otros miembros de su equipo. Esta configuración es análoga a la de un principal con un agente individual, donde el agente es la suma de los dos agentes originales, pues comparten el riesgo y buscan maximizar su retorno conjunto (Holmström & Milgrom, 1990; Itoh, 1991).

Cada agente averso al riesgo produce un output aleatorio:

$$q_i = a_i + \epsilon_i \quad (\text{A.2})$$

Al elegir un esfuerzo a_i . Por su parte, las variables aleatorias están normalmente distribuidas con media cero y matriz de varianzas y covarianzas:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 \end{pmatrix} \quad (\text{A.3})$$

Por lo que el coeficiente de relación entre las dos variables es $\rho = \sigma_{12} / (\sigma_1 \sigma_2)$.

Además, si se considera que los agentes tienen preferencias CARA (*Constant Absolute Risk Aversion*) con respecto al riesgo, con coeficiente η_i y una función de utilidad exponencial:

$$u_i(w_i, a_i) = -e^{-\eta_i[w_i - \psi_i(a_i)]} \quad (\text{A.4})$$

Por su parte, los contratos que se considerarán para el análisis son lineales:

$$w_1 = z_1 + \nu_1 q_1 + u_1 q_2 \quad (\text{A.5})$$

$$w_2 = z_2 + \nu_2 q_2 + u_2 q_1 \quad (\text{A.6})$$

Como los agentes son capaces de monitorearse entre sí, el principal termina enfrentando a un solo agente, cuyo coeficiente de aversión al riesgo es:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_2} \quad (\text{A.7})$$

Enfrentándose a un contrato de la forma $(\nu_1 + u_2, u_1 + \nu_2)$.

Como sus esfuerzos son conjuntos:

$$\psi(a_1, a_2) = \psi_1(a_1) + \psi_2(a_2) \quad (\text{A.8})$$

Con esta estructura, se distinguen dos posibles escenarios: (1) si $\rho = 0$, la cooperación entre los agentes sólo mejora la situación del principal, pues alcanzan niveles más altos de esfuerzo al monitorearse entre ellos; (2) si $\rho > 0$, además de obtener ganancias provenientes de la cooperación, debilita el poder de la evaluación de desempeño relativa.

B. ESQUEMA DE LA SITUACIÓN DE ELECCIÓN PARA LOS AGENTES

A continuación, se presenta el esquema que representa el instante en el que el participante (agente) debe tomar sus decisiones operacionales de velocidad de circulación y esfuerzo por captar pasajeros:

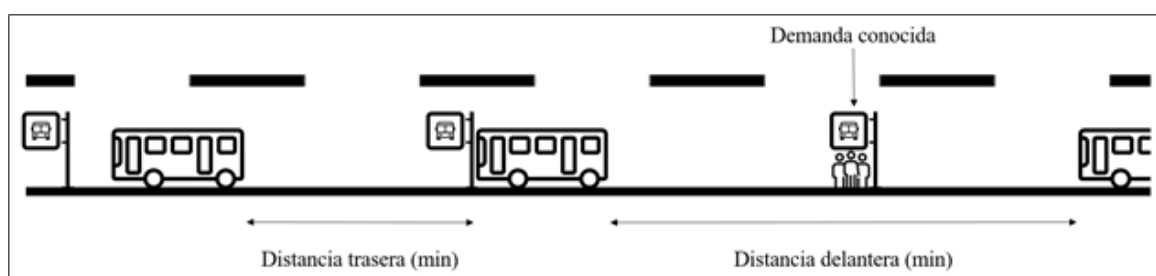


Figura B.1. Diagrama de la situación de elección para los agentes.

Fuente: Elaboración propia.

En cada período, el participante tiene información sobre su contexto. Es decir, sabe con certeza su distancia temporal con respecto al bus delantero y bus trasero. Además, es conocida la tasa de llegada de usuarios al siguiente paradero.

C. MANUAL DEL JUEGO EXPERIMENTAL

Por favor, lea las siguientes instrucciones cuidadosamente. A continuación, se le explicará en qué consiste el juego, las decisiones que debe tomar y cómo se le recompensará por participar en él.

Ante cualquier duda, por favor contáctese con el investigador Vicente Ramírez Garat, correo vnramirez@uc.cl.

C.1. Instrucciones y contexto

Usted tomará el rol de un conductor de bus del transporte público de Santiago.



Figura C.1. Figura de un conductor de bus del transporte público.
Fuente: Elaboración propia.

En un lapso de 10 períodos consecutivos, usted se enfrentará a la siguiente situación:

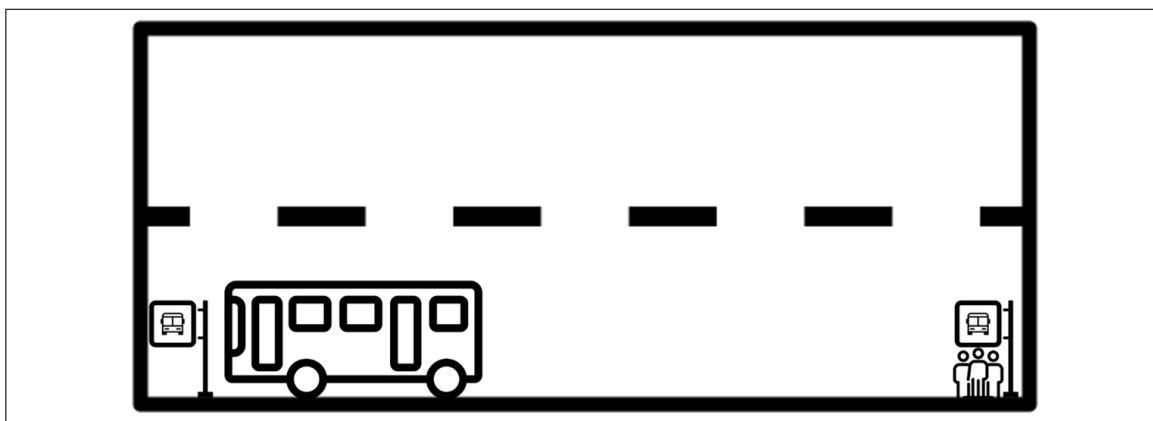


Figura C.2. Situación esquemática que enfrenta el participante.
Fuente: Elaboración propia.

En cada período, usted acaba de abandonar un paradero. Así, a continuación, debe recorrer un nuevo trayecto para llegar a la siguiente parada de buses.

Además, usted puede observar qué tan concurrido es el siguiente paradero. Los niveles de demanda posibles son: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

Adicionalmente, un medidor GPS le indica la distancia (en minutos) con respecto al bus delantero y bus trasero.



Figura C.3. Distancia con respecto a los buses adyacentes.
Fuente: Elaboración propia.

Esta información es importante, ya que será penalizado si esta distancia es menor a la distancia mínima al final de cada período. La distancia mínima permitida será informada dentro del juego.

Con esta información, usted deberá decidir:

- Velocidad (km/hr) para el trayecto.
- Nivel de esfuerzo por controlar más pasajeros.

Dadas sus decisiones y la información del estado del juego (distancia entre buses y demanda del siguiente paradero), usted logrará:

- Controlar un cierto número de pasajeros.
- Generar ganancias dependiendo de su esquema de pago (indicado al final del manual).

Esforzarse por controlar más pasajeros es una actividad costosa para los conductores, por lo que le costará energía y tiempo extra. Al término del juego, usted es bonificado por la energía residual.

Así, usted podrá captar pasajeros para su bus de dos maneras:

- (i) Controlando pasajeros, gastando energía y tiempo.
- (ii) Bajando su velocidad, alejándose del bus delantero y acercándose al trasero, para que así se acumulen más pasajeros en su siguiente parada. Esto no representa un costo personal, pero perjudica el desempeño del bus trasero.

A continuación, se explica el efecto de cada una de las variables del juego.

C.2. Velocidad

La velocidad con la que recorre el trayecto influye directamente en la distancia (en minutos) con respecto a los buses adyacentes.

Si usted decide recorrer un trayecto a alta velocidad, con respecto al conductor anterior y posterior:

- Disminuirá la distancia con respecto al bus delantero.

- Aumentará la distancia con respecto al bus trasero.

Por otro lado, si decide recorrer un trayecto a baja velocidad:

- Aumentará la distancia con respecto al bus delantero.
- Disminuirá la distancia con respecto al bus trasero.

La distancia entre dos buses incide en la cantidad de usuarios que se acumulan en un paradero.

Es decir, si decide una velocidad baja:

- Se habrán acumulado más usuarios en el paradero, aumentando los potenciales usuarios que podrá captar.
- Se acumularán menos usuarios en el paradero para el bus trasero, disminuyendo el número de usuarios que podrá captar el bus detrás de usted, perjudicando el desempeño del bus trasero.

Mientras que si decide una velocidad alta:

- Se habrán acumulado menos usuarios en el paradero (incluso podría no haber pasajeros si se pega al bus delantero), disminuyendo los potenciales usuarios que podrá captar.
- Se acumularán más pasajeros para el bus trasero, aumentando el número de usuarios que podrá captar el bus detrás de usted, lo que resulta en mayores ganancias para el bus trasero.

C.3. Esfuerzo

Esforzarse por captar un mayor número de pasajeros influye directamente en la proporción de usuarios que será controlado al abordar el bus.

Hay cinco niveles de esfuerzo o control. Un nulo esfuerzo se traduce en que un 60% de los usuarios del paradero pagará su pasaje, mientras que un esfuerzo máximo provoca que un 95% de los usuarios realice la transacción electrónica.

Por otro lado, controlar pasajeros provoca que el bus deba detenerse por más tiempo en el paradero. A mayor control, más tiempo le dedicará a cada pasajero. Es decir, el tiempo en paradero depende del nivel de control y de la cantidad de usuarios presentes en el paradero.



Figura C.4. Pantalla del experimento que representa el tiempo extra en paradero por controlar.

Fuente: Elaboración propia a través del *software* z-Tree.

Finalmente, es importante destacar que esforzarse por controlar pasajeros es una actividad estresante y costosa para los conductores. A mayor control, la energía del conductor irá disminuyendo y su tiempo en paradero aumentará.

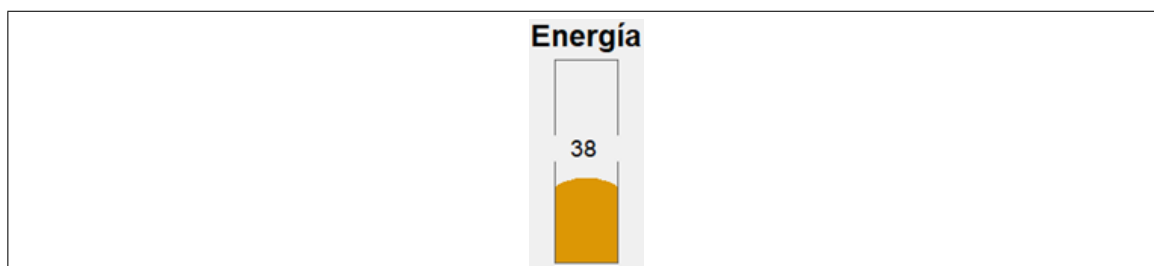


Figura C.5. Representación gráfica de la energía personal del agente.
Fuente: Elaboración propia a través del *software* z-Tree.

En resumen, si decide un nulo esfuerzo:

- Sólo un 60% de los usuarios del paradero pagará su pasaje.
- No dedicará tiempo extra en el paradero.
- No gastará su energía.

Si decide un control máximo:

- Un 95% de los usuarios del paradero pagará su pasaje.
- Tendrá que estar más tiempo en el paradero (depende también del número de usuarios).
- Gastará energía (depende también del número de pasajeros controlados).

C.4. Ganancias

Al final de cada período, sabrá cuántos pasajeros transportó usted, el bus delantero y el bus trasero. Además, se calcularán sus ganancias con el esquema de pago correspondiente (especificado al comienzo del juego y al final del manual).

Una vez finalizado el experimento, usted podrá ver:

- Total de pasajeros transportados por el bus trasero.
- Total de pasajeros transportados por el bus delantero.

- Total de pasajeros transportados por usted.
- Energía restante.
- Ganancias finales.

Las ganancias finales se calculan sumando las ganancias de todos los períodos con un bono por energía restante. El bono por energía residual se especifica al comienzo del juego ($\$12/\%$ de energía restante al final del experimento).

C.5. Esquema de pago

Su contrato es del tipo individual (o grupal, dependiendo del participante), es decir, se le bonificará por cada pasajero que logre transportar usted, sin importar el rendimiento de sus compañeros adyacentes (o por cada pasajero que logre transportar su equipo, compuesto por usted, el bus delantero y el bus trasero).

Se le bonificará con \$35 por cada pasajero (o \$15 por cada pasajero transportado por el equipo) que realice la transacción electrónica al abordar el bus.

C.6. Tabla de notas

En la siguiente tabla, usted podrá registrar sus elecciones y resultados en cada período.

Esta tabla es personal, su finalidad es que pueda aprender de sus acciones pasadas y así maximizar sus ganancias finales.

Tabla C.1. Tabla de notas entregada a los participantes para que registren sus acciones durante la sesión.

Fuente: Elaboración propia.

Período	D. Trasera	D. Delantera	Demanda	Velocidad	Esfuerzo	Pasajeros
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

D. PARÁMETROS PARA LA CALIBRACIÓN DEL EXPERIMENTO

Tabla D.1. Parámetros utilizados para la calibración del juego experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor
Distancia entre paraderos	4,5 kilómetros
Velocidad base para buses adyacentes	27,5 kilómetros/hora
Esfuerzo base para <i>bots</i>	Nivel 3
Distancia mínima entre buses	5 minutos
Tiempo extra por pasajero por nivel de control	0, 2, 5, 9 y 14 segundos/pasajero
Energía inicial máxima	1.320 segundos
Sueldo fijo	230 \$/período
Pago individual por pasajero transportado	35 \$/pasajero
Pago grupal por pasajero transportado	15 \$/pasajero
Penalización base por distancia bajo la mínima	40 \$/(minutos ²)
Ganancia por energía residual	12 \$/(% energía)

E. ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE DISTANCIAS ENTRE BUSES

A continuación, se bosqueja la situación distancia/tiempo en cada período para el participante en el juego experimental:

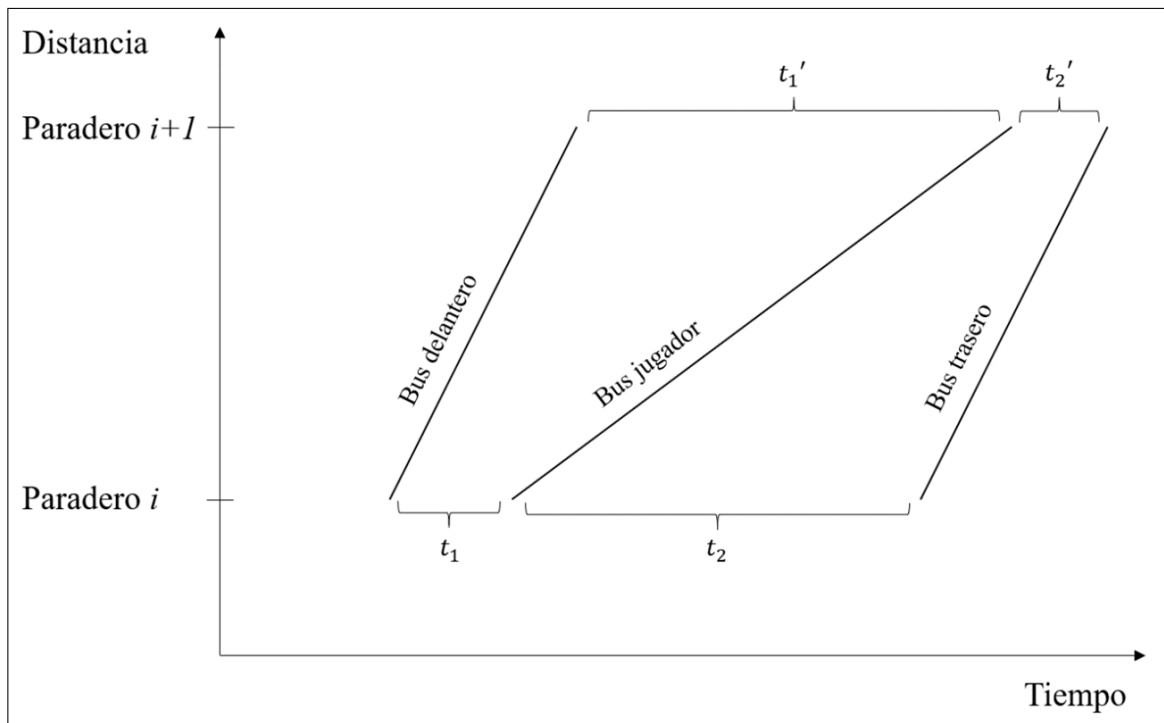


Figura E.1. Situación distancia/tiempo para cada período del experimento.
Fuente: Elaboración propia.

Donde t_1 y t_2 (tiempo) son las distancias con respecto al bus delantero y trasero, respectivamente, en el período i . Al recorrer el trayecto entre los paraderos, las nuevas distancias t_1' y t_2' deben ser actualizadas, dadas las decisiones del conductor.

Tanto la velocidad elegida por el jugador, v_j (distancia/tiempo), como el nivel esfuerzo inciden en la velocidad promedio de operación. Esto último se debe a que, a mayor control, el conductor permanecerá más tiempo detenido en el paradero.

Si c_j (tiempo/pasajero) es el nivel de esfuerzo elegido por el usuario, la velocidad promedio de operación se calcula como:

$$vr_j = \frac{d}{\frac{d}{v_j} + c_j * dda_{i+1}} \quad (E.1)$$

Donde d (distancia) es la distancia entre paraderos y dda_{i+1} (pasajeros) es la demanda del paradero siguiente.

Análogo a lo anterior, se puede obtener la velocidad real para cada bus adyacente, vr_{ad} y vr_{at} para el bus de adelante y atrás, respectivamente.

Finalmente, las distancias se actualizan de la siguiente forma:

$$t'_1 = \max \left(t_1 + \frac{d}{v_j} - \frac{d}{vr_{ad}}, 0 \right) \quad (E.2)$$

$$t'_2 = \max \left(t_2 + \frac{d}{vr_{at}} - \frac{d}{v_j}, 0 \right) \quad (E.3)$$

La función $\max(\cdot)$ es necesaria para captar el caso en el que el conductor se pega al bus delantero o trasero.

F. ESTADÍSTICO KOLMOGOROV-SMIRNOV

El estadístico Kolmogorov-Smirnov cuantifica la distancia entre dos funciones de distribución acumuladas (Massey, 1951). La hipótesis nula de este *test* es que una de las funciones (la función muestra) proviene de otra distribución (la función base). Esta prueba es aplicable tanto para casos continuos, puramente discretos o mixtos.

La distribución de la muestra o función de distribución empírica F_n , para n independiente e idénticamente distribuidas (i.i.d.), ordenando sus observaciones X_i se define como:

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & \text{si } X_i \leq x \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (\text{F.1})$$

Así, el estadístico Kolmogorov-Smirnov, dada una función de distribución acumulada $F(x)$ es:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (\text{F.2})$$

Donde $\sup_x$ es el supremo del *set* de distancias. Por el teorema de Glivenko-Cantelli, si la muestra proviene de la distribución $F(x)$, entonces D_n converge a 0 en el límite cuando $n \rightarrow \infty$.

Así, si se asume un nivel de significancia de α , un p-value $< \alpha$ rechaza la hipótesis nula, por lo que existe suficiente evidencia para decir que la función F_n no proviene de la distribución $F(x)$.

G. TEST K-S GRÁFICO CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO PARA VELOCIDAD

A continuación se muestran las representaciones gráficas del *test* Kolmogorov-Smirnov para los pares de distribuciones Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con respecto a la velocidad de circulación adoptada en los períodos 1 y 5, que corresponden a paraderos de demanda muy baja y muy alta, respectivamente:

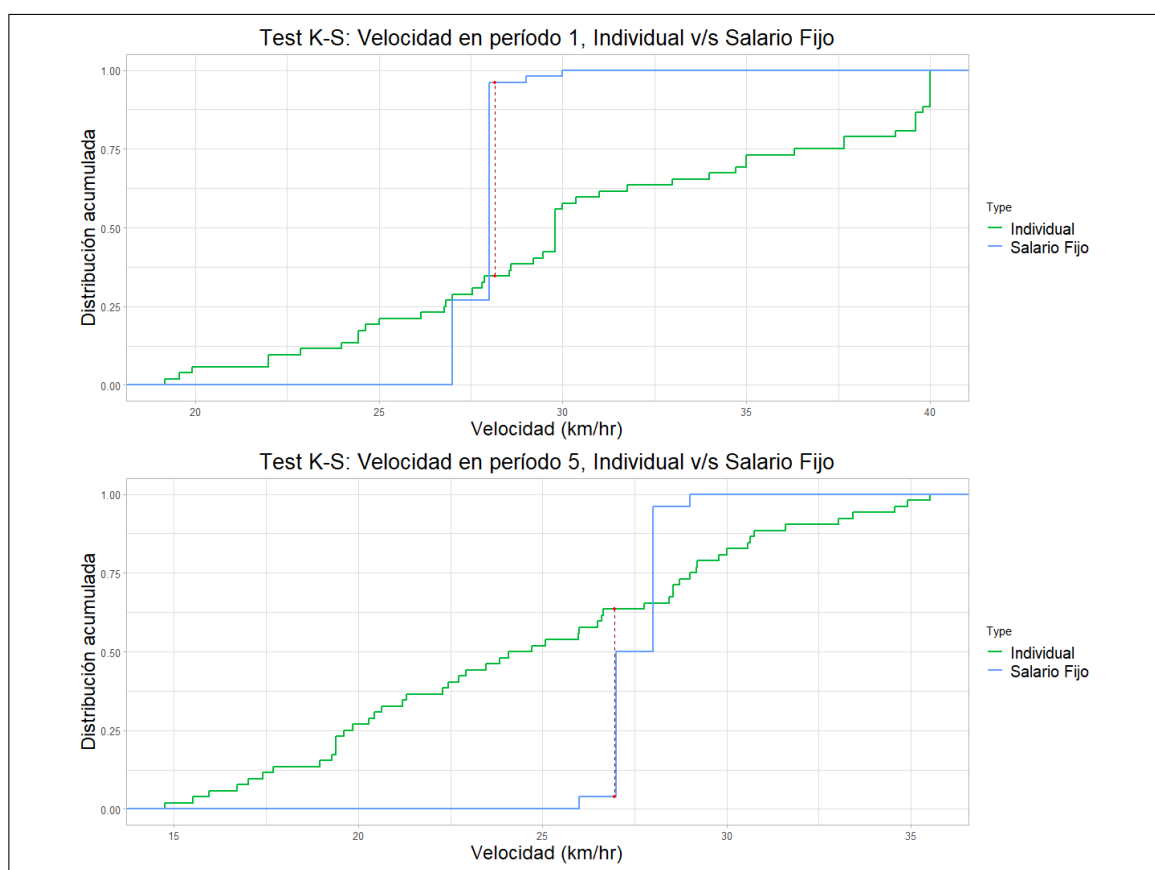


Figura G.1. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos individual y salario fijo, en términos de velocidad, para períodos 1 y 5.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

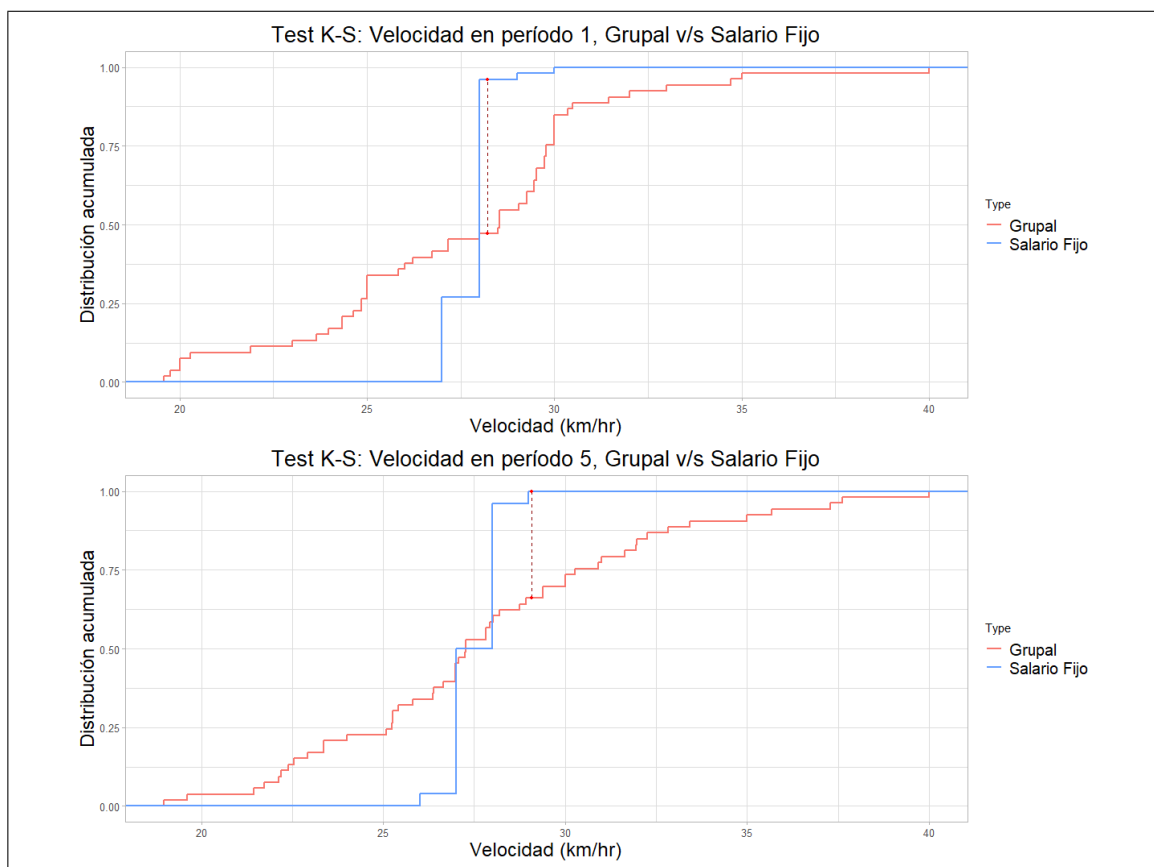


Figura G.2. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos grupal y salario fijo, en términos de velocidad, para períodos 1 y 5.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

H. RESULTADOS DEL *TEST* DE KOLMOGOROV-SMIRNOV CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO PARA VELOCIDAD

A continuación se presentan los resultados del *test* K-S para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$, en términos de velocidad de circulación escogida:

Tabla H.1. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de velocidad entre contrato individual y salario fijo.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.615384	5.601e-09	rechaza
2	BAJA	0.557692	1.893e-07	rechaza
3	MEDIA	0.480769	1.205e-05	rechaza
4	BAJA	0.423076	1.814e-04	rechaza
5	MUY ALTA	0.596153	1.883e-08	rechaza
6	MEDIA	0.519230	1.631e-06	rechaza
7	ALTA	0.442307	7.636e-05	rechaza
8	MEDIA	0.500000	4.520e-06	rechaza
9	MUY BAJA	0.500000	4.520e-06	rechaza
10	ALTA	0.519230	1.631e-06	rechaza

Tabla H.2. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de velocidad entre contrato grupal y salario fijo.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.489840	6.771e-06	rechaza
2	BAJA	0.338534	4.877e-03	rechaza
3	MEDIA	0.432510	1.087e-04	rechaza
4	BAJA	0.319666	9.631e-03	rechaza
5	MUY ALTA	0.414368	2.435e-04	rechaza
6	MEDIA	0.546444	3.114e-07	rechaza
7	ALTA	0.470972	1.753e-05	rechaza
8	MEDIA	0.376632	1.166e-03	rechaza
9	MUY BAJA	0.415094	2.359e-04	rechaza
10	ALTA	0.376632	1.166e-03	rechaza

I. DETALLE DE LA VELOCIDAD POR PERÍODO PARA CADA TIPO DE CONTRATO

Esta información es utilizada para realizar la Figura 4.1 a través del *software* R:

Tabla I.1. Detalle de las decisiones de velocidad por período agrupadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Demanda	Contrato	Vel. Promedio [km/hr]	Desv. Estándar [km/hr]
1	MUY BAJA	Grupal	27.51	4.09
1	MUY BAJA	Individual	30.89	6.26
1	MUY BAJA	Salario Fijo	27.79	0.57
2	BAJA	Grupal	27.81	2.94
2	BAJA	Individual	29.91	5.45
2	BAJA	Salario Fijo	27.63	0.86
3	MEDIA	Grupal	27.98	3.58
3	MEDIA	Individual	27.33	3.82
3	MEDIA	Salario Fijo	27.81	0.74
4	BAJA	Grupal	27.42	3.44
4	BAJA	Individual	28.42	4.69
4	BAJA	Salario Fijo	27.5	0.83
5	MUY ALTA	Grupal	27.81	4.57
5	MUY ALTA	Individual	24.66	5.59
5	MUY ALTA	Salario Fijo	27.5	0.64
6	MEDIA	Grupal	28.33	3.5
6	MEDIA	Individual	29.42	4.72
6	MEDIA	Salario Fijo	27.5	0.7
7	ALTA	Grupal	28.8	3.94
7	ALTA	Individual	28	4.74
7	ALTA	Salario Fijo	27.44	0.61
8	MEDIA	Grupal	27.62	3.43
8	MEDIA	Individual	28.94	3.61
8	MEDIA	Salario Fijo	27.46	0.67
9	MUY BAJA	Grupal	27.48	4.32
9	MUY BAJA	Individual	29.27	5.64
9	MUY BAJA	Salario Fijo	27.6	0.63
10	ALTA	Grupal	27.3	3.25
10	ALTA	Individual	26.2	4.1
10	ALTA	Salario Fijo	27.69	0.73

J. TEST K-S GRÁFICO CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO PARA TIEMPO EXTRA EN PARADERO

A continuación se muestran las representaciones gráficas del *test* Kolmogorov-Smirnov para los pares de distribuciones Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con respecto al tiempo extra en paradero en los períodos 7 y 10, que corresponden a paraderos de demanda alta:

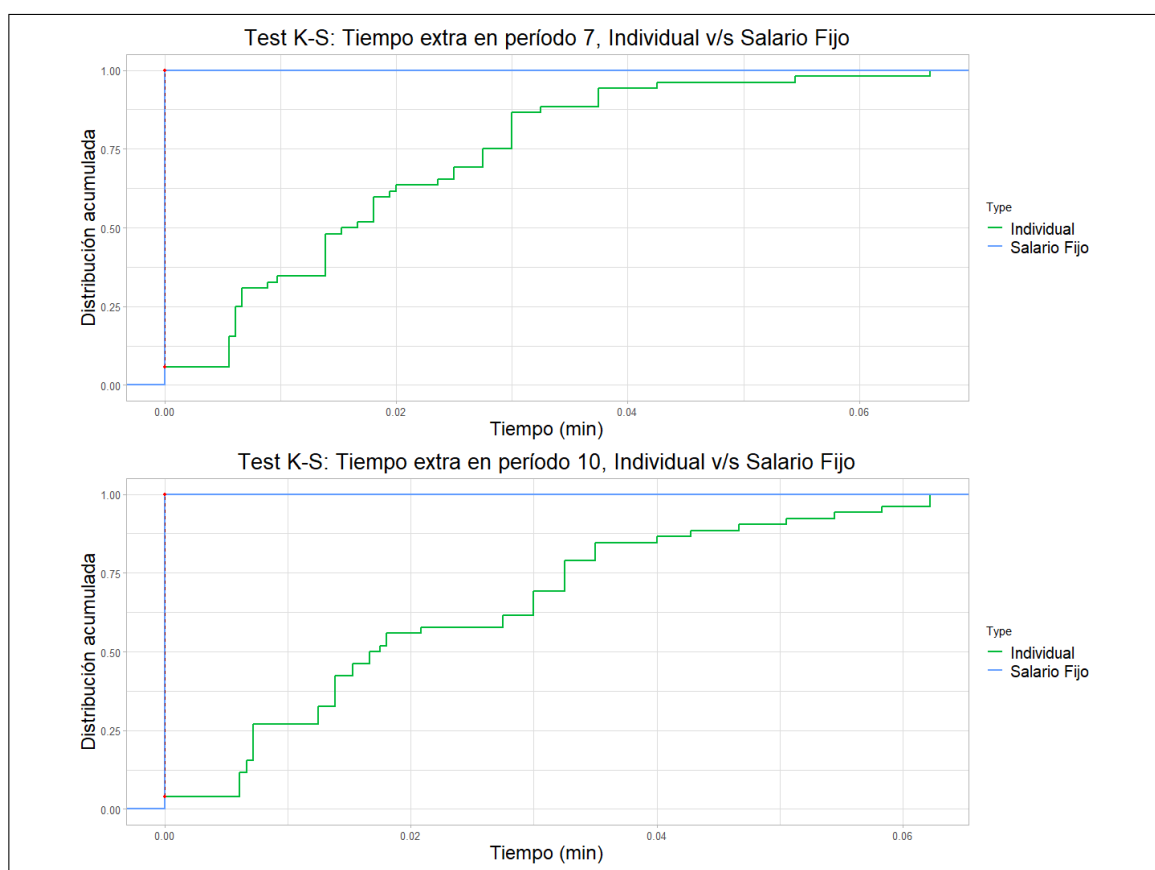


Figura J.1. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos individual y salario fijo, en términos de tiempo en paradero, para períodos 7 y 10.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

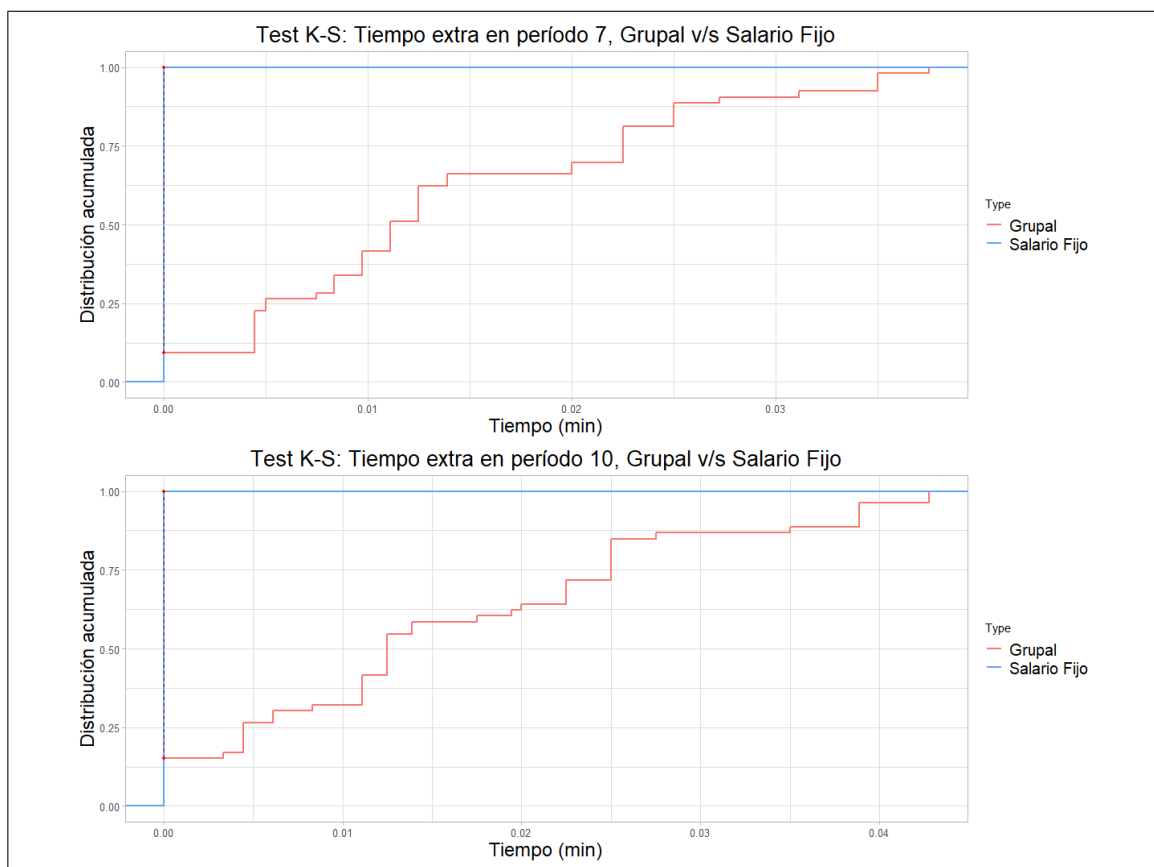


Figura J.2. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos grupal y salario fijo, en términos de tiempo en paradero, para períodos 7 y 10.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

K. RESULTADOS DEL *TEST* DE KOLMOGOROV-SMIRNOV CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO PARA ESFUERZO

A continuación se presentan los resultados del *test* K-S para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$, en términos del esfuerzo elegido:

Tabla K.1. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de esfuerzo entre contrato individual y salario fijo.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.730769	1.741e-12	rechaza
2	BAJA	0.750000	3.962e-13	rechaza
3	MEDIA	1.000000	0.000e+00	rechaza
4	BAJA	0.807692	3.663e-15	rechaza
5	MUY ALTA	0.942307	0.000e+00	rechaza
6	MEDIA	0.961538	0.000e+00	rechaza
7	ALTA	0.942307	0.000e+00	rechaza
8	MEDIA	0.942307	0.000e+00	rechaza
9	MUY BAJA	0.692307	2.999e-11	rechaza
10	ALTA	0.961538	0.000e+00	rechaza

Tabla K.2. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando decisiones de esfuerzo entre contrato grupal y salario fijo.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.660377	2.283e-10	rechaza
2	BAJA	0.754717	2.066e-13	rechaza
3	MEDIA	0.943396	0.000e+00	rechaza
4	BAJA	0.792452	9.658e-15	rechaza
5	MUY ALTA	0.924528	0.000e+00	rechaza
6	MEDIA	0.924528	0.000e+00	rechaza
7	ALTA	0.905660	0.000e+00	rechaza
8	MEDIA	0.867924	0.000e+00	rechaza
9	MUY BAJA	0.698113	1.548e-11	rechaza
10	ALTA	0.849056	1.110e-16	rechaza

L. DETALLE DEL ESFUERZO POR PERÍODO PARA CADA TIPO DE CONTRATO

Esta información es utilizada para realizar la Figura 4.4 a través del *software* R:

Tabla L.1. Detalle de las decisiones de esfuerzo por período agrupadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Demanda	Contrato	Tpo. Promedio [min]	Desv. Estándar [min]
1	MUY BAJA	Grupal	0.15	0.16
1	MUY BAJA	Individual	0.16	0.2
1	MUY BAJA	Salario Fijo	0	0
2	BAJA	Grupal	0.35	0.34
2	BAJA	Individual	0.36	0.5
2	BAJA	Salario Fijo	0	0
3	MEDIA	Grupal	0.56	0.4
3	MEDIA	Individual	0.67	0.54
3	MEDIA	Salario Fijo	0	0
4	BAJA	Grupal	0.33	0.34
4	BAJA	Individual	0.5	0.59
4	BAJA	Salario Fijo	0	0
5	MUY ALTA	Grupal	1.3	0.96
5	MUY ALTA	Individual	1.82	1.3
5	MUY ALTA	Salario Fijo	0	0
6	MEDIA	Grupal	0.51	0.37
6	MEDIA	Individual	0.57	0.45
6	MEDIA	Salario Fijo	0	0
7	ALTA	Grupal	0.85	0.61
7	ALTA	Individual	1.13	0.84
7	ALTA	Salario Fijo	0	0
8	MEDIA	Grupal	0.52	0.38
8	MEDIA	Individual	0.56	0.4
8	MEDIA	Salario Fijo	0	0
9	MUY BAJA	Grupal	0.15	0.14
9	MUY BAJA	Individual	0.19	0.25
9	MUY BAJA	Salario Fijo	0	0
10	ALTA	Grupal	0.95	0.75
10	ALTA	Individual	1.37	0.98
10	ALTA	Salario Fijo	0	0

M. RESULTADOS DEL *TEST* DE KOLMOGOROV-SMIRNOV CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO PARA DISTANCIA TRASERA

A continuación se presentan los resultados del *test* K-S para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$, en términos de la distancia con respecto al bus trasero:

Tabla M.1. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando distancias traseras entre contrato individual y salario fijo.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.884615	0.000e+00	rechaza
2	BAJA	0.807692	3.663e-15	rechaza
3	MEDIA	0.711538	7.368e-12	rechaza
4	BAJA	0.807692	3.663e-15	rechaza
5	MUY ALTA	0.711538	7.368e-12	rechaza
6	MEDIA	0.961538	0.000e+00	rechaza
7	ALTA	0.961538	0.000e+00	rechaza
8	MEDIA	0.961538	0.000e+00	rechaza
9	MUY BAJA	0.923076	0.000e+00	rechaza
10	ALTA	0.884615	0.000e+00	rechaza

Tabla M.2. *Test* de Kolmogorov-Smirnov con $\alpha = 0.01$, comparando distancias traseras entre contrato grupal y salario fijo.
Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	D	p-value	Conclusión
1	MUY BAJA	0.527213	9.207e-07	rechaza
2	BAJA	0.433236	0.000105	rechaza
3	MEDIA	0.488026	7.432e-06	rechaza
4	BAJA	0.413642	0.000251	rechaza
5	MUY ALTA	0.338534	0.004877	rechaza
6	MEDIA	0.357402	0.002448	rechaza
7	ALTA	0.338896	0.004815	rechaza
8	MEDIA	0.357039	0.002481	rechaza
9	MUY BAJA	0.392960	0.000603	rechaza
10	ALTA	0.338171	0.004940	rechaza

N. TEST K-S GRÁFICO CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO PARA DISTANCIA RESPECTO AL BUS TRASERO

A continuación se muestran las representaciones gráficas del *test* Kolmogorov-Smirnov para los pares de distribuciones Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con respecto a la distancia trasera adoptada en el período 6, que corresponden a un paradero posterior a una demanda muy alta:

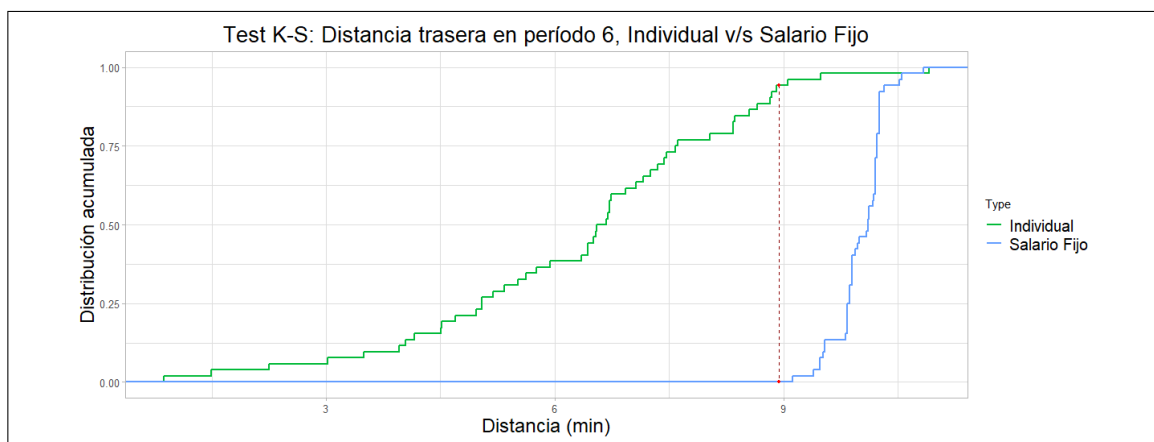


Figura N.1. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos individual y salario fijo, en términos de distancia trasera, para período 6.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

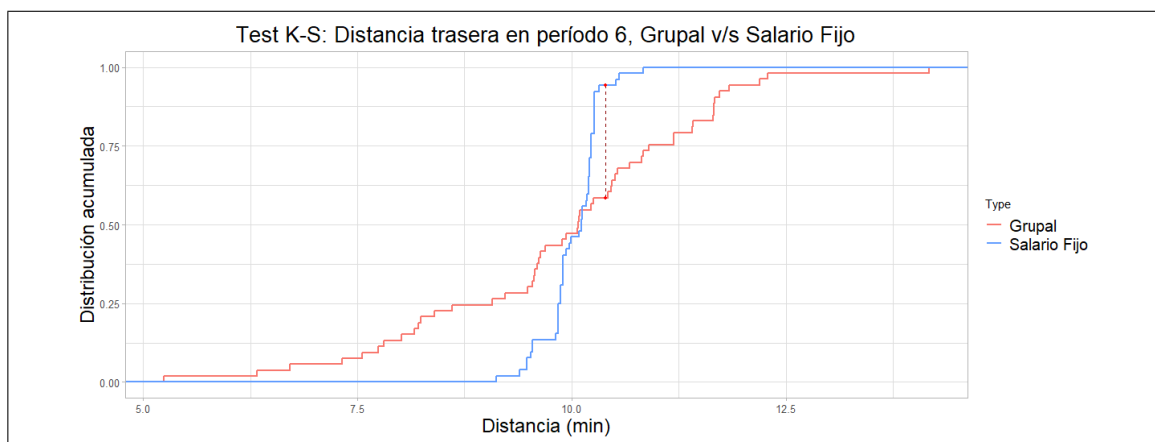


Figura N.2. Representación gráfica del *test* K-S comparando contratos grupal y salario fijo, en términos de distancia trasera, para período 6.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *ggplot* en R.

O. DETALLE DE LA DISTANCIA CON RESPECTO AL BUS TRASERO POR PERÍODO PARA CADA TIPO DE CONTRATO

Esta información es utilizada para realizar la Figura 4.7 a través del *software* R:

Tabla O.1. Detalle de las distancias con respecto al bus trasero por período agrupadas por tipo de contrato.

Fuente: Elaboración propia.

Período	Demanda	Contrato	Dist. Promedio [min]	Desv. Estándar [min]
1	MUY BAJA	Grupal	10.46	1.41
1	MUY BAJA	Individual	7.01	2.05
1	MUY BAJA	Salario Fijo	9.83	0.33
2	BAJA	Grupal	10.23	1.22
2	BAJA	Individual	7.72	1.8
2	BAJA	Salario Fijo	9.92	0.32
3	MEDIA	Grupal	10.22	1.57
3	MEDIA	Individual	8.2	2.41
3	MEDIA	Salario Fijo	9.95	0.3
4	BAJA	Grupal	10.23	1.51
4	BAJA	Individual	7.94	2.64
4	BAJA	Salario Fijo	10.05	0.32
5	MUY ALTA	Grupal	10.04	1.76
5	MUY ALTA	Individual	8.11	2.9
5	MUY ALTA	Salario Fijo	10.03	0.36
6	MEDIA	Grupal	9.88	1.67
6	MEDIA	Individual	6.35	2.06
6	MEDIA	Salario Fijo	10.02	0.31
7	ALTA	Grupal	10	1.56
7	ALTA	Individual	6.75	1.63
7	ALTA	Salario Fijo	10.01	0.31
8	MEDIA	Grupal	10.28	1.59
8	MEDIA	Individual	6.62	2
8	MEDIA	Salario Fijo	9.98	0.27
9	MUY BAJA	Grupal	10.16	1.05
9	MUY BAJA	Individual	6.97	1.73
9	MUY BAJA	Salario Fijo	9.95	0.26
10	ALTA	Grupal	9.9	1.4
10	ALTA	Individual	7.22	1.84
10	ALTA	Salario Fijo	9.97	0.25

P. TEST T DE PASAJEROS TOTALES CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO

A continuación se presentan los resultados del *test t* de diferencia de medias para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$, en términos del total de pasajeros transportados por el sistema:

Tabla P.1. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y salario fijo, en términos de pasajeros totales del sistema.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Pasajeros.Sistema	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	1.807048
<i>sig. level</i>	0.01
<i>power</i>	1
<i>alternative</i>	two.sided

Tabla P.2. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago grupal y salario fijo, en términos de pasajeros totales del sistema.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Pasajeros.Sistema	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	3.726021
<i>sig. level</i>	0.01
<i>power</i>	1
<i>alternative</i>	two.sided

Q. TEST T DE TIEMPO EXTRA EN PARADERO CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO

A continuación se presentan los resultados del *test t* de diferencia de medias para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$, en términos del tiempo extra total en paradero:

Tabla Q.1. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y salario fijo, en términos de tiempo extra total en paradero.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Tiempo Paraderos	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	3.203904
<i>sig.level</i>	0.01
<i>power</i>	1
<i>alternative</i>	two.sided

Tabla Q.2. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago grupal y salario fijo, en términos de tiempo extra total en paradero.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Tiempo Paraderos	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	2.762748
<i>sig. level</i>	0.01
<i>power</i>	1
<i>alternative</i>	two.sided

R. *TEST T* DE ENERGÍA RESIDUAL CON RESPECTO AL ESQUEMA DE SALARIO FIJO

A continuación se presentan los resultados del *test t* de diferencia de medias para los pares de contratos Salario Fijo - Pago Individual y Salario Fijo - Pago Grupal con un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$, en términos de la energía final:

Tabla R.1. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago individual y salario fijo, en términos de la energía final.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Energia_Final	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	3.265313
<i>sig.level</i>	0.01
<i>power</i>	1
<i>alternative</i>	two.sided

Tabla R.2. *Test t* de poder estadístico para diferencia de medias entre esquema de pago grupal y salario fijo, en términos de la energía final.

Fuente: Elaboración propia a través de la librería *pwr.t.test* en R.

Two-sample t test power calculation for Energia_Final	
<i>n</i>	52
<i>d</i>	3.030087
<i>sig. level</i>	0.01
<i>power</i>	1
<i>alternative</i>	two.sided