



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

# **Impactos de la variabilidad en la conducción en la efectividad de herramientas de control de intervalos en transporte público**



**Yerly Fabian Martínez E.**  
**Juan Carlos Muñoz A.**  
**Felipe Delgado B.**

## Contenidos de la presentación

- ❖ Motivación
- ❖ Modelo
- ❖ Caso de estudio
- ❖ Resultados y análisis

# Impacto de tener intervalos irregulares

## Usuario

- Degrada nivel de servicio.
- Incremento en tiempos de espera y de viaje.
- Disminución del comfort y la confiabilidad.

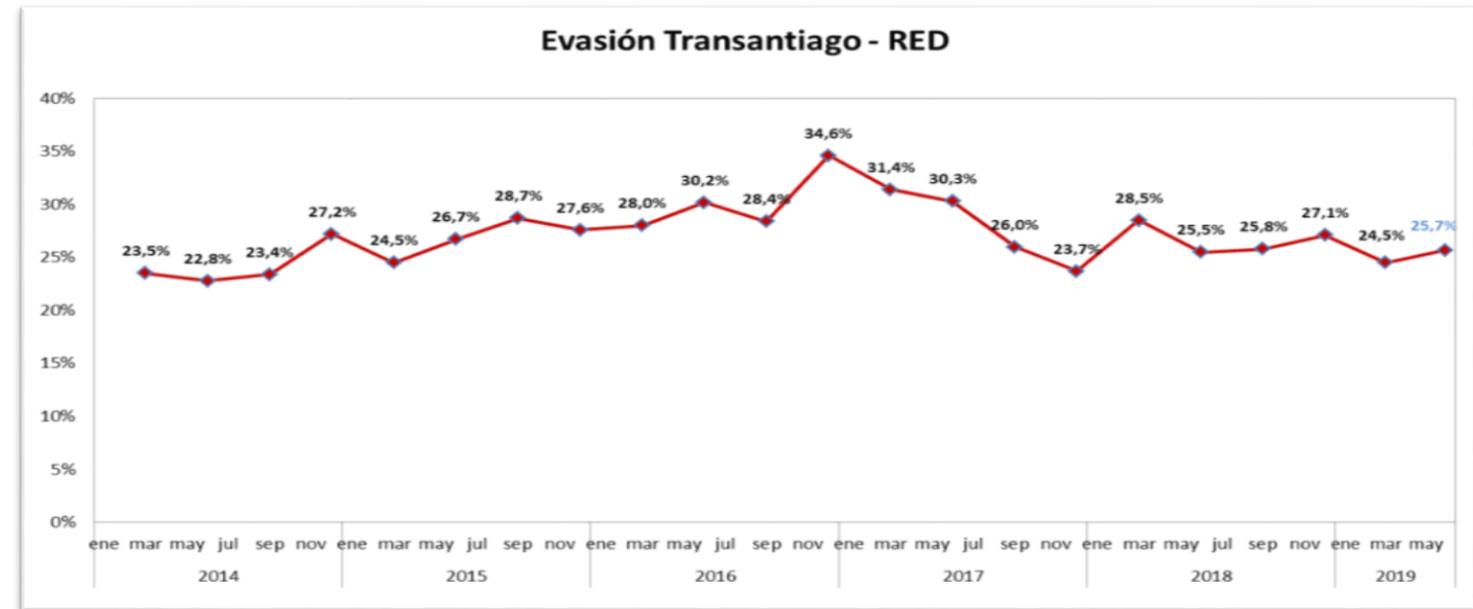


# Impacto de tener intervalos irregulares



## Operador

- Incremento en los costos del sistema.
- Aumento en los tiempos de ciclo.
- Disminución en la demanda y en los ingresos provenientes de tarifa.
- Promueve la evasión (Beltrán et al., 2015).



# Factores que afectan la regularidad

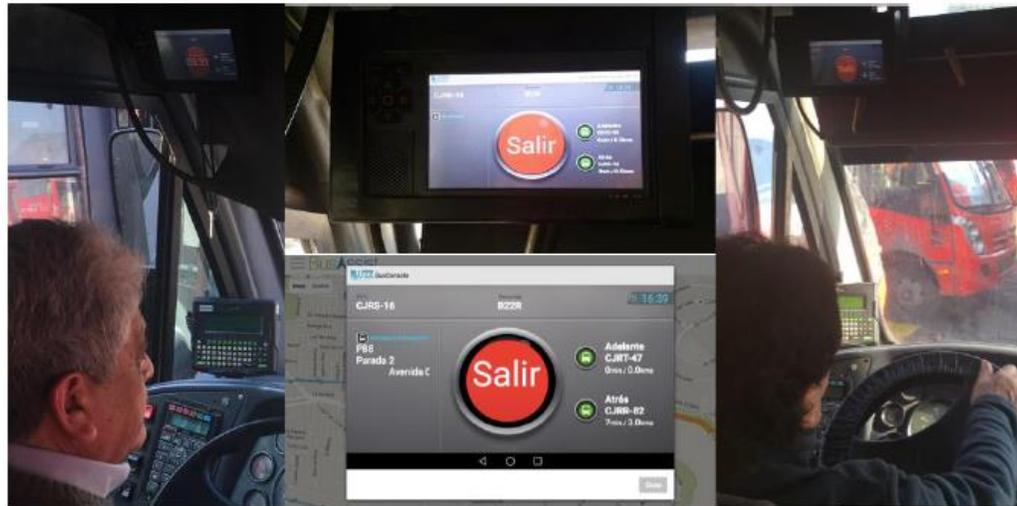


**Comportamiento  
del conductor  
de bus**



# Interacción con dispositivos de control/apoyo a la conducción

## BusAssist - Santiago



## Asistente de conducción



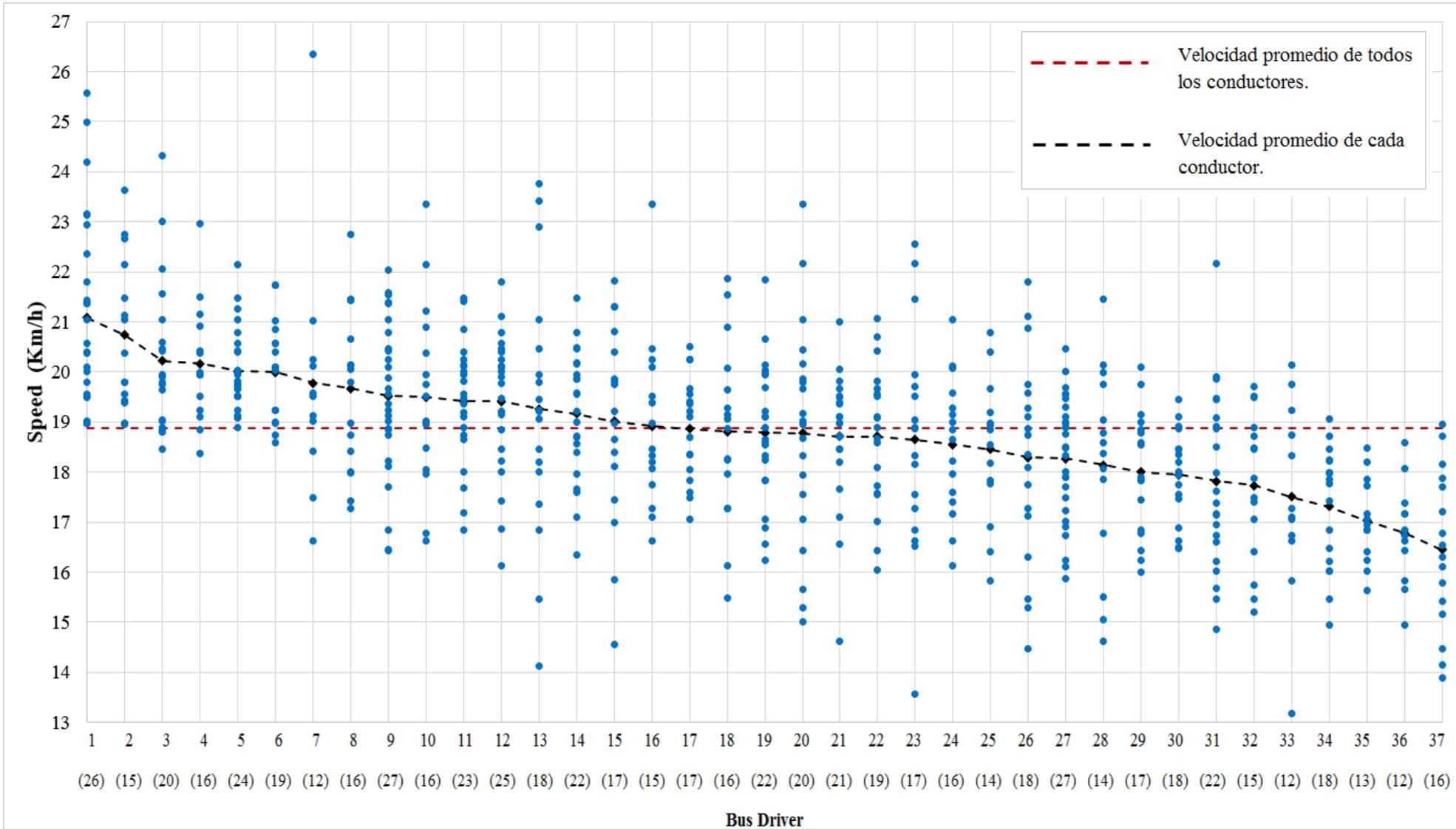
- Conductores de bus son fundamentales para el éxito del sistema (Lizana et al., 2014)
- Si en **7%** de los buses (siempre los mismos) no se ejecutan las instrucciones = reducción en **15%** los beneficios (Phillips et al. 2014).

**¿Conducen diferente los conductores de buses?**

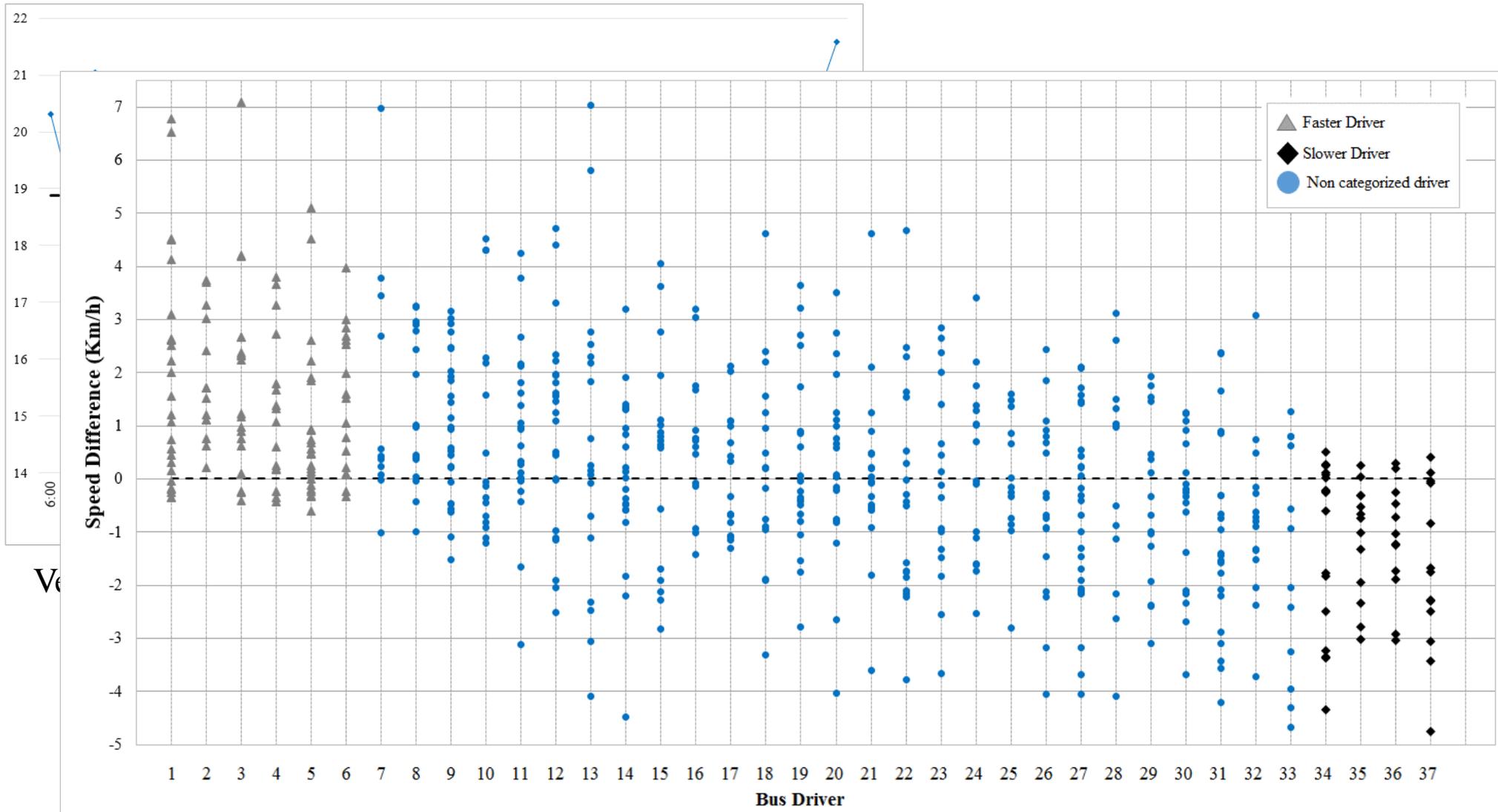
**¿Qué significa conducir diferente?**

- Se demoran más tiempo en las paradas.
- La velocidad en condiciones equivalentes de tráfico es distinta.
- Aceleran y/o desaceleran más rápido al llegar / salir de un paradero o en una intersección vial.
- Respetan todas las señales de tránsito.
- Velocidad promedio de circulación para un mismo recorrido es distinta





Velocidad promedio de cada conductor por recorrido en periodo punta mañana



Diferencia de velocidad entre las carreras de un conductor y la velocidad promedio de todas las carreras despachadas en el mismo intervalo. Conductores ordenados del más rápido al más lento

**¿Qué impacto tiene en la eficiencia de las herramientas de apoyo a la regularidad de los intervalos asumir que cada conductor conduce diferente?**

# Contenidos de la presentación

- ❖ Motivación
- ❖ Modelo
- ❖ Caso de estudio
- ❖ Resultados y análisis

# Modelación

- ❖ Se utilizará como base el modelo y ambiente de simulación desarrollado por Delgado et al.(2012)\*.

E.O.

$$\text{Min}_{h_{kn}, w_{kn}} \frac{\theta_1 * T_{esp} + \theta_2 * T_{in-veh} + \theta_3 * T_{extra} + \theta_4 * PE}{PAX}$$

Tiempo de espera en paradero

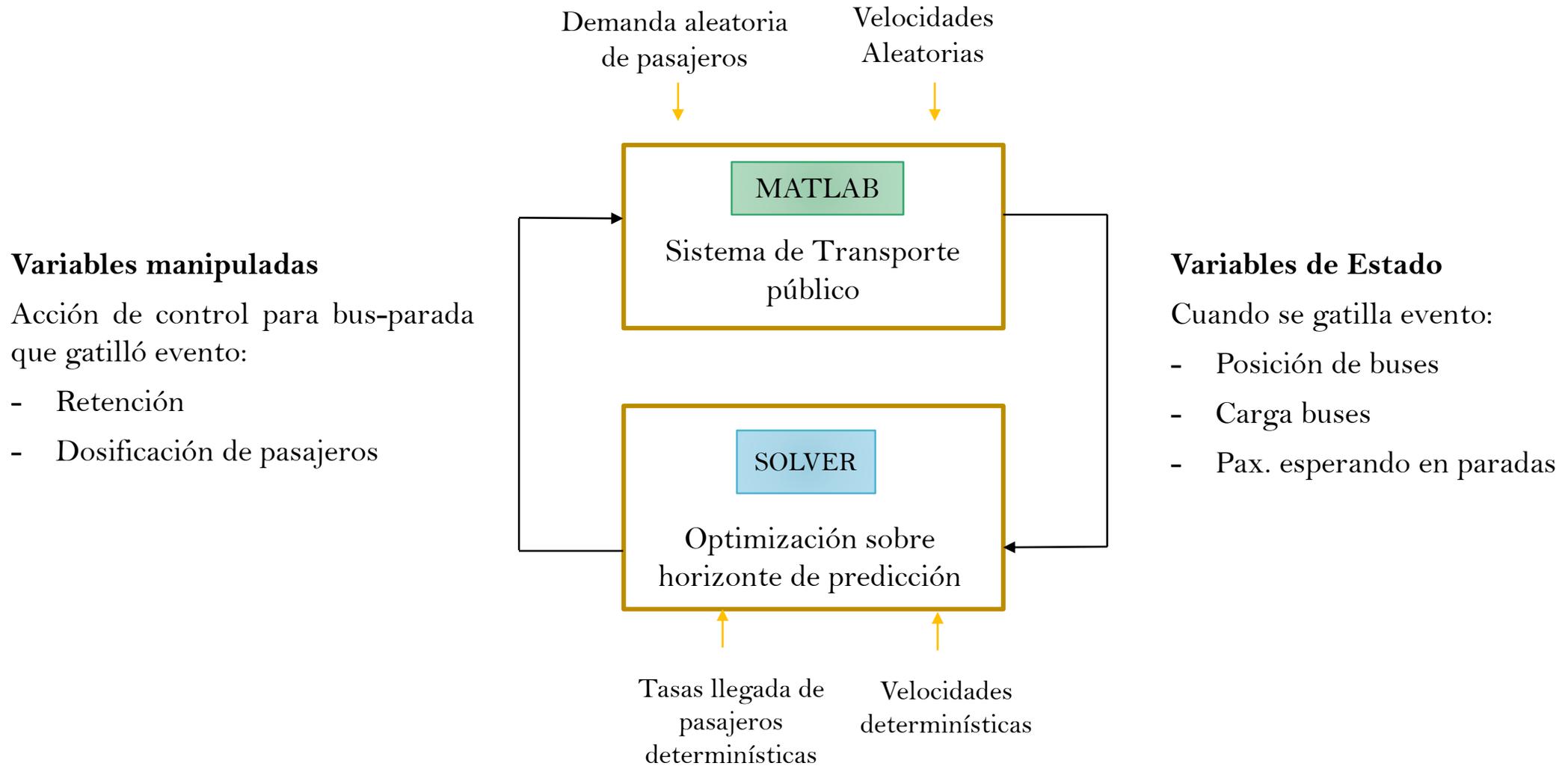
Tiempo de espera dentro del bus

Tiempo de espera extra

Penalidad por pax. dejados

\* Delgado, F., Munoz, J. C., & Giesen, R. (2012). How much can holding and / or limiting boarding improve transit performance? *Transportation Research Part B*, 46(9), 1202–1217.

# Modelación

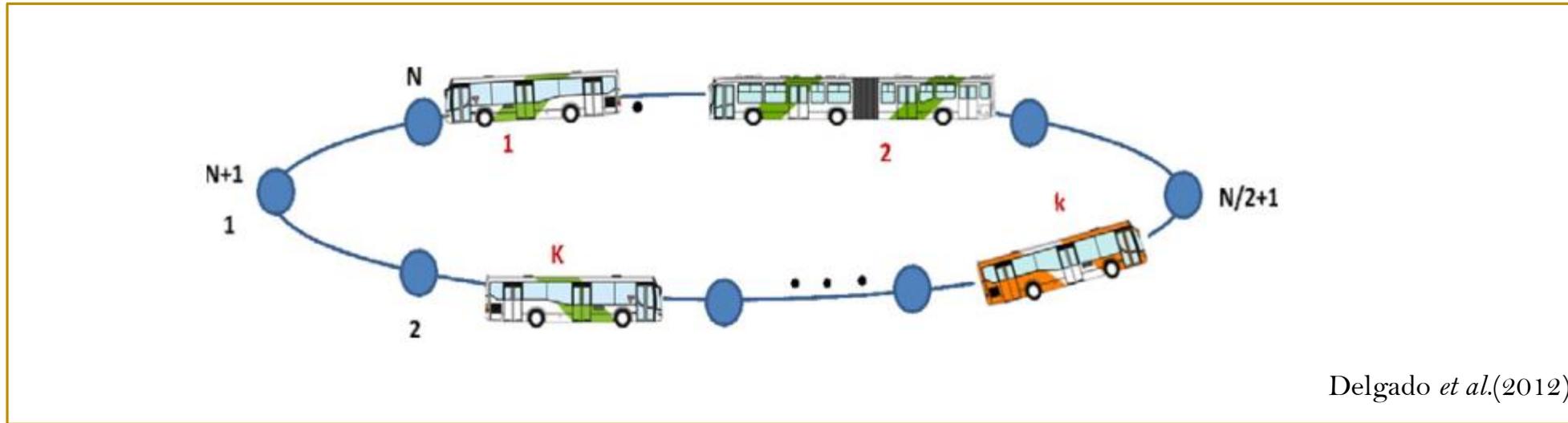


- Los eventos en el sistema en estudio son gatillados cada vez que un bus llega a una parada.

# Contenidos de la presentación

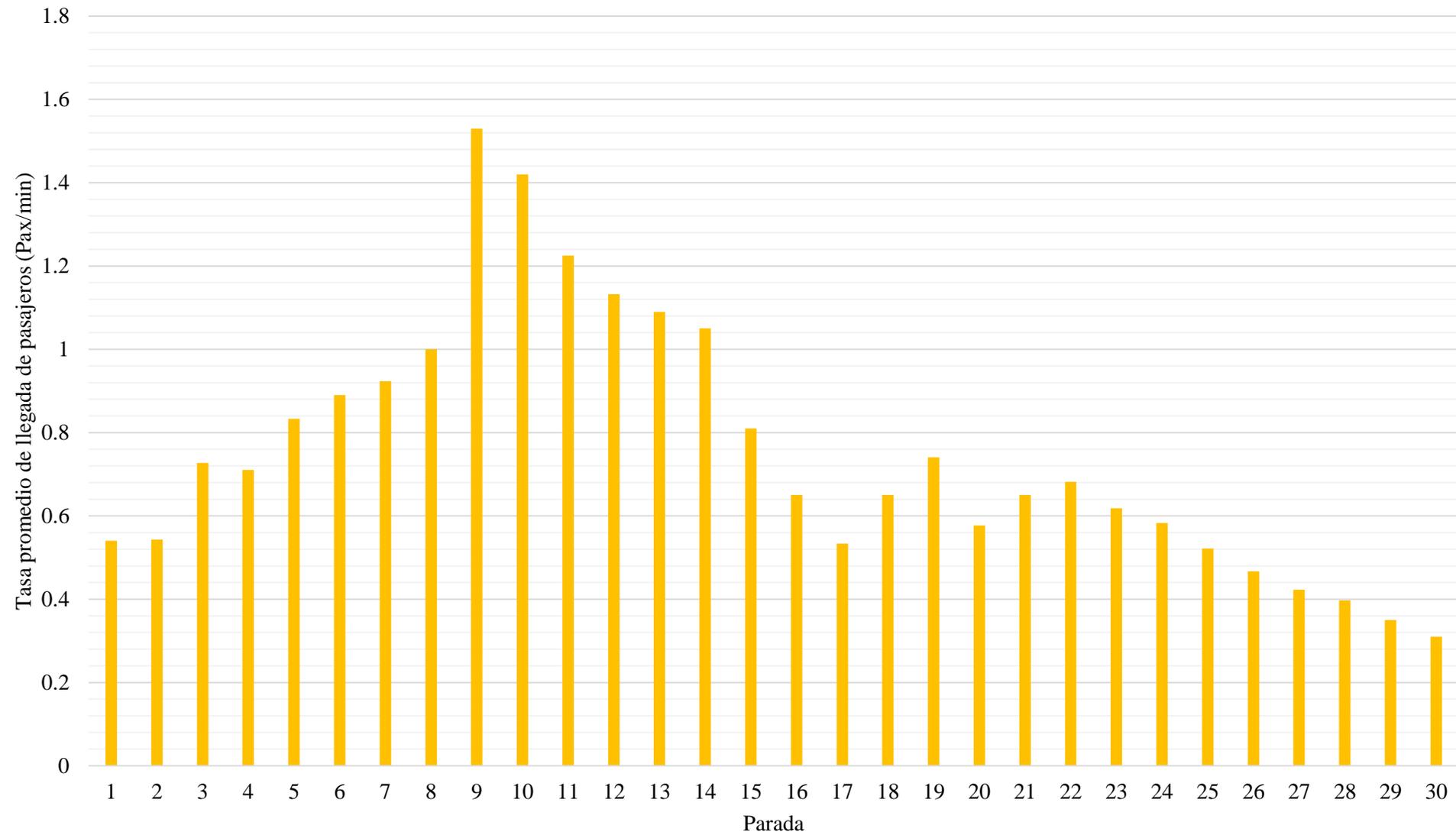
- ❖ Motivación
- ❖ Modelo
- ❖ Caso de estudio
- ❖ Resultados y análisis

# Simulación – Caso de estudio



- Corredor unidireccional de 10 Km,
- 30 paradas y 15 buses de capacidad 100 pax..
- Tiempo marginal de ascenso = 2,5 seg/pax
- Tiempo marginal de bajada = 1,5 seg/pax
- Intervalo de diseño: 5,0 min      Tiempo de simulación: 120 min.
- $\theta_1 = 1$      $\theta_2 = 0,5$      $\theta_3 = 2^*$      $\theta_4 = 0$  o 9000

\* Boardman, Greenberg, Vining, & Weimer, (2006)



Tasa promedio de llegadas de pasajeros a las diferentes paradas

## ➤ Políticas de comparación

**Sin Control:** Buses son despachados de acuerdo a un intervalo de diseño a medida que van llegando al terminal.

**HRT:** Retención (Holding) cada vez que un bus alcanza un paradero en el horizonte móvil.

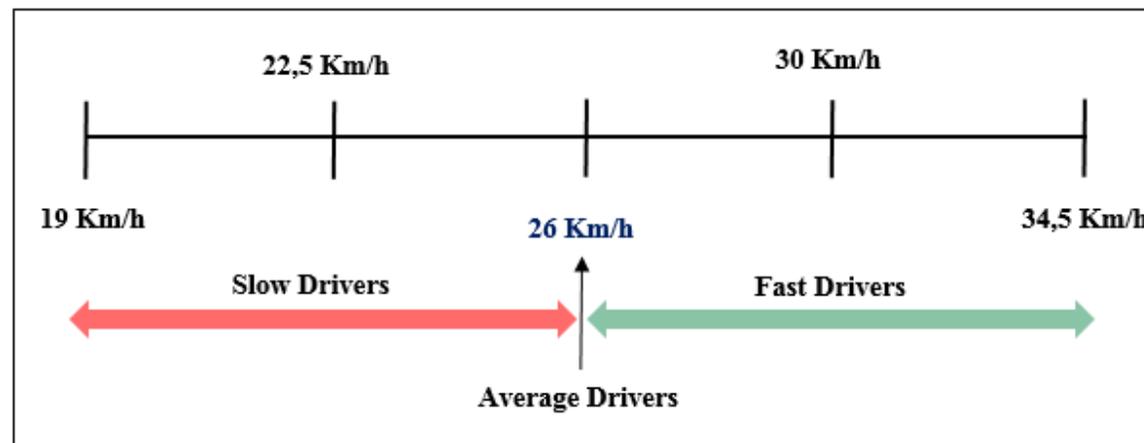
# Escenarios de simulación

Los escenarios de simulación se estructuraron de la siguiente forma:

1. **Velocidad promedio de referencia** (ARS) de cada conductor en base a la información del operador de buses de Santiago
2. **Coefficiente de variación** (CV) de las velocidades del grupo de conductores para representar la dispersión entre distintos conductores de un mismo grupo.

# Escenarios de simulación

Speed Driver	Driver Class		
	Fast: ARS = 30 Km/h	Average: ARS = 26 Km/h	Slow: ARS = 22,5 Km/h
<b>Iguales</b>	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 3
	CV=0	CV=0	CV=0
<b>Diferentes (CV Bajo)</b>	Escenario 4		Escenario 5
	CV = 0,01		CV = 0,01
<b>Diferentes (CV Alto)</b>	Escenario 6		Escenario 7
	CV = 0,09		CV = 0,09



## Contenidos de la presentación

- ❖ Motivación
- ❖ Modelo
- ❖ Caso de estudio
- ❖ Resultados y análisis

➤ Resultados y análisis: **Caso Sin Control**

Conductores	Exceso Tiempo total de Espera (min)		
	Fast	Average	Slow
Iguales	6313,3 (-6%) Esc 2 (vs Esc 1)	6735,1 Esc 1	7218,9 (+7%) Esc 3 (vs Esc 1)
Diferentes (CV Bajo)	7608,0 (+21%) Esc 4 (vs Esc 2)		8254,3 (+14%) Esc 5 (vs Esc 3)
Diferentes (CV Alto)	7889,6 (+25%) Esc 6 (vs Esc 2)		8905,6 (+23%) Esc 7 (vs Esc 3)

**A mayor variabilidad peor desempeño y mayores tiempos de espera**

➤ **Resultados y análisis: Caso control HRT y CV alto**

AI: se ingresa al modelo de optimización información precisa de la velocidad de cada conductor

NoAI: asume que la velocidad de cada conductor es la velocidad promedio del grupo de conductores

Conductores	Exceso Tiempo total de Espera (min)		
	Fast	Average	Slow
Iguales	4745,1 (-25%) Esc 2	5464,5 (-19%) Esc 1	6584,3 (-9%) Esc 3
Diferentes / NoAI	5730,9 (-27%) Esc 6 (No AI)		7172,6 (-20%) Esc 7 (NoAI)
Diferentes / AI	5435,4 (-31%) Esc 6 (AI)		6880,9 (-23%) Esc 7 (AI)

**A mayor variabilidad entre conductores las estrategias de control de holding presentan mayores beneficios.**

**Poseer información precisa de cada conductor permite obtener mayores ahorros en tiempos de espera**

## ➤ Resultados y análisis

### ❖ Asignación eficiente de conductores a líneas de buses según su velocidad

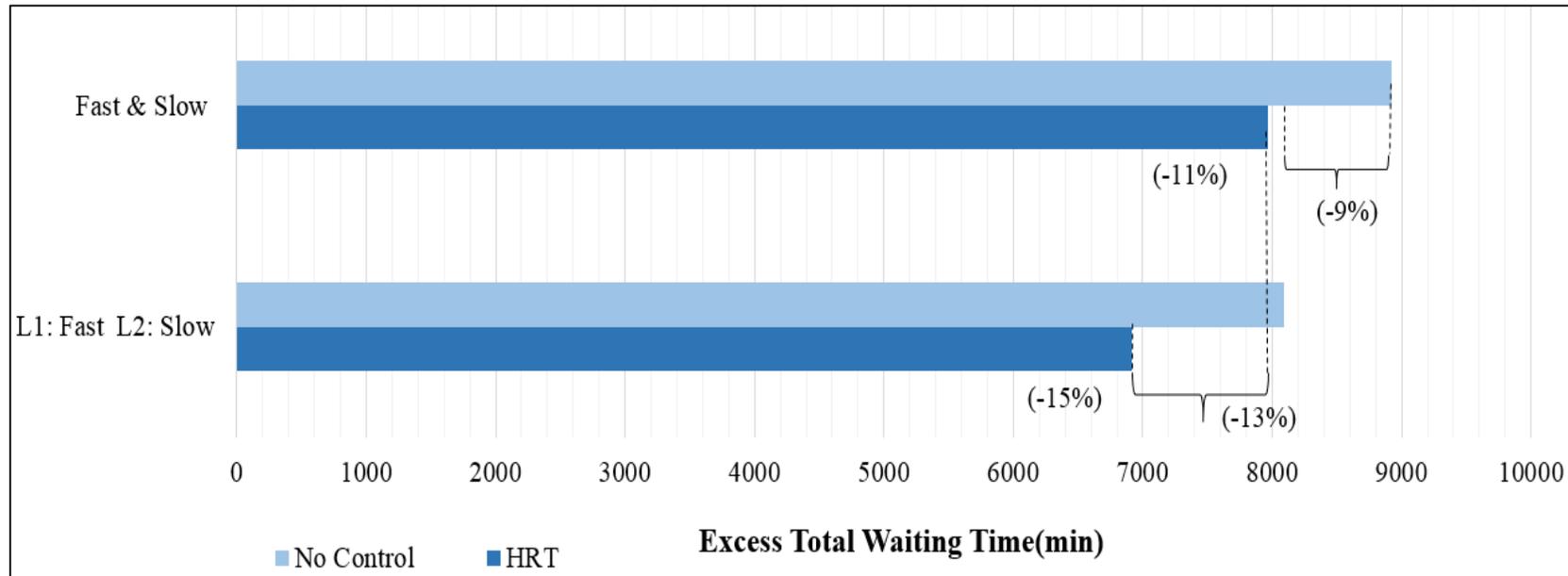
Se definieron dos esquemas de asignación para un operador trabaja con dos líneas de buses y que puede asignar a sus conductores a cualquiera de ellas

		<b>BUS DRIVER</b>
<b>ESQUEMA 1</b>	LÍNEA 1	Fast
	LÍNEA 2	Slow
<b>ESQUEMA 2</b>	LÍNEA 1 Y 2	Fast & Slow

Esquemas de asignación para cada línea

## ➤ Resultados y análisis

### ❖ Asignación eficiente de conductores a líneas de buses según su velocidad



Tiempos totales de espera por esquema

## ➤ Conclusiones

- ❖ A medida que aumenta la variabilidad en la velocidad de los conductores el desempeño del sistema empeora en la ausencia de mecanismos de control.
- ❖ A mayor variabilidad de comportamiento entre conductores las estrategias de control de holding presentan mayores beneficios.
- ❖ Conocer o estimar la velocidad promedio de cada conductor durante cada periodo de operación permite mejorar el desempeño de un sistema de líneas de buses al estratificar los conductores de cada línea de acuerdo a su velocidad de conducción.
- ❖ Los operadores de buses debieran estratificar sus conductores por línea de acuerdo a la velocidad histórica de conducción. Esta simple estratificación permitirá aumentar la velocidad promedio de los servicios y su regularidad

**Gracias.**



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

# **Impactos de la variabilidad en la conducción en la efectividad de herramientas de control de intervalos en transporte público**



**Yerly Fabian Martínez E.**  
**Juan Carlos Muñoz A.**  
**Felipe Delgado B.**