



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE



# Grandes resultados desde intervenciones sutiles en estación Tobalaba

Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte  
7 de Octubre, 2019

Juan Carlos **Muñoz**

 @JuanCaMunozA

Departamento de Ingeniería de Transporte & Logística  
Pontificia Universidad Católica de Chile

The challenge of transportation systems analysis is to intervene, delicately and deliberately, in the complex fabric of a society to use transport effectively, in coordination with other public and private actions, to achieve the goals of that society

Marvin L. Manheim

Filas Congestión Fricción Demoras

(muy por sobre lo razonable o eficiente)

(Beneficio individual vs Beneficio Social)

# ESTACIÓN TOBALABA L4



Tobalaba es la estación terminal norte de Línea 4. Aquí se combina a línea 1

La Línea 4 opera bajo un esquema expreso (skip-stop) en que trenes se saltan estaciones alternadas.

En la hora punta AM 29.000 pax/h llegan a esta estación desde el sur.

La punta tarde presenta condiciones simétricas.

Los andenes fueron construidos con un estándar inadecuado. Muy angostos! Y con pocas escalas.

Evacuating the station is the morning bottleneck... feeding it is the evening one.

# Cuello de botella en una línea normal

Cuántos trenes pueden circular por la línea, es decir máxima frecuencia. Frecuencia máxima exige reducir el tiempo de ciclo

$$f = \frac{flota}{t_{ciclo}}$$

Pero esta frecuencia máxima debe ser suficiente para que en todas las estaciones los pasajeros alcancen a abordar.

$$f = \frac{1}{intervalo\ promedio} \leq \frac{1}{int_{seguridad} + tiempo\ de\ detención\ en\ estaciones} = f_{max_i} \quad \forall i \in Estaciones$$

Esto determina la estación crítica de una línea.

# Cuello de botella en una línea normal

La única forma de aumentar la frecuencia por sobre este valor de frecuencia máxima de la estación crítica, es dejar pasajeros sin alcanzar a abordar.

¿Qué pasa si el tren se detiene lo necesario para que todos aborden y se aumenta los trenes en la línea con el fin de aumentar la frecuencia?

$$f = \frac{flota}{t_{ciclo}}$$

Noten que en estas circunstancias el foco de aumentar la frecuencia máxima está en los pasajeros, no en los trenes

# ESTACIÓN TOBALABA L4



Tobalaba es la estación terminal norte de Línea 4. Aquí se combina a línea 1

La Línea 4 opera bajo un esquema expreso (skip-stop) en que trenes se saltan estaciones alternadas.

En la hora punta AM 29.000 pax/h llegan a esta estación desde el sur.

La punta tarde presenta condiciones simétricas.

Los andenes fueron construidos con un estándar inadecuado. Muy angostos! Y con pocas escalas.

Evacuar los pasajeros de la estación es el cuello de botella matinal... alimentarla es el de las tardes.

# Tres ideas

Una válvula en el andén

Retardar los trenes...

Dividiendo la demanda

# Tres ideas

Una válvula en el andén

Retardar los trenes...

Dividiendo la demanda



← Combinaci

EN  
**01**  
DÍAS

INSTALAREMOS EN ESTE PUNTO  
**UNA PUERTA** PARA ORIENTAR  
TUS DESPLAZAMIENTOS.

RECUERDA: PREFERE LOS **3 PRIMEROS** CARROS  
SI VAS A SAN PABLO.

SE CONECTA A SAN PABLO POR LAS LÍNEAS 1 Y 2



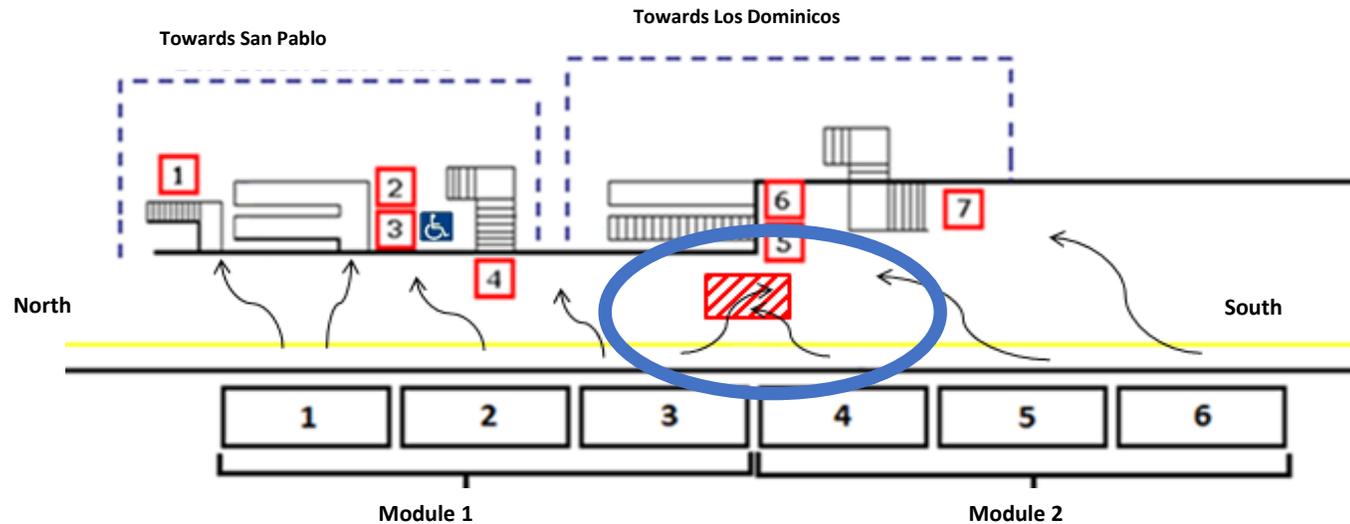


# DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN BASE – PUNTA AM

Las escalas y escaleras afectan la ubicación de los pasajeros al interior del tren. Ellos buscan agilizar su transbordo personal hacia ambas direcciones de la línea 1

Un poco más de pasajeros quieren transferir en dirección San Pablo que a Los Dominicos

El carro ideal para ir hacia Los Dominicos es el carro 3 lo que fuerza a quienes van a San Pablo a usar carros 5 y 6. Esto genera un gran contraflujo



# DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN BASE – PUNTA AM

Punta AM – Datos operacionales:

Pasajeros llegando a Tobalaba L4 : 29.000 pax/h

Frecuencia programada: 24 trenes/h.

Intervalo programado: 2:28.

Operación expresa

El andén es claramente el cuello de botella de la estación y la línea

Por razones de seguridad el tren debe esperar a que se evacúe el andén antes de entrar. Esto no ocurre.

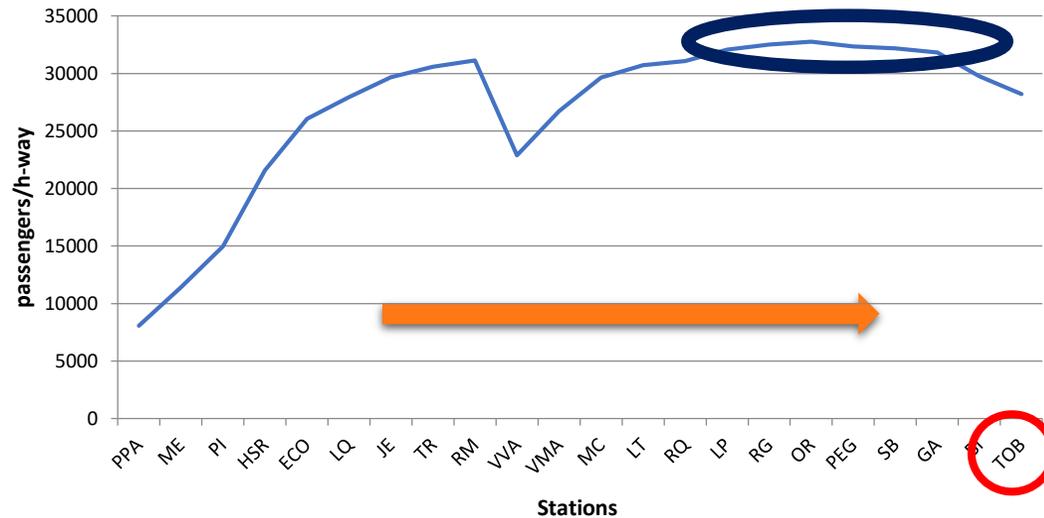
Los usuarios toman más de 2:28 en evacuar el andén. A veces bastante más.

Los trenes toman más tiempo del programado en ingresar a la estación, descargar pasajeros y salir.

Esto impide dar ofrecer la capacidad programada de transporte (sólo se dan en promedio 22 trenes/h)

# DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN BASE – PUNTA AM

## Capacidad disponible en trenes...



Abordar los trenes es difícil entre estaciones Macul (MC) y Bilbao (BI).

Station	Full Available	Available	Not Available
PPA	Full Available	Available	Not Available
HSR	Full Available	Available	Not Available
ECO	Full Available	Available	Not Available
VVA	Full Available	Available	Not Available
VMA	Full Available	Available	Not Available
PEG	Full Available	Available	Not Available
TOB	Full Available	Available	Not Available

EN

01

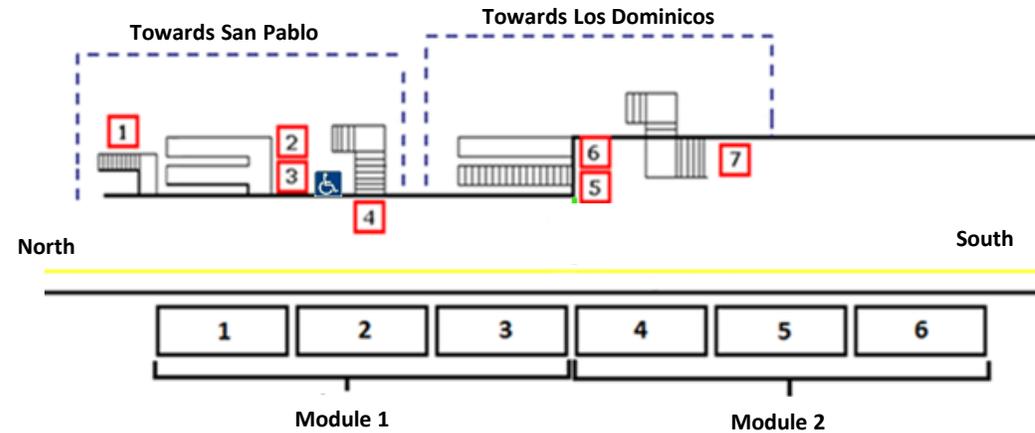
DÍAS

INSTALAREMOS EN ESTE PUNTO  
**UNA PUERTA** PARA ORIENTAR  
TUS DESPLAZAMIENTOS.

**RECUERDA:** PREFIERE LOS **3 PRIMEROS CARROS**  
SI VAS A **SAN PABLO**.

DE LUNES A VIERNES ENTRE LAS 7:00 Y 9:00 AM

# SOLUCIÓN DE GESTIÓN



Qué tal si restringimos la libertad de movimiento en el andén?

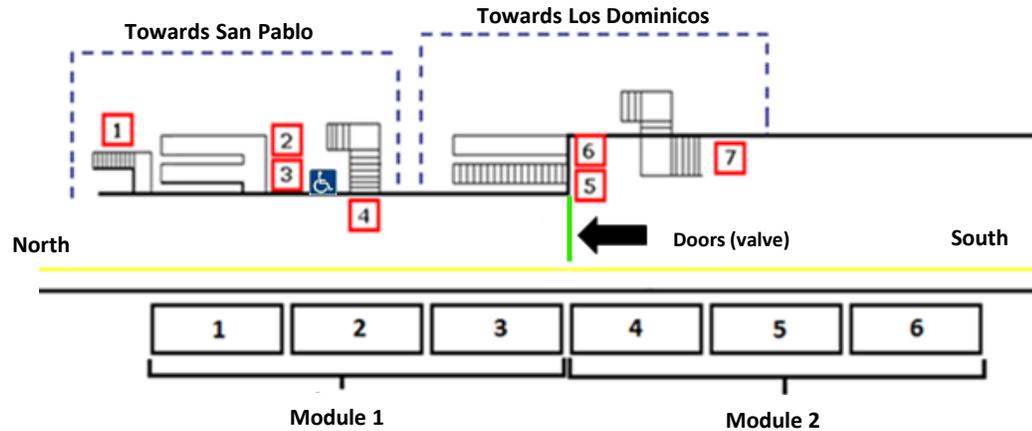
Necesitamos distribuir los pasajeros al interior del tren de modo que todos estén cerca de las escalas que deberán usar

Si todos los usuarios se mueven en la misma dirección (sur a norte)... no habría más contraflujos frente a carros 3 y 4.

El análisis simultáneo del tren y del andén derivó en el diseño de una válvula unidireccional de pasajeros a instalar en el andén.

# SOLUCIÓN DE GESTIÓN

## La válvula...



La válvula consiste en una puerta manualmente operada por personal de Metro, pero con seguridad que asegura que sea respetada

La comprensión y colaboración de los usuarios es esencial. Se implementó una campaña comunicacional en todas las estaciones aguas arriba.



# RESULTADOS

El tiempo de despeje del andén cayó en 10 seconds (7%)

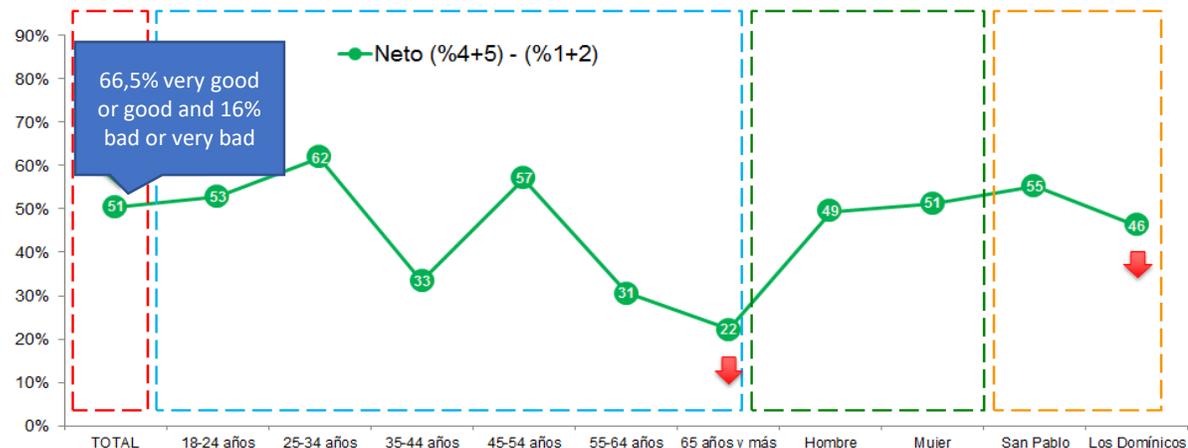
La oferta de transporte aumentó. La regularidad del servicio también aumentó (13,6%).

El tiempo de viaje en la sección norte de la Línea 4 bajó (5%).

La experiencia de viaje de los usuarios mejoró mucho, a pesar de que la libertad de desplazamiento en el andén se vio restringida.

Los usuarios valoran tener un desplazamiento más fluido en el andén

Los problemas de seguridad se desvanecieron



# CONCLUSIONES

Una intervención muy simple resuelve un problema complejo.

En un costo muy bajo.

Sin obras civiles ni compra de equipamiento tecnológico.

La válvula permitió asegurar la oferta de transporte programada en la línea 4.

Otros impactos positivos:

Seguridad - Al desaparecer el contraflujo los usuarios ya no debieron caminar cerca de la svías, mucho menos con trenes en movimiento.

Experiencia de viaje - Al desaparecer el contraflujo los usuarios , los usuarios se desplazan más rápida y fluidamente por el andén.

Satisfacción de los usuarios – aun cuando se restringe el desplazamiento de los pasajeros.

La campaña de difusión no basta.

Existe un [vídeo](#).....

Muñoz, J.C., A. Didier, C. Silva y J. Soza-Parra (2018) Alleviating a subway bottleneck through a platform gate. **Transportation Research Part A**, 116, 446-455.

# Tres ideas

Una válvula en el andén

**Retardar los trenes...**

Dividiendo la demanda

Y qué pasa en las tardes...



**Combinación 4**  
*Combination to Line 4*



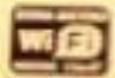


Dirección Puente Alto ↓

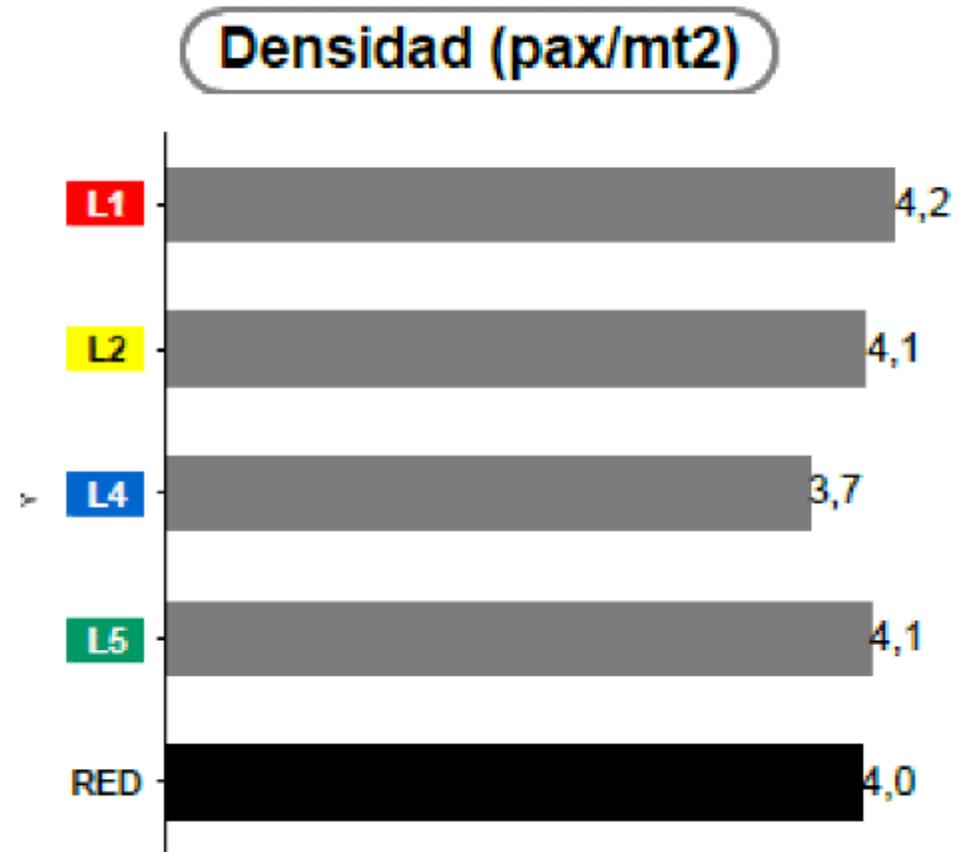
← Dirección Plaza de Puente Alto

TOBALABA

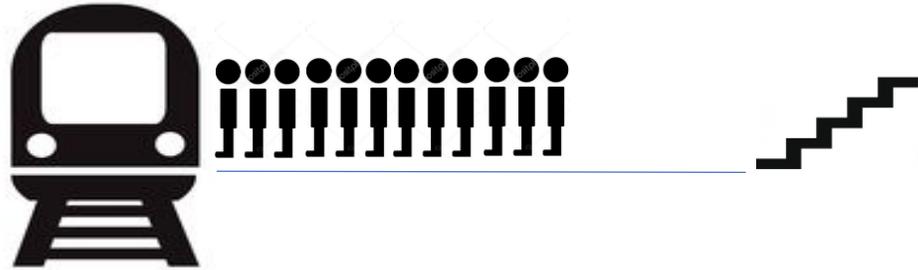
✓ Dirección Plaza Puente Alto



# Densidad máxima PM entre líneas



¿Cómo puede ser esto posible?



Aumentar la capacidad es aumentar la frecuencia

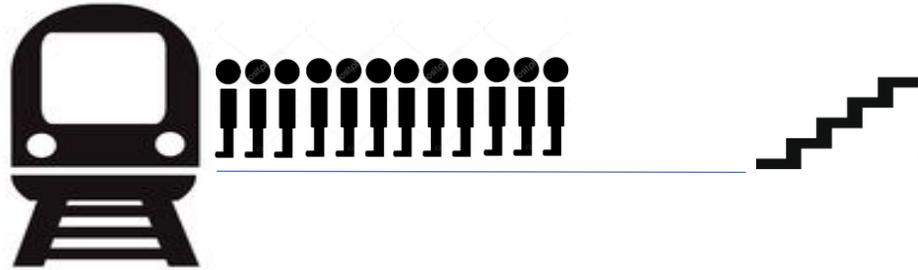
Aumentar la frecuencia es reducir el tiempo de ciclo

Reducir el tiempo de ciclo es detenerse en las estaciones lo menos posible



Reducir el tiempo de ciclo es detenerse en las estaciones lo menos posible

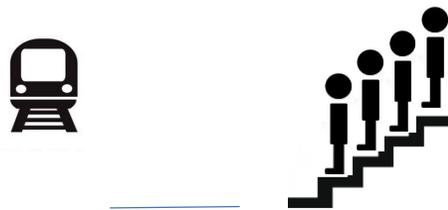
Pero si el tren cierra puertas cuando se vacía el andén, ¡el tren sale a medio llenar!



Aumentar la capacidad es aumentar la frecuencia

Aumentar la frecuencia es reducir el tiempo de ciclo

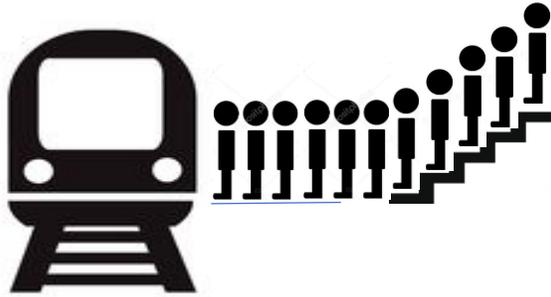
Reducir el tiempo de ciclo es detenerse en las estaciones lo menos posible



Reducir el tiempo de ciclo es detenerse en las estaciones lo menos posible

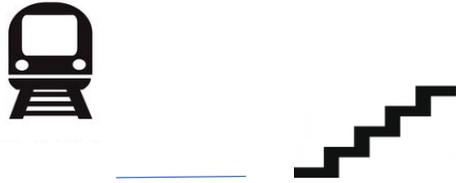
Pero si el tren cierra puertas cuando se vacía el andén, ¡el tren sale a medio llenar!

¿Cómo evitarlo?



En la estación Tobalaba el tren ingresa y mantiene sus puertas abiertas hasta que el siguiente tren está listo a ingresar a la estación

Esto aumentó la tasa de uso de los trenes, prácticamente eliminó las contenciones de pasajeros en la mezzanina y redujo el tiempo y la molestia del transbordo desde la línea 1



En la estación Tobalaba el tren ingresa y mantiene sus puertas abiertas hasta que el siguiente tren está listo a ingresar a la estación

Esto aumentó la tasa de uso de los trenes, prácticamente eliminó las contenciones de pasajeros en la mezzanina y redujo el tiempo y la molestia del transbordo desde la línea 1

# Tres ideas

Una válvula en el andén

Retardar los trenes...

**Dividiendo la demanda**

Durante la punta tarde muchos pasajeros deben esperar por el tren de su color (la línea opera bajo un esquema expreso)

Muchos tienen un viaje muy largo y quieren viajar sentados

Todos los trenes son idénticos

Los pasajeros se paran en frente de la puerta y rehúsan abordar. Prefieren esperar el tren siguiente

Esto crea importante fricción entre los pasajeros

¿Qué hacemos?

## Ruta 1 (Roja)

Se mantiene el punto de detención.

Conducción en PA.

## Ruta 2 (Verde)

Tren se ubica 2,3mt atrás del punto de detención.

Conducción en CMC desde cola de maniobra. Retoma pilotaje automático a la salida.





**TREN RUTA VERDE:**  
De lunes a viernes entre las 18:00 y 21:00 hrs.  
A PARTIR DEL 16 DE ENERO

**TREN RUTA ROJA:**  
De lunes a viernes entre las 18:00 y 21:00 hrs.  
A PARTIR DEL 16 DE ENERO

**TREN RUTA**  
De lunes a viernes entre las 18:00 y 21:00 hrs.  
A PARTIR DEL 16 DE ENERO

ESTA LUZ INDICA QUE RUTA ES ESTE TREN EXPRESO

DEJE BAJAAN  
WHEELCHAIR

WHEELCHAIR

4073

3

ESPERA  
LA VERDE  
AGUI

ESPERA  
RUTA RO  
De lunes a viernes entre las 10  
A

Oportunidades en nuestro sistema.....



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE



# Grandes resultados desde intervenciones sutiles en estación Tobalaba

Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte  
7 de Octubre, 2019

Juan Carlos **Muñoz**

 @JuanCaMunozA

Departamento de Ingeniería de Transporte & Logística  
Pontificia Universidad Católica de Chile