

















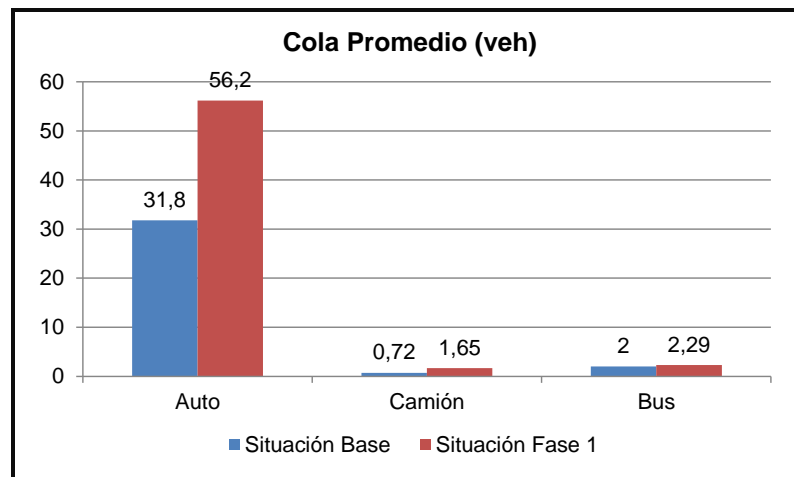






transporte público que circula por Avenida Del Ferrocarril al sur, será desviado por Avenida 5 de Abril como se observa en la Figura 3. Este desvío afecta particularmente a tres recorridos que circulan por Avenida Esquina Blanca hacia el oriente, cuyos paraderos deberán ser relocalizado para esta primera etapa.

Se realizó una modelación para la Fase 1, introduciendo los desvíos que deben hacer los vehículos que circulan por Avenida Del Ferrocarril, como los nuevos paraderos que deberán utilizar los peatones. Los resultados de esta simulación muestran un aumento en la congestión de la calle Los Estandartes en dirección hacia el sur, donde son desviados los vehículos privados que se dirigen por Avenida Del Ferrocarril. Mientras, el resto de las secciones mantuvieron un flujo vehicular normal, sin congestión. Durante esta fase, y por la naturaleza de los desvíos, la localización del nuevo paradero no afecta el tráfico del área, ya que los recorridos de transporte público son desviados por calles distintas al transporte privado, no afectando el tránsito dentro de la zona intervenida. Particularmente, la cola promedio para los automóviles aumenta considerablemente desde 31.8 vehículos a 56.2 vehículos (Figura 3). La Tabla 1 muestra los cambios producidos por la puesta en marcha del proyecto, manteniéndose los parámetros iniciales.



**Fig. 4 – Cola Promedio Situación Fase 1 por categoría de vehículos**

	<b>Situación Base</b>	<b>Fase 1</b>
<b>Distancia Total Recorrida (km)</b>	73.69	81.93
<b>Tiempo de Viaje (seg)</b>	302.8	285.88
<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	5.12	5.03

**Tabla 1 – Indicadores para Peatones Situación Fase 1**

En segundo lugar, se realizó la modelación y microsimulación de los resultados obtenidos para la Fase 2 (Figura 5) del Plan de Desvíos que muestran la congestión de la calle Los Estandartes hacia el sur producto de los desvíos. En este sector se produce un aumento en la congestión producto de los desvíos, el funcionamiento del paradero que se encuentra ubicado ahí no contribuye mayormente a dicho aumento. Si lo analizamos por categoría de vehículos,

se puede observar que la cola promedio disminuyó para los automóviles de 31.8 a 26.52 vehículos. Sin embargo, tanto para buses como camiones hay un leve aumento, que de todos modos no alcanza a ser significativo. En el caso de los buses, la cola promedio aumentó de 2 a 2.74 vehículos (Figura 6). La Tabla 2 muestra los cambios producidos por la puesta en marcha de la Fase 2 del proyecto, observándose valores similares a la situación base.

En tercer término, se analizó los efectos de una feria libre que se instala los días jueves y domingo, que impide la circulación de vehículos por Avenida Las Torres. Para esto existe otra propuesta de desvíos de la segunda fase de construcción, la cual también fue modelada. En este caso los vehículos tanto privados como de transporte público deben ser desviados por Avenida Los Tilos, seguir por calle La Primavera y luego continuar el recorrido que se definió anteriormente para la Fase 2.

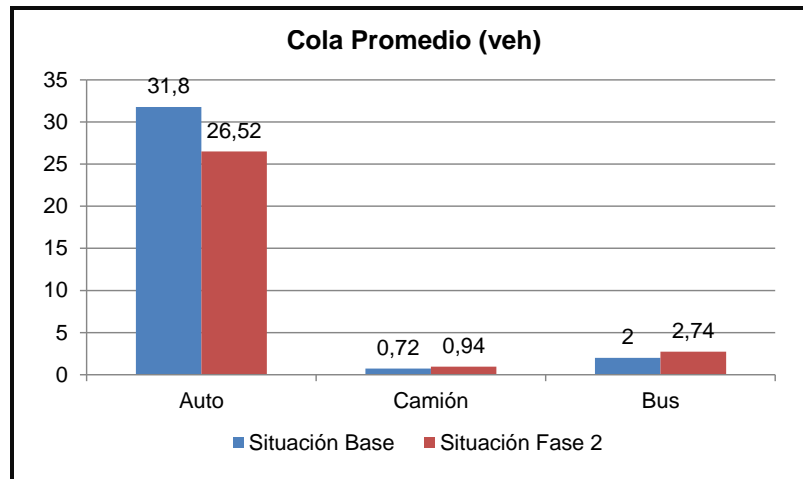


**Fig. 5 – Plan de desvíos de la Fase 2**

Fuente: Diseño de Proyecto de Ingeniería: Habilitación nudo a desnivel FF. CC. – 5 de Abril. Creaxion Ingenieros Consultores.

	Situación Base	Fase 2
<b>Distancia Total Recorrida (km)</b>	73.69	131.31
<b>Tiempo de Viaje (seg)</b>	302.8	298.06
<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	5.12	5.23

**Tabla 2 – Indicadores para Peatones Situación Fase 2**



**Fig. 6 – Cola Promedio Situación Fase 2 por categoría de vehículos**

### 3.3 Análisis de sensibilidad

Para analizar cómo reacciona el modelo de localización de paradas de transporte público frente a distintas circunstancias con las que se puede encontrar al momento de aplicarlo en casos reales, se procedió a realizar un análisis de sensibilidad que permita verificar cómo se comporta frente a los cambios. Para este análisis, en primer lugar, se modificó la localización de los paraderos ya seleccionados por el modelo de manera tal de observar cómo se comporta el flujo vehicular respecto de estos cambios. En segundo lugar, para el análisis de sensibilidad se modificó la demanda total de pasajeros en los paraderos. En este caso, se aumentó el doble la cantidad pasajeros que ocupan el transporte público para así observar cómo se comporta el sistema en general ante un aumento en la demanda de los peatones.

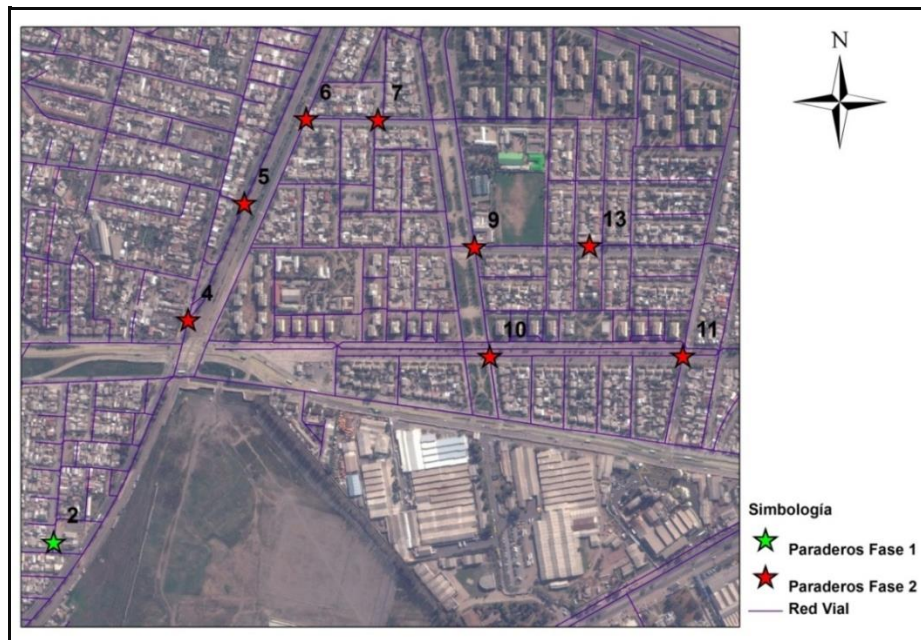
### 3.4 Propuesta de localización y discusión

En la Fase 1 se observa una mejora general de los indicadores, tanto de los vehículos como de los peatones con la nueva localización del paradero que funcionará durante los desvíos. Si bien, estas mejoras son leves y no superan el 7% con respecto a los resultados del modelo de localización, se debe destacar que el cambio beneficia los indicadores de los peatones que son una variable importante dentro del modelo de localización. Por lo tanto, para la Fase 1 se optó por dejar los cambios introducidos y localizar el paradero en la intersección de René Schneider con J.M. Irrázaval.

En cuanto a la Fase 2 existen dos escenarios: los días en que no hay Feria y los días jueves y domingo en que funciona la Feria en Avenida 5 de Abril. Para el caso de los vehículos en ambos escenarios hubo mejora en los indicadores de la velocidad promedio como de los tiempos de viaje de la red en general. Si bien, las colas de vehículos promedio mejoraron en ambos casos, especialmente en algunas calles donde la congestión se ve afectada en parte por la localización de los paraderos, estas mejoras no son significativas.

Así, la localización propuesta para el Plan de Desvíos debido al proyecto vial de mejoramiento del eje vial de Avenida 5 de Abril – Esquina Blanca con Avenida Del

Ferrocarril se muestra a continuación en la Figura 7; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



**Fig. 7 – Propuesta de Localización de Nuevos Paraderos**

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta una metodología de localización de paradas de transporte público para proyectos viales que implica la implementación de un Plan de Desvíos producto de las obras que pretende realizar dicho proyecto. Para esto, la metodología se sirve de un modelo de optimización matemática que localiza de manera óptima los paraderos de transporte público en las vías alternativas propuestas por el Plan de Desvíos.

La principal variable de este modelo son los pasajeros que utilizan el transporte público, en base al tiempo que estos demoran en recorrer la distancia desde sus lugares de orígenes a las paradas, dicho modelo localiza de manera óptima las nuevas paradas que serán ubicadas en calles por donde pasarán los desvíos.

Esta metodología además, es aplicada en un caso real para comprobar su validez y determinar cómo se comporta en casos reales. Esto se logra a través de la simulación de diversos escenarios a partir de los resultados obtenidos por el modelo de localización.

La simulación entrega datos de los tiempos de viaje de los peatones desde su hogar hacia las paradas propuestas, y viceversa, basados en la velocidad de caminata de una persona estándar. Se determinó que las distancias que recorren las personas hasta los paraderos apenas supera los 300 metros e incluso, en el caso de la situación con proyecto, una vez iniciadas las obras viales y los desvíos, los resultados son levemente mejores que el caso con ubicaciones originales de las paradas.

Solo los resultados de la simulación, en los días que hay feria, son levemente diferentes del resto de los datos, pero esto tiene que ver con la naturaleza de los desvíos, pues en estos días el flujo vehicular, incluido el transporte público, debe circular por calles que se alejan de los centroides de población del área de estudio, lo que obliga a los peatones a desplazarse lejos de sus lugares de residencia.

Aun así, el modelo aporta a minimizar dichas distancias y los resultados se mantienen dentro de lo esperado, pues las personas no superan los 400 metros caminando, lo que es una distancia aceptable para accesibilidad al TP.

Finalmente, esta propuesta metodológica es un aporte al área de la planificación de proyectos de vialidad, para la toma de decisiones por parte de los organismos pertinentes y de los encargados de la elaboración de dichos proyectos, así como de las partes evaluadoras. Si bien existen manuales y reglamentos en Chile, como el Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana del Ministerio de Transporte, el cual es una guía detallada de cómo se deben elaborar los proyectos de vialidad en el país, éste no trata específicamente como deben localizarse los paraderos de transporte público cuando hay propuesto un Plan de Desvíos producto de las obras que se desean realizar. Con el presente trabajo, se demuestra que la localización de paraderos debe ser incorporada como un elemento importante en la normativa. Por lo tanto, esta metodología se vuelve un aporte a la toma de decisiones, para afectar lo menos posible a las personas, y las condiciones del servicio de transporte público y así evitar las incomodidades que traen este tipo de obras.

### **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue apoyada y financiada a través del Proyecto N° 061312MT del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICYT) de la Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad de Santiago de Chile (USACH).

### **REFERENCIAS**

CHIEN, S., QIN, Z., LIU, R. (2004). Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility. *Transportation Planning and Technology* 27(3), 211-227.

CORTÉS, C., BURGOS, V., FERNÁNDEZ, R. (2010). Modelling passengers, buses and stops in traffic microsimulation: review and extensions. *Journal of Advanced Transportation* 44(2), 72-88.

DOWLING, R., SKABARDONIS, A. Y ALEXIADIS, V. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software. Federal Highway Administration, Report FHWA-HRT-04-040.



GIPPS, P. (1981). A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research* 15(2), 105-111.

HIDAS, P., AITKEN, S., SHARMA, S., XU, M. (2009). Evaluation of Bus Operations by Microsimulation in a Sidney CBD Corridor. Australasian Transport Research Forum. Auckland.

IOANNOU A. y BOSE, P. (2000). Environmental evaluation of intelligent cruise control (ICC) vehicles. *Intelligent Transportation Systems, Proceedings. 2000 IEEE*, 352-357.

MAY, A. (1990). *Traffic flow fundamentals*. Prentice-Hall, New Jersey.

MEDINA, M. (2011). Localización Óptima de Paradas de Buses en Corredor de Transporte Público en Base a Estructura de Viajes en Múltiples Períodos. Aplicación en Corredor de Transporte Público de Avenida Grecia. Proyecto para optar al grado de Magíster en Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile.

MEDINA, M., GIESEN, R., MUÑOZ, J.C. (2013). Model for the Optimal Location of Bus Stops and Its Application to a Public Transport Corridor in Santiago, Chile. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2352(3), 84-93.

MOURA, J. L., ALONSO, B., IBEAS, A., RUISÁNCHEZ, F. J. (2012). A Two-Stage Urban Bus Stop Location Model. *Networks and Spatial Economics* 12(3), 403-420.

PAPAGEORGIU, G., DAMIANOU, P., PITSILLIDES, A., APHAMIS, T., IOANNOU, P. (2009). Modelling and Simulation of Transportation Systems: Planning for a Bus Priority System. Networks Research Laboratory, University of Cyprus.

RONALDO, A. y ISMAIL, M. (2012). Comparison of the two Microsimulation Software AIMSUN & SUMO for Highway Traffic Modelling. Linkoping University.

SYKES, P. (2007). Transport Planning with Microsimulation. *Journal of Maps* 3(1), 122-134.

OLSTAM J. Y TAPANI, A. (2004). Comparison of Car-Following Models. Publication of Swedish National Road and Transport Research Institute.