

# **ESTUDIO DEL COMPROMISO ENTRE SEGURIDAD VIAL Y EFICIENCIA OPERACIONAL PARA DOS TIPOS DE INTERSECCIONES URBANAS**

Carlos Carvajal, Pontificia Universidad Católica de Chile, carloscarvajal@uc.cl

Francisco Frésard, Pontificia Universidad Católica de Chile, ffresard@dictuc.cl

Juan Carlos Herrera, Pontificia Universidad Católica de Chile, jch@ing.puc.cl

## **RESUMEN**

En el presente trabajo, se estudia el compromiso entre seguridad vial y eficiencia operacional para dos tipos de intersecciones urbanas de Santiago, Chile. En las intersecciones estudiadas se pueden reconocer tres tipos de descarga vehicular, dependiendo de la forma en que se realizan los virajes a la izquierda, los cuales fueron comparados en desempeño. Como resultado de este trabajo se pudo determinar las ventajas y desventajas de cada escenario evaluado, para así determinar cuándo utilizar cada sistema.

*Palabras claves: Compromiso, seguridad, eficiencia*

## **ABSTRACT**

In this study, we analyzed the trade-off between safety and operational efficiency for two different types of urban intersections in Santiago, Chile. Three different left-turn phasing treatments were compared, using the Traffic Conflict Technique to measure the safety and capacity as operational performance indicator. As result of this study, we could quantify the advantages and disadvantages for each case, to determinate when to use each the left-turn treatment.

*Keywords: Trade-off, safety, efficiency*

## **1. INTRODUCCIÓN**

La creciente congestión que genera el constante aumento de la población y del parque vehicular ha reforzado que muchas veces una decisión vial se realice priorizando la eficiencia operativa por sobre la seguridad vial. De hecho, actualmente Chile presenta índices de seguridad vial muy por debajo de países líderes en la materia. El último reporte anual de seguridad vial de los países de la OCDE, asigna a Chile en la posición 35, sobre un total de 37 países estudiados, en base al indicador de fatalidades cada 10.000 vehículos inscritos (IRTAD, 2014).

Analizando la situación de seguridad vial en Chile, es posible apreciar que uno de los focos importantes de problemas de seguridad vial se encuentra en las intersecciones. Según las estadísticas chilenas, entre el año 2000 y el 2013 el 48% de los accidentes en la región Metropolitana ocurrieron en las intersecciones, derivando en 1953 fallecimientos (CONASET, 2014). Esta alta proporción de siniestros se explica por la complejidad de las maniobras que se requiere en los cruces viales, donde existen diversos puntos de conflictos y una gran diferencia de velocidad entre los vehículos que realizan distintas maniobras. Asimismo, en la intersección confluyen tanto vehículos como peatones, lo que agudiza el problema.

Según los estudios de Hubacher y Allenbach (2004), la gestión de las intersecciones va de la mano con un compromiso entre eficiencia operacional y seguridad vial, por lo que se convierten en escenas comunes de accidentes cuando se prioriza la arista de la eficiencia. Así, se vuelve necesario estudiar este compromiso a fin de proveer guías que ayuden a los ingenieros de tráfico a tomar las decisiones sobre la gestión de las intersecciones. Actualmente, los ingenieros se valen de la experiencia y del método de prueba y error hasta determinar una configuración que cumpla con las condiciones de suficiencia, sin garantizar un óptimo rendimiento de la intersección. Chile no es la excepción en esta materia, como ejemplo, los programas utilizados para obtener la programación de semáforos no contemplan a los peatones al momento de realizar las simulaciones.

En el presente trabajo se busca estudiar empíricamente el compromiso entre seguridad vial y eficiencia operacional que existe en algunos tipos de intersecciones en Santiago, con el objeto de conocer los elementos principales que influyen en el desempeño de la intersección vial. Esta información contribuirá a mejorar la planificación, diseño y gestión de intersecciones de acuerdo a la conducta vial de los usuarios del país (Laureshyn, 2010).

### **1.1 Objetivos**

El objetivo general de esta investigación es estudiar el compromiso que existe entre seguridad vial y capacidad operacional en ciertos tipos de intersecciones que comúnmente se encuentran en ciudades como Santiago, para encontrar oportunidades de mejoras en la gestión de estas. Los objetivos específicos son: (1) Obtener indicadores de capacidad operativa y de seguridad vial para cada intersección. (2) Estudiar los elementos que inciden en los indicadores de desempeño de las intersecciones. (3) Estudiar el comportamiento de los usuarios viales de la intersección y (4) Determinar medidas que permitan mejorar el desempeño de las intersecciones.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Debido a que muchas veces se vuelve imposible utilizar el registro de accidentes para evaluar la seguridad vial de algún punto particular, variadas metodologías han sido desarrolladas en distintos lugares del mundo. Una de las metodologías más utilizadas en el estudio de la seguridad vial es la Teoría de Conflictos, debido a la simplicidad de su aplicación y calidad de sus resultados.

### 2.1 Teoría de conflictos

La teoría de conflictos es un metodología indirecta de evaluación de la seguridad vial, que en vez de analizar los registros históricos de accidentes, analiza los conflictos que se generan entre los usuarios. Este método se basa en el hecho que tanto los conflictos como los accidentes tienen la misma naturaleza, ya que ambos son generados debido a deficiencias de la intersección. En este sentido, los conflictos son el paso previo a los accidentes, tal como lo muestra la Figura 1 (Hyden, 1987). Considerando que los conflictos son más frecuentes que los accidentes, basta con analizar un par de días la operación de la intersección, para tener la cantidad necesaria de datos (a diferencia del registro de accidentes, que se necesitan como mínimo 3 años de información).

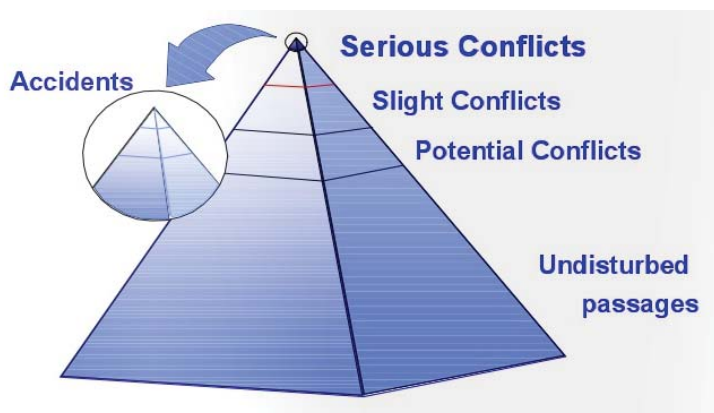


Figura 1: Metodología de cálculo de TTC

Fuente: Hyden (1987)

La Teoría de Conflictos fue propuesta por primera vez en 1968 por Perkin y Harris, trabajadores de la General Motors en Estados Unidos. Posteriormente, durante la década de los 70 y 80, varios países comenzaron a adoptar y desarrollar esta metodología, apareciendo así distintas técnicas de teoría de conflictos. En Hydén (1987) se propone la definición de conflicto que ha sido utilizada hasta la actualidad:

*“Un conflicto es definido como una situación observable en la cual dos o más usuarios de la carretera se aproximan el uno al otro en un tiempo y un espacio, y no están exentos del riesgo de colisión si sus movimientos o trayectorias continúan sin cambiar”.*

## 2.2. Clasificación de conflictos

De acuerdo a la metodología propuesta por Zeeger y Parker (1988), dependiendo de las trayectorias de los vehículos y peatones involucrados, se pueden reconocer 6 tipos de conflictos. Los tres más relevantes en el funcionamiento de una intersección son:

- Misma dirección y sentido: Como su nombre lo indica, estos conflictos ocurren cuando dos usuarios tienen la misma trayectoria y comienza cuando el primer vehículo disminuye la velocidad, traspasando la responsabilidad al segundo vehículo de evitar una colisión por alcance. Esta categoría considera los conflictos por cambio de pista, los que generalmente tienen peores consecuencias, ya que las partes expuestas del vehículo son las menos resistentes a una eventual colisión.
- Viraje izquierda con flujo en oposición: Estos conflictos se originan durante la maniobra de viraje a la izquierda sin preferencia y con vehículos en oposición. Los conflictos de este tipo generalmente son de mayor gravedad porque la velocidad con la que se aproximan es mayor (debido a que los vehículos se desplazan en sentidos opuestos).
- Peatonales: Estos conflictos se generan cuando los vehículos realizan movimientos que cruzan la trayectoria de peatones que tienen preferencia. El conflicto puede ocurrir en el cruce peatonal del acceso o en el de la salida de la intersección.

## 2.3. Indicadores de seguridad vial

Durante el desarrollo de la técnica en los distintos países han aparecido distintos indicadores, tanto objetivos (utilizados en Suecia, Holanda, Finlandia, entre otros) como subjetivos (utilizados en Reino Unido, Estados Unidos, Francia, entre otros).

Como indicadores objetivos, se encuentra el Tiempo a la Colisión (TTC) y la Velocidad de Colisión (VC). Estos indicadores fueron propuestos durante el desarrollo de la Teoría de Conflictos en Suecia. El TTC es una medida de la severidad de los conflictos y se define como el tiempo requerido para que dos vehículos colisionen en caso que mantengan la trayectoria y velocidad (Hayward, 1972). De esta forma, a menor TTC el conflicto es más grave, ya que el conflicto está más cerca de convertirse en accidente. Generalmente en su cálculo, se realiza el supuesto que las interacciones entre vehículos se realiza en ángulo recto o de forma paralela.

Cuando la interacción es en ángulo recto (Figura 2 a) el cálculo quedará determinado de la siguiente forma:

$$TTC = \frac{d_2}{v_2}, \quad \text{si} \quad \frac{d_1}{v_1} \leq \frac{d_2}{v_2} \leq \frac{d_1 + l_1 + w_2}{v_1} \quad (1)$$
$$TTC = \frac{d_1}{v_1}, \quad \text{si} \quad \frac{d_2}{v_2} \leq \frac{d_1}{v_1} \leq \frac{d_2 + l_2 + w_1}{v_2}$$

En el caso de interacciones paralelas (Figura 2 b y c), el cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$TTC = \frac{X_1 - X_2 - l_1}{v_1 + v_2}, \text{ si } v_2 \geq v_1 \quad (2)$$

$$TTC = \frac{X_1 - X_2}{v_1 + v_2} \quad (3)$$

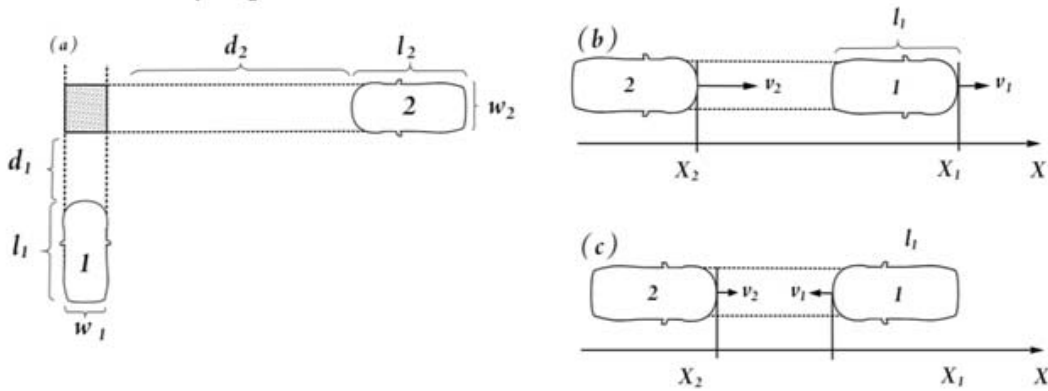


Figura 2: Metodología de cálculo de TTC

Fuente: Laureshyn et al. (2010)

Un segundo indicador objetivo corresponde a la velocidad de conflicto. Este indicador representa la velocidad con la que los vehículos se aproximan a una eventual colisión, en el momento en que se ejecuta la maniobra evasiva. Al igual que en el caso del tiempo a la colisión, el valor de este indicador dependerá estrechamente de la forma en que los vehículos se aproximan.

Si bien el TTC es un indicador de severidad con respecto a qué tan cerca estuvo el conflicto de convertirse accidente, no entrega información sobre severidad de la maniobra evasiva que se realizó. Es por lo anterior que se han desarrollado distintos indicadores que caracterizan la complejidad de la maniobra realizada. Uno de estos indicadores es el utilizado en los estudios de seguridad vial en Republica Checa, que clasifica los conflictos, de forma subjetiva, de acuerdo a 5 niveles. Estos niveles van desde el 0 (infracción sin consecuencias) hasta el nivel 4 (accidente), tal como se muestra en la Tabla 1.

La Teoría de Conflictos ya fue aplicada en intersecciones de Chile, donde Torres (2012) desarrolló una metodología para obtener un nuevo indicador que permita cuantificar la seguridad vial de una intersección en forma de T.

Tabla 1: Clasificación de severidad de conflictos en República Checa (en gris los conflictos).

| Grado de severidad | Descripción      | Severidad                               | Maniobra reacción | Eventos  |   |
|--------------------|------------------|---|-------------------|--|---|
|                    |                  |   |                   | Relacionado a vehículos  | Relacionado a peatones  |
| 0                  | Infracción       | Ninguna                                 | Ninguna           | Infracción a las reglas sin consecuencias, mal comportamiento de usuarios viales | Infracciones a las reglas, cruce donde no corresponde               |
| 1                  | Conflicto ligero | Baja                                    | Común             | Conflicto bajo control, predecible, aplicación de maniobras simples              | Cambio de trayectoria de caminata                                   |
| 2                  | Conflicto medio  | Obstrucción                             | Repentina         | Conflictos repentinos, impredecibles utilizando maniobras complejas              | Cambio de velocidad de caminata, cruzar repentinamente              |
| 3                  | Conflicto severo | Peligro                                 | Violenta          | Conflictos críticos, aplicación de maniobras de emergencia                       | Comportamiento fuera de lo normal, aplicación de maniobras extremas |
| 4                  | Accidente        | Varios niveles (sólo daño o lesionados) |                   |  |   |

Fuente: Ambros (2014)

## 2.4 Investigaciones similares

El viraje a la izquierda es un componente crítico para la seguridad vial y la eficiencia de las intersecciones. Es por lo anterior que ha sido un tema que ha llamado la atención de distintos investigadores. A continuación se presentan algunas investigaciones realizadas anteriormente.

- Sheneen y Anjomani (2003)

La seguridad vial se estudió con los registros de accidentes de tres años. La eficiencia como la demora producida por detenerse para ejecutar el viraje a la izquierda. Se utilizaron modelos logit y regresiones para determinar la relación entre frecuencia de accidentes, demora, viraje a la izquierda y tipo de fase. Como resultado se confirmó que el viraje a la izquierda protegido es más seguro que el permitido, a la vez que el primero tienen mayores demoras. Se descubrió además que en el viraje a la izquierda permitido, el aumento del flujo que vira a la izquierda o el aumento del flujo de oposición causan un significativo aumento en la frecuencia de accidentes. Finalmente, se determinó que el tipo de fase utilizado en las intersecciones no sólo afecta a la cantidad, sino que también al tipo de accidente que se registra.

- Zhang y Prevedouros (2003)

En este estudio se presenta un modelo que combina la seguridad vial y la eficiencia operacional, permitiendo la evaluación directa de distintos tipos de fases. Se estudiaron dos intersecciones

donde se determinó que el viraje a la izquierda en forma protegida tiene un mejor desempeño en comparación al permitido, si es que no se consideran los conflictos de mayor gravedad. En caso de ser considerados, el viraje permitido obtienen un mejor desempeño.

- Yu et al (2009)

Este proyecto entrega guías de recomendación sobre los tipos de viraje a la izquierda en intersecciones semaforizadas. La eficiencia operacional fue medida por medio de simulaciones de tráfico, mientras que para estudiar los conflictos, se utilizó información histórica de registro de accidentes de Estados Unidos. Como una de las conclusiones con respecto al uso del viraje protegido o permitido, se obtuvo que

- En intersecciones con una pista opuesta, el viraje permisivo debería ser elegido si es que el CPOV<sup>1</sup> es igual o menor que 133.000.
- En intersecciones con dos pistas opuestas, el viraje permisivo debería ser elegido si es que el CPOV es igual o menor que 93.000.

### 3. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos trazados en esta investigación, se analizaron videos del funcionamiento de dos intersecciones semaforizadas de la ciudad de Santiago de Chile, con el fin de extraer indicadores de desempeño operacionales y de seguridad vial. Las intersecciones escogidas para realizar la investigación fueron Gral. Bonilla con Tte. Cruz y Santa Raquel con San José de la estrella, ubicadas en las comunas de Lo Prado y La Florida respectivamente (ver Figura 3).

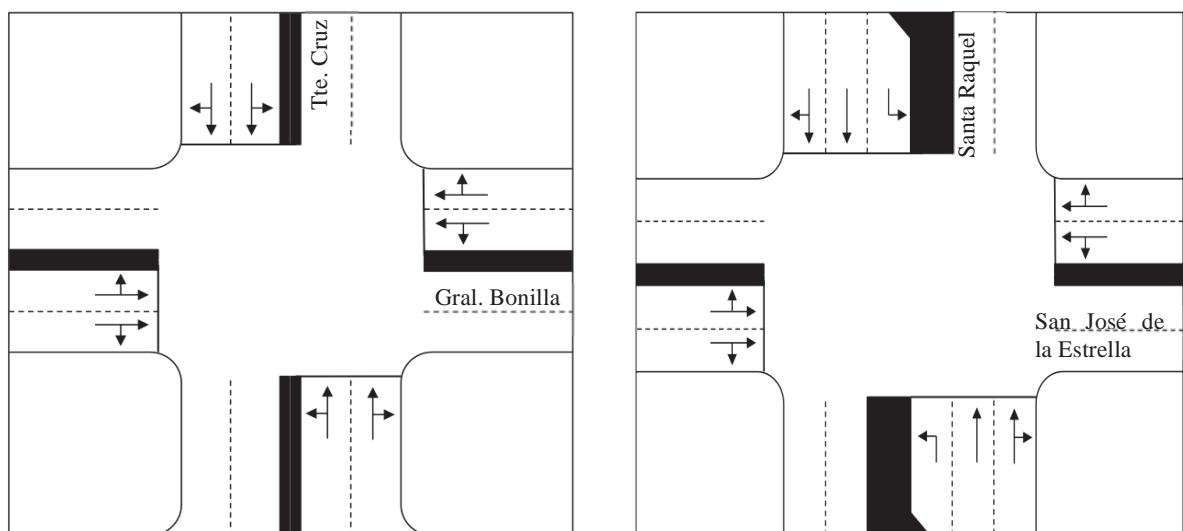


Figura 3: Intersecciones escogidas

<sup>1</sup> El CPOV corresponde al producto entre el flujo que vira a la izquierda y el flujo en oposición (veh/hora).

Las imágenes fueron obtenidas gracias a la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT) y la Ilustre Municipalidad de La Florida. Se filmó el funcionamiento de las intersecciones durante días laborales, entre las 6:30 y las 20:30 horas.

### 3.1. Escenarios a evaluar

En el funcionamiento de las intersecciones, el viraje a la izquierda es el movimiento más difícil de ejecutar y en donde mejor se evidencia el compromiso entre eficiencia operacional y seguridad vial. Dependiendo de la configuración del semáforo, el viraje a la izquierda se puede realizar de distintas formas. En las intersecciones analizadas es posible reconocer tres escenarios distintos con respecto a la forma de ejecutar el viraje a la izquierda (ver Figura 4). En el Escenario 1, el viraje a la izquierda se realiza de forma permitida (VIP), es decir, los vehículos que viran a la izquierda lo tienen que hacer sin preferencia y cruzando la trayectoria de los vehículos opuestos. En los Escenarios 2 y 3 el viraje a la izquierda se realiza en dos etapas y en modalidad protegida/permitida (VIPP), es decir, mientras el flujo en oposición se encuentra detenido. La diferencia entre el Escenario 2 y 3 es que en este último tiene una tercera pista “corta” de sólo viraje a la izquierda y tiene una etapa exclusiva en el semáforo (flecha verde) para este movimiento.

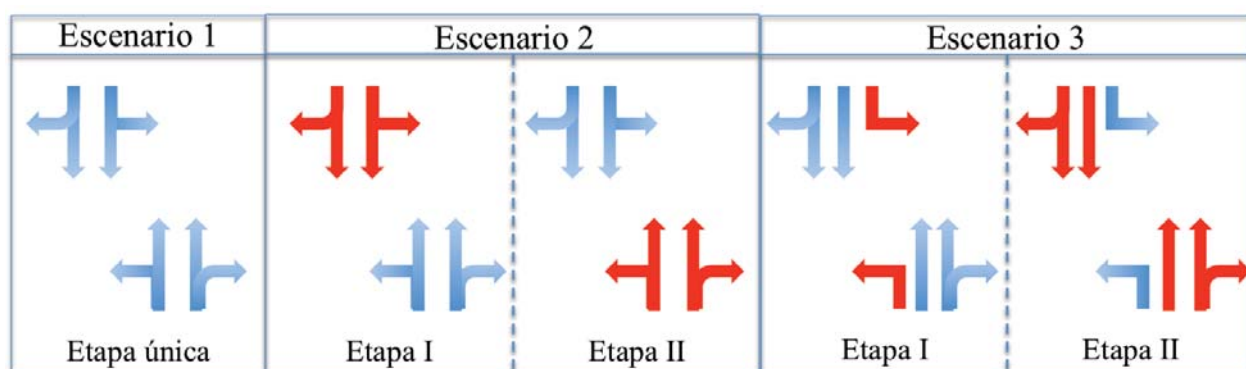


Figura 4: Escenarios a evaluar

### 3.2. Extracción de datos

El análisis de los videos se realizó extrayendo la información relacionada con los conflictos, el flujo vehicular, el flujo de saturación y las infracciones cometidas por los usuarios viales (vehículos y peatones).

En el caso de la seguridad vial, se creó una base de datos que contiene todos los conflictos registrados durante las horas analizadas. La información extraída sobre los conflictos permite caracterizarlos de acuerdo a características como: hora, tipo, tiempo a la colisión, indicador de severidad de Ambros, vehículos involucrados y sus movimientos, entre otros. Para cada una de las etapas de las horas analizadas se registró el flujo vehicular que utilizó la intersección, clasificándolo de acuerdo al tipo y al movimiento realizado. El flujo de saturación fue calculado basándose en el método del Road Note N° 34 (R.R.L 1963), en el cual se cuentan los autos que



cruzan la línea de parada durante intervalos sucesivos de 6 segundos, que comprenden la luz verde y amarilla de cada etapa. Para el cálculo del flujo de saturación, se tomaron muestras de 60 etapas por intersección. La última base de datos guarda relación con las imprudencias cometidas por los usuarios viales de la intersección.

#### 4. RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestra un resumen del proceso de extracción de datos desde los videos.

Tabla 2: Resumen extracción de datos

|                | Horas<br>filmadas | Etapas<br>filmadas | Conflictos<br>contabilizados | Infracciones<br>peatonales | Infracciones<br>vehiculares |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Intersección 1 | 27,3              | 2.951              | 185                          | 8.609                      | 2.299                       |
| Intersección 2 | 17,6              | 2.724              | 70                           | 1.722                      | 107                         |

De los datos obtenidos, es posible apreciar que la Intersección 1 tiene una diferencia considerable en la cantidad de conflictos con respecto a la Intersección 2. Debido a que ambas intersecciones fueron evaluadas durante distintos periodos de tiempo, se vuelve necesario ajustar el análisis de los conflictos en base al flujo vehicular.

Con respecto a los escenarios evaluados, en la Tabla 3 se puede apreciar la cantidad de conflictos registrados. De acuerdo a estos resultados, es posible notar una gran diferencia en los valores del indicador segundo indicador para los sistemas VIP (Escenario 1) y el VIPP (Escenarios 2 y 3). En el caso del Escenario 1, el 73% de los conflictos registrados corresponden a conflictos relacionados con el viraje a la izquierda, mientras que en los Escenarios 2 y 3 corresponden al 15% y 4%, respectivamente. Esta gran diferencia se debe a que en el VIP el vehículo que vira genera conflictos con el flujo en oposición y con los vehículos que tiene detrás (ya que si no tiene el espacio suficiente en el flujo en oposición, bloquea la pista por donde transita).

Tabla 3: Conflictos en los tres escenarios

|                        | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Conflictos             | 137         | 48          | 26          |
| Conflictos/10.000 veh. | 35          | 19          | 17          |

Al momento de considerar la gravedad en los conflictos relacionados con el viraje a la izquierda, es posible notar que estos conflictos en el Escenario 2 son de mayor severidad que los del Escenario 1 (Tabla 4). Esto puede estar relacionado al hecho que los usuarios del Escenario 1 realizan las maniobras con mayor precaución al saber que el riesgo de accidente es mayor que en los otros escenarios.

Tabla 4: Severidad para los conflictos relacionados al viraje a la izquierda

|                  | Escenario 1 | Escenario 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| TTC              | 1,76        | 1,34        |
| Indicador Ambros | 1,21        | 1,43        |

Desde el punto de vista operacional, se puede apreciar que los primeros dos escenarios presentan valores similares (ver Tabla 5). En el caso del Escenario 3/E1, se aprecia que el valor aumenta al eliminar variabilidad en los movimientos (no hay virajes a la izquierda). Si bien el valor del Escenario 3/E2 tiene un valor inferior, hay que considerar que es sólo una pista descargando, por lo que tiene un mejor desempeño por carril (tiene menos variabilidad al tener un movimiento).

Tabla 5: Capacidad de los escenarios

|                     | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |          |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|                     |             |             | Etapas 1    | Etapas 2 |
| Capacidad [veh/min] | 47,3        | 46,9        | 53,4        | 27,0     |

Operacionalmente, hay que considerar el hecho que durante el funcionamiento del Escenario 1 son dos flujos los que descargan vehículos a la intersección, por lo que el desempeño de este escenario aproximadamente el doble que los otros.

Con respecto al comportamiento de los usuarios viales, durante el periodo estudiado se registró un alto número de imprudencias, tanto vehiculares como peatonales (ver Tabla 2). Con respecto a las infracciones vehiculares, la predominante en la Intersección 1 fue el viraje en segunda fila (2.141 casos) mientras que en la Intersección 2 fue el cruce con luz roja (89 casos). Las infracciones en segunda fila de la Intersección 1 se producen en su mayoría durante las etapas del Escenario 2, ya que el flujo en oposición se encuentra detenido, por lo que la infracción se ve favorecida. En el caso del Escenario 3, la cantidad de virajes en segunda fila se ve drásticamente disminuida, ya que el viraje a la izquierda se realiza en una pista exclusiva y durante una etapa del semáforo independiente.

Del total de conflictos analizados, el 18% corresponde a conflictos generados por alguna infracción en la intersección 1 y un 27% para la segunda. Con respecto a la severidad, se observa que los conflictos que involucran alguna infracción tienen un TTC 8% menor. En el caso de la clasificación de Ambros, es posible apreciar que estos conflictos en promedio tienen un indicador 11% mayor.

Actualmente, estamos aplicando técnicas de Análisis Multivariable para estudiar cómo las distintas variables involucradas en la operación de la intersección afectan en el compromiso. Específicamente, esperamos cuantificar la incidencia de cada variable estudiada de los videos en el desempeño de la intersección, con el fin de determinar medidas de mejora. En el caso de la eficiencia operacional, Bartel (1998) y Herrera (2002) evidenciaron la incidencia de la composición de tráfico, horario del día, tipo de pista y los incidentes (accidentes, lluvias, etc.) en la capacidad. Con los resultados de las técnicas que están siendo aplicadas, se espera obtener información sobre la incidencia de esas variables en la generación de conflictos.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis de los indicadores de desempeño para las tres formas de descarga tenía como objetivo cuantificar la capacidad operacional y la seguridad vial de los tres escenarios, para así determinar las diferencias que existen entre cada uno.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la mayor diferencia en los conflictos se da entre la descarga con viraje permitido (Escenario 1) con respecto a los casos cuando el viraje se realiza de forma protegida (Escenarios 2 y 3). Esta diferencia no sólo está dada por la reducción de los conflictos entre los vehículos que viran con los vehículos del flujo en oposición, sino que también por la reducción de conflictos por alcance entre los vehículos que se detienen para ejecutar el viraje con los que vienen detrás. En la comparación entre el Escenario 2 con el Escenario 3 es posible apreciar que este último tiene una leve reducción en la generación de conflictos. Esta diferencia puede ser explicada por el hecho que en el Escenario 2 la pista de la izquierda es utilizada tanto por los vehículos que viran como por los que continúan derecho. Si bien en el Escenario 2 los vehículos ya no se quedan detenidos en la mitad de la intersección al momento de virar, sí realizan el movimiento a una velocidad inferior que los que continúan la marcha, por lo que se pueden generar conflictos por alcance entre los vehículos que realizan estos movimientos.

En el caso de la eficiencia operacional de los escenarios estudiados, se pudo determinar que la mayor capacidad de descarga por ciclo se registró en el Escenario 1 con 94,6 vehículos/minuto. En los Escenarios 2, 3E1 y 3E2 se registraron capacidades de descarga por ciclo de 46,9, 53,4 y 27,0 para vehículos/minuto, respectivamente. La diferencia entre el Escenario 1 con los otros dos se debe principalmente a que bajo este sistema de descarga se realiza una utilización más eficiente del espacio, ya que son dos accesos que se encuentran descargando flujo vehicular simultáneamente. En cambio, en los Escenarios 2 y 3, cuando se realiza la descarga vehicular, hay movimientos que se encuentran detenidos. Un elemento importante que favorece la capacidad de descarga es la disminución de los movimientos en las pistas, ya que de esta forma los vehículos se desplazan con mayor fluidez.

A continuación se presentan las características de los escenarios estudiados:

- Escenario 1

### **Ventaja**

Es el escenario que alcanza mayor eficiencia por duración de ciclo, debido a que son dos flujos los que descargan simultáneamente.

### **Desventaja**

Este escenario es propenso a generar altas cantidades de conflictos relacionados con el viraje a la izquierda (tipo 1 y 4).

La capacidad de descarga es altamente sensible al porcentaje de virajes y al flujo en oposición. De igual forma, sigue siendo superior a los otros escenarios.

Cuando los flujos son altos y el viraje a la izquierda es difícil de realizar, quedan autos bloqueando el cruce al final de la etapa, que puede afectar la capacidad de las siguientes.

### **Cuándo usar**

Cuando el flujo es alto y se requiere de una gestión eficiente. Logra el mejor desempeño cuando hay poco viraje a la izquierda o cuando el flujo en oposición es bajo.

- Escenario 2

**Ventaja**

La cantidad de conflictos por viraje a la izquierda es considerablemente menor que en el Escenario 1, debido a que se eliminan los conflictos con el flujo en oposición y los por alcance se reducen considerablemente.

**Desventajas**

El sistema de descarga es poco eficiente ya que sólo descarga un acceso a la vez.

**Cuándo usar**

Cuando existe alto porcentaje de viraje a la izquierda, cuando hay mala visibilidad del flujo en oposición o cuando se registran muchos conflictos/accidentes debido al viraje a la izquierda.

- Escenario 3

**Ventajas**

Debido a que el flujo que vira a la izquierda se separa del resto, la cantidad de conflictos por viraje a la izquierda es menor que los otros dos escenarios y se reducen las imprudencias por viraje en segunda fila.

**Desventajas**

El proceso de descarga es menos eficiente que el Escenario 1, ya que durante la luz verde, existirán movimientos detenidos.

Se necesita de más espacio en la intersección para poder construir la pista para el viraje o bien sacrificar una mixta.

Las descargas vehiculares en este sistema se realizan en dos etapas y con simetría en los movimientos que se pueden ejecutar en cada sentido. De esta forma, mientras mayor sea la diferencia entre el flujo del acceso y el flujo en oposición, la intersección se volverá menos eficiente.

La cantidad de vehículos que pueden realizar el viraje queda limitada por el tamaño de la pista de sólo viraje.

**Cuándo usar**

Cuando el porcentaje de vehículos que viran a la izquierda es bajo y la diferencia entre el flujo principal y en oposición es baja. También puede ser usada cuando es frecuente observar infracciones por virajes en segunda fila.

Como futuras líneas de investigación se sugiere estudiar la automatización del proceso de recolección de datos, estudiar el compromiso en intersecciones de otro tipo (distinta geometría, intersecciones prioritarias, etc.) y estudiar el efecto de medidas que se implementan para aumentar la capacidad de las intersecciones (viraje a la derecha en luz roja, filtros de viraje, etc.).

## **AGRADECIMIENTOS**

A Mirna Rodríguez y Fernando Jofré de la Unidad Operativa de Control de Tránsito por facilitar el respaldo de los videos.

A Loreto Henríquez de la Ilustre Municipalidad de La Florida por facilitar el respaldo de los videos.

## REFERENCIAS

- Ambros, J., Turek, R., & Valentová, V. (2014). There is no need to wait for accidents: applying observation of traffic conflicts and behaviour in Czech practice. **27th ICTCT workshop**. 16-17 de Octubre, Karlsruhe.
- Bartel, G. (1998) **Parámetros de Capacidad en Intersecciones Semaforizadas Bajo Condiciones de Tráfico Mixto: Nuevas Definiciones y Método de Estimación**. (Tesis de Magister no publicada). Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- CONASET. (2014). **Estadísticas generales de accidentes en Chile**. Recuperado del sitio web de la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, de <http://conaset.cl/estadisticas-generales.html>
- Hayward, J.Ch. (1972). **Near miss determination through use of a scale of danger**. Report no. TTSC 7115, The Pennsylvania State University, Pennsylvania.
- Herrera, J.C. (2002). **Parámetros de capacidad en pistas con virajes: el caso de países en desarrollo**. (Tesis de Magister no publicada). Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Hubacher, M., y Allenbach, R. (2004). Prediction of accidents at full green and green arrow traffic lights in Switzerland with the aid of configuration-specific features. **Accident Analysis & Prevention**, 36(5), 739-747.
- IRTAD. (2014). **Road Safety Annual Report 2014**. Recuperado del sitio web del International Transport Forum, de <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/14IrtadSummary.pdf>.
- Laureshyn, A. (2010). **Application of automated video analysis to road user behaviour**. Doctoral Thesis, Lund University.
- Laureshyn, A., Svensson, A., Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data. Theoretical framework and first implementation. **Accident Analysis and Prevention**, doi: 10.1016/j.aap.2010.03.021, 2010. Elsevier Ltd.
- Perkins, S.R. y Harris, J.I. (1967) **Traffic Conflict Characteristics: Accident Potential at Intersections**. General Motors Corporation, Warren, MI.
- Shebeeb, O., y Anjomani, A. (2003). Safety and Efficiency: Regression Analysis Results for Left-Turn Movements. **In TRB Annual Meeting** (pp. 1–20).
- Yu, L., Qi, Y., Yu, H., Guo, L., & Chen, X. (2009). **Development of left-turn operations guidelines at signalized intersections** (No. FHWA/TX-09/0-5840-1).
- Zhang, L., y Prevedouros, P. (2002). Signalized Intersection LOS that Accounts for Safety Risk. **Transportation Research Record**, 3288.

ZEEGER, C. y PARKER, M. (1988) **Traffic Conflict Techniques for safety and operations – observers manual**. (FHWA – IP – 88 – 027). U.S. Department of Transportation.

## APÉNDICE

A continuación se presenta un diagrama de las etapas de los semáforos de las intersecciones estudiadas:

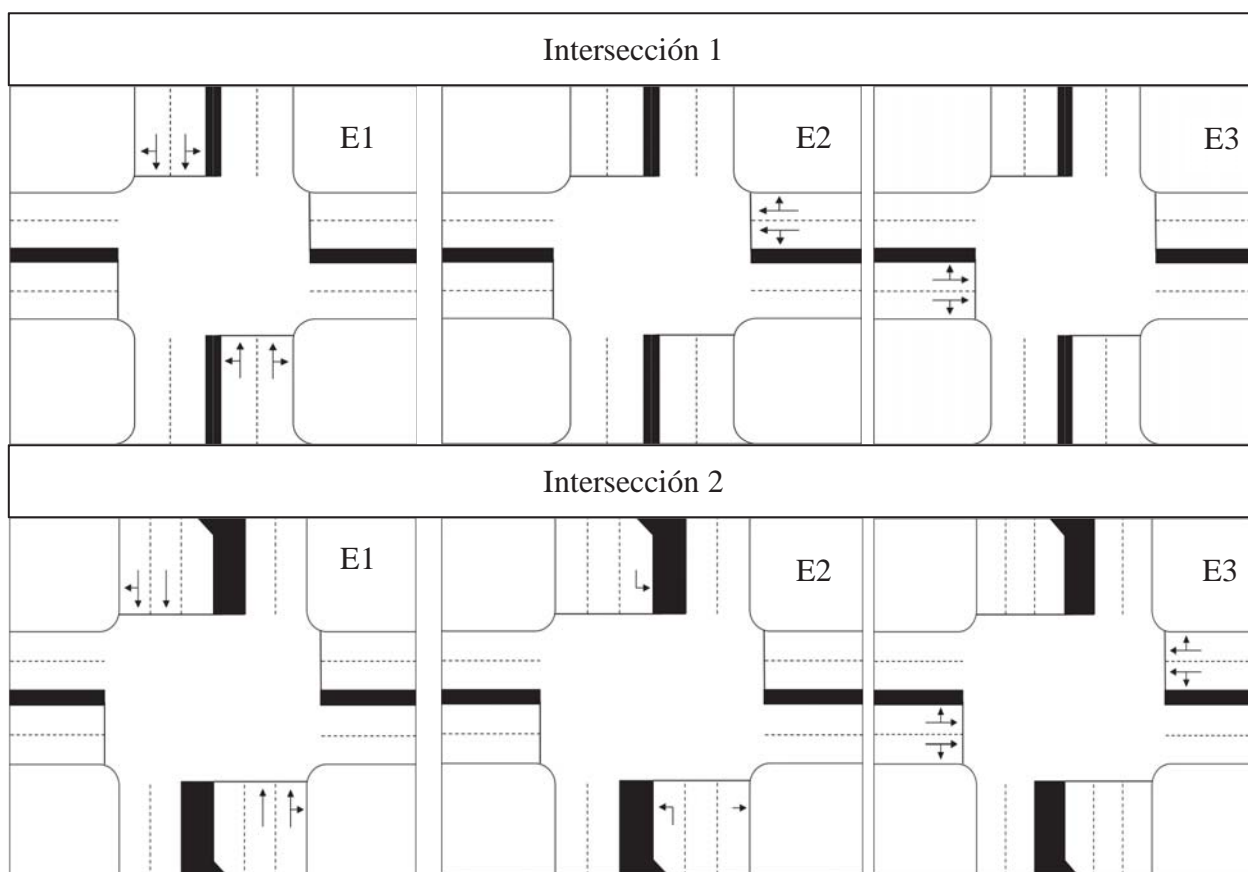


Figura 5: Etapas de las intersecciones estudiadas