



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES QUE EXPLICAN EL NO RESPETO
DE LA LUZ ROJA EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

ANTONIA BEATRIZ CAVIEDES HERRERA

PROFESOR GUÍA:
ALEJANDRO TIRACHINI HERNÁNDEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CRISTIÁN GUEVARA CUE
MAURO HUENUPI ACEITUNO

SANTIAGO DE CHILE
2022

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: ANTONIA BEATRIZ CAVIEDES HERRERA
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: ALEJANDRO TIRACHINI

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES QUE EXPLICAN EL NO RESPETO DE LA LUZ ROJA EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Las infracciones por el no respeto a la luz roja en intersecciones semaforizadas son un gran problema de seguridad vial, pero a pesar de esto no existe suficiente investigación local al respecto. Esta memoria tiene el objetivo de caracterizar este tipo de infracciones y las variables que la expliquen mediante análisis estadístico y modelos de elección binaria Logit.

La base de datos para realizar esta investigación se construye a través de mediciones en terreno en tres intersecciones en la ciudad de Santiago. Se estudia el intervalo de tiempo en el cual los conductores tienen la decisión de detenerse o cruzar sin respetar la luz roja, en lo que en la literatura se conoce como zona de dilema de la luz amarilla. Se mide la velocidad de aproximación de los vehículos y el flujo vehicular, y además se observa la edad y género de los conductores. En los resultados obtenidos se encuentra que frente a la opción de detenerse, un 20 % de los conductores opta por cruzar sin respetar la luz roja. Si bien la mayoría (55 %) de los conductores que cruzan en rojo ingresan a la intersección durante el primer segundo de la luz roja, se estima que en el caso de los movimientos directos, un 91 % de esos vehículos termina de salir de la intersección 2 o más segundos después de que la luz cambió a rojo, y un 41 % bloquea la luz verde de la fase siguiente por 2 o más segundos, produciéndose en un riesgo de seguridad vial e intimidación para peatones.

En cuanto a las variables que explican este fenómeno, la velocidad de aproximación es significativa en todos los modelos. Esto se ve reflejado en la estadística descriptiva del grupo de conductores que opta por detenerse y los que no respetan la luz roja. Los primeros circulan en mayor proporción a menos de 40 [km/h], mientras que los últimos se componen principalmente de conductores que transitan a más de 40 [km/h]. Cuando nos enfocamos en los vehículos a exceso de velocidad, un 65 % de ellos opta por no detenerse.

Como parte de este estudio también se identificó una relación entre el flujo y las infracciones a la luz roja, describiendo dos tipos de infracciones: en alto flujo vehicular y en bajo flujo vehicular. Las primeras se caracterizan por ocurrir a bajas velocidad cuando el conductor que comete la infracción se suma indebidamente al pelotón de vehículos que cruza, y las segundas por ser cometidas a mayor velocidad cuando el conductor al encontrarse con la vía despejada intenta acelerar y cruzar la intersección antes del cambio a luz roja, pero sin lograrlo.

Para finalizar, se dan recomendaciones de políticas públicas para mitigar el fenómeno de las infracciones a luz roja y sus consecuencias en número de siniestros, lesionados y fallecidos, como también en la percepción de seguridad en las calles de los peatones. Estas medidas incluyen la implementación de un sistema automático de fiscalización, como el proyecto de ley CATI, y campañas de concientización e información dirigidas al público.

Agradecimientos

Quiero agradecer a los profesores del quinto piso, por adaptarse a hacer clases *online* en pandemia, y permitirme trabajar con ustedes como ayudante y auxiliar. En especial le agradezco a mi profesor guía, Alejandro Tirachini, por su ayuda en sacar adelante este trabajo, y a los miembros de la comisión por su buena disposición y consejo.

Quizás suene mal, pero nunca dudé en que lograría terminar satisfactoriamente esta etapa. La verdad es que ustedes no me lo permitieron, a pesar de todas las dificultades que se presentaron en estos últimos 7 años. Gracias por creer en mí y darme su apoyo incondicional.

Me refiero a mi mamá, que me enseñó a leer, y a mi papá, que me enseñó a usar el computador. Ustedes formaron a la persona que soy hoy.

A la lela, que rezó por mí todos los días, y al tata, que hasta hoy me regala cebollas cuando voy a verlo. Gracias por acompañarme todavía.

A mi hermano, Marcelo, la tía Toyi y la Gatuna. Quizás ustedes no aportaron mucho, pero igual me caen bien.

Gracias a mi compañero, Camilo, por salir a grabar a los semáforos conmigo, darme ánimos en los días de entrega y cuidarme en cada momento de estos últimos dos años.

A mi grupo de amigas de Peñaflor, han estado en mi vida desde que tengo memoria y no estaría aquí sin ustedes. Y a los amigos que hice en la facultad, literalmente no estaría aquí sin ustedes.

Por último, gracias a Taylor Swift, por acompañarme con su música. Desde que entré a estudiar ingeniería ha sacado 5 álbumes nuevos y 2 regrabados, incluyendo la versión de 10 minutos de *All too well*, que curiosamente tiene la línea «You almost ran the red 'cause you were lookin' over at me». ¿Esa es la razón por la que alguien cruza con luz roja?, lo discutiremos a continuación.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Alcances	3
1.3. Objetivos generales	4
1.4. Objetivos específicos	4
1.5. Estructura de la memoria	4
2. Marco Teórico	6
2.1. Cómo definir el no respeto a la luz roja	7
2.2. Variables que influyen en el no respeto a la luz roja	9
2.3. Medidas de mitigación a las infracciones por el no respeto a la luz roja	12
3. Metodología	14
3.1. Definición de parámetros	14
3.1.1. Definición de no respeto a al luz roja	14
3.1.2. Definición de variables a considerar	16
3.2. Aspectos logísticos	18
3.3. Elección de las intersecciones a estudiar	19
3.4. Análisis del material audiovisual	20
4. Área de estudio y recolección de datos	24
4.1. Intersecciones de estudio	24
4.1.1. Intersección 1: Exequiel Fernández con Av. Alcalde Fernando Castillo Velasco	24
4.1.2. Intersección 2: Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri	25
4.1.3. Intersección 3: Av. Vicuña Mackenna con Av. Matta	26
4.2. Recolección de datos	27
4.2.1. Intersección 1: Exequiel Fernández con Av. Alcande Fernando Castillo Velasco	27
4.2.2. Intersección 2: Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri	28
4.2.3. Intersección 3: Av. Vicuña Mackenna con Av. Matta	28
5. Análisis de resultados	30
5.1. Estadística descriptiva	30
5.1.1. Frecuencia del no respeto a la luz roja	30
5.1.2. Segundos después del rojo en que ocurren las infracciones	31
5.1.3. Resultados por variable	33
5.1.3.1. Velocidad de aproximación	33

5.1.3.2.	Tipo de vehículo	34
5.1.3.3.	Género	35
5.1.3.4.	Edad	36
5.1.3.5.	Cinturón de seguridad	38
5.1.3.6.	Período y flujo	39
5.2.	Modelos de elección binaria	44
5.2.1.	Modelo 1: modelo de especificación con características objetivas . . .	44
5.2.2.	Modelo 2: modelo de especificación con características objetivas y atributos socio-económicos	50
6.	Conclusiones	54
6.1.	Resumen y resultados principales	54
6.2.	Recomendaciones de políticas públicas	56
6.3.	Líneas futuras de investigación	56
	Bibliografía	58
	Anexos	60
	Metodología	60

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto

Cada cierto tiempo se nos presenta la terrible noticia de un nuevo siniestro vial, causado por la imprudencia de un conductor al cruzar una intersección con luz roja. Para notar la extensión de este tipo de incidentes basta revisar las cifras del Observatorio de Seguridad Vial, de la Comisión nacional de Seguridad de Tránsito, que compila la base de datos de siniestros de tránsito que registra Carabineros de Chile. En este documento se desagregan las causas de los siniestros viales, reportándose el número de siniestros, la cantidad de lesionados ya sea graves, menores graves o leves por cada tipo de siniestro. Una de estas causas es la “desobediencia a la señalización”, donde se agrupan 6 tipos de siniestros:

- Desobedecer indicación de Carabinero en servicio
- Desobedecer luz intermitente de semáforo
- Desobedecer luz roja de semáforo
- Desobedecer otra señal
- Desobedecer señal “Ceda el Paso”
- Desobedecer señal “Pare”

Según estos datos, en el periodo 2011-2020 la “desobediencia a la luz roja del semáforo” fue causante de 19.732 siniestros en Chile, representa el 2.5 % de siniestros a nivel nacional. Ignorando la baja en el número de incidentes el año 2020, que seguramente se explica por el efecto de la pandemia, la tendencia es que este tipo de siniestros va en aumento, incrementando cerca de un 4 % cada año, como se muestra en la Figura 1.1. Es el tipo de desobediencia a la señalización con consecuencias más letales, las muertes por esta causa, 426 en un periodo de diez años, comprenden el 60 % del total de la categoría y el 2.7 % de los fallecidos en el total de siniestros de tránsito en Chile. Se debe tener en cuenta que hasta el 2018 el catastro de fallecidos registra las muertes ocurridas sólo hasta las 24 horas después del siniestro, y hasta 48 horas desde el 2019 en adelante. Es importante también considerar el número de lesionados en siniestros por no respeto a la luz roja, que en el período estudiado asciende a 17.624 personas, esto representa el 3.1 % del total de lesionados. Además, 2.026 de estas personas resultó con una condición de mayor gravedad, un 2.7 % de los lesionados graves. En las Figuras 1.1 a 1.3 se muestra la evolución del número de siniestros, fallecidos y lesionados

desde el año 2011 al 2022.

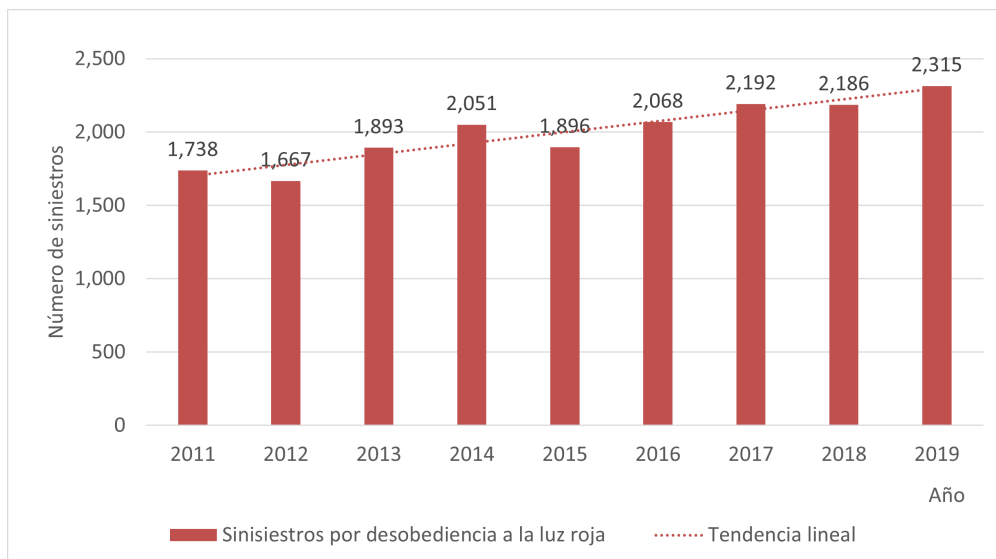


Figura 1.1: Siniestros por desobediencia a la luz roja

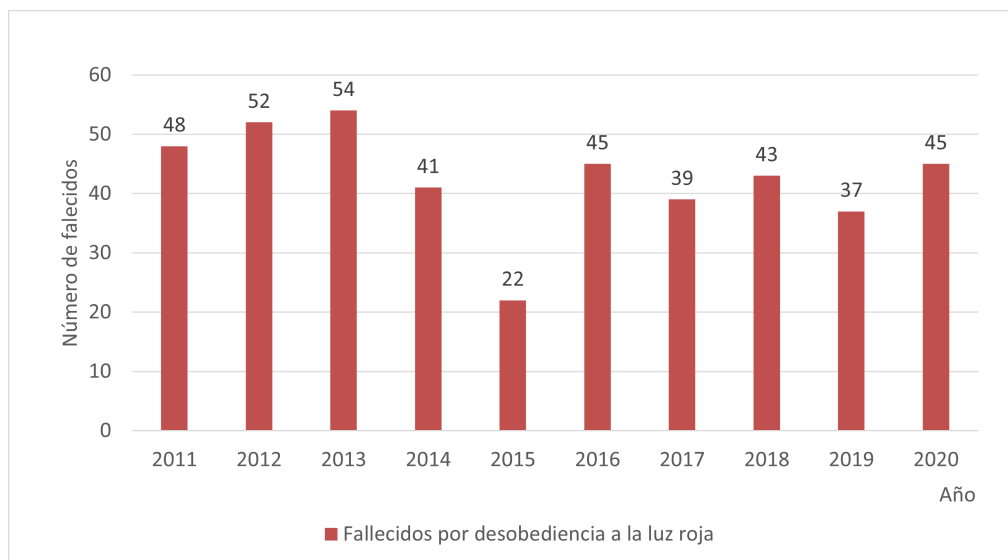


Figura 1.2: Fallecidos por desobediencia a la luz roja

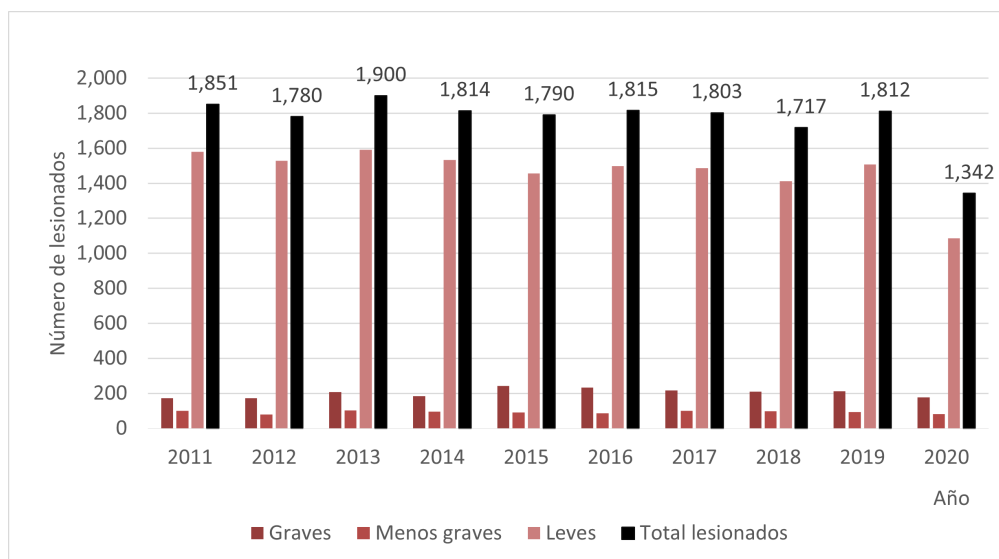


Figura 1.3: Lesionados por desobediencia a la luz roja

Si comparamos las cifras de mortalidad provocada por lesiones por siniestros de tránsito (por cada 100.000 personas), en Chile esta es relativamente alta (15) en comparación al promedio de los miembros la OCDE (8), (OMS, 2019).

Existen políticas a nivel internacional para abordar el problema de seguridad de tránsito, como el reciente *“Plan global por la seguridad de tránsito”* de las Naciones Unidas, de la cuál Chile es parte, que apuntan a reducir en un 50 % las muertes por siniestros viales para el año 2030. A nivel nacional, el año 2017 se presentó la nueva Política de Seguridad de Tránsito, que se adhiere a la *Visión Cero*, es decir, un compromiso para la toma de acciones que lleven a ser un país sin fallecidos ni lesionados graves en el tránsito. Más recientemente, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones presentó el *“Pacto Nacional por la Seguridad Vial 2022”*, que busca “generar un espacio de trabajo colaborativo con distintas organizaciones privadas, que quieran contribuir y fortalecer la seguridad vial en nuestro país mediante su apoyo al desarrollo de diversas políticas públicas, elevar estándares, contribuir a la evidencia empírica, formación educacional, entre otras iniciativas.”¹

El rol de la academia es muy importante para el apoyo de estas políticas públicas, ya que la investigación es una forma de generar evidencia para ayudar al gobierno y otros actores a entender la naturaleza de un problema, como también a identificar estrategias y soluciones efectivas a éste. En particular, el problema del no respeto de luz roja en intersecciones semaforizadas es un tema con casi nula investigación a nivel nacional, por lo que este trabajo espera ser un aporte para entender sus causas y factores de riesgo desde el punto de vista de la Ingeniería de Transportes.

1.2. Alcances

Para llevar a cabo esta memoria, se realiza una revisión y síntesis de estudios en el área, para conocer las variables que se han estudiado e integrarlas en este proyecto de investigación

¹ «Pacto por la seguridad vial», <https://conaset.cl/pacto-por-la-seguridad-vial/> (consultada en septiembre de 2022).

de campo, uno de los primeros de esta naturaleza a realizarse en la región.

Con esta base, se define una metodología que permita realizar mediciones en intersecciones de la ciudad de Santiago mediante grabaciones y observadores en terreno. Se definen tres intersecciones de distintas características, pero que cuentan con el flujo suficiente y las condiciones de infraestructura que permitan la observación.

A partir de los resultados de la investigación, se realiza un análisis de los resultados obtenidos para identificar la significancia y la recurrencia de las variables que explican las infracciones a la luz roja cometidas por conductores de vehículos motorizados.

1.3. Objetivos generales

- Estudiar las infracciones por no respeto a la luz roja en intersecciones semaforizadas en Santiago mediante vídeos y observaciones en terreno.
- Caracterizar variables que las expliquen mediante un modelo y análisis estadístico.

1.4. Objetivos específicos

- Aprender el estado del arte del tema en estudio a través de una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional.
- Diseñar e implementar una metodología que permita medir adecuadamente el fenómeno del no respeto a la luz roja.
- Analizar los resultados de la investigación mediante un modelo estadístico.
- Discutir los resultados del modelo y proponer medidas de políticas públicas para enfrentar el problema.

1.5. Estructura de la memoria

Este documento parte con la motivación y la importancia de desarrollar este tema de memoria desde el punto de vista de la ingeniería de tránsito y en el contexto país, que se ha explicado en el Capítulo 1.

Luego, en el Capítulo 2: Marco Teórico, se encuentra una completa revisión de la literatura en relación con el no respeto a la luz roja y sus causas, el dilema de la luz amarilla y la eficacia de medidas de mitigación. El grueso de la investigación de las variables asociadas al no respeto de la luz roja se encuentra desde 1996 en adelante, y ha cambiado a lo largo del tiempo con la incorporación de nuevas tecnologías.

En el Capítulo 3 se presenta la metodología empleada en la medición de infracciones a la luz roja, construida en base a las definiciones encontradas en la literatura y los recursos accesibles para esta investigación. Se detalla el trabajo hecho en terreno por observadores y el procedimiento de análisis de material audiovisual recolectado en terreno para caracterizar

las situaciones de una potencial infracción a la luz roja y a sus conductores.

Continuando, el Capítulo 4: Área de estudio y recolección de datos, se detallan las características de las intersecciones elegidas para estudio, como también se especifica el proceso de recolección de datos en cada una de ellas. Se puntualiza el periodo de estudio, cantidad de horas y cantidad de mediciones recogidas.

En el Capítulo 5 se detallan los resultados obtenidos de acuerdo a modelos de elección binaria logit, se comparan los resultados obtenidos en cada una de las intersecciones estudiadas y el peso de distintas variables en la decisión de los conductores de no respetar la luz roja. Además se describe el tipo de infracciones observadas y como éstas se reflejan en los resultados de los modelos.

En capítulo final de esta memoria, se concluye en base a los hallazgos claves encontrados durante la investigación. Además, se presentan una serie de recomendaciones para mitigar el no respeto a la luz roja y sus consecuencias, en base a los resultados de este trabajo y la experiencia internacional documentada sobre este tema.

Capítulo 2

Marco Teórico

Siendo el problema del no respeto a la luz roja en intersecciones semaforizadas uno de carácter mundial, desde al menos la década de 1990 a la fecha se han realizado numerosas investigaciones que buscan caracterizar y explicar este fenómeno, el cuál es también conocido en inglés como *Red light violation* (RLV) o *Red light running* (RLR).

Al investigar los cruces en rojo, en la literatura se encuentran principalmente 3 categorías:

- Cruces en rojo perpetrados por conductores de vehículos motorizados y sobre los cuales se caracteriza frecuencia y en las circunstancias que estos ocurren, es decir: período en el que ocurren, diseño de la intersección, ciclo del semáforo, flujo vehicular, velocidad y desfase luego del rojo al cuál se produce la infracción, entre otras características.
- Cruces en rojo con un enfoque en el conductor, estudiando sus características demográficas como edad, sexo, etnicidad, etc., o estudiando las características del auto que conducía, su año de fabricación o si transportaba pasajeros. También en algunas investigaciones se ha considerado el historial del conductor, para considerar si ha estado involucrado en siniestro de tránsito, o si suele cometer otras faltas como conducir en estado de ebriedad o no usar cinturón de seguridad.
- El estudio de contramedidas y su eficacia en reducir el número infracciones por no respeto a la luz roja, como por ejemplo cambio en las señales de tránsito, ajuste en los tiempos del semáforo o la instalación de cámaras que detectan esta infracción y son usadas para emitir multas de tránsito.

Las metodologías más comúnmente utilizadas se basan en observaciones en terreno o a través de vídeos obtenidos en una intersección, los cuales permiten caracterizar estas infracciones con mayor detalle y conocimiento de la situación en la que ocurre, y a los conductores para estudiar de forma diferenciada a conductores que se detienen versus los que no lo hacen.

También existe investigación en base a los registros de accidentes producidos, en este caso la caracterización no tiene un punto de comparación a los no infractores, y el número de casos analizados corresponde sólo a los que terminaron causando un siniestro.

En la vanguardia de la investigación del no respeto a la luz roja se están probando nuevos métodos, como por ejemplo la recolección automática de datos utilizando cámaras que detectan las infracciones y funcionan a todas horas en la intersección, o la recopilación de

datos gracias a sensores, *Inductive loop detection* (ILD) en inglés, que registran la velocidad y el momento en que el vehículo pasa por ellos y permite estimar la aceleración y el tiempo en llegar a la línea de detención (Wang, 2012). Otro avance es la posible implementación de la comunicación vehículo-vehículo y vehículo-infraestructura para estudiar y mitigar las infracciones a la luz roja de manera dinámica (Li, 2016).

2.1. Cómo definir el no respeto a la luz roja

Los semáforos se instalan en intersecciones de alto flujo vehicular para regular el paso de vehículos motorizados, ciclos y peatones, mejorando la seguridad y disminuyendo las demoras. La programación de estos dispositivos consiste en determinar la estructura, secuencia y duración de las indicaciones luminosas que se muestran a los distintos usuarios en la intersección. La forma en que los automovilistas deben interpretar las señales lumínicas se detalla en el “Libro del nuevo conductor” (CONASET, 2018), material de estudio para quienes postulan a una licencia de conducir es la siguiente:

- **Luz verde:** Indica paso. Los vehículos que la enfrentan pueden continuar en el mismo sentido o virar, a menos que en el lugar una señal de tránsito prohíba algún viraje. Aún teniendo luz verde, no se debe avanzar si, pasado el cruce, no tiene a lo menos 10 metros expeditos en su pista de circulación.
- **Luz roja:** Indica detención. Los vehículos que enfrentan luz roja deben detenerse antes de la línea de detención demarcada o imaginaria, previa a la senda destinada al tránsito de peatones, y no deberán avanzar hasta que aparezca la luz verde.
- **Luz amarilla:** Indica prevención. Los vehículos deben detenerse antes de entrar al cruce, ya que la luz amarilla advierte que la roja aparecerá a continuación. Si la luz amarilla le sorprende tan próximo al cruce que ya no puede detenerse con suficiente seguridad, continúe con precaución. Igualmente, si la luz le sorprende en el cruce, usted deberá continuar con precaución.

Es clara una violación a la luz roja cuando un vehículo se aproxima a la intersección bajo esta señal y no se detiene, pero si al aproximarse se encuentra con luz amarilla el no respeto a la luz roja dependerá de su capacidad de detenerse antes del cruce, en función a la velocidad de aproximación y la distancia a que se encuentra de la intersección. Esto es conocido como la zona dilema de luz amarilla, que está determinada por características del diseño vial, características de los vehículos y características de los conductores.

En esta zona, la decisión de no detenerse y encontrarse en la intersección cuando la luz cambie y tengan derecho de paso otros movimientos, puede llevar a un choque lateral. Por otro lado, de detenerse muy repentinamente podría provocar un choque por alcance. Esta situación de gran peligrosidad ha sido estudiada ampliamente desde 1960 por los investigadores de seguridad vial, y una revisión de los diversos estudios se encuentra en Zhang, Fu y Hu (2013). Se reconocen dos tipos de zonas dilema, definidas como:

- **Tipo I:** una zona donde no se puede detener de forma segura antes del cruce, ni salir de la intersección antes del fin de la luz amarilla (Gazis et al. 1960).
- **Tipo II:** también denominada zona de decisión, es la zona en donde el conductor puede decidir si detenerse o continuar (Parsonson, 1992).

Los límites de la zona dilema tipo I están dados por la mínima distancia para detenerse de forma segura (X_c) y la máxima distancia para cruzar de forma segura (X_0). Esta zona queda delimitada por ambas distancias cuando $X_c > X_0$ (fig. 2.1). Estas se calculan según definiciones físicas dada la velocidad de aproximación (v_0), tasa de frenado (a_1) y tasa de aceleración (a_2). También considera como variables el tiempo de reacción (δ_i), la duración de la luz amarilla (τ), el ancho de la intersección (W) y el largo del vehículo (L).

$$X_c = v_0\delta_1 + \frac{v_0^2}{2a_1} \quad (2.1)$$

$$X_0 = v_0\tau + 0.5a_2(\tau - \delta_2)^2 - W - L \quad (2.2)$$

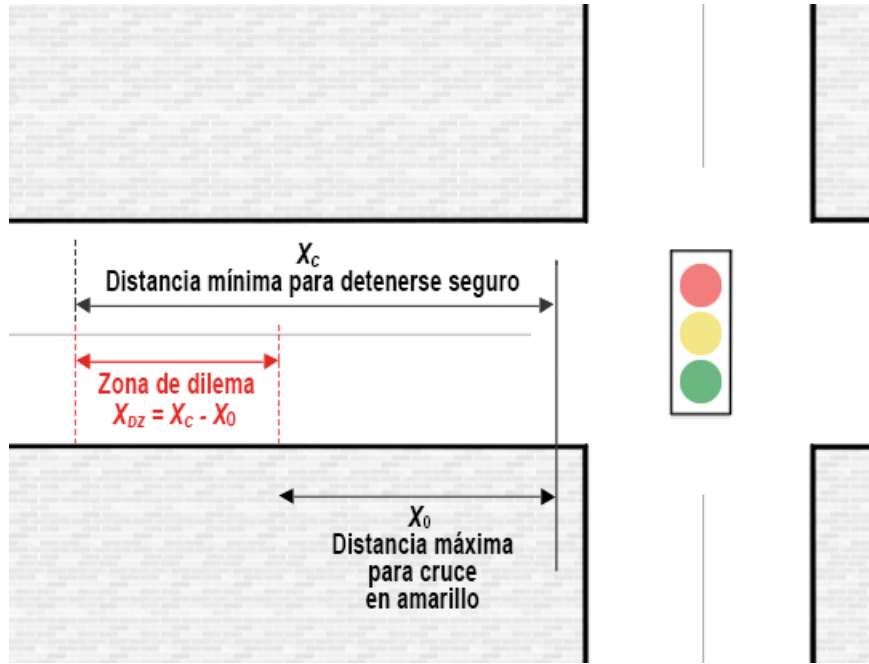


Figura 2.1: Formación de la zona dilema tipo I
Adaptado de Zhang et al., 2013

Por otro lado los límites de la zona dilema tipo II nacen de un enfoque probabilístico, definiéndola como la zona en que un 10 % hasta un 90 % de los conductores se detiene al ver la luz amarilla (fig. 2.2). Esta probabilidad está asociada al tiempo necesario para llegar a la línea de detención (TTS, por sus siglas en inglés). La sugerencia más ampliamente adoptada es definir los límites de la zona dilema II entre los TTS de 2.5 [s] a 5.5 [s] hasta la línea de detención (Benneson et al., 2002). Los límites en términos de distancia dependerán de la velocidad y tasa de desaceleración del vehículo.

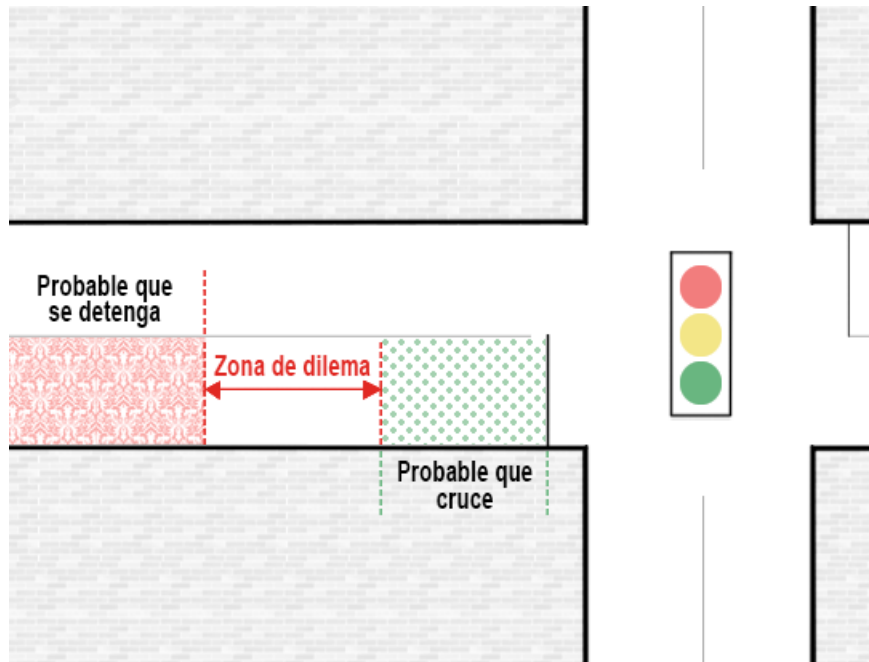


Figura 2.2: Formación de la zona dilema tipo II
Adaptado de Zhang et al., 2013

2.2. Variables que influyen en el no respeto a la luz roja

Por mucho tiempo se ha tratado de responder las preguntas sobre qué tipo de conductor, intersección y características de la vía son predominantes en el no respeto de la luz roja. Un estudio realizado por la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) en 2006 da cuenta de las variables que se ha demostrado tienen un efecto en las infracciones a la luz roja, su rol y la referencia de dónde viene cada hallazgo (Tabla 2.1). Todos los estudios mencionados en la tabla tienen su origen en EEUU o Inglaterra, posteriormente el fenómeno ha sido estudiado en otros lugares del mundo resultando en similares hallazgos como:

- **Thessaloniki, Grecia (Papaioannou, 2007):** La proporción de hombres que no se detienen al acercarse a una intersección con luz amarilla estando en la zona de decisión (1/1) es mayor que a la proporción de mujeres (1/9). El grupo etario de mediana edad tiende más a no detenerse que el grupo de conductores más jóvenes y más viejos.
- **Shanghai, China (Wang, Yu y Zhong, 2016):** Los infractores a la luz roja eran en su mayoría hombres, con patentes de la región y conduciendo vehículos sin pasajeros. Además, un 88 % de las infracciones a la luz roja eran cometidas por conductores que circulaban en medio de un pelotón de vehículo, contrario a estar al frente del pelotón.
- **Concepción, Chile (Ibáñez y Haniel, 2016):** Se observa un mayor número de infracciones a la luz roja entre las 18:30 – 19:30. Respecto al sexo del conductor se observaron 0.001 [Infracciones mujeres/Flujo total

mujeres] y 0.007 [Infracciones hombres/Flujo total hombres], y la edad con mayor probabilidad de cometer una violación de luz roja fue de los adultos (30-60) con un 0,0048 [Infracciones adultos/Flujo total adultos].

Tabla 2.1: Variables que influyen en el no respeto de la luz roja reportadas en la literatura.

(Fuente: NHTSA, 2006)

Elemento	Variable	Hallazgo clave	Referencia
Conductor	Edad	Los grupos de mayor edad daban cuenta por una proporción de infracciones a la luz roja relativamente pequeña comparada con el grupo de menor edad.	Quiroga y Kraus, 2003
		Es más probable que conductores jóvenes entre los 18 y 25 años cometan infracciones a la luz roja.	Porter y Berry, 2001
		Los infractores a la luz roja suelen ser conductores menores a 30 años.	Retting et al., 1999; Retting y Williams, 1996
	Género	La proporción de hombres es mayor dentro de los infractores a la luz roja que dentro de los no infractores.	Retting et al., 1999
	Ocupación	Los conductores tienen más probabilidades de infringir una luz roja cuando viajan solos en comparación a cuando hay pasajero en el vehículo.	Porter y Berry, 2001
	Cinturón de seguridad	Es más probable que un conductor que no respete la luz roja no esté usando el cinturón de seguridad.	Porter y England, 2000; Retting y Williams, 1996
	Historial del conductor	Es más probable en infractores a luz roja que en no infractores conducir con la licencia de conducir suspendida o revocada.	Retting et al., 1999
		Conductores con un historial de infracciones de conducir y en autos más pequeños y antiguos tienen una mayor tendencia a no respetar la luz roja.	Retting y Williams, 1996
Intersección	Tiempo de amarillo	La frecuencia de infracciones a la luz roja aumenta cuando el tiempo de amarillo es menor que 3.5 segundos.	Brewer et al., 2002
		Tiempos de amarillo más largos causarán que los conductores entren a la intersección más tarde y alargar los tiempos de rojo-rojo provoca más infracciones a la luz roja.	Eccles y McGee, Julio 2001
	Distancia de detención	La probabilidad de que un vehículo se detenga ante un semáforo decrece mientras su distancia desde la intersección decrece.	Chang et al., 1985
	Velocidad de aproximación	La probabilidad de que un vehículo se detenga ante un semáforo decrece mientras su velocidad de aproximación a la intersección aumenta.	Chang et al., 1985
	Pendiente	La probabilidad de que un vehículo se detenga ante un semáforo aumenta mientras la pendiente de la intersección a la que se aproxima aumenta.	Chang et al., 1985
	Ancho	Conductores tienden más a detenerse frente a la luz roja en intersecciones más anchas en comparación a las más angostas.	Chang et al., 1985
Factores situacionales	Flujo de aproximación	Un mayor número de infracciones a la luz roja se observa en ciudades con intersecciones más anchas y de mayor flujo.	Porter and England, 2000
		La frecuencia de infracciones a la luz roja aumenta mientras el flujo de aproximación a la intersección aumenta.	Brewer et al., 2002
	Periodo	Un mayor número de infracciones a la luz roja ocurre entre las 3:00 PM y 5:00 PM.	Kamyab et al., 2000
		El promedio de infracciones a la luz roja es mayor durante los periodos punta de la mañana y de la tarde, comparado a otros momentos del día.	Retting et al., 1998
	Día de la semana	Hay más infracciones a la luz roja en días laborales comparado a los fines de semana.	Lum y Wong, 2003; Kamyab et al., 2000; Retting et al., 1998
	Clima	La influencia de la lluvia en el no respeto a la luz roja es insignificante.	Retting et al., 1998

De la información que se puede extraer de la Tabla 2.1 y de estudios posteriores notamos que se ha analizado una amplia cantidad de variables a lo largo de las décadas de investigación y diferentes regiones del mundo. Si bien existen diferencias en la metodología de obtención de

datos y la definición de infracción a la luz roja que utilizan diferentes estudios, como también en factores propios de cada intersección o país, algunos hallazgos aparecen frecuentemente:

- Los conductores jóvenes tienen la mayor probabilidad de cometer infracciones a la luz roja.
- Se ha evidenciado que los conductores hombres tienen mayor probabilidad de cruzar una intersección con luz roja.
- Un mayor número de infracciones a la luz roja ocurren en intersecciones y periodos con mayor flujo vehicular.

2.3. Medidas de mitigación a las infracciones por el no respeto a la luz roja

Junto con estudiar las causas del no respeto a la luz roja del semáforo, también se han hecho diversos estudios de la eficacia de medidas empleadas para reducir estas infracciones. Entre estos métodos podemos encontrar (NHSTA, 2006):

- Instalación de cámaras que detectan las infracciones a la luz roja automáticamente (RLC por sus siglas en inglés, *red light cameras*).
- Reemplazo de semáforos por una señal Pare en intersecciones de bajo flujo.
- Aumento de la distancia de visibilidad en la intersección.
- Aumento del tiempo de amarillo y/o rojo-rojo en semáforo.
- Implementación de fase exclusiva de viraje a la izquierda.
- Reforzamiento de cualquiera de estas medidas con campañas de educación a la población.

Una de las medidas que parece tener más éxito, mayor implementación y un mayor número de estudios asociados es la presencia de cámaras en la intersección, las que constantemente monitoreen la intersección para detectar y registrar las infracciones por el no respeto a la luz roja. Esto implicaría que los conductores que cometan una infracción puedan ser identificados y sancionados. En NHSTA (2006) se presentan algunos estudios hasta la fecha que comprueban su efectividad (Tabla 2.2). Investigaciones posteriores, también realizadas en EEUU, han confirmado su efectividad, e incluso algunos sugieren que la implementación de las cámaras en algunas intersecciones provoca una reducción generalizada del número de infracciones a la luz roja en toda la ciudad, incluyendo intersecciones en que no se instalan cámaras (Baratian-Ghorghi, Zhou y Wasilefsky, 2016).

Tabla 2.2: Frecuencia de infracciones por no respeto a la luz roja
(Fuente: NHTSA, 2006)

Referencia	Frecuencia previo a la implementación de cámaras de luz roja	Frecuencia luego de la implementación de cámaras de luz roja
Lum y Wong, 2003	Promedio de las infracciones un día de semana varían entre 16 a 111.8 por día en dos intersecciones "T".	Infracciones en un día de semana se reducen a 13.4-58.6 por día en dos intersecciones "T".
Rudy y Hobeika, 2003	10 intersecciones con variadas infracciones a la luz roja, entre 2.0 a 11.0 infracciones por 10000 vehículos	3 meses después de la instalación, las infracciones en estas intersecciones se reducen a 0.11 - 7.0 por 10000 vehículos.
Retting et al., 1999a	12.9 infracciones por 10000 vehículos en sitios con cámaras y 16.0 infracciones por 10000 vehículos en intersecciones sin cámaras.	7.7 infracciones por 10000 vehículos en sitios con cámaras y 8.0 infracciones por 10000 vehículos en intersecciones sin cámaras, 4 meses después la implementación de cámaras.
Retting et al., 1999b	36.3 infracciones por 10000 vehículos en sitios con cámaras y 37.8 infracciones por 10000 vehículos en intersecciones sin cámaras.	20.4 infracciones por 10000 vehículos en sitios con cámaras y 25.0 infracciones por 10000 vehículos en intersecciones sin cámaras, 1 año después la implementación de cámaras.

Particularmente, Retting et al. (1999b) observó una reducción del 40 % en el número de infracciones por no respeto a la luz roja luego del 1er año en que las cámaras fueron implementadas. McCartt y Wen (2014) también examinaron sus efectos, hallando una reducción significativa del número de cruces en luz roja, sobretodo en aquellos casos que ocurren a más segundos luego del cambio a luz roja, las infracciones con más probabilidades de llevar a un choque lateral: reducción del 86 % para cruces 1.5 segundos después de la luz roja.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se presenta la metodología empleada en la medición de infracciones a la luz roja, construida en base a las definiciones encontradas en la literatura y los recursos accesibles para esta investigación. Se detalla el trabajo hecho en terreno por observadores y el procedimiento de análisis de material audiovisual recolectado en terreno para caracterizar las situaciones de una potencial infracción a la luz roja y a sus conductores.

3.1. Definición de parámetros

Previo al estudio en terreno y al análisis de los registros de vídeo, se definen los parámetros que se utilizan en cada una de las tres intersecciones. Estas entregarán un marco sobre qué considerar como una infracción a la luz roja para los propósitos de este estudio, y además definirán las variables a tomar en cuenta para el modelamiento de la decisión de detenerse o seguir.

3.1.1. Definición de no respeto a al luz roja

Considerando las definiciones encontradas en la literatura y el objetivo de este trabajo, se ha optado por enfocar la investigación en la decisión de detenerse o seguir por parte de los conductores, reconociendo que seguir implica una infracción a la luz roja. Para identificar el grupo de automovilistas que tiene acceso a esa elección es que se ocupa el enfoque descrito en la zona dilema tipo II o zona de decisión (figura 2.2): la zona en que un 10% hasta un 90% de los conductores se detiene al ver la luz amarilla. Estos límites están dados por los TTS de 2.5 a 5.5 segundos. Este tipo de delimitación se puede entender definiendo 3 grupos de conductores:

1. De los conductores que se encuentren a menos de 2.5 segundos para llegar a la línea de detención cuando se presente la luz amarilla, más del 90% de ellos cruzará pues percibirán correctamente que se encuentra a una distancia necesaria para cruzar de forma segura y por otro lado pueden estar demasiado próximos a la intersección para detenerse de forma segura. La decisión de este grupo de conductores no se considerará para el estudio.
2. Los conductores que se encuentren entre 2.5 y 5.5 segundos para llegar a la línea de detención deben decidir si detenerse o cruzar. En su caso, cuentan con la distancia necesaria para detenerse y deberían optar por esta opción. De no detenerse, llegarán a

la línea de detención justo cuando o incluso después de que el semáforo cambie a rojo, por lo que se considerará como no respeto a la luz roja.

3. De los conductores que se encuentren a más de 5.5 segundos para llegar a línea de detención cuando se presente la luz amarilla, más del 90 % de ellos se detendrá pues percibirán correctamente que se encuentra a una distancia demasiado larga para cruzar de forma segura. De no detenerse, se consideraría como un caso extremo de no respeto a la luz roja, donde el conductor entraría a la intersección pasados 2.5 segundos desde la luz roja.

El grupo que nos interesa medir para caracterizar su decisión de detenerse o continuar es el Grupo 2. El siguiente paso para crear la metodología es definir el área de estudio traduciendo los TTS a distancias, garantizando que se cumplan las condiciones para pertenecer a este grupo, en especial la de contar con la distancia necesaria para detenerse de forma segura. Para calcular la distancia de detención ocuparemos la fórmula (2.1) reemplazando los valores de tiempo de reacción $\delta_1 = 1$ [s] y tasa de frenado $a_1 = 3,4$ [m/s²], estos valores se encuentran en Roess et al. (2010) y corresponden al tiempo recomendado por el Instituto de Ingenieros de Transporte de EEUU para propósito de reacción al semáforo y a la desaceleración que pueden alcanzar vehículos en pavimento mojado (el 90 % de los conductores desacelerará a una tasa más alta), respectivamente. También se introduce un factor de conversión para trabajar con velocidades en [km/h]. Con esto, la distancia mínima para detenerse de forma segura (X_c) queda como:

$$X_c = v_0 \cdot 0.28 \cdot 1 + \frac{(0.28 \cdot v_0)^2}{2 \cdot 3.4}$$

Por otro lado, las distancias asociadas a los TTS de 2.5 para el inicio de la zona de decisión (DZ_i) y 5.5 para el final de la zona de decisión (DZ_j) quedan definidas como:

$$\begin{aligned} DZ_i &= v_0 \cdot 0.28 \cdot 2.5 \\ DZ_j &= v_0 \cdot 0.28 \cdot 5.5 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Tanto X_c como DZ_i e DZ_j dependerán de la velocidad de aproximación del vehículo a la intersección e idealmente debiesen definirse límites individuales de acuerdo a cada caso, pero para el propósito de este estudio se definirán en base a la velocidad máxima permitida, es decir 50 [km/h]. Con esta velocidad se tiene que $X_c = 43$ [m], mientras que los límites de la zona de decisión se encuentran a 35 [m] y 77 [m]. En base a estos resultados, y considerando que el cálculo de X_c fue con una tasa de frenado conservadora, se fijará la línea de inicio de la zona de mediciones para el grupo 2 a 40 metros de la línea de detención, esto permitirá que un vehículo que se encuentra a más de 40 metros de la intersección cuando vea la luz amarilla, pueda frenar de forma segura y además cumple con la condición de encontrar dentro de la zona dilema tipo II, definida en la literatura como la zona de decisión.

Para fijar el fin de la zona de decisión, debería encontrarse a 77 [m], sin embargo, como

desde el lado logístico no es posible abarcar una distancia tan amplia desde la línea de detención, se seguirá manteniendo la línea de referencia a 40 [m] de la línea de detención y el final del Grupo 2 estará en base a un tiempo de 3 segundos después de la luz amarilla, es decir, justo cuando está cambie a rojo. La idea detrás es que un vehículo que llegue a los 40 [m] de la línea de detención en el segundo 3 luego del amarillo, se encontraba hace 3 segundos a un TTS de 5.5 segundos cuando vio la luz amarilla, en otras palabras se encontraba el final de la zona de decisión.

Se debe mencionar que el supuesto realizado es conservador para vehículos que circulen a menor velocidad, por ejemplo para conductores que se muevan a 30 [km/h] o 40 [km/h], podría fijarse su línea de inicio de la zona de mediciones aproximadamente a 20 [m] y 30 [m], respectivamente. Sin embargo, durante la etapa de construcción de la metodología se realizó un paneo de velocidades en otra intersección de Santiago: Av. Blanco Encalada con Beauchef. Este experimento arrojó que el promedio de la velocidad era de 53 [km/m], y que un 64 % de los conductores conduce a exceso de velocidad.

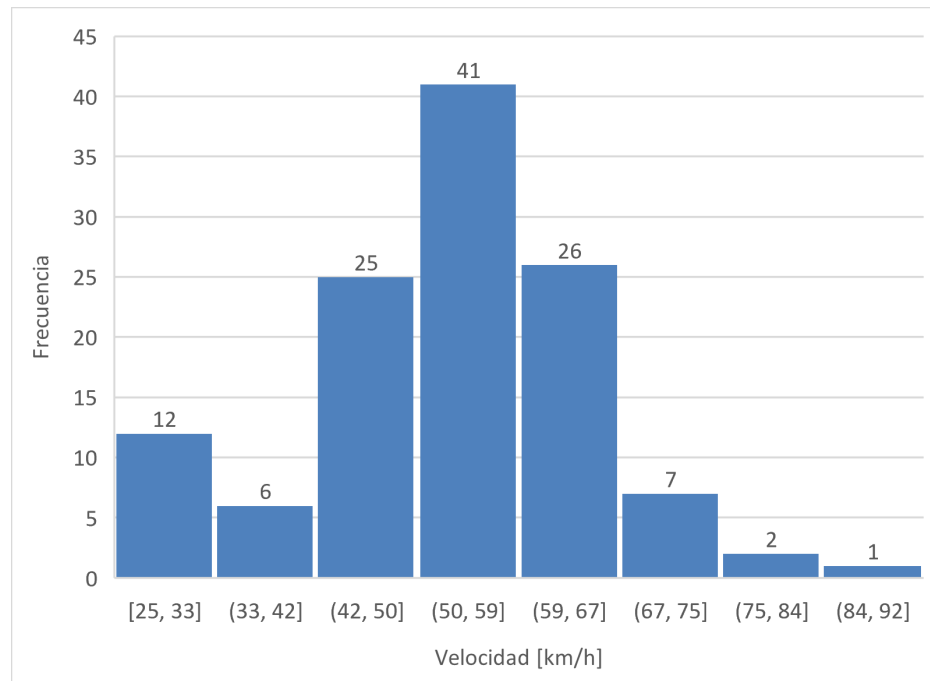


Figura 3.1: Histograma de velocidades registrado el 15 de abril 2022. 16:00 hrs, Av. Blanco Encalada con Beauchef

En el caso de los conductores del Grupo 3, este será cualquiera que cruce el límite de los 40 [m] desde la línea de detención en cualquier momento después de haber pasado a la luz roja del semáforo. Como es de esperar que un 90 % de estos se detenga, no se considerarán estos casos para el modelamiento de la decisión de detenerse o seguir, pero si se dejarán registrados los conductores que no respeten la luz roja para efectos de análisis.

3.1.2. Definición de variables a considerar

Las variables que se recogerán para estudiar su impacto en el no respeto a la luz roja son:

- Velocidad de aproximación: Esta es medida por un observador con una pistola radar de

velocidad a 40 [m] de la línea de detención.

- Tipo de vehículo: El tipo de vehículo entrará dentro de alguna de las siguientes categorías:
 1. Buses o Camiones.
 2. Vehículos largos: Camionetas, SUV y Furgones.
 3. Vehículos cortos: Sedan y Mini.
 4. Motocicletas.
- Género: Los conductores se categorizarán de manera subjetiva por el observador como hombre o mujer, en base a los registros audiovisuales tomados en la intersección.
- Edad: Los conductores se categorizarán de manera subjetiva por el observador según su edad, en base a los registros audiovisuales tomados en la intersección. Luego, se agruparán en 3 categorías:
 1. Conductores jóvenes: máximo 29 años de edad.
 2. Conductores de mediana edad: entre 30 y 49 años de edad.
 3. Conductores adultos: mayores a 50 años de edad.
- Uso del cinturón: Los conductores se categorizarán de manera objetiva por el observador entre los que sí usan el cinturón de seguridad y los que no se encontraban usándolo, en base a los registros audiovisuales tomados en la intersección.
- Período: Se registrará la hora del día en que fue tomada cada medición y se clasificará dentro de tres categorías:
 1. Punta mañana: Entre las 08:00 y 10:00 hrs.
 2. Fuera de punta: Entra las 12:00 y 15:00 hrs.
 3. Punta tarde: Entre las 16:00 y 19:00 hrs.
- Flujo por pista: El flujo asociado a cada medición será el registrado durante el cuarto de hora en que la medición fue tomada, y se normalizará por el número de pistas que tenga la vía de acceso a la intersección.

Se toma la decisión de trabajar con un flujo en vehículos por hora [veh/h], en vez de vehículos equivalentes por hora [veq/h], ya que la partición modal permite una diferencia menor al 5% entre [veh] y [veq] debido a que los buses y camiones (2 [veq]) se complementan con las motocicletas (0.5 [veq]), casi igualando el número de vehículos y vehículos equivalentes (Anexo B).
- Ancho de la intersección: La medida entre las líneas de detención a ambos lados de la intersección, se obtendrá a partir de imágenes satélites provistas por Google Earth, usando la herramienta para medir del software.

Cada una de las tres intersecciones a estudiar tendrá un ancho diferente.

3.2. Aspectos logísticos

Para llevar a cabo esta investigación en terreno se cuenta con los siguientes recursos para realizar la toma de datos en terreno:

- 2 cámaras de vídeo deportivas.
- 2 cámaras de vídeo Handycam.
- 1 pistola radar de velocidad.
- 1 o 2 observadores.

Se probaron diferentes configuraciones de posicionamiento de las cámaras y observadores, llegando a la mejor opción para la toma de mediciones (Figura 3.2). Esta consiste en posicionar una cámara deportiva apuntando a línea de detención de la vía de acceso a la intersección, para lo cual se diseña un accesorio que fija la cámara a un poste o árbol cercano a la intersección (Figura 3.3). La segunda cámara tipo Handycam se sostiene mediante un trípode en la acera a un poco más de 40[m] de la línea de detención, apuntando hacia la intersección (Figura 3.4). De contar con sólo un observador, este se ubica junto a la Handycam a 40[m] de la línea de detención con el radar de velocidades, para medir la velocidad de aproximación de los vehículos. De contar con un segundo observador, este acompañaría a la cámara deportiva para asegurar su correcto funcionamiento y asistir en el conteo de flujo en terreno.

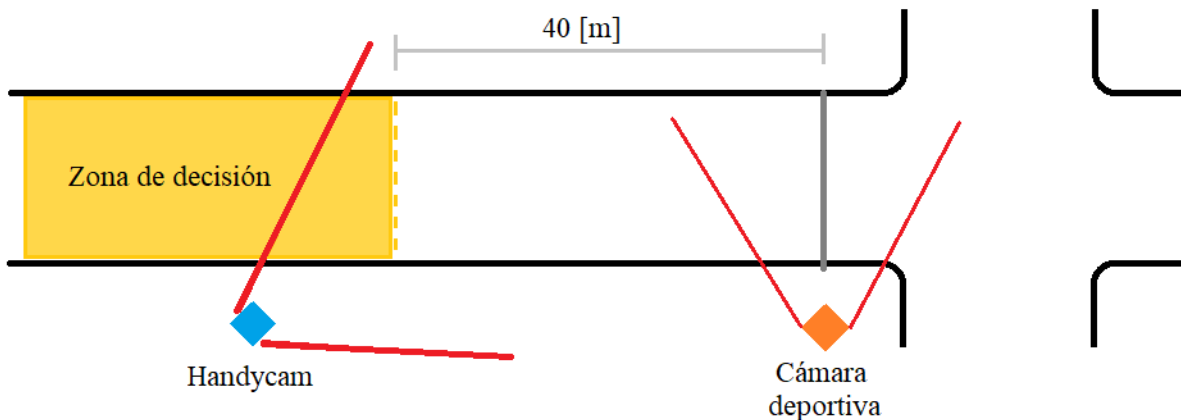
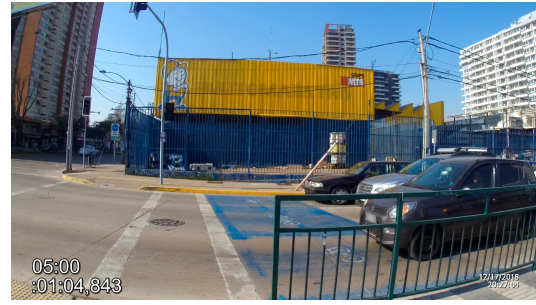


Figura 3.2: Configuración estándar de las cámaras en la toma de mediciones



(a) Instalación de la cámara deportiva en un poste.



(b) Captura de pantalla del vídeo tomado por la cámara deportiva.

Figura 3.3: Demostración del uso de la cámara deportiva.



(a) Instalación de la cámara Handycam en trípode.



(b) Captura de pantalla del vídeo tomado por la Handycam.

Figura 3.4: Demostración del uso de la cámara Handycam.

3.3. Elección de las intersecciones a estudiar

Como sabemos que las infracciones por el no respeto a la luz roja causan un significativo número de siniestros viales, por eso una de los factores a considerar para la elección de intersecciones fue su peligrosidad en cuanto a número de siniestros. Los puntos críticos se definen como los puntos en donde se registraron más de 5 siniestros viales en un año. Para conocer donde estos se encontraban se descargó el mapa de “Puntos críticos de siniestros de tránsito, Gran Santiago, 2019” (CONASET, 2019).

Otro factor a considerar fue la seguridad del entorno, como una medida para proteger a los observadores que tomarían los datos en terreno. El único recurso referido a la seguridad que se encontró es el mapa de “Delitos por cuadrante, Santiago, 2017”, el cuál fue descargado

y sobrepuesto al mapa de puntos de puntos críticos (Figura 3.5). En este los puntos rojos corresponden a los puntos críticos y la intensidad del color azul corresponde a la densidad de delitos registrados en el cuadrante, mientras más azul más delitos.

Un tercer criterio en la elección fue la cercanía desde el lugar de trabajo a las intersecciones, restringiendo el área de estudio a las comunas de Macul, Ñuñoa y Santiago. Considerando todo esto, el último paso fue encontrar 3 intersecciones semaforizadas en el área, suficientemente diferentes entre ellas en cuanto a ancho de la intersección, que de tener corredores de buses estos se encontrasen separados, para enfocar el estudio en las pistas de transporte privado, y que permitieran la instalación del equipo para tomar las mediciones y un lugar apropiado para que los observadores pudiesen pasar lo más desapercibidos posibles en orden de no influenciar el comportamiento de los conductores. Las intersecciones elegidas son:

1. Exequiel Fernández con Av. Alcalde Fernando Castillo Velasco, Ñuñoa
2. Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri, Ñuñoa
3. Av. Vicuña Mackenna con Av. Matta, Santiago

La ubicación de estas se presentan en la figura 3.5.

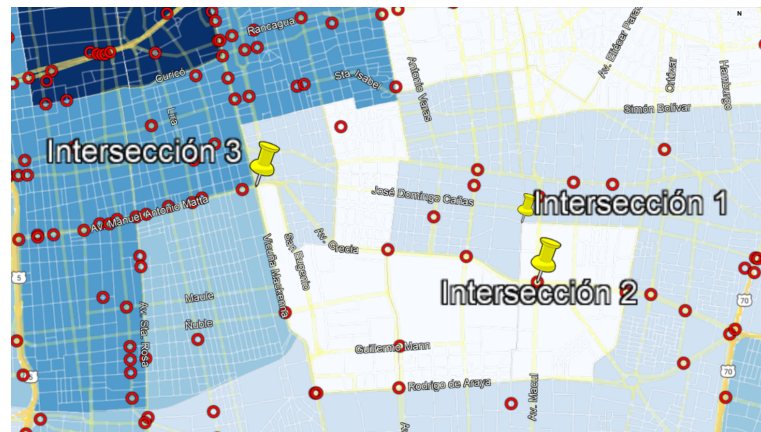


Figura 3.5: Distribución espacial de las intersecciones.

3.4. Análisis del material audiovisual

Durante una salida a tomar mediciones en terreno, las cámaras registran alrededor de una hora total de vídeo cada una. Estos archivos de vídeo son luego traspasados a un computador para analizarlos y traspasar los registros capturados a una hoja de cálculo para su posterior análisis estadístico. Desde ahora nos referiremos a cada cámara como:

- **Cámara 1:** Corresponde a la Handycam ubicada en un trípode a más de 40 [m] flujo arriba de la línea de detención.
- **Cámara 2:** Corresponde a la cámara deportiva ubicada en intersección, orientada hacia la línea de detención.

El primer paso para transformar estos vídeos en datos, es sincronizar el inicio de la toma de mediciones en los vídeos de ambas cámaras. Esto se puede lograr con ayuda de pistas visuales, como por ejemplo el color y tipo de un vehículo que se encuentre esperando su derecho de paso en la intersección.

Sincronizando ambos vídeos, se procede al análisis del primer ciclo. A través de la cámara 1 se debe pausar el vídeo en el momento exacto que el semáforo cambie a la luz amarilla y notar que vehículos se encuentran a menos de 40 [m] de la intersección y si existen vehículos que vayan ahora a cruzar esa marca. Para conocer dónde se encuentra la línea de los 40 [m], en cada intersección se identifica algún punto notorio en la composición de la calle o acera, que se ubique lo más cercano posible a los 40 [m] desde la línea de detención y en base a este se visualiza una línea imaginaria a través de la vía para definir el límite de la zona a estudiar.

En la figura 3.6 se da cuenta de un ejemplo de lo descrito a través de capturas de pantalla en la intersección de Exequiel Fernández, para ayudar a la revisión del ejemplo se ha dibujado una línea amarilla que define el límite de 40 [m]. Se tiene en la figura 3.6 (a), que en el instante 0:54 del vídeo la luz cambia a amarillo y se encuentran dos vehículos a menos de 40 de la línea de detención, un furgón blanco en la pista derecha y una mini roja en la pista izquierda, estos corresponde a conductores del Grupo 1, es decir, puede cruzar y no se consideran como datos. Luego, en la imagen 3.6 (b) tomada al instante 0:57, 3 segundos después de la primera, notamos que ahora se encuentra una camioneta blanca a menos de 40 [m] de la intersección, esta corresponde al Grupo 2, es decir, debe decidir y su elección se registrará como un dato válido. Continuando el vídeo, se aprecia que el conductor de la camioneta decide detenerse.



(a) Captura de pantalla cuando el semáforo cambia a amarillo.



(b) Captura de pantalla cuando el semáforo cambia a rojo.

Figura 3.6: Ejemplo de una medición realizada en Exequiel Fernández

Al mismo tiempo en que los vehículos pasan por la línea amarilla, el observador con el radar de velocidad va anunciando sus velocidades, las cuales quedan registradas en el audio del vídeo que toma la cámara 1. Así, a partir de la imagen y audio captados por la cámara 1, se extrae la elección del conductor, la velocidad de aproximación y el tipo de vehículo.

En cuanto a la cámara 2, cuando la camioneta llega a la línea de detención se obtiene la imagen presentada en la figura 3.7. A partir del registro de esta cámara se extraen la variables género, edad, uso del cinturón y hora de la medición. Con la excepción de la hora, que siempre se encuentra en el extremo inferior derecho de la imagen, puede ser difícil caracterizar las variables a partir del registro de la cámara 2. Muchas veces ocurre que un vehículo tiene los vidrios arriba y polarizados, con lo que es imposible observar al conductor,

o que otro vehículo obstruya la apariencia del conductor, por lo que estas variables quedan indefinidas para un número de observaciones. Además, se debe notar que las variables de género y edad quedan a interpretación de quien analiza los vídeos; este debe hacer supuestos en base a las observaciones de la apariencia física, vestuario y lenguaje corporal del conductor para asignarle un sexo y edad, los cuales pueden no siempre ser verdaderos.

Otro método no recomendado para definir el género y edad del conductor, es extraer de alguno de los dos vídeos la patente del vehículo y realizar una búsqueda de la información del vehículo y los datos de su propietario. Si el propietario es una persona natural, a partir de su nombre y RUT se puede tener una idea de su género y edad, sin embargo es imposible asegurar que el propietario es la persona que conduce el vehículo al momento de la medición.

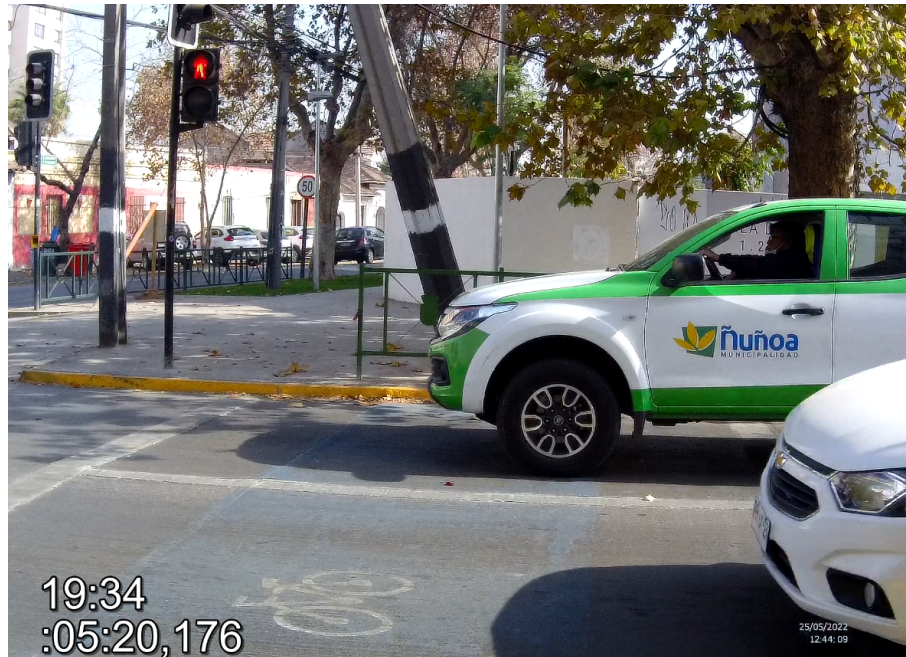


Figura 3.7: Captura de pantalla cuando el vehículo se encuentra en la línea de detención.

Llegado a este punto, las únicas variables que falta asociarle a la decisión de detenerse de la camioneta blanca del ejemplo es el flujo y el ancho de la intersección. El ancho siempre será el mismo para cada una de las intersecciones, y se obtiene utilizando la herramienta para medir de Google Maps. Para conocer el flujo es necesario volver a ver el vídeo de la cámara 1, ahora sin detenciones, sino que sólo para contar el número de vehículos que circulan, renovando la cuenta cada 15 minutos. Luego, con la hora registrada, se identifica a qué cuarto de hora pertenece la medición y se le asigna ese flujo.

En el caso de que en una medición el conductor no se detenga y cometa una infracción a la luz roja, se debe registrar el instante en que el vehículo cruza la línea de detención. Para esto se utiliza la cámara 2 y además se debe conocer el tiempo de Rojo-Rojo de la intersección. Por ejemplo, en la intersección de Exequiel Fernández el tiempo de R-R es de 1 segundo, por lo tanto cuando vemos que la señal de cruce peatonal cambia a verde, significa que el rojo para la vía de acceso se presentó hace 1 segundo. Viéndolo mediante un ejemplo donde un furgón no respeta la luz roja, en la figura 3.8 (a) se registra el momento exacto en que la señal

del cruce peatonal dio verde, por lo tanto el rojo para el furgón se activó 1 segundo atrás en el instante 0:52,1. En la figura 3.8 (b) se tiene el instante en el que el furgón ha cruzado por completo la línea de detención en 0:53,9. La diferencia es el valor de segundos después de la luz roja en que el vehículo entra a la intersección, en este caso 1,8 [s].



(a) Captura de pantalla cuando el semáforo peatonal cambia a verde.



(b) Captura de pantalla cuando el furgón entra completamente a la intersección.

Figura 3.8: Ejemplo de una medición de no respeto a la luz roja realizada en Excequiel Fernández

Capítulo 4

Área de estudio y recolección de datos

En este capítulo se detallan las características de las intersecciones elegidas para estudio y las razones para su elección, como también se especifica el proceso de recolección de datos en cada una de ellas.

4.1. Intersecciones de estudio

4.1.1. Intersección 1: Exequiel Fernández con Av. Alcalde Fernando Castillo Velasco

La primera y más pequeña de las intersecciones estudiadas corresponde a la intersección de Exequiel Fernández con Castillo Velasco en la comuna de Ñuñoa. Dadas las características del lugar, la vía de aproximación más apropiada para estudiar el no respeto a la luz roja fue Exequiel Fernández. Esta vía es unidireccional de dirección Sur y cuenta con dos pistas, si bien es una ruta usada por el transporte público, la frecuencia es reducida y no posee una pista sólo buses. La intersección se encuentra en un sector residencial, con edificios de departamentos de mediana altura y con una baja afluencia de peatones observada.

La vía con la cual comparte la intersección es Alcalde Eduardo Castillo Velasco, también unidireccional hacia el poniente y con dos pistas. El ancho de la intersección es de aproximadamente 15 [m] desde línea de detención a línea de detención. La programación del semáforo cambia a lo largo del día, teniendo un ciclo más largo en la punta mañana (120 [s]) y el ciclo más corto en el período fuera de punta (90 [s]), en cualquier caso el tiempo de rojo total es de 1 [s].

La ubicación de las cámaras se muestra en la figura 4.1 y se adapta perfectamente a la metodología propuesta. La cámara 1 y el observador se ubican a unos 45 [m] de la línea de detención, frente a un gran arbusto que permite ocultar un poco la instalación de los conductores que se aproximan a la intersección. La cámara 2 se instala en la rama de un árbol, medianamente alejada de los peatones que circulan por la vereda y el paso peatonal. Esto permite dejar la cámara sin supervisión, pudiendo realizar mediciones en la intersección con sólo un observador.



Figura 4.1: Ubicación de las cámaras en Exequiel Fernández.

4.1.2. Intersección 2: Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri

La segunda intersección a estudiar corresponde a Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri, también en la comuna de Ñuñoa. Av. Grecia es bidireccional y cuenta con un corredor de buses en su centro, sin embargo solo se estudia lo ocurrido en las 3 pistas de transporte privado en dirección Este-Oeste. Esta avenida hacia el poniente cuenta con mayores facilidades para instalar el equipo de toma de datos, por lo que se eligió estudiar el comportamiento de los vehículos que se aproximan desde el oriente. La intersección se encuentra en un sector comercial, rodeada por un centro comercial y otros locales pequeños, también están ubicados aquí una serie de paraderos que dan hacia el corredor de buses por lo que hay un alto flujo peatonal a todas horas.

Av. José Pedro Alessandri, la otra vía que conforma la intersección, es bidireccional con 3 pistas en cada sentido, aunque en la punta mañana se transforma en una vía unidireccional hacia el Norte. Para cruzar la intersección, los conductores que circulan por Av. Grecia deben atravesar aproximadamente 35 [m] entre las líneas de detención. Al igual que en la primera intersección, el ciclo del semáforo cambia a lo largo del día, siendo de 120 [s] en la punta mañana y punta tarde, y de 90 [s] en el período fuera de punta. El tiempo de rojo total empleado es de 2 [s].

La ubicación de las cámaras se muestra en la figura 4.2, la cual es acorde a la metodología propuesta. La cámara 1 y el observador se ubican a unos 50 [m] de la línea de detención, entre los dos paraderos ubicados al norte del corredor de buses, sector que está a una altura elevada respecto a la calzada. La cámara 2 se instala en el poste de una señal de cruce peatonal, también en el sector que va a los paraderos, lo que significa que está muy al alcance de los peatones. Por esta razón es necesario contar con un segundo observador que permanezca junto a esta cámara.

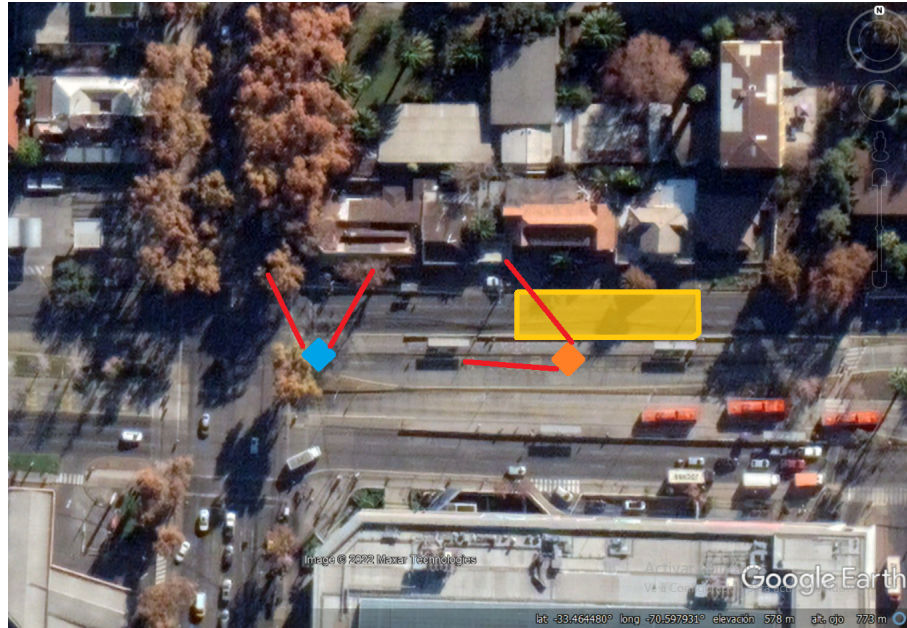


Figura 4.2: Ubicación de las cámaras en Av. Grecia.

4.1.3. Intersección 3: Av. Vicuña Mackenna con Av. Matta

La tercera y última intersección a estudiar corresponde a Av. Vicuña Mackenna con Av. Matta en la comuna de Santiago. La mayor ventaja para la toma de mediciones se obtiene al ubicarse en Av. Vicuña Mackenna, al sur de la intersección y observando los vehículos que avanzan hacia el norte. Si bien la avenida es bidireccional y cuenta con un corredor de buses en el centro, similar a lo que ocurre en Av. Grecia, se considerarán para el estudio sólo lo acontecido en las tres pistas para uso del transporte privado. La intersección se encuentra en un sector comercial, y si bien el flujo peatonal que se observa parece ser menor que en Av. Grecia, también es considerable.

La intersección se comparte con Av. Matta, una vía bidireccional de 5 pistas por sentido, y un ancho de línea de detención a línea de detención de casi 55 [m], lo que la convierte en la intersección del cruce más ancho vista en este estudio. Como en las otras intersecciones, su tiempo de ciclo es más largo en los horarios punta mañana y punta tarde (120 [s]) y algo más corto en el horario fuera de punta (100 [s]). El tiempo de rojo-rojo que ocupa la programación del semáforo es de 2 [s].

La ubicación de las cámaras se muestra en la figura 4.3, la cual es acorde a la metodología propuesta. La cámara 1 y el observador que mide las velocidades se ubican a unos 45 [m] de la línea de detención, entre los dos paraderos ubicados en el corredor buses y enfrente de una caja que ayuda a ocultar la presencia de la cámara. Además el sector de los paraderos se encuentra más elevado con respecto a la calzada. La cámara 2 se instala en el poste de una señal de cruce peatonal, también en el sector que va a los paraderos, lo que significa que está muy al alcance de los peatones. Por esta razón es necesario contar con un segundo observador que permanezca junto a esta cámara.

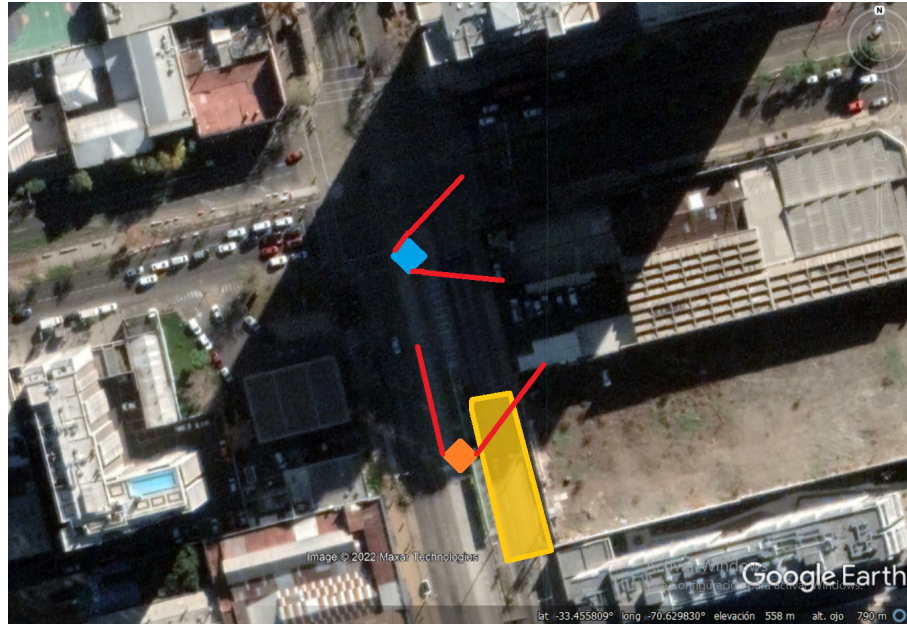


Figura 4.3: Ubicación de las cámaras en Av. Vicuña Mackenna.

4.2. Recolección de datos

Luego de terminar con el proceso de confección de la metodología y la elección de las intersecciones a estudiar, se procede a la etapa de recolección de datos del estudio. Esta se extendió desde finales del mes de abril de 2022 hasta inicios de agosto de 2022, el programa de investigación en terreno, el total de horas dedicadas a las mediciones y el número de datos obtenidos en cada intersección se detalla a continuación.

En total entre las 3 intersecciones se registraron 21 horas con 46 minutos, recolectando más de 800 observaciones.

4.2.1. Intersección 1: Exequiel Fernández con Av. Alcande Fernando Castillo Velasco

Esta fue la primera intersección en estudiarse, sus mediciones ocurrieron entre los meses de abril y julio del 2022, registrándose un total de 7 horas y 13 minutos. El desglose de cada instancia en que se realizaron tomas de datos se encuentra en la Tabla 4.1, además se indica el número de datos obtenidos y cuántos de ellos representan a personas que no respetaron la luz roja.

Tabla 4.1: Programa de recolección de datos en Exequiel Fernández.

Período	Día	Ciclos	Tiempo de ciclo [s]	Datos	No respeta la luz roja	Tiempo [min]
PT	24-04-2022	12	100	11	0	19
PT	04-05-2022	30	100	19	2	50
PT	18-05-2022	34	80	31	5	45
FP	20-05-2022	27	90	35	5	41
FP	25-05-2022	39	90	54	12	59
PM	30-05-2022	23	120	19	4	46
PM	09-06-2022	18	120	14	1	36
FP	12-07-2022	33	90	11	3	50
PT	19-07-2022	18	100	15	4	30
FP	21-07-2022	39	90	42	4	59

4.2.2. Intersección 2: Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri

El programa de recolección de datos en Av. Grecia fue realizado entre los meses de julio y agosto del 2022, con la ayuda de un segundo observador. En total se registraron 8 horas y 37 minutos. El desglose del programa de recolección de datos se encuentra en la Tabla 4.2, además se indica el número de datos obtenidos y cuantos de ellos representan a personas que no respetaron la luz roja.

Tabla 4.2: Programa de recolección de datos en Av. Grecia.

Período	Día	Ciclos	Tiempo de ciclo [s]	Datos	No respeta la luz roja	Tiempo medido [min]
FP	04-07-2022	16	90	21	4	24
PT	07-07-2022	3	90	6	0	5
PT	07-07-2022	19	120	15	2	38
PT	26-07-2022	45	120	36	5	90
PM	27-07-2022	36	120	64	16	72
PM	27-07-2022	11	90	14	3	17
FP	29-07-2022	60	90	75	10	90
FP	01-08-2022	62	90	70	19	93
PM	04-08-2022	38	120	64	21	76
PM	04-08-2022	9	90	13	6	14

4.2.3. Intersección 3: Av. Vicuña Mackenna con Av. Matta

El programa de recolección de datos en Av. Vicuña Mackenna fue realizado entre los meses de julio y agosto del 2022, con la ayuda de un segundo observador. En total se registraron 7 horas y 26 minutos. El desglose del programa de recolección de datos se encuentra en la Tabla 4.3, además se indica el número de datos obtenidos y cuantos de ellos representan a personas que no respetaron la luz roja.

Tabla 4.3: Programa de recolección de datos en Av. Vicuña Mackenna.

Periodo	Día	Ciclos	Tiempo de ciclo [s]	Datos	No respeta la luz roja	Tiempo medido [min]
PM	26-07-2022	42	120	50	9	84
PT	27-07-2022	9	100	8	1	15
PT	27-07-2022	36	120	26	5	72
PM	02-08-2022	45	120	64	11	90
FP	03-08-2022	52	100	49	13	87
FP	28-08-2022	60	100	48	11	100

Capítulo 5

Análisis de resultados

A continuación se detallan los resultados obtenidos mediante un análisis descriptivo y posteriormente la confección de modelos Logit binarios con base en la variable dependiente de detenerse o cruzar. Se comparan los resultados obtenidos en cada una de las intersecciones estudiadas y el peso de distintas variables en la decisión de los conductores de no respetar la luz roja. Además, se describe el tipo de infracciones observadas y cómo éstas se reflejan en los resultados de los modelos.

5.1. Estadística descriptiva

5.1.1. Frecuencia del no respeto a la luz roja

Del total de observaciones realizadas, un 20 % corresponden a instancias en las que no se respetó la luz roja (RLV). En promedio, se registraron 7,6 RLV por hora. El desglose del porcentaje de infracciones por intersección registradas se muestra en la tabla 5.1

Tabla 5.1: Frecuencia del no respeto a la luz roja (RLV) por intersección.

Intersección	Horas	Datos	RLV	RLV/h	%RLV
E.F.	7,2	251	40	5,5	16 %
Grecia	8,6	378	86	10,0	23 %
V.M.	7,5	245	50	6,7	20 %
Todas	23,3	847	176	7,6	20 %

Otra forma en que se puede medir la ocurrencia de este tipo de infracciones es la cantidad de ciclos en que al menos un conductor cruzó con luz roja, poniendo en peligro a peatones, otros usuarios con derecho de paso y a sí mismo. Para esto, contabilizamos como ciclos válidos solamente aquellos en que algún sujeto tuvo la opción de detenerse o seguir, es decir, excluimos de la muestra los ciclos en donde no se registró flujo aproximándose a la intersección por varios segundos después de haber dado la luz roja. El porcentaje de ciclos en donde ocurre una RLV se encuentra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Frecuencia de ciclos en donde no se respeta la luz roja.

Intersección	Ciclos	Ciclos Válidos	Ciclos con RLV	Porcentaje de ciclos con RLV
E.F.	272	185	35	19 %
Grecia	299	234	71	30 %
V.M.	244	167	43	26 %
Todas	815	586	149	25 %

5.1.2. Segundos después del rojo en que ocurren las infracciones

Del total de infracciones a la luz roja, en 156 entradas fue posible determinar en qué segundo con respecto al inicio de la luz roja los vehículos entraban a la intersección, en la figura 5.1 se presenta un histograma del momento con respecto al inicio de la luz roja en que ocurrieron las RLV.

Entre más tarde se ingresa a la intersección, más agresivo y peligroso es el comportamiento de los conductores. En un 6 % de los casos, el sujeto que optaba por no detenerse lograba entrar a la intersección en los últimos 0,5 [s] de la luz amarilla, tiempo insuficiente para cruzar de forma segura. Estas 10 ocurrencias, representadas en la barra amarilla del histograma de la fig. 5.1, son perpetrados por conductores a exceso de velocidad y que posiblemente aceleraron. En el otro extremo, en un 10 % de las infracciones observadas el vehículo ingresa a más de 2 [s] después del rojo, es decir, lo hace después que termine por completo el período de entreverde y tenga derecho de paso otro movimiento.

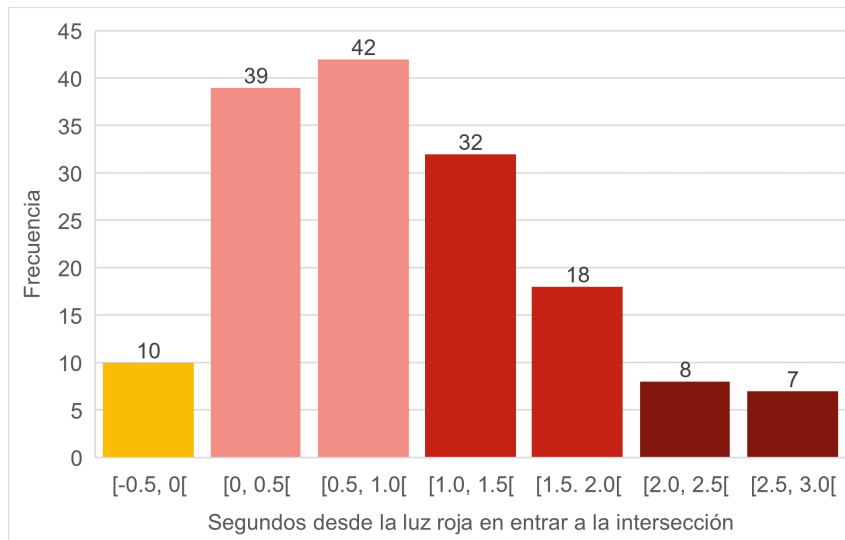


Figura 5.1: Histograma de segundos con respecto a la luz roja en que ocurren RLV

Suponiendo que la velocidad se mantiene constante y conociendo el ancho de la intersección, podemos calcular para los vehículos de movimiento directo los segundos que demora en cruzar la intersección, y con esto los segundos desde el inicio de la luz roja en salir de la intersección. En la figura 5.2 se presenta un histograma del momento en que los conductores que cometieron la infracción salen de la intersección con respecto al inicio de la luz roja.

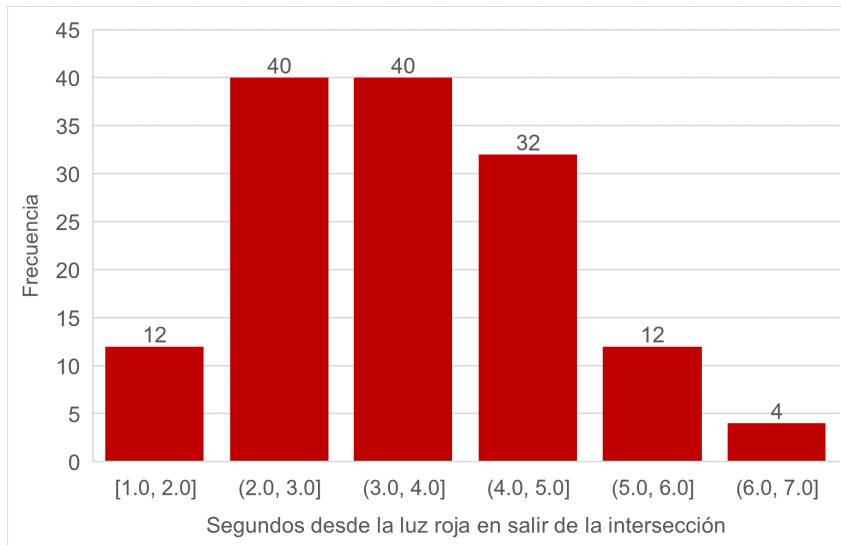


Figura 5.2: Histograma de segundos desde la luz roja al salir de la intersección

Por último, conociendo el tiempo de rojo-rojo, igual a 1 [seg] en Exequiel Fernández, y 2 [seg] en Av. Grecia y Av. Vicuña Mackenna, es posible calcular los segundos de verde de la fase siguiente que fueron bloqueados por los conductores que no respetaron la luz roja. En la figura 5.3 se presenta un histograma con los segundos de la luz verde bloqueados.

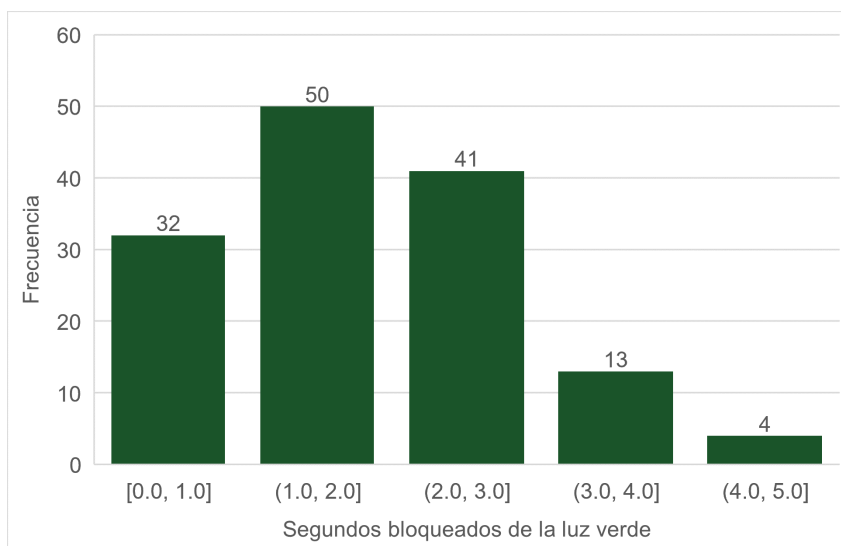


Figura 5.3: Histograma de segundos de la luz verde bloqueados en la fase siguiente

A partir de los histogramas se observa que si bien la mayoría (55%) de los conductores que cruzan en rojo ingresan a la intersección durante el primer segundo de la luz roja, se estima que en el caso de los movimientos directos, un 91% de quienes cruzan en rojo termina de salir de la intersección 2 o más segundos después de que la luz cambió a rojo, y un 41% bloquea la luz verde de la fase siguiente por 2 o más segundos (considerando el tiempo de rojo-rojo), produciéndose en un riesgo de seguridad vial e intimidación para peatones.

5.1.3. Resultados por variable

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada variable medida, considerando la frecuencia de cada evento asociado a dichas variables para cada intersección. Además, se estudia cómo ésta cambia al considerar la muestra completa y según la decisión de los conductores de detenerse o cruzar sin respetar la luz roja.

5.1.3.1. Velocidad de aproximación

La velocidad de aproximación a la intersección, medida a 40 [m] desde la línea de detención, se detecta mediante una pistola radar de velocidad operada por un observador. Esta entrega una lectura de velocidad en kilómetros por hora, que para este análisis se clasifican dentro de un rango de velocidades en la tabla 5.3. En el caso de que un vehículo circule a menos de 20 [km/h] el radar no detectará su velocidad, por lo que la observación de velocidad se clasifica como “Sin información”. Esta categoría también incluye los casos en que por error humano no se realizó la medición de velocidad.

Tabla 5.3: Distribución de velocidades por intersección y global.

(a) Distribución de velocidades en intersección 1: Exequiel Fernández

Velocidad	Frecuencia	Porcentaje
[0,30[	8	3 %
[30,40[	109	43 %
[40,50[	104	41 %
[50,60[	19	8 %
[60,70[	3	1 %
Sin información	8	3 %

(b) Distribución de velocidades en intersección 2: Av. Grecia

Velocidad	Frecuencia	Porcentaje
[0,30[	32	8 %
[30,40[	180	48 %
[40,50[	110	29 %
[50,60[	42	11 %
[60,70[	9	2 %
Sin información	5	1 %

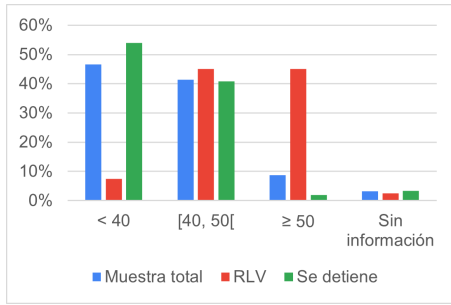
(c) Distribución de velocidades en intersección 3: Av. Vicuña Mackenna

Velocidad	Frecuencia	Porcentaje
[0,30[	17	7 %
[30,40[	128	52 %
[40,50[	70	29 %
[50,60[	22	9 %
[60,70[	7	3 %
Sin información	1	0 %

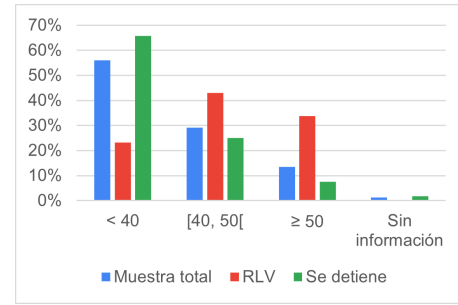
(d) Distribución de velocidades en la muestra completa

Velocidad	Frecuencia	Porcentaje
[0,30[	57	7 %
[30,40[	417	48 %
[40,50[	284	32 %
[50,60[	83	9 %
[60,70[	19	2 %
Sin información	14	2 %

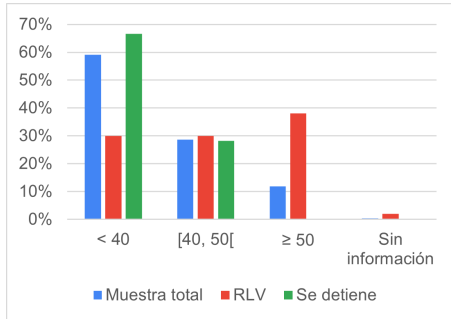
En la figura 5.4 se hace la distinción por grupo de muestra total, conductores que no respetaron la luz roja y conductores que se detienen ante la luz amarilla. Vemos que el comportamiento de todas las muestras es similar sin importar la intersección: comparativamente una similar proporción de los eventos ocurren entre 40 [km/h] y 50 [km/h] para los tres grupos, en cambio para la muestra total y el grupo que se detiene, un mayor porcentaje de las observaciones registra velocidades menores a 40 [km/h], mientras que para el grupo que no respeta la luz roja un mayor porcentaje de los eventos registran velocidades mayores a 50 [km/h]. Considerando las tres intersecciones, un 38 % de las infracciones a la luz roja se producen sobre el límite de velocidad.



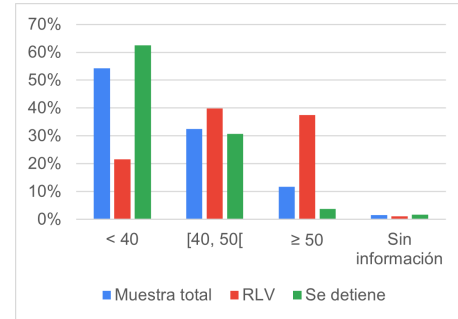
(a) Distribución de velocidad según decisión en Exequiel Fernández



(b) Distribución de velocidad según decisión en Av. Grecia



(c) Distribución de velocidad según decisión en Av. Vicuña Mackenna



(d) Distribución de velocidad según decisión en todas las intersecciones

Figura 5.4: Distribución de velocidad según decisión por intersección

5.1.3.2. Tipo de vehículo

El tipo de vehículo se determina a partir del vídeo capturado en la intersección y se clasifica dentro de las categorías definidas en la metodología. La distribución del tipo de vehículo registrados por intersección se encuentra en la tabla 5.4.

Tabla 5.4: Distribución de tipo de vehículo por intersección y global.

(a) Distribución de tipo de vehículo en intersección 1: Exequiel Fernández

Vehículo	Frecuencia	Porcentaje
Buses y Camiones	8	3 %
Largos	106	42 %
Cortos	128	51 %
Motocicletas	9	4 %

(b) Distribución de tipo de vehículo en intersección 2: Av. Grecia

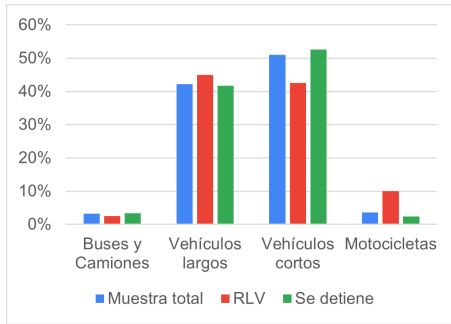
Vehículo	Frecuencia	Porcentaje
Buses y Camiones	13	3 %
Largos	184	49 %
Cortos	162	43 %
Motocicletas	19	5 %

(c) Distribución de tipo de vehículo en intersección 3: Av. Vicuña Mackenna

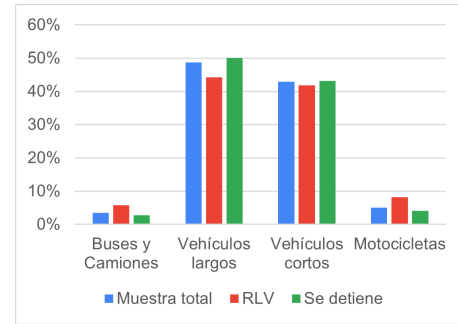
Vehículo	Frecuencia	Porcentaje
Buses y Camiones	17	7 %
Largos	94	38 %
Cortos	125	51 %
Motocicletas	9	4 %

(d) Distribución de tipo de vehículo en la muestra completa

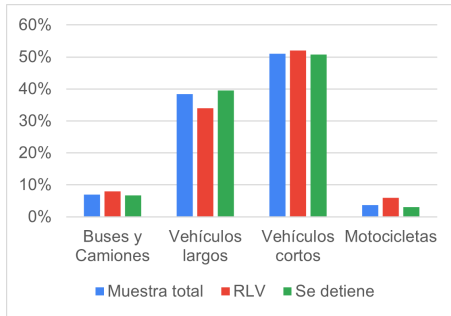
Vehículo	Frecuencia	Porcentaje
Buses y Camiones	38	4 %
Largos	384	44 %
Cortos	415	47 %
Motocicletas	37	4 %



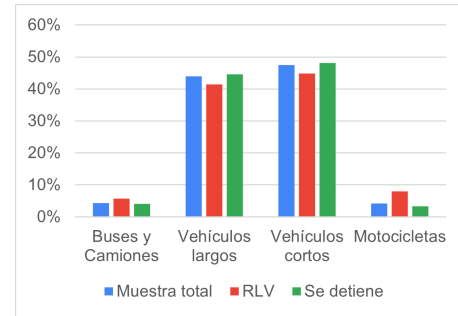
(a) Distribución de tipo de vehículo según decisión en Exequiel Fernández



(b) Distribución de tipo de vehículo según decisión en Av. Grecia



(c) Distribución de tipo de vehículo según decisión en Av. Vicuña Mackenna



(d) Distribución de tipo de vehículo según decisión en todas las intersecciones

Figura 5.5: Distribución de tipo de vehículo según decisión por intersección

Al comparar la distribución de eventos según los grupos de la muestra total y quienes deciden detenerse o cruzar (figura 5.5), se puede destacar que las motocicletas representan cerca de un 8% de las infracciones a la luz roja, el doble de su representación en la muestra total y en el grupo de los que se detienen. En estos últimos, las motocicletas en promedio representan solo el 3% de los vehículos.

5.1.3.3. Género

El género del conductor se define a partir de los vídeos capturados en la intersección, como hombre o mujer. La distribución de género para cada intersección se muestra en la tabla 5.5. En el caso que este vídeo no permita tener una vista clara del conductor ya sea por obstrucción de otros vehículos, vidrios polarizados, entre otros, se cataloga como “sin información”. En el total de la muestra, es posible interpretar el género del conductor en un 83% de las observaciones.

En la figura 5.6 se compara la distribución entre hombres y mujeres para la muestra total, el grupo de los conductores que no respetan la luz roja y el grupo que se detiene. No hay diferencias significativas en la distribución de la muestra de cada grupo, pero cabe mencionar que el porcentaje de observaciones “Sin información” es mayor para el grupo de conductores que no respeta la luz roja. Esto se debe a que, como se ha mencionado, un 38% de los conductores que no se detienen circulan a velocidades mayores a 50 [km/h] y en estos casos por la alta velocidad es difícil tener una buena imagen que permita determinar su género.

Tabla 5.5: Distribución de género por intersección y global.

(a) Distribución de género en intersección 1: Exequiel Fernández

Género	Frecuencia	Porcentaje
Hombres	161	64 %
Mujeres	51	20 %
Sin Información	39	16 %

(b) Distribución de género en intersección 2: Av. Grecia

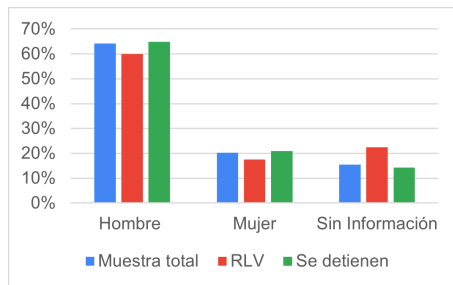
Género	Frecuencia	Porcentaje
Hombres	246	65 %
Mujeres	77	20 %
Sin Información	55	15 %

(c) Distribución de género en intersección 3: Av. Viña Mackenna

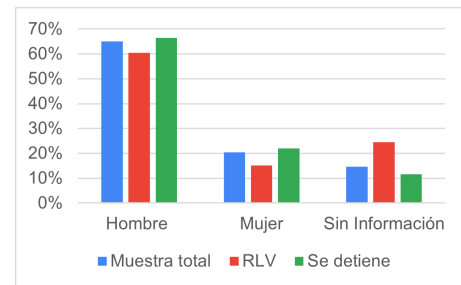
Género	Frecuencia	Porcentaje
Hombres	155	63 %
Mujeres	32	13 %
Sin Información	58	24 %

(d) Distribución de género en las tres intersecciones.

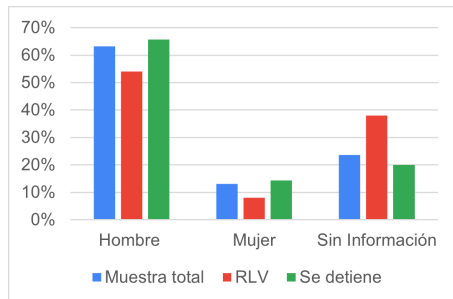
Género	Frecuencia	Porcentaje
Hombres	562	64 %
Mujeres	160	18 %
Sin Información	152	17 %



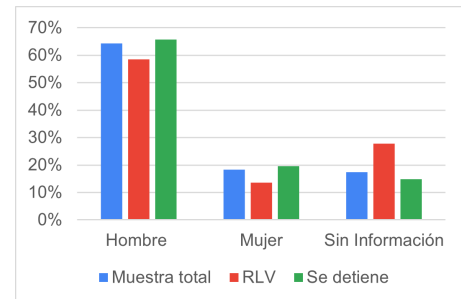
(a) Distribución de género según decisión en Exequiel Fernández



(b) Distribución de género según decisión en Av. Grecia



(c) Distribución de género según decisión en Av. Viña Mackenna



(d) Distribución de género según decisión en todas las intersecciones

Figura 5.6: Distribución de género según decisión por intersección

5.1.3.4. Edad

La edad del conductor se obtiene a través de los vídeos capturados en la intersección, quién analiza los vídeos determina si el conductor parece tener menos de 29 años, entre 30 y 49 años, o es mayor a 50 años. La distribución de edades para cada intersección se muestra en la tabla 5.6. En el caso que el vídeo no permita tener una vista clara del conductor ya sea por obstrucción de otros vehículos, vidrios polarizados, entre otros, se cataloga como “sin

información". En el total de la muestra, es posible interpretar la edad del conductor en un 80 % de las observaciones.

Tabla 5.6: Distribución de edad por intersección y global.

(a) Distribución de edad en intersección 1: Exequiel Fernández

Edad	Frecuencia	Porcentaje
<30	29	12 %
[30,50[	109	43 %
>50	71	28 %
Sin información	42	17 %

(b) Distribución de edad en intersección 2: Av. Grecia

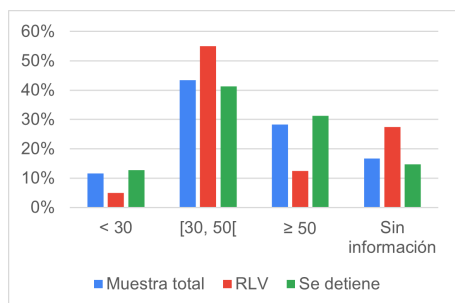
Edad	Frecuencia	Porcentaje
<30	57	15 %
[30,50[	165	44 %
>50	85	22 %
Sin información	71	19 %

(c) Distribución de edad en intersección 3: Av. Vicuña Mackenna

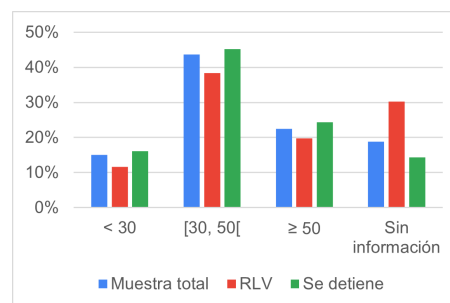
Edad	Frecuencia	Porcentaje
<30	36	15 %
[30,50[	100	41 %
>50	46	19 %
Sin información	63	26 %

(d) Distribución de edad en las tres intersecciones.

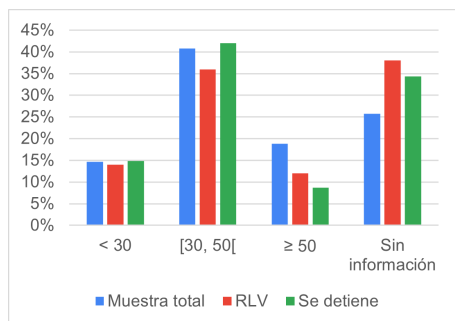
Edad	Frecuencia	Porcentaje
<30	122	14 %
[30,50[	374	43 %
>50	202	23 %
Sin información	176	20 %



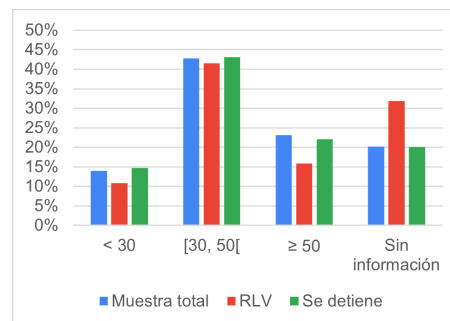
(a) Distribución de edad según decisión en Exequiel Fernández



(b) Distribución de edad según decisión en Av. Grecia



(c) Distribución de edad según decisión en Av. Vicuña Mackenna



(d) Distribución de edad según decisión en todas las intersecciones

Figura 5.7: Distribución de edad según decisión por intersección

En la figura 5.7 se compara la distribución de edades para la muestra total, el grupo de los conductores que no respetan la luz roja y el grupo que se detiene. Al igual que en la distribución de género, la categoría “Sin información” es mayor para el grupo de conductores que no respeta la luz roja, debido a que es difícil obtener una buena imagen para establecer la edad cuando el vehículo circula a alta velocidad. Las distribuciones de edad varían por intersección, el principal grupo etario en todos los casos corresponde al rango [30,49] años, y se encuentra sobre representado en la intersección de Exequiel Fernández en el grupo de conductores que no respeta la luz roja, mientras que la proporción del grupo de conductores jóvenes y mayores es menor en comparación a la muestra total y a los conductores que se detienen en esta intersección. Para las intersecciones de Av. Grecia y Vicuña Mackenna, la diferencia porcentual es menos notoria en cada rango.

5.1.3.5. Cinturón de seguridad

El uso del cinturón de seguridad se determina a través de los videos captados en la intersección. La distribución de usuarios que ocupan o no el cinturón para cada intersección se presenta en la tabla 5.7. En los casos que no es posible determinar el uso del cinturón a través del video, se clasifica la observación como “Sin información”. En el total de la muestra es posible detectar el uso o no uso del cinturón sólo en un 20 % de los casos. Esto se puede explicar por una insuficiente resolución del video, la dificultad de apreciar el cinturón de seguridad cuando el conductor utiliza ropa oscura, sumado a los problemas mencionados en secciones anteriores: vidrios polarizados, obstrucción de la visual por otros objetos, etcétera.

Al tener información sobre una proporción tan baja de la muestra, no se realiza un análisis más profundo en torno a esta variable ni se considerará los modelos de elección binaria logit.

Tabla 5.7: Distribución de uso del cinturón de seguridad por intersección y global.

(a) Distribución de uso del cinturón de seguridad en intersección 1: Exequiel Fernández

Cinturón de seguridad	Frecuencia	Porcentaje
Si	81	32 %
No	16	6 %
Sin Información	154	61 %

(b) Distribución de uso del cinturón de seguridad en intersección 2: Av. Grecia

Cinturón de seguridad	Frecuencia	Porcentaje
Si	43	11 %
No	5	1 %
Sin Información	330	87 %

(c) Distribución de uso del cinturón de seguridad en intersección 3: Av. Vicuña Mackenna

Cinturón de seguridad	Frecuencia	Porcentaje
Si	26	11 %
No	3	1 %
Sin Información	216	88 %

(d) Distribución de uso del cinturón de seguridad en las tres intersecciones.

Cinturón de seguridad	Frecuencia	Porcentaje
Si	150	17 %
No	24	3 %
Sin Información	700	80 %

5.1.3.6. Período y flujo

El periodo en que ocurre una medición se clasifica dentro de tres categorías según la hora en que fue tomada: punta mañana (PM), fuera de punta (FP) y punta tarde (PT). El flujo se obtiene a partir del conteo de vehículos de los videos generados en la intersección, el flujo asignado a cada medición corresponde al flujo que se observa en el cuarto de hora en que ocurre el evento. En la tabla 5.8 se presentan el promedio del flujo medido en cada período junto con el porcentaje de RLV, calculado como $RLV/Datos$. Al considerar los datos de las tres intersecciones, se tiene que las RLV ocurren en mayor proporción durante la punta mañana (25 % de las observaciones), mientras que en la punta tarde tienen una menor ocurrencia.

Estos resultados varían por intersección, en Exequiel Fernández y Av. Vicuña Mackenna el horario fuera de punta es en el que se registra un mayor porcentaje de RLV, pero en Av. Grecia la ocurrencia de las infracciones a la luz roja en punta mañana es tan recurrente que este periodo logra sobreponerse.

Tabla 5.8: Flujo y porcentaje de RLV por período e intersección

Intersección	Periodo	Datos	RLV	Flujo/pista [veh/h]	%RLV
Exequiel Fernández	PM	33	5	336	15 %
	FP	142	24	281	17 %
	PT	76	11	484	14 %
	Todos	251	40	367	16 %
Av. Grecia	PM	155	46	605	30 %
	FP	166	33	387	20 %
	PT	57	7	406	12 %
	Todos	378	86	466	23 %
Av. Vicuña Mackenna	PM	114	20	415	18 %
	FP	97	24	323	25 %
	PT	34	6	411	18 %
	Todos	245	50	383	20 %
Tres Intersecciones	PM	302	71	452	24 %
	FP	405	81	330	20 %
	PT	167	24	434	14 %
	Todos	874	176	405	20 %

El flujo está directamente relacionado al periodo en que ocurren las mediciones, ya que las horas punta reciben este nombre debido a ser los horarios con mayor flujo vehicular y congestión en las calles. En las figura 5.8 a 5.10 se relaciona el flujo con el porcentaje de RLV ocurridas en cada periodo.

Es interesante notar que el comportamiento en el flujo según periodo difiere para cada intersección. En Exequiel Fernández (figura 5.8), la punta en términos de flujo vehicular ocurre en el periodo de punta tarde, mientras que en punta mañana el flujo es similar al horario fuera de punta. Esto puede deberse a las características de la matriz Origen-Destino de viajes del Gran Santiago, que indica un comportamiento de viajes hacia el centro de la ciudad en punta

mañana cuando las personas van a realizar sus actividades y hacia las afueras en punta tarde cuando vuelven a sus hogares. En la intersección que se tomaron las mediciones, Exequiel Fernández tiene dirección sur alejándose del centro de la ciudad, por eso es probable que la punta del flujo se registre en las tardes.

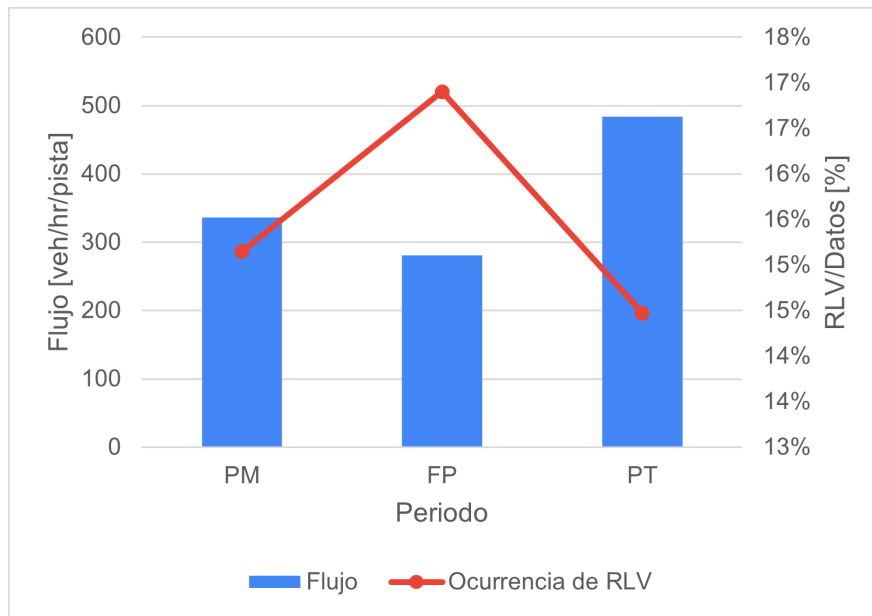


Figura 5.8: Flujo y ocurrencia de RLV según periodo en Exequiel Fernández

En el caso de Av. Grecia, como las mediciones fueron tomadas en dirección poniente hacia la comuna de Santiago, se puede intuir que la punta mañana registra el mayor flujo vehicular ya que las personas están viajando hacia el centro en las mañanas. Así mismo se puede ver en la figura 5.9, en donde se aprecia como el flujo en fuera de punta y punta tarde es similar y menor al flujo medido en punta mañana.

Por último, para la intersección de Av. Vicuña Mackenna presentada en la figura 5.10 se puede observar que su caso ambas puntas tienen un nivel similar de flujo, y que este es mayor que el flujo registrado en fuera de punta. Esto podría deberse a que la intersección está ubicada más cercana al centro de la ciudad en la comuna de Santiago y no se ve influenciada por el comportamiento de la matriz OD como el resto de las intersecciones estudiadas.

En cuanto al porcentaje de ocurrencia de infracciones a la luz roja, también notamos dos tipos de comportamiento. En Av. Grecia, la mayor incidencia de RLV ocurre a la par con el periodo de mayor flujo vehicular, es decir, punta mañana. Al contrario, en la intersecciones de Exequiel Fernández y Vicuña Mackenna, el mayor porcentaje de RLV ocurre en el período de menor flujo vehicular, fuera de punta.

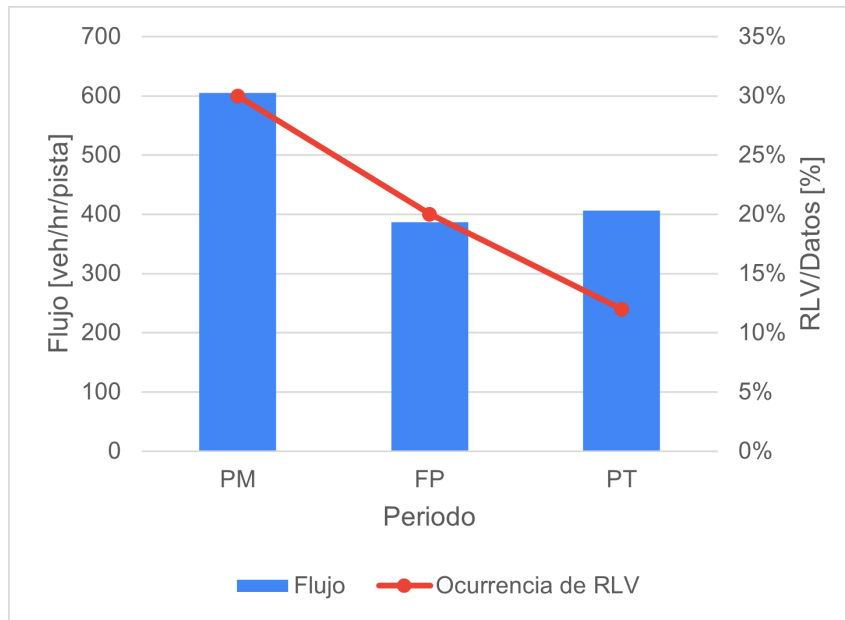


Figura 5.9: Flujo y ocurrencia de RLV según periodo en Av. Grecia

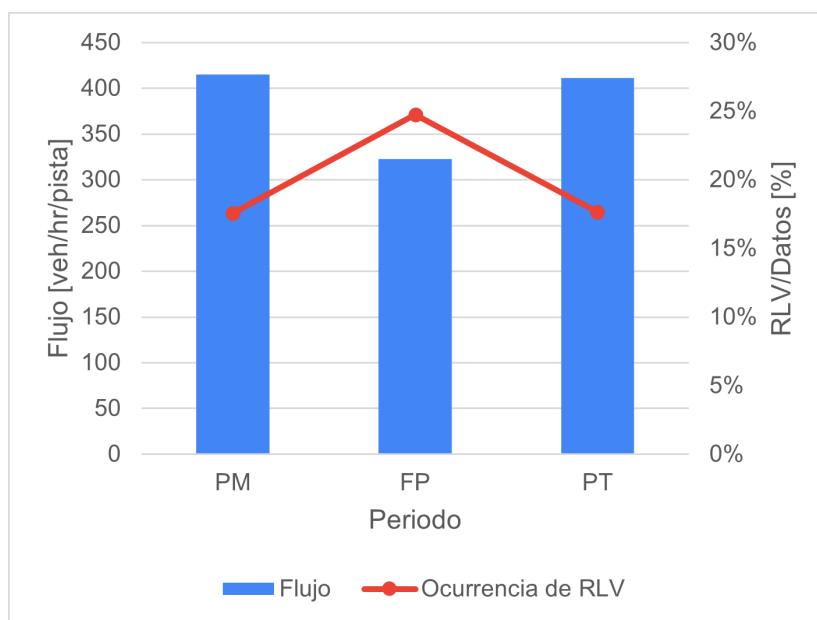


Figura 5.10: Flujo y ocurrencia de RLV según periodo en Av. Vicuña Mackenna

Este comportamiento nos lleva a pensar que existen dos tipos de escenarios en que ocurren las infracciones por no respeto a la luz roja, las propensas a originarse en intersecciones con un alto flujo vehicular y las propensas a originarse en intersecciones de bajo flujo. Analizando los vídeos de las infracciones en Av. Grecia PM y Exequiel Fernández FP se propone describir con ejemplos ambos tipos de comportamiento.

- **RLV en alto flujo:** Como observamos, en Av. Grecia un mayor porcentaje de infracciones por el no respeto a la luz roja ocurren en la punta mañana junto al pico de flujo vehicular. En la figura 5.11 podemos observar una infracción de este tipo.



(a) Captura de pantalla al momento en que cambia a luz amarilla $t=0$



(b) Captura de pantalla durante luz amarilla $t=1,5$ [s]



(c) Captura de pantalla al momento en que cambia a luz roja $t=3$ [s]



(d) Captura de pantalla durante luz roja $t=4.5$ [s]

Figura 5.11: Ejemplo de infracción en alto flujo en Av. Grecia

En la imagen 5.11.a se aprecia la situación justo en el momento en que el semáforo cambia a luz amarilla, como se observa hasta los 40 [m] desde la línea de detención hay bastantes vehículos debido al alto flujo. Según nuestra metodología, estos pueden cruzar la intersección de forma segura sin problemas, a menos que vayan a una velocidad muy baja.

Luego, en la imagen 5.11.b ya han transcurrido 1.5 [s] desde la luz amarilla y podemos notar los vehículos que ingresaron al tramo de 40 [m] desde la línea de detención. Para comparar fijaremos nuestra atención en el camión de la pista izquierda y la camioneta de la pista central, según nuestra metodología ambos conductores vieron la luz amarilla a distancia suficiente para detenerse de forma segura, o en caso contrario cruzar durante la luz roja.

En la imagen 5.11.c vemos el momento exacto en que el semáforo cambia a luz roja, el camión y la camioneta se encuentran casi al límite de la línea de detención.

Finalmente, en la imagen 5.11.d observamos lo que ocurre 1.5 [s] después de la luz roja. La camioneta que se movía por la pista central se encuentra en la misma posición que en la imagen anterior porque ha decidido detenerse. Al contrario, se ve al camión que

circulaba por la pista izquierda bien adentrado en la intersección, habiendo entrado después de la luz roja y cometiendo una infracción.

Si interpretáramos este tipo de infracción, podría deberse a que al ver al pelotón de vehículos delante de él, el camión incorrectamente asume que también puede cruzar de forma segura. Este tipo de infracciones se comenten a una menor velocidad, ya que el alto flujo no permite a los conductores acelerara demasiado. Otra característica, es que estos conductores suelen entrar a la intersección muy pocos segundos después del rojo, ya que se encuentran muy cerca detrás del pelotón de vehículos que cruzó de forma segura.

- **RLV en bajo flujo:** El segundo tipo de infracción a la luz roja, propiciada por un bajo flujo vehicular, se puede encontrar en las registradas en Exequiel Fernández en el horario fuera de punta. En la figura 5.12 se observa un ejemplo de este tipo de infracciones.



(a) Captura de pantalla al momento en que cambia a luz amarilla $t=0$



(b) Captura de pantalla durante la luz amarilla $t=1,5$ [s]



(c) Captura de pantalla al momento en que cambia a luz roja $t=3$ [s]



(d) Captura de pantalla Fernández durante luz roja $t=4.5$ [s]

Figura 5.12: Ejemplo de infracción en bajo flujo en Exequiel Fernández

En la imagen 5.12.a se aprecia la situación justo en el momento en que el semáforo cambia a luz amarilla, como se observa hasta los 40 [m] desde la línea de detención hay sólo un vehículo, dejando las pistas de aproximación casi despejadas.

Luego, en la imagen 5.12.b ya han transcurrido 1.5 [s] desde la luz amarilla y podemos notar que un vehículo ingresa al tramo de 40 [m] desde la línea de detención. Se trata de una camioneta que, según nuestra metodología, vio la luz amarilla a distancia suficiente para detenerse de forma segura.

En la imagen 5.12.c vemos el momento exacto en que el semáforo cambia a luz roja, la camioneta aún no ha cruzado la línea de detención y sin embargo no ha encendido sus luces de frenado.

Finalmente, en la imagen 5.12.d observamos lo que ocurre 1.5 [s] después de la luz roja. La camioneta no se detuvo y cometió una infracción a la luz roja.

A diferencia de las infracciones en alto flujo vehicular, aquí los conductores si tienen el espacio para acelerar, por lo que algunos optan por esta opción en vez de detenerse, pero se encontraban a una distancia demasiado lejana a la intersección para lograr cruzar de forma segura, resultando en una infracción a la luz roja.

5.2. Modelos de elección binaria

A partir de la información recolectada en terreno y a través de los vídeos se generan las bases de datos por intersección y de la muestra total. Las variables disponibles en esta base de datos para la construcción de modelos se encuentran en la Tabla 5.9.

5.2.1. Modelo 1: modelo de especificación con características objetivas

En este primer modelo se asume que el tipo de vehículo, la velocidad y el flujo en que se encuentran los conductores en la zona de decisión influyen la función de utilidad (V). Estas son características objetivas que describen la preferencia revelada del conductor sobre detenerse o no detenerse frente a la luz amarilla en la zona de decisión. Además, se agrega el término ASC que indicará la preferencia por detenerse o no si todos los valores son cero. La forma funcional es la siguiente:

$$V_{NORLV} = ASC_NORLV = 0 \quad (5.1)$$

$$V_{RLV} = ASC_RLV + \beta_{VEL} \cdot VEL + \beta_{LARGOS} \cdot LARGOS + \beta_{MOTOS} \cdot MOTOS + \beta_{PESADOS} \cdot PESADOS + \beta_{FLUJO} \cdot FLUJO \quad (5.2)$$

Para estimar los parámetros se hizo uso del software de distribución gratuita Biogeme (Bierlaire, M., 2003), diseñado para estimar parámetro por máxima verosimilitud, con especial énfasis en modelos de elección discreta .

Para reproducir el modelo en la muestra total, se incluyen la intersección como variable explicativa. Recordemos que cada intersección cruza un distinto número de pistas, siendo el cruce más corto el de Exequiel Fernández con 2 pistas, y el más largo el de Av. Vicuña Mackenna con 10 pistas. Para incluir la intersección asociada agregamos a la función de utilidad la variable dummy $E = 1$ para Exequiel Fernández y la variable dummy $G = 1$ para Av. Grecia. Dejamos como base la categoría restante, es decir Av. Vicuña Mackenna. Además se pone una escala para cada fuente de datos, fijando la de Av. Vicuña Mackenna.

Tabla 5.9: Descripción de variables

Variable	Descripción
id	Identificador numerario único para cada sujeto
choice	Indicador de elección: 0 se detiene 1 no se detiene
VEL	Velocidad de aproximación a la intersección captada con el radar de velocidad
EXVEL	Variable dummy de tipo de velocidad: 0 otros 1 a exceso de velocidad (mayor a 50 km/hr)
LARGOS	Variable dummy de tipo de vehículo: 0 otros 1 vehículos largos (SUV, Furgón o Camioneta)
MOTOS	Variable dummy de tipo de vehículo: 0 otros 1 motocicletas
PESADO	Variable dummy de tipo de vehículo: 0 otros 1 vehículos pesados (Bus o Camión)
FLUJO	flujo por pista en el el cuarto de hora que se registra la observación, medido en [veh/h]
GENERO	Variable dummy de género: 0 mujer 1 hombre
EDAD	Variable dummy de edad: 0 menor a 50 años 1 mayor o igual a 50 años
E	Variable dummy para intersección 1: 0 no corresponde a Exequiel Fernández 1 corresponde a Exequiel Fernández
G	Variable dummy para intersección 1: 0 no corresponde a Av. Grecia 1 corresponde a Av. Grecia Fernández
V	Variable dummy para intersección 2: 0 no corresponde a Av. Vicuña Mackenna 1 corresponde a Av. Vicuña Mackenaa

Los resultados de la muestra total se tiene en la Tabla 5.10. Notamos que β_E ni β_G son significativas, es decir en este modelo no influye la intersección en la decisión de los conductores sobre detenerse o seguir. El flujo tampoco es significativo, probablemente debido al contraste de los fenómenos de infracciones en alto flujo e infracciones en bajo flujo de las diferentes intersecciones. Los vehículos largos tienen un estimador cercano a cero y p-value cercano a 1, por lo que no se diferencian a los vehículos cortos y se eliminarán como variable en los próximos modelos. Contrario a lo esperado por su sobre representación en las infracciones a la luz roja, las motos no son significativas, mientras que los vehículos pesados lo son a un 10 %. La única variable significativa en este caso es la velocidad de aproximación con signo positivo.

Tabla 5.10: Modelo 1: Muestra total

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	t-stat	p-value
1	ASC_RLV	-5.80	1.15	-5.03	0.00
2	BETA_E	0.427	0.300	1.42	0.15
3	BETA_FLUJO	-0.000301	0.000981	-0.31	0.76
4	BETA_G	0.322	0.338	0.95	0.34
5	BETA_LARGOS	0.00805	0.147	0.05	0.96
6	BETA_MOTOS	0.266	0.288	0.93	0.35
7	BETA_PESADOS	0.559	0.287	1.95	0.05
8	BETA_VEL	0.108	0.0266	4.08	0.00
9	Scale2	2.42	0.727	1.95 ¹	0.05
10	Scale3	1.12	0.332	0.36 ¹	0.72

Resumen estadístico

$$\begin{aligned}
 \text{Número de observaciones} &= 860 \\
 \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -341.628 \\
 -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 508.957 \\
 \rho^2 &= 0.427 \\
 \bar{\rho}^2 &= 0.410
 \end{aligned}$$

Al diseñar la metodología, se fijó la línea del comienzo de la zona de observaciones a 40 [m] desde la línea de detención, distancia suficiente para permitir que un vehículo a 50 [km/h] pueda detenerse de forma segura y se encuentre en la zona de decisión. Sin embargo, como se ha discutido este supuesto es conservador para vehículos que circulen a menos de 40 [km/hr], ya que estos no necesitan más de 30 metros para detenerse. Considerando lo anterior, se repite el modelo 1 reduciendo la base de datos a observaciones con velocidades de aproximación mayores de 40 [km/h]. Los resultados se muestran en la Tabla 5.11. En general, se repiten los resultados obtenidos con la muestra completa, pero con un ajuste de $\bar{\rho}^2$ menor.

Tabla 5.11: Modelo 1: Muestra con observaciones de velocidades mayores a 40 [km/h]

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-5.32	2.24	-2.37	0.02
2	BETA_E	0.427	0.290	1.47	0.14
3	BETA_FLUJO	-0.00285	0.00231	-1.23	0.22
4	BETA_G	0.282	0.526	0.54	0.59
5	BETA_MOTOS	0.327	0.406	0.80	0.42
6	BETA_PESADOS	0.840	0.477	1.76	0.08
7	BETA_VEL	0.117	0.0563	2.08	0.04
8	Scale2	2.64	1.33	1.24 ¹	0.22
9	Scale3	0.506	0.401	-1.23 ¹	0.22

Resumen estadístico

Número de observaciones = 386

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -213.154 \\
 -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 108.801 \\
 \rho^2 &= 0.203 \\
 \bar{\rho}^2 &= 0.170
 \end{aligned}$$

También es interesante introducir una variable dummy para la velocidad, *EXVEL*, la cual es 1 si la velocidad de aproximación supera el límite de velocidad de 50 [km/hr], y cero si no. El objetivo de este ejercicio es cuantificar la influencia de infringir el límite de velocidad en las infracciones a la luz roja, y además tiene la ventaja de excluir el error asociado a la medición tomada por el radar de velocidad al tratar la variable velocidad simplemente como una dummy. La forma funcional es la siguiente:

$$V_{NORLV} = ASC_NORLV = 0 \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned}
 V_{RLV} = ASC_RLV + \beta_{EXVEL} \cdot EXVEL + \beta_{MOTOS} \cdot MOTO \\
 + \beta_{PESADOS} \cdot PESADOS + \beta_{FLUJO} \cdot FLUJO \quad (5.4)
 \end{aligned}$$

Los resultados de la muestra total se tiene en la Tabla 5.12. En este modelos, se mantienen las conclusiones del modelo original con la diferencia de que la magnitud de β_{EXVEL} es mayor a la de β_{VEL} .

Tabla 5.12: Modelo 1: Muestra total con velocidad dummy

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-1.78	0.618	-2.88	0.00
2	BETA_E	0.382	0.316	1.21	0.23
3	BETA_EXVEL	2.44	0.435	5.59	0.00
4	BETA_FLUJO	-0.000265	0.00154	-0.17	0.86
5	BETA_G	-0.273	0.497	-0.55	0.58
6	BETA_MOTO	0.683	0.380	1.79	0.07
7	BETA_PESADOS	0.536	0.378	1.42	0.16
8	Scale2	1.58	0.373	1.57 ¹	0.12
9	Scale3	0.720	0.230	-1.22 ¹	0.22

Resumen estadístico

Número de observaciones = 860

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}(0) &= -596.107 \\
 -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 455.310 \\
 \rho^2 &= 0.382 \\
 \bar{\rho}^2 &= 0.367
 \end{aligned}$$

A continuación, se modela y obtienen resultados para cada intersección por separado, conservando el modelo inicial con velocidad continua, pero sin la variable de vehículos largos (ecuación 5.2). Se obtiene como resultado para Exequiel Fernández lo expuesto en la Tabla 5.13. Este señala como variables significativas, con *p*-value = 0.5 o inferior, la velocidad y el flujo. β_{FLUJO} tiene signo negativo, reafirmando lo que se veía en la figura 5.8, es decir un mayor número de infracciones ocurren en el periodo de menor flujo. En cuanto a β_{VEL} , esta tiene un signo positivo, indicando que quienes circulan a mayor velocidad optarían más por no detenerse.

Tabla 5.13: Modelo 1: Exequiel Fernández

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-11.1	1.96	-5.67	0.00
2	BETA_FLUJO	-0.0114	0.00353	-3.24	0.00
3	BETA_MOTOS	0.622	1.31	0.47	0.64
4	BETA_PESADOS	1.15	0.886	1.29	0.20
5	BETA_VEL	0.301	0.0432	6.96	0.00

Resumen estadístico

Número de observaciones = 243

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -62.810 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 211.250 \\ \rho^2 &= 0.627 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.597 \end{aligned}$$

Para la intersección 2, Av. Grecia con Av. José Pedro Alessandri, se obtienen los resultados de la Tabla 5.14. Igualmente, las variables significativas corresponden al flujo y la velocidad. Una diferencia es que el signo de β_{FLUJO} en este caso es positivo, recogiendo el fenómeno de que en esta intersección un mayor número de infracciones ocurren en el período de mayor flujo.

Tabla 5.14: Modelo 1: Av. Grecia

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-8.57	1.01	-8.48	0.00
2	BETA_FLUJO	0.00354	0.00112	3.15	0.00
3	BETA_MOTOS	0.343	0.644	0.53	0.59
4	BETA_PESADOS	0.775	0.589	1.32	0.19
5	BETA_VEL	0.134	0.0169	7.93	0.00

Resumen estadístico

Número de observaciones = 373

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -162.283 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 192.523 \\ \rho^2 &= 0.372 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.353 \end{aligned}$$

En el caso de Av. Vicuña Mackenna, sus resultados se expresan en la Tabla 5.15, y se tiene que para esta intersección la única variable significativa al 5% es la velocidad. El flujo tiene un β_{FLUJO} negativo, al igual que en Exequiel Fernández, pues en esta intersección también ocurre el peak de infracciones en el periodo de menor flujo. Sin embargo, para el caso de Av. Vicuña Mackenna, esta variable no es significativa.

Tabla 5.15: Modelo 1: Av. Vicuña Mackenna

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-4.73	1.53	-3.08	0.00
2	BETA_FLUJO	-0.00294	0.00236	-1.25	0.21
3	BETA_MOTOS	0.150	0.677	0.22	0.82
4	BETA_PESADOS	0.245	0.561	0.44	0.66
5	BETA_VEL	0.107	0.0270	3.98	0.00

Resumen estadístico

Número de observaciones = 244

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -104.748 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 128.760 \\ \rho^2 &= 0.381 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.351 \end{aligned}$$

5.2.2. Modelo 2: modelo de especificación con características objetivas y atributos socio-económicos

En este segundo modelo se incluyen variables demográficas como la variable dummy *EDAD*, la cual es 1 si el individuo es mayor a 50 años y la variable dummy *GENERO* igual a 1 para conductores hombres. Estas variables son determinadas de manera subjetiva por quien analiza los videos grabados en la intersección. Las funciones de utilidad quedan de la forma:

$$V_{NORLV} = ASC_NORLV = 0 \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} V_{RLV} = & ASC_RLV + \beta_{VEL} \cdot VEL + \beta_{MOTOS} \cdot MOTOS + \beta_{PESADOS} \cdot PESADOS \\ & + \beta_{FLUJO} \cdot FLUJO + \beta_{GENERO} \cdot GENERO + \beta_{EDAD} \cdot EDAD \quad (5.6) \end{aligned}$$

En la tabla 5.16 se obtienen los resultados para la muestra total entre las tres intersecciones, ocupando el mismo método descrito en el modelo 1 para combinar las bases de datos. Se tiene que ni la variable género ni edad son significativas en la elección, siendo la única variable significativa la velocidad con parámetro positivo.

Tabla 5.16: Modelo 2: Muestra total

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-4.81	1.23	-3.92	0.00
2	BETA_E	0.758	0.392	1.94	0.05
3	BETA_EDAD	-0.204	0.176	-1.16	0.25
4	BETA_FLUJO	-0.00132	0.00110	-1.20	0.23
5	BETA_G	0.521	0.506	1.03	0.30
6	BETA_GENERO	0.0424	0.175	0.24	0.81
7	BETA_MOTOS	0.209	0.268	0.78	0.43
8	BETA_PESADOS	0.370	0.287	1.29	0.20
9	BETA_VEL	0.0903	0.0337	2.68	0.01
10	Scale2	3.17	1.29	1.67 ¹	0.09
11	Scale3	1.24	0.540	0.45 ¹	0.65

Resumen estadístico

Número de observaciones = 688

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -252.517 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 448.737 \\ \rho^2 &= 0.470 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.447 \end{aligned}$$

A continuación se realiza el ejercicio de obtener los resultados de este modelo por intersección. En la Tabla 5.17 se tienen los resultados obtenidos para Exequiel Fernández. Se observa que las antiguas variables mantienen su comportamiento, es decir β_{VEL} y β_{FLUJO} son significativas. De las nuevas variables incorporadas en este modelo, la más cercana a ser significativa al 10% es la edad, con un *p* - *value*=0.12. Esto quiere decir que los conductores mayores a 50 años podrían ser menos probables a cometer una infracción. La variable *GENERO* no es significativa, lo que contradice a otros estudios realizados que caracterizan a los hombres como más probables a no respetar la luz roja (Retting et al., 1999).

Tabla 5.17: Modelo 2: Exequiel Fernández

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-11.1	2.32	-4.77	0.00
2	BETA_EDAD	-0.921	0.585	-1.57	0.12
3	BETA_FLUJO	-0.0104	0.00407	-2.55	0.01
4	BETA_GENERO	0.0898	0.694	0.13	0.90
5	BETA_MOTOS	0.413	1.31	0.31	0.75
6	BETA_PESADOS	1.30	0.848	1.53	0.13
7	BETA_VEL	0.295	0.0521	5.66	0.00

Resumen estadístico

Número de observaciones = 206

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -52.120 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 181.338 \\ \rho^2 &= 0.635 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.586 \end{aligned}$$

Para el caso de Av. Grecia, Tabla 5.18, del total de variables explicativas la única significativa es la velocidad con signo positivo. El beta asociado al flujo pierde significancia en comparación con el modelo 1 y las nuevas variables introducidas no parecen afectar en la elección de los conductores.

Tabla 5.18: Modelo 2: Av. Grecia

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-8.42	1.25	-6.73	0.00
2	BETA_EDAD	0.320	0.376	0.85	0.39
3	BETA_FLUJO	0.00195	0.00136	1.44	0.15
4	BETA_GENERO	0.0604	0.400	0.15	0.88
5	BETA_MOTOS	0.449	0.682	0.66	0.51
6	BETA_PESADOS	0.299	0.766	0.39	0.70
7	BETA_VEL	0.141	0.0205	6.87	0.00

Resumen estadístico

Número de observaciones = 301

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -119.899 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 177.476 \\ \rho^2 &= 0.425 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.392 \end{aligned}$$

Para Av. Vicuña Mackenna se tienen los resultados del modelo en la Tabla 5.19. Similar al modelo 1 para esta intersección, flujo y velocidad son la variables que explicarían la decisión de detenerse o no detenerse de los conductores. Mientras que las nuevas variables de edad y género no llegan a influir en la elección.

Tabla 5.19: Modelo 2: Av. Vicuña Mackenna

Número del parámetro	Descripción	Coef. estimado	Robust		
			Asympt. std. error	<i>t</i> -stat	<i>p</i> -value
1	ASC_RLV	-2.81	1.73	-1.63	0.10
2	BETA_EDAD	-0.491	0.513	-0.96	0.34
3	BETA_FLUJO	-0.00535	0.00271	-1.97	0.05
4	BETA_GENERO	-0.225	0.617	-0.37	0.72
5	BETA_MOTOS	0.640	0.727	0.88	0.38
6	BETA_PESADOS	0.564	0.614	0.92	0.36
7	BETA_VEL	0.0834	0.0335	2.49	0.01

Resumen estadístico

Número de observaciones = 181

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\hat{\beta}) &= -72.367 \\ -2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})] &= 106.184 \\ \rho^2 &= 0.423 \\ \bar{\rho}^2 &= 0.367 \end{aligned}$$

Capítulo 6

Conclusiones

6.1. Resumen y resultados principales

Frente a la problemática de las infracciones por no respeto a la luz roja y las consecuencias muchas veces fatales que estas producen, es que nace el interés por investigar este fenómeno. El efecto que estas tienen no sólo se puede medir en situaciones concretas como los siniestros de tránsito, también se refleja en la percepción de seguridad de los peatones que han logrado evitar una desgracia, pero igualmente se ven vulnerados aunque no quede un registro de esto. La motivación de esta memoria es generar evidencia sobre las causas y factores de riesgo en el no respeto de la luz roja en intersecciones semaforizadas, con el fin de apoyar políticas públicas de seguridad de tránsito.

En este sentido se cumple el objetivo principal de estudiar este tipo de infracciones en intersecciones semaforizadas en Santiago y caracterizar las variables que las explican mediante estadística descriptiva y modelos de elección binarios. Para ello, se creó una metodología en base a los recursos disponibles y se seleccionaron 3 intersecciones en la ciudad de Santiago, en las comunas de Ñuñoa y Santiago. En cada una de ellas se llevó a cabo una investigación en terreno para medir una serie de variables asociadas a los conductores que se enfrentaban a la decisión de detenerse o continuar al ver la luz amarilla teniendo la elección.

Diversas investigaciones en la literatura revisada identifican una zona conocida como zona de dilema de la luz amarilla, este sector se crea cuando al cambiar la señal lumínica de verde a amarillo un número de conductores se encuentran a tal distancia de la intersección que pueden detenerse de forma segura, y sin embargo un porcentaje de ellos opta en cambio por acelerar y tratar de cruzar estando demasiado lejos para lograr hacerlo antes de que la señal cambie a rojo. Para efectos de esta investigación, se definió la zona de decisión de la luz amarilla a una distancia conservadora desde la línea de detención (40 metros), para permitir que vehículos con velocidad de hasta 50 [km/h] pudiesen detenerse y se registró la elección de los conductores.

Como variables explicativas a la decisión de detenerse o cruzar con luz roja se consideró la velocidad de aproximación, el tipo de vehículo, el flujo de vehículos, el género y la edad de los conductores. A lo largo de los años y en diversas regiones del mundo se ha estudiado la influencia de estas variables, siendo los hallazgos más comunes que los conductores hombres jóvenes tienen una mayor probabilidad de cruzar una intersección con luz roja y que el mayor

número de estas infracciones ocurren en intersecciones y periodos con mayor flujo vehicular.

Para caracterizar el comportamiento en las intersecciones estudiadas es primer lugar se realizó un análisis con estadística descriptiva. Con un total del 23,3 horas estudiadas, equivalentes a 815 ciclos, en las tres intersecciones se recopilieron 847 datos. De estos un 20 % corresponde a conductores que no respetaron la luz roja, registrándose en promedio 7,6 infracciones por hora. El peak de infracciones se registró en Av. Grecia en el horario punta mañana, donde un 30 % de los conductores no respetó la luz roja del semáforo.

La distribución de velocidades de aproximación para el grupo de conductores que se detienen y quienes no respetan la luz roja reveló que estos últimos circulan mayormente a más de 40 [km/h], mientras que los primeros circulan en mayor proporción a menos de 40 [km/h]. En el caso de los conductores que circulan a exceso de velocidad un 65 % de ellos opta por no detenerse, siendo un 38 % de las infracciones a la luz roja a exceso de velocidad.

Para las variables género y edad, es difícil determinar un comportamiento en base a los datos, debido a que la imagen obtenida por los vídeos no permitía identificar estas características del conductor en un 20 % de los casos. Esta proporción subía a aproximadamente 30 % de observaciones sin información de edad ni género para los conductores que no respetaban la luz roja, ya que la alta velocidad con la que pasaban frente a la cámara producía peores imágenes.

Al estudiar la relación entre el flujo y las infracciones a la luz roja se detectaron dos tipos de infracciones: en alto flujo vehicular y en bajo flujo vehicular. Las primeras son cometidas a menores velocidades, en donde un conductor se incorpora al pelotón de vehículos que cruza la intersección sin estimar correctamente que su caso debiese detenerse pues no alcanza a salir de la intersección antes de la luz roja. Las últimas ocurren a velocidades altas, donde el conductor al tener la vía despejada opta por acelerar tratando de cruzar la intersección antes de la luz roja, pero estando a demasiada distancia para lograrlo. Ambos comportamientos son descritos y ejemplificados mediante imágenes captadas en terreno.

Por último, se modela la elección de detenerse o cruzar mediante un modelo Logit de elección binaria. Si bien se obtienen algunas diferencias dependiendo de la intersección, un hilo común es que en todos los modelos la variable explicativa velocidad, en su forma continua o definida con una dummy igual a 1 para vehículos con velocidad de aproximación mayor a 50 [km/h], es significativa con parámetro positivo. Esto indica que circular a exceso de velocidad influye en la decisión de detenerse o seguir, aumentando la probabilidad de cometer una infracción por no respeto a la luz roja.

La segunda variable significativa en la mayoría de los casos es el flujo, pero el signo de β_{FLUJO} puede ser positivo o negativo dependiendo de la intersección: en Av. Grecia donde un mayor número de infracciones ocurren durante los períodos punta es positivo, mientras que en Exequiel Fernández, donde un mayor porcentaje de infracciones ocurren fuera de punta, β_{FLUJO} es negativo.

Al introducir las variables demográficas de edad y género a los modelos Logit, estas no son significativas. Tampoco lo es la diferenciación por intersección, aún cuando las tres intersección estudiadas presentan diferencias importantes en el ancho de la intersección. Estos

resultados no permiten concluir que se repita los hallazgos encontrados en la literatura en cuanto a la incidencia del género y la edad (hombres jóvenes con mayor probabilidad de cometer infracciones), pero sí en relación al flujo. Especialmente considerando que el peak de porcentaje de infracciones ocurre de la mano al peak de flujo por pista registrado en Av. Grecia con un 30 % de infracciones en el horario punta mañana.

6.2. Recomendaciones de políticas públicas

En cuanto a las políticas públicas que ayuden a mitigar el no respeto a la luz roja en intersecciones semaforizadas, la implementación de cámaras de fiscalización en la intersección es una de las medidas con más evidencia sobre su eficacia en combatir este tipo de infracciones. Se ha demostrado que la instalación de estas cámaras en algunas intersecciones provoca una reducción generalizada del número de infracciones a la luz roja en toda la ciudad (Baratian-Ghorgi et al., 2016). No solo cámaras que detecten infracciones a luz roja en intersecciones pueden ayudar, si no que cámaras que controlen el exceso de velocidad en las calles, ya que esta variable está directamente relacionada con aumentar la probabilidad de infracciones.

En este sentido el actual proyecto de ley CATI que se encuentra en el Senado, que crea un Centro Automatizado de Tratamiento de Infracciones para detectar infracciones por exceso de velocidad mediante fiscalización automatizada, es una iniciativa beneficiosa para disminuir las infracciones por no respeto a la luz roja y mejorar la seguridad vial.

Es recomendable a su vez acompañar cualquier medida técnica o legislativa, con campañas de concientización e información por parte de la CONASET. De esta forma se visibiliza el problema y se apela al público a cambiar su conducta con el fin de evitar siniestros. Algunas conductas asociadas a las infracciones a la luz roja en las que se debe trabajar es evitar la conducción agresiva, los riesgos innecesarios y la intimidación a los peatones y ciclistas. Se debe hacer un llamado a actuar en conjunto para detener el alza en el número de siniestros, fallecidos y lesionados producto a la desobediencia a la luz roja del semáforo.

6.3. Líneas futuras de investigación

Siendo el primer estudio de estas características en Santiago, cada hallazgo es relevante, pero a su vez queda mucho trabajo por delante para comprender el fenómeno del no respeto a luz roja y como mitigarlo. En primer lugar destacamos que esta investigación tuvo lugar en tres intersecciones con alrededor de 20 horas observadas, lo cual es apto para el contexto de esta memoria, pero provee un tamaño muestral reducido considerando las dimensiones de la ciudad. Es relevante ampliar el tamaño muestral, tanto en número de intersecciones como en horas y períodos de análisis, con tal de mejorar nuestro entendimiento de las dinámicas involucradas en las infracciones a la luz roja, y tener más varianza de observaciones por tipo de intersección, tipo de vehículo y período del día, entre otras variables.

Por el ámbito de la metodología, dadas las limitaciones existentes se definió una línea fija a 40 [m] desde la intersección como comienzo de la zona de decisión, sin embargo lo deseable es que esta zona se defina dinámicamente para cada vehículo dependiendo de su velocidad.

Una medición continua, con cámaras que detecte como evoluciona la velocidad y distancia en este fenómeno podría ser la solución. Otra forma de abordarlo, es incluir una segunda línea de medición a una distancia más corta para los vehículos de baja velocidad.

También es deseable mejorar esta metodología con el fin de reducir la incertidumbre en la determinación del género y la edad de los conductores en futuras investigaciones. El actual método es eficaz para observar conductores que circulan en la pista más cercana al lado en que se ubica la cámara deportiva, pero poco confiable para los que circulan en la pista del lado opuesto, lo cual se puede remediar con cámaras a ambos lados de la vía. Otro obstáculo recurrente en la identificación de edad y género fue la gran cantidad de vehículos con vidrios polarizados, los cuales no permiten tener una vista clara del conductor por la ventana lateral. Es posible que una vista frontal del vehículos permita identificar a su conductor con más facilidad.

Por último, de implementarse el sistema CATI u otra acción de mitigación, sería interesante comparar la tasa de infracciones y siniestros provocados por desobediencia a la luz roja reportadas en este informe, con las que se encuentren después de que esté en acción dicha medida. A su vez, es deseable investigar la sensación de seguridad de los peatones en las calles, particularmente al momento de cruzar una, y también comparar este indicador antes y después de una medida de mitigación, para entender como las infracciones por no respeto a la luz roja afectan a las personas.

Bibliografía

- [1] ABBAS, M., MACHIANI, S. G., GARVEY, P. M., FARKAS, A., & LORD-ATTIVOR, R. (2014). *Modeling the dynamics of driver's dilemma zone perception using machine learning methods for safer intersection control* (No. MAUTC-2012-04). Mid-Atlantic Universities Transportation Center.
- [2] BARATIAN-GHORGI, F., ZHOU, H., & WASILEFSKY, I. (2016). Effect of red-light cameras on capacity of signalized intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 142(1), 04015035.
- [3] BIERLAIRE, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. En *Swiss transport research conference*.
- [4] BONNESON, J., MIDDLETON, D., ZIMMERMAN, K., CHARARA, H., & ABBAS, M. (2002). Intelligent detection-control system for rural signalized intersections. *Texas Department of Transportation*.
- [5] BREWER, M. A., BONNESON, J., & ZIMMERMAN, K. (2002, MARCH). Engineering countermeasures to red-light-running. En *Today's Transportation Challenge: Meeting Our Customer's Expectations* Institute of Transportation Engineers (ITE) (No. CD-016).
- [6] CEDEUS. (2017). Delitos por plan cuadrante - Santiago - 2017. <http://datos.cedeus.cl> (consultado del 3 de abril del 2022).
- [7] CHANGM. S.MESSERC. J. & SANTIAGO A. J., 1985. Timing traffic signal change intervals based on driver behavior. *Transportation Research Record*1027: 20-30.
- [8] CONASET. (2018). *Libro del nuevo conductor*
- [9] ECCLES, K. A., & MCGEE, H. W. (2001). *A history of the yellow and all-red intervals for traffic signals* (No. IR-113).
- [10] GAZIS, D., HERMAN, R., & MARADUDIN, A. (1960). The problem of the amber signal light in traffic flow. *Operations Research*, 8(1), 112-132.
- [11] IBÁÑEZ, E., & HANIEL, F. (2016). *Caracterización de violaciones de luz roja en intersecciones del Gran Concepción e identificación de acciones de mitigación costo efectivas.*, Universidad del Bío-Bío.
- [12] KAMYAB, A. (2000). Red light running in Iowa: the scope, impact, and possible implications.
- [13] LI, M., CHEN, X., LIN, X., XU, D., & WANG, Y. (2018). Connected vehicle-based red-light running prediction for adaptive signalized intersections. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 229-243.
- [14] LUM, K. M., & WONG, Y. D. (2003). Impacts of red light camera on violation

- characteristics. *Journal of Transportation Engineering*, 129(6), 648-656.
- [15] MCCARTT, A. T., & HU, W. (2014). Effects of red light camera enforcement on red light violations in Arlington County, Virginia. *Journal of Safety Research*, 48, 57-62.
- [16] MDS - SECTRA. (2013). *Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana*
- [17] PAPAIOANNOU, P. (2007). Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 147-158.
- [18] PARSONSON, P. S. (1992). *Signal timing improvement practices* (No. 172).
- [19] PORTER, B. E., & ENGLAND, K. J. (2000). Predicting red-light running behavior: a traffic safety study in three urban settings. *Journal of Safety Research*, 31(1), 1-8.
- [20] PORTER, B. E., & BERRY, T. D. (2001). A nationwide survey of self-reported red light running: measuring prevalence, predictors, and perceived consequences. *Accident Analysis Prevention*, 33(6), 735-741.
- [21] Puntos críticos de siniestros de tránsito, Gran Santiago, 2019. <https://hub.arcgis.com> (consultado el 3 de abril del 2022).
- [22] QUIROGA, C., KRAUS, E., VAN SCHALKWYK, I., & BONNESON, J. (2003). Red light running: A policy review.
- [23] RETTING, R. A., & WILLIAMS, A. F. (1996). Characteristics of red light violators: Results of a field investigation. *Journal of Safety Research*, 27(1), 9-15.
- [24] RETTING, R. A., WILLIAMS, A. F., & GREENE, M. A. (1998). Red-light running and sensible countermeasures: Summary of research findings. *Transportation Research Record*, 1640(1), 23-26.
- [25] RETTING, R. A., ULMER, R. G., & WILLIAMS, A. F. (1999). Prevalence and characteristics of red light running crashes in the United States. *Accident Analysis Prevention*, 31(6), 687-694.
- [26] ROESS, R., PRASSAS, E., & MCSHANE, W. (2004). *Traffic Engineering* (4th ed.) Pearson Higher Education, Inc.
- [27] WANG, L., ZHANG, L., ZHOU, K., ZHANG, W. B., & WANG, X. (2012). Prediction of red-light running on basis of inductive-loop detectors for dynamic all-red extension. *Transportation Research Record*, 2311(1), 44-50.
- [28] WANG, X., YU, R., & ZHONG, C. (2016). A field investigation of red-light-running in Shanghai, China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 37, 144-153.
- [29] WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2019) Organización Mundial de la Salud. *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2019*.
- [30] YANG, C. D., & NAJM, W. (2006). *Analysis of red light violation data collected from intersections equipped with red light photo enforcement cameras*. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.
- [31] ZHANG, Y., FU, C., & HU, L. (2014). Yellow light dilemma zone researches: a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English edition)*, 1(5), 338-352.

Anexos

Metodología

Comparación entre vehículos y vehículos equivalentes

El cálculo a vehículos equivalentes se hizo considerando los factores de equivalencia entregados por el MESPIVU, 2013:

Tabla .1: Factores de equivalencia
Adaptado de MESPIVU, 2013

Categoría	Factor (veq/veh)
Automóvil	1.0
Taxi	1.0
Bus (aprox. 12 m)	2.0
Camión 2 ejes	2.0
Bicicletas	0.3
Motocicletas	0.5

Tabla .2: Flujo vehicular por cuarto de hora Excequiel Fernández, 18 de mayo 2022, período Punta Tarde

Vehículo	16:45-17:00	17:00-17:15	17:15-17:30
Auto	142	177	180
Taxi			
Furgón/Van	17	14	12
Minibús 8m			
Bus 12m	1	2	1
Bus articulado 18m			
Camión 2E	7	6	2
Camión 3+E			
Motocicleta	8	7	11
Bicicleta	4	8	4
veh/15 min	179	214	210
VEQ/15 min	184	216	210
Diferencia	2,74 %	0,96 %	0,02 %

Tabla .3: Flujo vehicular por cuarto de hora Av. Grecia, 7 de julio 2022, período Punta Tarde

Vehículo	17:15-17:30	17:30-17:45
Auto	252	276
Taxi		
Furgón/Van	17	19
Minibús 8m		
Bus 12m	1	
Bus articulado 18m		
Camión 2E	10	5
Camión 3+E		
Motocicleta	18	28
Bicicleta	7	6
veh/15 min	305	334
veq/15 min	311	335
Diferencia	1,87%	0,17%