

ING. ESAUL EDUARDO REYES
GUERRERO

COMPORTAMIENTO DE CICLISTAS EN EL RESPETO A LA SEÑAL DE ALTO
EXCLUSIVA Y MIXTA

2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**“COMPORTAMIENTO DE CICLISTAS EN EL
RESPETO A LA SEÑAL DE ALTO EXCLUSIVA Y
MIXTA.”**

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL
GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES Y
MOVILIDAD**

PRESENTA:

ING. ESAUL EDUARDO REYES GUERRERO

DIRIGIDO POR:

DR. SAÚL ANTONIO OBREGÓN BIOSCA

Santiago de Querétaro, Qro. Abril 2022.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad

“COMPORTAMIENTO DE CICLISTAS EN EL RESPETO A LA SEÑAL DE ALTO
EXCLUSIVA Y MIXTA”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad

Presenta:

Ing. Esaul Eduardo Reyes Guerrero

Dirigido por:

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca
Presidente

Dra. María de la Luz Pérez Rea
Secretario

Dr. Roberto de la Llata Gómez
Vocal

M.I Emilio Abarca Pérez
Suplente

Dr. Omar Chávez Alegría
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Abril, 2022
México

RESUMEN

Las violaciones por parte de ciclistas a la luz roja son un comportamiento típico de riesgo que se involucra con la seguridad de los usuarios, en la ciudad de Querétaro han aumentado el número de ciclistas en las calles, aumentando así la incidencia de dichas violaciones. El presente análisis estadístico por medio de chi cuadrada se realizó para poder determinar los factores que tienen mayor influencia en la incidencia para el cruce de ciclistas en luz roja, llevando a cabo un estudio observacional apoyado de videograbaciones, prestando atención a intersecciones semaforizadas tanto exclusivas como mixtas.

(Palabras clave: ciclistas, semáforo, infraestructura)

SUMMARY

Violations by cyclists to the red light are a typical risk behavior that is involved with the safety of users, in the city of Querétaro the number of cyclists on the streets has increased, thus increasing the incidence of such violations. The present statistical analysis through chi square was performed in order to determine the factors that have the greatest influence on the incidence for the crossing of cyclists in red light, carrying out an observational study supported by video recordings, paying attention to exclusive and mixed signalized intersections.

(Key words: cyclists, traffic lights, infrastructure, red light)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida por permitirme culminar esta etapa con éxito.

A mis padres, que siempre han sido un impulso y apoyo incondicional a mis metas y sueños, siendo siempre mis mejores guías de vida, mi motivación, mis ganas de siempre ir para delante y seguir superándome todos los días. Les dedico a ustedes este logro.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, a mis profesores y director, gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional, por su dedicación, su tolerancia, siempre llevare conmigo las enseñanzas en mi vida profesional.

A mis amigos y compañeros, las horas de trabajo juntos, las ganas mutuas de superarnos, el apoyo en nuestra formación. Se cierra esta etapa de nuestra vida, siempre agradeciendo su ayuda y constancia, su compañía en horas difíciles, de estudio y de éxito.

A todos aquellos que creyeron en mí, a mis amigos, a mi familia, a quienes formaron parte de este sueño a quienes depositaron su fe en mí, que sin importar que, creyeron en que logre todo aquello que me propusiera.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) quien me otorgó el financiamiento, que, así como yo muchos otros estudiantes puedan cumplir sus sueños.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 JUSTIFICACIÓN	11
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.3 OBJETIVO	15
1.4 HIPÓTESIS.....	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 SEGURIDAD VIAL	16
2.1.1 <i>Educación vial</i>	17
2.2 COMPORTAMIENTOS DE RIESGO	18
2.2.1 <i>Accidentes ciclistas</i>	20
2.2.2 <i>Infraestructura Ciclista</i>	20
2.2.3 <i>Percepción del riesgo</i>	22
2.3 ANÁLISIS DE CONDUCTAS CICLISTAS	23
2.3.1 <i>Comportamientos en intersecciones semaforizadas</i>	23
3. METODOLOGÍA	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 SELECCIÓN DE INTERSECCIONES Y DELIMITACIÓN DE LA MUESTRA	32
4.1.1 <i>Selección de intersecciones</i>	32
4.1.2 <i>Determinación de la muestra</i>	35
4.2 SELECCIÓN DE VARIABLES	36
4.3 OBTENCIÓN DE DATOS EN CAMPO Y GENERACIÓN DE BASE DE DATOS	37
4.3.1 <i>Sitios observacionales</i>	37
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
4.5 INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	42
4.5.1 <i>Chi cuadrada</i>	43
4.5.2 <i>Diagrama de árbol</i>	45

5. CONCLUSIONES	50
5.1 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA	52
6. REFERENCIAS.....	53
7. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Diagrama de actividades, Fuente: elaboración propia.	29
Figura 4.1 Ubicación de hechos ciclistas, Fuente: Elaboración propia con datos del municipio de Querétaro.	32
Figura 4.2 Puntos en donde se involucran percances viales con ciclistas, en la zona centro del municipio de Querétaro, Fuente: IMT (2018).	33
Figura 4.3 Infraestructura ciclista Google Maps e intersecciones seleccionadas, Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 4.4 Cámara y batería, Fuente: Obtención propia.	37
Figura 4.5 intersección 5 de febrero / Río Ayutla, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth	39
Figura 4.6 intersección Av. Universidad / Tecnológico, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth	40
Figura 4.7 intersección Hidalgo / Tecnológico, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth	41
Figura 4.8 intersección Tecnológico / Zaragoza, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth	41
Figura 4.9 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, primera partición, Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 4.10 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, segunda partición, Fuente: Elaboración propia.	46

Figura 4.11 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, tercera partición, Fuente: Elaboración propia..... 47

Figura 4.12 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, cuarta partición, Fuente: Elaboración propia..... 48

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1 Comparativa intersecciones.	35
Tabla 4.4.2 Ciclistas observados por sitio observacional	36
Tabla 4.4.3 Variables y autores.....	36
Tabla 4.4.4 Características de los sitios observacionales	38
Tabla 4.5 Comportamiento en luz roja por sitio observacional	42
Tabla 4.6 Valores Chi cuadrada para las variables analizadas.	44
Tabla 4.7 Comparativa de porcentaje respecto a diversos estudios	50

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día es común ver mayor infraestructura exclusiva para bicicletas, ésta cuenta con carriles bicicleta además de señalizaciones y semáforos, así como exclusivos para ciclistas y otros los cuales son junto con vehículos de automotor (semáforos exclusivos y mixtos). Morrison *et al.* (2019) comentan que los carriles para bicicletas reducen los riesgos reales y percibidos de choques de ciclistas contra vehículos automotores, reducen la carga de lesiones de tránsito y contribuyen a una mayor participación en el ciclismo. Resultados de estudios previos indican que se necesita un mejor enfoque educativo para mejorar el comportamiento de los ciclistas debido a que muchas veces se desconocen las reglas de tránsito ciclista Huemer (2018). la realización de campañas de concientización favorecería a mejorar dichos comportamientos.

Las violaciones a las reglas de tránsito son factores importantes a la hora de observar el comportamiento de los ciclistas, Johnson *et al.* (2013) mencionan que el infringir la luz roja es un comportamiento ilegal obvio de todos los usuarios de la vía pública, incluidos ciclistas, dichos comportamientos han sido reportados con mayores tasas internacionalmente, Fraboni *et al.* (2018) a través del análisis de accidentes revelan que estas violaciones juegan un rol clave en los sucesos fatales que involucran a los ciclistas debido a una asociación encontrada entre los incidentes ciclistas y las violaciones de la luz roja.

La violación a la luz roja depende de diversos factores o características de los usuarios, se encontró que los ciclistas que llegan a infringir más una luz roja son en su mayoría hombres, los adultos mayores tienden a obedecer más los semáforos que los jóvenes; la probabilidad de que ciclistas se involucren en un accidente debido a ignorar una luz roja es mayor si no han estado previamente relacionados con uno (Fraboni *et al.*, 2018; Johnson *et al.*, 2013; Marshall *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2012). Además, la presencia de otros ciclistas en la intersección también es factor

importante para determinar el comportamiento en un semáforo (Wu *et al.*, 2012; Fraboni *et al.*, 2018).

En el centro de Dublín Richardson & Caulfield (2015) realizaron análisis en conductas ciclistas, prestando atención a los diferentes tipos de infraestructura para así relacionarlos con compartimentos en luz roja, más adelante Schleinitz *et al.* (2019) encontraron que ignorar el semáforo en rojo es más común cuando los ciclistas dan vuelta a la derecha que cuando es hacia la izquierda o al cruzar la intersección, también encontraron que los ciclistas cambiaban la infraestructura en la que iban para evitar una señal de alto, por ejemplo entre la calzada a la acera.

Johnson *et al.*, (2013), Fraboni *et al.*, (2018) y Schleinitz *et al.*, (2019) recomiendan estudiar los comportamientos ciclistas en las intersecciones semaforizadas, esto ayuda a que se tenga más información que contribuya a mejorar significativamente la seguridad de las intersecciones, así como a mejorar el conocimiento de la seguridad del ciclista ya que los comportamientos tienen un papel crucial en los eventos que causan accidentes (Ren *et al.*, 2016; Grasset & Hours, 2016).

1.1 JUSTIFICACIÓN

En la presente investigación se aborda el comportamiento de ciclistas en intersecciones semaforizadas, buscando aquellos factores con mayor impacto en conductas de riesgo, específicamente cruzar en luz roja, se busca dictaminar acciones las cuales disminuyan estos comportamientos que ponen en riesgo la integridad de los usuarios.

Apegándonos al plan nacional de desarrollo se debe garantizar la salud de los ciudadanos, de igual manera en el plan estatal se espera el fortalecimiento de programas de prevención y promoción a la salud. Además, incentivar el uso de la bicicleta en zonas urbanas y rurales por medios de la implementación de políticas transversales para la activación física de la población.

El estado de Querétaro afronta problemas que surgen a través de la priorización dada al automóvil particular, lo que da lugar a diversos problemas. Hace falta infraestructura la cual incorpore la intermodalidad entre los medios de transporte motorizados y no motorizados. Se espera aportar al fomento del uso apropiado y seguro de bicicletas para que un mayor número de personas contribuyan a una mejor movilidad en el estado, también proporcionar información para una correcta implementación de infraestructura ciclista con la cual los usuarios se sientan más cómodos y seguros.

Schleinitz *et al.* (2019) sugieren que las investigaciones futuras tomen en consideración las características de la infraestructura para tratar de descubrir más factores que influyen en la voluntad de un ciclista de pasar una luz roja, además Johnson *et al.* (2013) comprobaron la importancia de la infraestructura para los análisis de conductas ciclistas, mencionando que es necesario considerar las características de ésta, siguiendo dichas recomendaciones (Johnson *et al.*, 2013; Schleinitz *et al.*, 2019).

A su vez Fraboni *et al.* (2018) recomiendan analizar el fenómeno de la conducta ciclista en luz roja tomando en consideración las variables de los volúmenes de tráfico tanto ciclista como vehicular, uso de teléfono inteligente, de audífonos, empleo de búsqueda visual, tiempos de espera en rojo e incluir grupos de edad.

Resulta indispensable considerar la infraestructura y cuestionarse cuál es el rol que juega para estas conductas, pues sustentan que la mayoría de los estudios solo cubren un escenario específico y no son representativos, por lo que sugieren que las futuras investigaciones deberán analizar las características de ésta, así como los factores que influyen en la decisión de un ciclista para pasarse una luz roja y vincular el comportamiento con el riesgo al accidente.

Derivado a que los comportamientos de los ciclistas en luz roja suelen ser de riesgo, es necesario que sean analizados y se considere el tipo de infraestructura (Johnson

et al., 2013; Schleinitz *et al.* (2019) y las variables expuestas por Fraboni *et al.* (2018), las cuáles serán apoyadas con el uso de videograbaciones para su análisis, con la finalidad de determinar los factores con mayor influencia en las conductas ciclistas en la luz exclusiva y mixta, para así obtener datos con los cuales se fomente la implementación de infraestructura adecuada que brinde seguridad, así como apoyar a la formulación de mejores programas de educación vial.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015) señala que cerca de la mitad de todas las muertes que ocurren en las carreteras del mundo son en usuarios los cuales tienen menos protección en las vías como son motociclistas, ciclistas y peatones, correspondiéndole al usuario bicicleta un 4% de mortalidad a nivel global, en cuanto a la región de américa es un 3%, estos porcentajes no incluyen las bicicletas eléctricas. En Bruselas Vandembulcke *et al.* (2014) encuentran estadísticamente que hay un alto riesgo asociado a la presencia de los tramos compartidos, puentes sin infraestructura ciclista, intersecciones complejas, cercanía a centros comerciales o cocheras además de tráfico por camiones. Además, Kaplan *et al.* (2019) muestran que los ciclistas no están dispuestos a compartir el camino si tienen percepciones o experiencias físicas negativas con incidentes o pérdidas cercanas.

En el reporte de *China Road Traffic Accidents Statistics Report* (2004) se muestra que para 2004 13655 ciclistas fallecieron y 54286 fueron heridos representando un 12.8% de muertes de tráfico y 11.3% de heridos, asimismo se revela que cerca del 60% de los accidentes fatales involucraban a ciclistas resultado de la violación de las reglas de tránsito ya que las estadísticas muestran que las violaciones a las reglas del tránsito por los ciclistas contribuyen a sus accidentes (Huemer, 2018). La *National Police Administration* (2011) revela que en Taiwán hay una alta asociación entre las violaciones de luz roja, aproximadamente 22% de los accidentes ciclistas son debidos a estos comportamientos, de los cuales 34% resultan en fatalidades.

Por su parte *University of North Carolina* (2014) indican que las violaciones de ciclistas en intersecciones como los cruces en una fase roja representan alrededor de un 8.8% del total de los accidentes ciclistas totales en Carolina del Norte.

En Querétaro, para los años 2016-2018 se tienen registros del INEGI (2018) que indican un total de 277 accidentes en los que al menos un ciclista fue involucrado, de los cuales resultaron 85 heridos y 9 muertes, de los datos anteriores no se tienen identificados los lugares o la razón del incidente; por otro lado a través de gobierno municipal de Querétaro para los años 2017 y 2018 se encuentran 85 registros de accidentes con ciclista involucrado con las coordenadas correspondientes, las cuales suelen ser cerca de intersecciones, lo que nos indica que en Querétaro se presentan un número considerable de accidentes los cuales tienen que ser disminuidos.

1.3 OBJETIVO

Analizar la conducta ciclista en luz roja exclusiva y mixta tomando en cuenta parámetros como uso de estrategias visuales, tiempos de semáforo, velocidades y tipo de infraestructura, determinando así qué factores tienen mayor influencia en su comportamiento.

1.4 HIPÓTESIS

Variables como el tipo de infraestructura, uso de casco y el uso de estrategias visuales, reflejan la incidencia de cruce por parte de ciclistas no respetando la luz roja tanto exclusiva como mixta.

2. MARCO TEÓRICO

Se aborda el tema de la seguridad vial dado que resulta importante recalcar la seguridad de los usuarios con suma importancia, así como la educación vial que nos ayuda para el uso adecuado de la bicicleta como modo de transporte. A partir de ello se da pauta para el estudio de los comportamientos de riesgo, estos pueden ser derivados a partir de un desconocimiento de las reglas, lo que recalca la importancia de la educación en los usuarios. Estos comportamientos son causantes de diversos accidentes los cuales dependen de la percepción de cada uno de los usuarios y pueden ser acompañados de características de la infraestructura con la que se cuenta.

Resulta relevante mencionar diversos artículos con gran aportación al tema, entre los cuales destacan los siguientes: Johnson *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2013; Bai *et al.*, 2015; Richardson y Caulfield, 2015; Zhang *et al.*, 2016; Fraboni *et al.*, 2018; Yang *et al.* 2018. Estos estudios se centran en el análisis de conductas ciclistas, los cuales buscan entender y determinar factores influyentes en dichos comportamientos, específicamente en los que son tomados en intersecciones semaforizadas.

2.1 Seguridad Vial

De acuerdo a Pico *et al.* (2011), la seguridad vial debe ser concebida como un sistema social que comprende procesos de interacción entre actores y ambientes físicos a través de medios de transporte motorizados o no motorizados, deben ser libres de conflictos y de contradicciones, debido a que la finalidad es preservar la vida de las personas, y un mantenimiento óptimo de la infraestructura. Debe de ser concebido a través de la educación vial, que es la adquisición de hábitos que permiten al ciudadano un comportamiento adecuado a las normas.

La educación vial es una responsabilidad que compete a toda una sociedad, por lo que áreas como salud y educación deben estar presentes. La seguridad vial es parte

de nuestro día a día, porque de alguna manera nos vemos afectados positiva o negativamente según lo que acontece. La seguridad vial se ha convertido en un problema nacional y mundial, ya que cada año mueren cientos de personas alrededor del mundo por la falta de cultura vial (Tencio C., 2008). Es necesaria más educación, más conciencia y un conjunto mejorado de actitudes positivas hacia la seguridad vial para prevenir los comportamientos inseguros y aberrantes de los usuarios de la calle (Shell *et al.*, 2015; Useche *et al.*, 2018). Entre todos los comportamientos con los que nos podemos encontrar y está comprobada que la acción de pasar la luz roja es un problema de seguridad vial a nivel mundial que además está asociado a accidentes con graves lesiones y/o mortales (Goldenbeld *et al.*, 2019).

Resulta interesante recalcar que a pesar de que andar en bicicleta es considerado diez veces más peligroso que conducir, hay evidencia de las ciudades cuyo modo de andar en bicicleta tiene grandes índices de uso, no solo son más seguras para los ciclistas sino también para todos los usuarios de la carretera. (Marshall & Ferencak, 2019).

2.1.1 Educación vial

La educación vial se define como la transmisión de conocimientos y adquisición de habilidades para un uso seguro, responsable y sustentable del transporte, Groeger (2011) y Poó *et al.* (2015). Según Poó *et al.* (2015) la educación vial debería iniciarse en los primeros momentos de la infancia, con la participación tanto de familias como instituciones educativas, además de sectores como salud y transporte. Hay varios programas de educación vial que han sido revisados por distintos autores, haciendo hincapié en la necesidad de llevar a cabo una educación desde edades tempranas (Twisk *et al.* 2015; Twisk *et al.* 2014)

En el contexto de la seguridad vial, las mejoras en la educación vial se han reconocido en varios países como instrumento para la reducción de los accidentes viales. Sin embargo, el nivel de educación vial impartido por diferentes instituciones

carece de una medida de desempeño objetiva con respecto al nivel de conciencia de los diferentes participantes en el proceso de transporte con respecto a los riesgos del transporte vial. Obregón *et al.* (2018). La educación vial puede tener efectos positivos si se adoptan buenas prácticas, además tiene que ser parte de un proceso de aprendizaje permanente (Assailly, 2017).

2.2 Comportamientos de Riesgo

En Estados Unidos, las estadísticas muestran que aproximadamente el 45 por ciento de los choques en las intersecciones causados por pasarse el semáforo en rojo provocan lesiones graves y muertes, mientras que solo aproximadamente el 30 por ciento de todos los otros tipos de choques en las intersecciones causan lesiones o muertes (Lee *et al.*, 2014). Además, Jahangiri *et al.* (2016) reportan que 683 personas murieron y se estima que 133,000 resultaron heridas en choques debido a pasarse la luz roja en 2012. Para ayudar a prevenir o mitigar los choques causados por las luces rojas, estas violaciones deben identificarse antes de que ocurran, por lo que los usuarios de la calle (es decir, conductores, peatones, etc.) en peligro potencial y la infraestructura pueden ser notificados y se pueden tomar medidas a consecuencia. Según Zhang *et al.* (2016) se sabe que todos los usuarios incluidos peatones y ciclistas realizan este comportamiento en los semáforos en las áreas de intersección lo que permite a diversos autores su investigación.

Useche *et al.* (2019) mencionan que las crecientes tasas de accidentes de tránsito que involucran a ciclistas se reconocen actualmente como una preocupación importante de salud pública y seguridad vial. Además, los comportamientos de riesgo en la calle y sus factores precedentes se han conceptualizado como determinantes potenciales para explicar, intervenir y prevenir las lesiones de tráfico de los ciclistas. Como se mencionó previamente Johnson *et al.* (2013) mencionan que el infringir la luz roja es uno de los comportamientos ilegales más obvios de todos los usuarios de la vía pública, incluidos los ciclistas, estas infracciones han

sido reportadas con mayores tasas internacionalmente tomando en cuenta que existen países en los cuales estos porcentajes son mayores o menores.

Jensupakarn & Kanitpong (2018) comentan que, en Tailandia, el pasarse los semáforos en rojo se considera uno de los comportamientos más peligrosos en intersecciones. Pasarse la luz roja es un comportamiento accidental o involuntario influenciado por muchos factores. Reconocen que se han realizado pocos estudios de investigación para evaluar los factores contribuyentes que influyen en el comportamiento de violación de la luz roja. Estudian los factores que influyen en el comportamiento de la luz roja, incluidas características humanas, condición física de la intersección, la operación de la señal de tráfico y la condición del tráfico. Por su lado Esmaeilikia *et al.* (2019) estudian la literatura acerca de comportamientos de riesgo debido al uso del casco en ciclistas, debido a sensación de seguridad, encuentran que en la mayoría de los estudios como los de Fyhri *et al.* (2018) y Schleinitz *et al.* (2018), respaldan que el uso del casco se asocia con un comportamiento de ciclismo más seguro.

Los accidentes de ciclismo en Australia, especialmente los que resultan en lesiones en la cabeza, son causa sustancial de muerte y discapacidad; pero a pesar de la legislación y la evidencia de que los cascos reducen el riesgo de lesiones en la cabeza, pocos adolescentes los usan. (O'Callaghan & Nausbaum, 2006). Usar un casco durante el ciclismo es muy recomendable, especialmente en situaciones con un mayor riesgo de accidentes de bicicleta, como en calles resbaladizas o heladas. (Høye, 2018). Por su parte Stier *et al.* (2019) a través de análisis de accidentes descubrieron que el casco de bicicleta no protege contra lesiones faciales. Además, descubrieron que el sexo y el tipo de compañero de colisión son factores de riesgo de lesiones faciales. Otro comportamiento de riesgo comprobado es escuchar música mientras anda en bicicleta dado que perjudica la percepción auditiva de los ciclistas y puede disminuir su conciencia de los vehículos que se acercan. Si la percepción

auditiva deteriorada no es compensada por el ciclista mismo u otros usuarios de la carretera involucrados, pueden ocurrir accidentes (Stelling-Konczak *et al.*, 2018).

Wu *et al.* (2019) evaluaron ocho comportamientos compartidos de riesgo al andar en bicicleta: no usar cascos, pasar luces rojas, andar en bicicleta contra el flujo de tráfico, andar en carriles diseñados para vehículos motorizados, andar en carriles diseñados para peatones, llevar pasajeros en bicicleta, usar teléfonos celulares mientras viajan, y el ir comiendo mientras manejan. Encontraron que una edad más joven, un nivel de educación más bajo y horas de conducción más largas cada semana se asocian mayormente con algunos comportamientos de riesgo.

2.2.1 Accidentes ciclistas

Los accidentes de ciclistas representan una proporción relativamente grande de muertes en las calles y dicha proporción está aumentando (Marín *et al.* 2018), a lo que los hombres informan una mayor exposición a accidentes graves que las mujeres (Prati *et al.*, 2019). Se estima que los accidentes de ciclismo tienen diez veces menos probabilidades de ser registrados por policías en comparación con los accidentes que involucran a automovilistas (Amoros *et al.* 2006). Por otro lado, con ayuda de una estimación a través de una base de datos viales se revela que los ciclistas tienen ocho veces más probabilidades de lesionarse por hora que pasan en las calles en comparación con los automovilistas (Billot-Grasset & Hours 2016). Fraboni *et al.* (2018), a través de los análisis de accidentes, revelan que las violaciones a la luz roja juegan un rol clave en los accidentes fatales que involucran a los ciclistas debido a una asociación encontrada entre los accidentes ciclistas y las violaciones de la luz roja.

2.2.2 Infraestructura Ciclista

El carril bicicleta de acuerdo con la *National Association of City Transportation Officials* (2011) se define como una porción de la calle que ha sido designada mediante rayas, señalización y marcas en el pavimento para el uso preferencial o exclusivo de los ciclistas. La AASHTO (2012) menciona como opciones de carriles

bicicleta las siguientes: Carriles compartidos, carriles compartidos marcados, hombros pavimentados, carriles bicicleta, bulevares para bicicletas, rutas de uso compartido. De los cuales Morrison *et al.* (2019) menciona: Carril exclusivo, carril compartido con el lugar de estacionamiento, carril marcado a un costado, carril bicicleta a un costado.

A partir de un estudio realizado en Australia, se analizaron ciclistas en 15 locaciones, se pudo observar que la proporción de ciclistas femeninas varía de acuerdo con el tipo de infraestructura, lo que indica que las mujeres prefieren usar rutas cuya separación de los vehículos automotor sea mayor (Garrard *et al.*, 2008), es más probable que las mujeres eviten los riesgos asociados con el ciclismo, y los hombres parecen valorar más el ahorro de tiempo que las mujeres (Wang *et al.*, 2012).

En general, la infraestructura vial y las normas de tránsito están planificadas principalmente para conductores de automóviles y peatones. Al construir una nueva infraestructura e implementar nuevas medidas de seguridad para los ciclistas, es importante incluir comunicación al público sobre la seguridad y los riesgos relacionados con el ciclismo, además de priorizar a los ciclistas como usuarios de la calle (Kummeneje & Rundmo, 2020).

Souza *et al.* (2014) evaluaron el control del comportamiento percibido o barreras en relación con seis posibles obstáculos para el ciclismo: falta de infraestructura, falta de seguridad, distancia, habilidad, pendientes y clima. El principal elemento disuasorio contra el ciclismo fue la falta de una infraestructura ciclista adecuada. La falta de seguridad también está asociada con la ausencia de infraestructura, y las pendientes son otros obstáculos importantes para los desplazamientos en bicicleta en la ciudad.

Una infraestructura vial bien diseñada con carriles para bicicletas dedicados en el camino y cascos cómodos, de bajo costo y seguros de fácil acceso también puede

reducir los comportamientos inseguros de conducción y accidentes no deseados para los ciclistas compartidos (Wu *et al.*, 2019). Aldred (2016) comentan que los incidentes particularmente graves, y aquellos que involucran vehículos son los que presentan mayores peligros para los ciclistas, son vistos como los más propensos a ser evitados por una infraestructura separada. Estudios previos (Pucher *et al.*, 2011) han mostrado una preferencia por esta disposición y recomiendan su mayor uso en contextos de ciclismo bajo, a veces son relacionados específicamente con la prevención de lesiones (Park *et al.* 2015; Reynolds *et al.*, 2009).

2.2.3 Percepción del riesgo

La percepción del riesgo y las actitudes hacia la seguridad del tráfico son importantes para el comportamiento de los ciclistas en el tráfico. (Kummeneje & Rundmo, 2020). Se ha descubierto que la percepción del riesgo reduce los comportamientos riesgosos y la probabilidad de resultados de seguridad mediante la adaptación conductual, tanto teórica como empíricamente (Ba *et al.*, 2016). Sanders (2015) sugiere que la preocupación de las personas con respecto al riesgo de andar en bicicleta cerca del tráfico, es decir, el riesgo de ser atropellado por un automóvil, sigue siendo una barrera importante para el ciclismo generalizado.

Por medio de encuestas Marín *et al.* (2018) estudian la percepción del riesgo de las interacciones con los automóviles, el uso de la bicicleta, evitar el tráfico mixto y las experiencias recientes de percances, los resultados tienen implicaciones con respecto a la teoría, la infraestructura y la aplicación de nuevas tecnologías de seguridad. Los hallazgos sugieren que los esfuerzos dirigidos a los comportamientos de los usuarios de la carretera y los diseños de carreteras asociados con estos casi accidentes podrían mitigar el riesgo de tráfico percibido y real para los ciclistas y, por lo tanto, eventualmente ayudar a lograr una mayor cantidad de usuarios de bicicletas (Sanders, 2015).

El riesgo percibido de accidentes es generalmente mayor en ciclistas femeninos que masculinos, al igual que una mayor incomodidad al tener que transitar en tráfico mixto (Griffin *et al.*, 2020; Prati *et al.*, 2019). Por su parte Bösehans & Massola (2018) concuerdan en que existe una mayor percepción de riesgo entre las mujeres y los ciclistas de altos ingresos, además el riesgo de ser atropellado por un automóvil se percibió más alto entre las mujeres. Los ciclistas participan en varios comportamientos de riesgo como conducir a altas velocidades al acercarse a los autos hasta ignorar los semáforos rojos o desviarse de los peatones.

Lehtonen *et al.* (2016) informan que aquellos ciclistas frecuentes detectan más peligros que los ciclistas infrecuentes, ciclistas que informaron el uso general en bicicleta con velocidades mayores que otros, mostraron un nivel general de precaución elevado en las aceras en comparación con otros, pero no hubo diferencias en las ciclovías, siendo estas percibidas como más seguras por los usuarios. Además, Zeuwts *et al.* (2017) indican que los niños ciclistas corren un mayor riesgo de verse involucrados en un accidente de tráfico. Compararon los patrones de búsqueda visual y los tiempos de reacción de los ciclistas infantiles y adultos utilizando una prueba de percepción de peligro para ciclistas. Los patrones de búsqueda visual ineficientes en los niños pueden atribuirse a un sistema visual inmaduro. En conjunto, los resultados de este estudio sugieren que la conciencia de la situación de los niños también depende de la experiencia, y no solo de la maduración.

2.3 Análisis de conductas ciclistas

Actualmente el análisis de las conductas ciclistas sigue siendo escaso, especialmente con su interacción con semáforos, se pueden encontrar distintos estudios previos los cuales logran mostrar diversos factores los cuales afectan dichas conductas, a continuación, se describen dichos estudios y sus resultados.

2.3.1 Comportamientos en intersecciones semaforizadas

Ren *et al.* (2016) comentan que pasarse el semáforo en rojo es un grave problema de seguridad en las intersecciones señalizadas en todo el mundo. Este comportamiento descuidado e imprudente es responsable de un número significativo de accidentes y ha resultado en un número considerable de lesiones graves y daños materiales significativos. Para evitar accidentes relacionados con estas acciones, es fundamental identificar los factores que afectan significativamente el comportamiento de los usuarios.

Johnson *et al.* (2011) a través de un estudio transversal observacional en Melbourne, Australia, evaluaron el comportamiento de 4225 ciclistas que se encontraron con algún semáforo. Del total de ciclistas observados el 6.9% de ellos, no cumplieron con el alto en la luz roja. Los autores indican que el género es un importante diferenciador del comportamiento ciclista, ya que el 62.3% de ciclistas que omiten la luz roja son hombres. Además, sostienen también, que factores como el volumen de usuarios, dirección de viaje y el tipo de infraestructura tienen influencia en la toma de decisión de los ciclistas cuando se encuentran con un semáforo en rojo. Por otro lado, el tipo de ropa o bicicleta que utilizan los usuarios no tiene una relación significativa con el comportamiento de estos en intersecciones.

Más adelante Johnson *et al.* (2013) a partir de una encuesta en línea aplicada a ciclistas, la cual investigaba experiencia ciclista en ruta incluyendo previos incumplimientos a la luz roja y sus razones para ello, un total de 2061 de los cuales un 37.3% pasan un semáforo en luz roja, las mujeres resultaron menos propensas a realizarlo, varios ciclistas reportaron infringir cuando no había otros usuarios de la vía presentes lo cual representa 16.6%, en cruces peatonales cuando no había peatones cruzando o esperando el cruce (10.7%). Así mismo encuentran que los ciclistas más jóvenes, de entre 18 y 29 años son más probables a cruzar la luz roja que aquellos mayores de 50 años. El estar implicado en un incidente como ciclista fue significativamente asociado con infringir una vuelta a la izquierda, los ciclistas que no han tenido ningún accidente son más propensos a infringir que aquellos que

estado involucrado en un accidente. De acuerdo con su estudio del 2011 se encuentra un mayor número de ciclistas que cruzaron durante la fase roja, esto puede ser debido a que en la encuesta fue estudiado el comportamiento durante el tiempo que se tiene como ciclista, lo cual no indica que siempre actúen de esta manera.

Para el estudio de los comportamientos de riesgo en usuarios de bicicletas electrónicas en China Bai *et al.* (2015) analizaron mediante chi-cuadrada las diferencias de comportamientos de riesgo entre usuarios de bicicletas eléctricas, scooters y bicicleta convencional y a través de un análisis de regresión logit binario para evaluar cómo es que las variables afectaban los comportamientos de los usuarios en las intersecciones señalizadas. A partir de este estudio se identificaron tres tipos diferentes de comportamientos de riesgo tales como no detenerse en la línea de detención, circulación en carriles motorizados y circular en contra del tráfico, además de asociarse significativamente la edad el género y las condiciones de tráfico con los comportamientos en intersecciones.

En el centro de Dublín Richardson y Caulfield (2015) analizaron los comportamientos por medio de encuesta observacional y cuestionario en línea, los resultados demostraron diferencias entre los métodos, se obtuvo que un promedio de 61.9% de los ciclistas infringían la luz, en cambio 49% de los ciclistas que contestaron en línea aseguraban que nunca o rara vez habrían infringido una luz roja. Además, se prestó atención a infraestructura segregada y en conjunto con la calle, se encontró que cuando se transita sobre la calle es más común el cruzar en luz roja.

A partir de un modelo, con la base de datos del Ministro Chino de Seguridad Pública de entre los años 2006 a 2010 en provincia de Catón, Zhang *et al.* (2016) analizan los factores que influyen a las violaciones de las señales de tránsito tanto en conductores de autos, peatones y ciclistas (género, edad, experiencia de manejo, ocupación, tipo de camino, tipo de intersección, condiciones de luz, hora del día,

para cada usuario), para los cuales mencionan que los efectos de la edad o género no fueron significantes, en cambio la ocupación tuvo efectos significantes en éstas violaciones, siendo los trabajadores migrantes aquellos que más infringían las señales, además del tipo de intersección en el cual se encuentran como lo son puentes, túneles o calles elevadas. Además, el riesgo de un incumplimiento en calles con separación física entre el carril bicicleta y la vialidad, es mayor que aquellas que no lo tienen, en cuanto a los factores ambientales mencionan que una violación de los ciclistas es menor durante la tarde con condiciones de luz relativamente pobres.

Por medio de un estudio transversal y adoptando una metodología observacional Fraboni *et al.* (2018) investigaron las diferencias en los comportamientos ciclistas en intersecciones, en relación con las violaciones de semáforos, uso de teléfonos inteligentes, comportamiento de búsqueda visual y las características demográficas de los ciclistas. Su estudio toma lugar en el área urbana de la ciudad de Bolonia, Italia. Para la selección de intersecciones se considera un alto volumen de tráfico ciclista y los tipos más comunes de infraestructura en el municipio, las características de sus sitios observacionales cuyas características principales fueron: salientes de intersección, infraestructura bicicleta, presencia de semáforo exclusivo, campo de visión de los ciclistas, volumen del tráfico motorizado y tiempo de espera también tomaron en cuenta parámetros con mayor influencia como el tiempo de espera, comportamiento en luz roja, género, edad, uso de teléfono inteligente, estrategias de búsqueda visual, tamaño de grupo ciclista. Por medio de cinco observadores con previa experiencia registraron 1381 ciclistas de los cuales 51% fueron hombres y 48.7% mujeres, con una pérdida de conteo del 0.3%. Un 36.5% rondaron de 30 años o menos, 40.6% de entre 31 a 50 años y un 22.5% mayores de 50 años. En cuanto al comportamiento en luz roja un 37.2% esperaron hasta que cambiara a verde, 29.6% cruzaron después de una parada inicial y el 33.3% restante no paró en ésta. Además, se apoyaron del uso del software SPSS para llevar a cabo la prueba Chi-cuadrada, misma que emplean Bai et al. (2015),

para sus análisis estadísticos de entre las variables y los diferentes comportamientos en luz roja, además de optar por una metodología de clasificación de diagrama de árbol basado en el método algorítmico CHAID, como recomienda Elmitiny *et al.* (2010) quienes clasificaron el comportamiento de conductores en una violación de luz roja.

En China Yang *et al.* (2018) analizan a partir de un cuestionario, junto con prueba t y ANOVA, la intención de pasarse una luz roja para usuarios de bicicletas eléctricas, encontraron que aquellos mayores de 40 años se identificaron a sí mismos como más cautelosos, los ciclistas jóvenes tienen una mayor intención de pasarse el rojo, aquellos que cuentan con licencia de manejo consideran que estos comportamientos son difíciles de realizar además de considerar un comportamiento moralmente incorrecto. Sus resultados mostraron que las variables demográficas (edad, estado civil, grado educacional), las variables de la teoría del comportamiento planificado (actitud y control conductual percibido) y las variables extendidas (normas morales e identidad) son significantes predictores en la intención de un comportamiento de pasarse la luz roja. Sugieren sus resultados como referencia para programas educativos sobre seguridad y reducir la tasa de estos comportamientos.

En un estudio de ciclismo naturalista Schleinitz *et al.* (2019) usaron los datos de 88 participantes (32 mujeres, 56 hombres) para analizar el comportamiento en luz roja en sus viajes diarios durante cuatro semanas, lo hicieron por medio de la implementación de dos videocámaras, un sensor de velocidad y una batería, por medio de las cuales se obtuvieron datos para su análisis, alrededor de 1000 horas de video fueron revisadas de las cuales se presentaron cerca de 8000 situaciones de luz roja, en un 16.3% de estas situaciones se pasaron la luz roja, estos eventos eran menores cuando manejaban por la calle además de la complejidad de la intersección también influye en este comportamiento, es más común cuando se va a girar a la derecha que a la izquierda o cruzar, también observaron un número

considerable de casos en los cuales se cambiaba de infraestructura para así evitar la luz roja.

Podemos darnos cuenta a través de diversos estudios que la violación hacia la luz roja suele ser recurrente en muchos usuarios. Fueron los hombres jóvenes quienes presentaban en mayor medida estos comportamientos; las variables que resultaron importantes y fueron tomadas en cuenta en prácticamente toda la documentación fueron la edad, género y tamaño de grupo. Además, algunos autores encontraron importantes el tipo de bicicleta, la velocidad, uso de casco, tipo de infraestructura y clima, ya que estos presentaban relación importante en la toma de decisiones.

Resulta interesante también la clasificación al realizar estos comportamientos, como obedecer la luz roja, toma de riesgo y cruzar después de una parada inicial, fue implementada por Wu *et al.* y Fraboni *et al.* obteniendo una buena apreciación del estudio observacional. Todos los métodos de análisis empleados ofrecen buenos resultados a la hora relacionar las variables con el comportamiento.

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentará el proceso por medio del cual se llevará a cabo la investigación sobre las conductas ciclistas, empezando con delimitación de intersecciones hasta interpretación de datos, el cual será por medio de las metodologías de estudios previos sobre conductas ciclistas (Johnson *et al.*, 2013; Schleinitz *et al.*, 2019; Fraboni *et al.*, 2018) y para lograr el objetivo expuesto, la presente investigación consta de cinco etapas como se muestra en la figura 3.1 el siguiente diagrama de actividades:

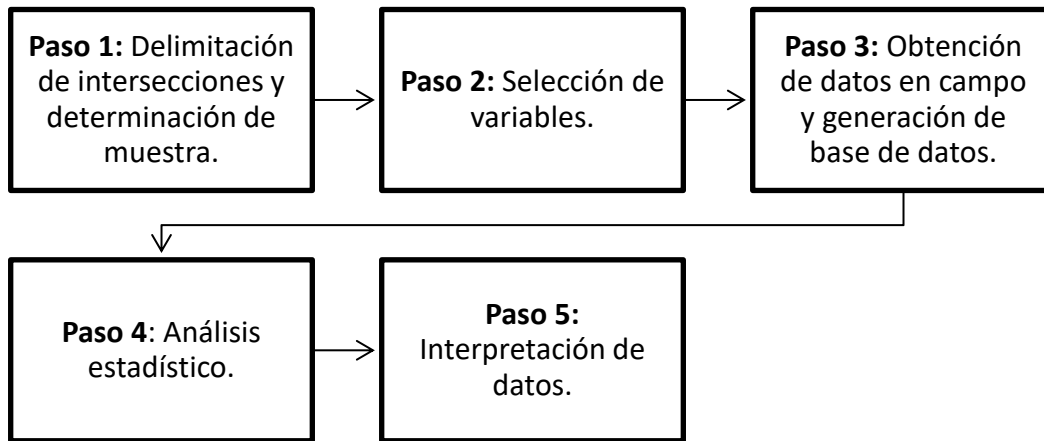


Figura 3.1 Diagrama de actividades, Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen cada una de las etapas en las que consiste la investigación:

1er paso: se procedió a selección de las intersecciones ubicadas en el primer cuadro de la ciudad del municipio Santiago de Querétaro, se identificaron sitios de manera que se obtengan datos representativos tomando en cuenta zonas con alta afluencia ciclista y características de la infraestructura representativas. Con base a previos estudios (Fraboni *et al.*, 2018), se seleccionaron sitios observacionales donde se satisfacen los siguientes requerimientos: distancia suficiente entre cada sitio, que la presencia de la cámara no interfiera con su comportamiento y que la infraestructura cuente con semaforización exclusiva y mixta.

La selección fue apoyada de acuerdo a la infraestructura ciclista existente en el municipio, la cual además de incluir ciclovías también incluye aquellos carriles que han sido adaptados para preferencia al ciclista lo cual involucra tráfico mixto. Fué de ayuda tomar en cuenta lugares de interés cercanos a las intersecciones, se usaron bases de datos de accidentes ciclistas.

Es necesario que la infraestructura seleccionada cumpla con los requisitos de la investigación por lo que además de buscar el tráfico mixto también se buscaron aquellas intersecciones con infraestructura dedicada a los ciclistas como carriles

bicicleta segregados y semáforo para ciclistas, se toma en cuenta que se tengan altos volúmenes de tráfico motorizado, puntos centrales de la ciudad, vehículos de dos ruedas con motor, peatones y ciclistas. Pueden ser principales intersecciones que conectan la ciudad, se tendrá en cuenta si son tanto trabajadores como estudiantes universitarios, considerando los accesorios que llevan.

2do paso: Se procedió en el segundo paso a seleccionar variables, tomando en cuenta futuras recomendaciones que se han considerado como relevantes debido a que pueden ser importantes factores en el estudio, o bien no les fue posible tomar a consideración, también fueron de gran importancia aquellas que hayan obtenido resultados los cuales indiquen que poseen mayor influencia en el comportamiento ante semáforos de acuerdo a estudios previos (Johnson *et al.*, 2013; Schleinitz *et al.*, 2019; Fraboni *et al.*, 2018), La clasificación en la cual se basa el comportamiento es en tres etapas, que no pare en rojo, violar luz roja después de una parada inicial y por último que pare por toda la duración de la luz roja (Fraboni *et al.*, 2018; Pai & Jou, 2014).

3er paso: El tercer paso se procedió a la obtención de datos en campo por medio de los cuales se analizarán las variables a evaluar, éstos constan de un conjunto de horas de audio video que fueron obtenidas a través de videograbaciones realizadas en las intersecciones previamente identificadas, se procedió de manera que se obtengan datos sobre las horas pico y los días laborables, se tuvo en cuenta la variación diaria de las características del tráfico, los días fueron seleccionados de forma aleatoria, estableciendo intervalos de 1 hora para cada observación realizada, mañana y tarde. Se contó con información suficiente de cuatro intersecciones, obteniendo al menos 8 horas para cada intersección, sumando 32 horas, 16 para cada tipo de infraestructura, esto basandonos en estudios como el de Fraboni *et al.* (2018).

El observador especificó las características de las interacciones como número de brazos, usuarios de ella, infraestructura además de agregar detalles importantes,

el equipo empleado se detalla en la obtención de datos en campo sección 4.3, informando las especificaciones las cuales son suficientes para el objetivo. Habiendo realizado cada uno de los levantamientos se contó con la información necesaria para proceder a la generación de base de datos, documentando variables (Johnson *et al.*, 2013; Schleinitz *et al.*, 2019; Fraboni *et al.*, 2018) y el comportamiento en el semáforo (Fraboni *et al.*, 2018; Pai & Jou, 2014).

4to paso: El análisis estadístico realizado en el cuarto paso fue mediante Chi-cuadrada (Fraboni *et al.*, 2018; Bai *et al.*, 2015) para lo cual se empleó el software SPSS versión 23, se examinó la relación entre las variables como género, edad, estrategias de búsqueda visual entre los diferentes tipos de comportamiento en la luz roja. Para una mejor comprensión del papel de las variables consideradas, se predice la aparición de diferentes comportamientos de luz roja, adoptando una metodología de clasificación de diagrama de árbol la cual clasifica las observaciones dividiendo recursivamente el espacio del predictor y el modelo resultante puede expresarse como una estructura de árbol jerárquica.

5to paso: Una vez obtenidos los resultados del análisis estadístico, en el quinto paso fueron interpretados los datos, de esta manera se obtuvieron las variables que cuentan con mayor influencia a los comportamientos ciclistas en el municipio de Santiago de Querétaro en intersecciones semaforizadas. La clasificación de diagrama de árbol fue de gran ayuda para la interpretación de las variables seleccionadas, ayudó a identificar mejor los grupos, descubrir las relaciones entre ellos y predecir eventos futuros, apoyando así los procesos de toma de decisiones y el análisis de factores de riesgo. Debido a que es de fácil interpretación, los árboles de decisión han recibido una gran popularidad en una variedad de campos, y se han sido utilizados en muchos estudios (Elmitiny *et al.*, 2010; Pitombo *et al.*, 2011; Rengarasu *et al.*, 2009; Yan *et al.*, 2010; Fraboni *et al.*, 2018). Posterior a la interpretación de los resultados se da pauta para poder concluir si la hipótesis propuesta se comprueba o rechaza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan de acuerdo a las actividades programadas, por apartados para la delimitación de intersecciones y determinación de la muestra, la selección de variables, la obtención de datos en campo y generación de base de datos, el análisis estadístico y por último la interpretación de los datos.

4.1 Selección de Intersecciones y delimitación de la muestra

4.1.1 Selección de intersecciones



Figura 4.1 Ubicación de hechos ciclistas, Fuente: Elaboración propia con datos del municipio de Querétaro.

Para la selección de intersecciones se propuso analizar la ubicación de accidentes ciclistas para los años 2017 y 2018, los cuales fueron obtenidos a través del Municipio de Querétaro, y por medio de Google Earth se procedió a obtener la ubicación de las coordenadas dadas, a continuación, en la figura 4.1 encontramos la ubicación de aquellos cercanos al primer cuadro de la ciudad. Además, por medio de la publicación técnica 550 del IMT (2018), encontramos en la figura 4.2 otros puntos los cuales también ayudaron para la selección.



Figura 4.2 Puntos en donde se involucran percances viales con ciclistas, en la zona centro del municipio de Querétaro, Fuente: IMT (2018).

Se verificó por medio de la plataforma Google Maps, como se observa en la figura 4.3, la presencia de infraestructura ciclista cerca de los hechos presentados, ya sea carril exclusivo (en color verde) o bien calles con preferencia al ciclista (en color morado).



Figura 4.3 Infraestructura ciclista Google Maps e intersecciones seleccionadas, Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la tabla 4.1 en la cual se realizó la comparativa de intersecciones tomando en cuenta que se cuente con infraestructura ciclista o bien carril preferencial, el número de accidentes cercanos, flujo alto y lugares de interés cercanos, al ser el primer cuadro se está rodeado de escuelas, museos, plazas por lo que se considera que las intersecciones mostradas cuentan con al menos un sitio cercano.

Se concluye a través del análisis del número de accidentes, consideradas como intersecciones principales y/o que conectan lados de la ciudad como este y oeste además de presentar altos flujos de ciclistas y vehículos, las intersecciones seleccionadas son: Av. Universidad – Tecnológico, 5 de febrero – Río Ayutla (con presencia de semáforo ciclista), Tecnológico – Hidalgo y Zaragoza – Tecnológico (sin semáforo ciclista).

Tabla 4.1 Comparativa intersecciones.

Intersección		Infraestructura Ciclista/Carril preferencial	Accidentes cercanos	Lugares de interés	Flujo alto
Ignacio Zaragoza	Corregidora	No	1	Sí	Sí
Av. Universidad	Ezequiel Montes	Sí	3	Sí	Sí
Av. Universidad	Benito Juárez	Sí	1	Sí	Sí
5 de febrero	Xicoténcatl	No	1	Sí	No
Ignacio Zaragoza	Tecnológico	Sí	2	Sí	Sí
Ezequiel Montes	Hidalgo	Sí	1	Sí	Sí
Ignacio Zaragoza	Benito Juárez	Sí	1	Sí	Sí
5 de febrero	Ignacio Zaragoza	No	2	Sí	Sí
Av. Universidad	Tecnológico	Sí	3	Sí	Sí
5 de febrero	Río Ayutla	Sí	3	Sí	Sí
Tecnológico	Hidalgo	Sí	3	Sí	Sí
5 de febrero	Hidalgo	Sí	1	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Determinación de la muestra

Para determinar la muestra fueron necesarios aforos ciclistas en las intersecciones seleccionadas para obtener horarios de máxima demanda, tanto matutinos como vespertinos, al contar con éstos se procedió a la obtención de videograbaciones durante esta hora durante días entre martes a jueves para así obtener una muestra que fue recolectada durante ocho horas de grabación por sitio de las cuales se repartieron cuatro por la mañana y las cuatro restantes por la tarde; En la tabla 4.2, se presenta el número de ciclistas observados por cada sitio, cabe mencionar que fueron descartados varios ciclistas en cada uno de estos, debido a distintas razones, ya sea porque pasaron durante fase verde, o bien no fue posible apreciar el comportamiento en el video, la distribución aproximada que se tiene es del 25% de ciclistas observados por cada intersección.

Tabla 4.4.2 Ciclistas observados por sitio observacional

Sitio de observación	Nomenclatura	Tipo de semáforo	Número de ciclistas
5 de febrero / Río Ayutla	1E	Exclusivo	231 (23.1%)
Av. Universidad / Tecnológico	2E		256 (25.6%)
Hidalgo / Tecnológico	3M	Mixto	275 (27.5%)
Tecnológico / Zaragoza	4M		238 (23.8%)

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Selección de Variables

Las variables a considerar fueron seleccionadas por medio de estudios previos y recomendaciones de autores, a continuación, en la tabla 4.3 se presenta el resumen de las variables según autores, se toman en cuenta además presencia de mochila ya sea para asociarlo a actividades educativas o bien mochilas tipo repartidor para asociarla a realización de labores, aunado a estas, debido a la pandemia el uso de cubrebocas también se tomó en cuenta.

Tabla 4.4.3 Variables y autores

Autores	Variable
Johnson <i>et al.</i> , 2011; Wu <i>et al.</i> , 2012; Pai & Jou, 2014; Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Edad
Wu <i>et al.</i> , 2012; Pai & Jou, 2014; Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Género
Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Uso de audífonos
Marín <i>et al.</i> 2015; Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Uso de teléfono inteligente
Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Estrategias de búsqueda visual
Wu <i>et al.</i> , 2012; Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Tamaño del grupo
Richardson & Caulfield, 2015	Infraestructura
Fraboni <i>et al.</i> , 2018	Comportamiento en semáforo
Pai & Jou, 2014; Richardson & Caulfield, 2015	Condiciones climatológicas
Johnson <i>et al.</i> , 2011; Pai & Jou, 2014	Uso de caso

Fuente: elaboración propia.

4.3 Obtención de datos en campo y generación de base de datos

Para la obtención de los datos en campo fue necesario la implementación de una cámara Yi Action Camera, además debido a el tiempo de grabación fue necesario el uso de una batería externa, tal como se muestra en la figura 4.4. Se procedió a la obtención de horas pico en cada una de las intersecciones para proceder a grabar, se cuenta con ocho horas de grabación de cada intersección, siendo cuatro por la mañana y las cuatro restantes por la tarde. Estos datos fueron analizados posteriormente con detenimiento, a partir de esto se procedió a llenar hojas de registro a mano donde se toman en cuenta los factores para los comportamientos, el registro se realiza solo para los ciclistas que se acercaron a la intersección durante la fase de luz roja, ya que solo interesa observar el comportamiento en luz roja (Wu *et al.*, 2012).



Figura 4.4 Cámara y batería, Fuente: Obtención propia.

4.3.1 Sitios observacionales

De acuerdo con Fraboni *et al.*, (2018) los sitios se describen de manera breve en cuanto al tránsito de vehículos, además se externan las características de la

infraestructura, así como imágenes de planta y punto de vista del ciclista, el campo de visión se ha calculado a través del software AutoCAD. Para cada tipo de intersección se registró el tipo de semáforo, tipo de infraestructura, el volumen de tráfico motorizado, tiempo de espera de las intersecciones, así como las características de los sitios observacionales. A continuación, se presenta la tabla 4.4 en manera de resumen.

Tabla 4.4.4 Características de los sitios observacionales

Intersección	Infraestructura ciclista	Tipo de semáforo	Volumen de tráfico motorizado (VHMD)	Tiempo de espera (s)
1E	Carril segregado	Exclusivo	3846	100-130
2E	Carril segregado	Exclusivo	2460	80
3M	Carril pintado	Mixto	1658	60-100
4M	Carril pintado	Mixto	3446	70

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 4.5 se encuentra el sitio observacional 5 de febrero / Río Ayutla (1E), una el lado oeste y el este de la ciudad, muy concurrida con un VHMD de 3846 vehículos por hora, en la cual encontramos gran presencia de autobuses, automóviles, motocicletas, bicicletas e incluso tráilers, con un porcentaje de vehículos pesados de 10.9%, se cuenta con semaforización exclusiva para ciclistas con tiempos de espera de entre 100 y 130 segundos, el carril bicicleta está al lado de la calzada (segregado) y no se mezcla con los vehículos de automotor. Los ciclistas que son tomados en cuenta son los que esperan en los puntos A y B.



Figura 4.5 intersección 5 de febrero / Río Ayutla, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth

En la figura 4.6 se presenta Av. Universidad / Tecnológico (2E), este sitio cuenta con un VHMD de 2460 vehículos por hora, con un porcentaje de vehículos pesados no tan grande de 8.1%, se cuenta de la presencia de autobuses, automóviles, motocicletas y bicicletas, la semaforización es exclusiva para ciclistas, tiempo de espera entre 80 segundos, en todos los brazos de la intersección el carril bicicleta está a un lado de la calzada y no se mezcla con los vehículos de automotor, se toman en cuenta los ciclistas que paran en los puntos A y B.



Figura 4.6 intersección Av. Universidad / Tecnológico, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth

En la figura 4.7 se observa la intersección Hidalgo / Tecnológico (3M), intersección la cual posee muchos puntos de interés cercanos, universidades, hospital, plazas entre otros, este sitio es el menos concurrido con un total de 1658 VPH para su VHMD, hay presencia de autobuses, automóviles, motocicletas y bicicletas, cuenta con un porcentaje de pesados de 8.63%, no se cuenta con semaforización exclusiva para ciclistas, el tiempo de espera es entre 60 a 100 segundos, uno de los brazos presenta carril bicicleta al lado de la calzada, en otro el carril esta junto a los vehículos de automotor, y después del semáforo pasa a ser segregado.



Figura 4.7 intersección Hidalgo / Tecnológico, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth

Por último, en la figura 4.8 se presenta la intersección Tecnológico / Zaragoza (4M), una el lado norte y el sur de la ciudad, cruza una de las avenidas principales de la ciudad con altas demandas, cuenta con varios puntos de interés cercanos, como hospitales, restaurantes, paradas de autobuses entre otros, es una intersección concurrida con un VHMD total de 3446 VPH la cual cuenta con gran presencia de autobuses, automóviles, motocicletas y bicicletas, con un porcentaje de vehículos pesados de 8.4% el semáforo es mixto ya que el carril bicicleta se mezcla con los vehículos de automotor, el tiempo de espera es de 70 segundos.



Figura 4.8 intersección Tecnológico / Zaragoza, Fuente: Elaboración propia apoyado de Google Earth

4.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se optó por el uso del software SPSS versión 23 empleando el estadístico descriptivo Chi-cuadrada (Fraboni *et al.*, 2018; Bai *et al.*, 2015), debido a buenos resultados que se han obtenido en los estudios previos, se examinó la relación entre las variables como género, edad, estrategias de búsqueda visual entre los diferentes tipos de comportamiento en la luz roja. También se realizó esperando obtener una mejor comprensión del comportamiento, y predicciones de este, una metodología de clasificación de diagrama de árbol, usando el mismo software, se clasificaron las observaciones dividiendo recursivamente el espacio del predictor y el modelo resultante puede expresarse como una estructura de árbol jerárquica.

Tabla 4.5 Comportamiento en luz roja por sitio observacional

Sitios observacionales	Para durante toda la duración		Viola la luz roja después de una parada		No para en luz roja	
	n	%	n	%	n	%
1E	87	37.70%	88	38.10%	56	24.20%
2E	56	24.20%	104	45.00%	96	41.60%
3M	71	30.70%	110	47.60%	94	40.70%
4M	106	45.90%	62	26.80%	70	30.30%
Total	320	32%	364	36.40%	316	31.60%

Fuente: Elaboración propia

4.5 Interpretación de datos

Los resultados obtenidos se presentan una vez realizado el análisis estadístico chi cuadrada que nos permite confirmar o rechazar la dependencia estadística entre ciertas variables y el comportamiento en la luz roja, además de implementar una clasificación de diagrama de árbol la cual ayuda a una mayor comprensión respecto

a las variables estudiadas y su importancia en la predicción del comportamiento en luz roja.

4.5.1 Chi cuadrada

En total se observaron 1000 ciclistas de los cuales 193 son mujeres, en general se observó un comportamiento más cauteloso por parte de las ciclistas femeninas las cuales en cerca de un 40% obedecieron la luz roja, en un 38% cruzaron después de un alto, y solamente un 22% cruzaron sin realizar una parada previa. En cuanto a la edad, cerca de un 75% de los ciclistas se encontraron dentro de un rango de edad de entre 15 a 30 años, dentro de los que solamente 28% respetaron la luz roja.

Como se observa en la tabla 4.5 la intersección de Av. Universidad / Tecnológico tiene una mayor cantidad de ciclistas que no paran durante la luz roja, superando con dos ciclistas a la intersección Hidalgo / Tecnológico para cual el número de ciclistas que violan la luz roja después de una parada fue ligeramente mayor, solamente por seis ciclistas, siendo estas intersecciones las cuales presentan un mayor comportamiento de riesgo.

En la tabla 4.6 se muestran los resultados para chi cuadrada, es apreciable la existencia de una dependencia estadística de las variables obteniendo como resultados que el género y edad toman gran importancia, siendo los hombres de entre 15 y 30 años más propensos a cruzar la luz roja, ya sea después de una parada o no parar en ella, la búsqueda visual resulta un gran determinante a la hora de cruzar la luz roja, aunque suelen ser mayores los casos en los que solo se voltea a un lado, siendo este hacia el sentido contrario de circulación de los vehículos motorizados. El grupo de personas tiene gran importancia en aquellos ciclistas que optaron por cruzar después de una parada. Para observar las frecuencias de las variables en los tipos de comportamientos consultar anexo 1.

Tabla 4.6 Valores Chi cuadrada para las variables analizadas.

Variable	Comportamiento en luz roja χ^2
1. Género	12.75**
2. Edad	27.185***
3. Búsqueda visual	333.969***
4. Uso de casco	16.155***
5. Porta mochila	6.246
6. Grupo de personas	28.233***
7. Tipo de infraestructura	4.492
8. Uso de audífonos	0.967
9. Uso de celular	17.842***
10. Hora del día	4.24
11. Uso de cubrebocas	10.604**
12. Tipo de bicicleta	33.158**
13. Chaleco reflectivo	56.396***

***, **, * = Nivel de significancia al 1%, 5%
y 10 %

Fuente: Elaboración propia.

Los ciclistas que paran durante toda la duración suelen ser los que portan en mayor medida los cascos, en cuanto al uso de audífonos no hay relevancia alguna en alguno de los comportamientos, en cuanto al uso del celular es notorio en aquellos ciclistas que paran y aprovechan el tiempo de espera para el uso de éste, el uso del cubrebocas suele ser mayor en el comportamiento de espera, relacionándolo a una responsabilidad social mayor. El portar mochila no tuvo efectos significantes, en el cruce de luz roja. La hora del día también obtuvo poca significancia.

Por otro lado, el tipo de infraestructura no tiene efectos notorios, sin embargo, se puede observar una menor recurrencia en cruces sin parada en las intersecciones y que también la infraestructura exclusiva tiene un mayor número de casos en los cuales se observa un cruce después de parada, lo que indica que estos ciclistas hacen búsqueda visual antes de un cruce.

El tipo de bicicleta obtuvo gran importancia a la hora de analizarlos, se puede observar que un gran número de usuarios de bicicletas de ruta se pasaron la luz roja, los usuarios de bicicletas tipo BMX son todos hombres los cuales en su mayoría hacen una parada antes de cruzar la luz roja, en cuanto a los usuarios de las bicicletas que proporciona para renta el estado (Qrobici) se observa el respeto a los semáforos, de igual manera los de carga frontal.

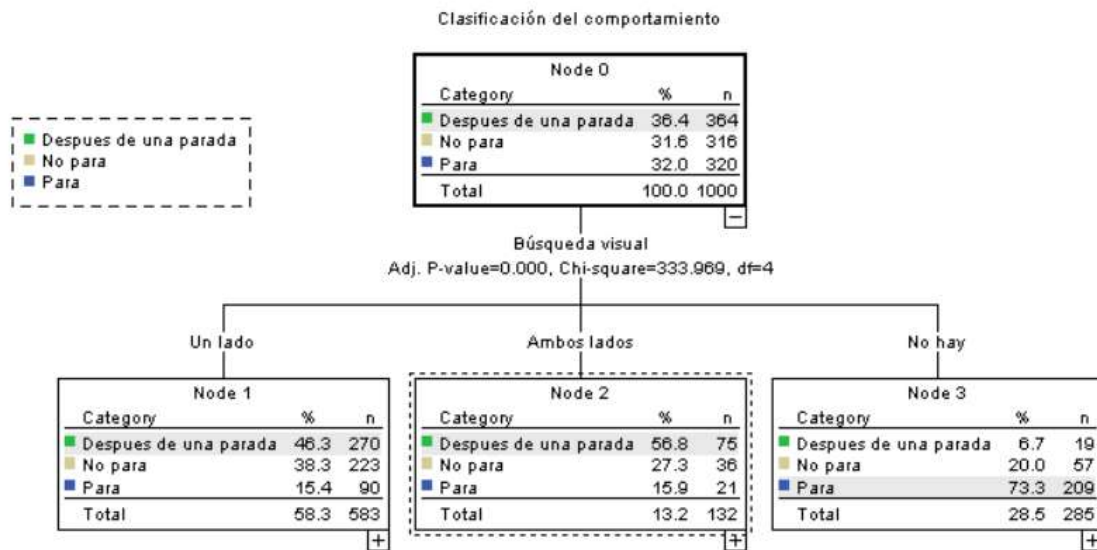


Figura 4.9 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, primera partición, Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Diagrama de árbol

La figura 4.9 muestra la primera partición del diagrama de árbol el cual muestra el nodo raíz (Nodo 0) el cual incluye toda la muestra, de un total de mil ciclistas los cuales se reparten en tres nodos subsecuentes correspondientes al empleo de búsqueda visual, 583 emplearon una búsqueda visual hacia un lado, para ambos lados 132 de los cuales 75 cruzaron la luz roja después de una parada lo que puede indicar el asegurar el paso seguro y 285 ciclistas no realizaron búsqueda visual, de los cuales 209 esperan en luz roja.

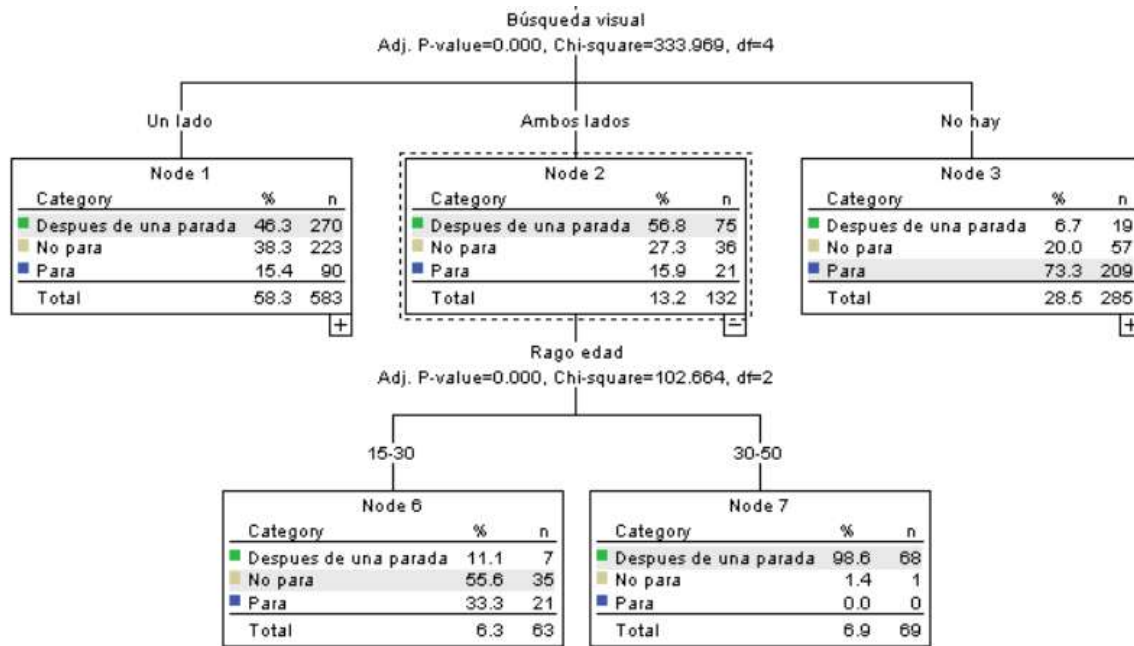


Figura 4.11 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, tercera partición, Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.11 se presenta la tercera partición del diagrama, se muestra el nodo dos que corresponde a la búsqueda empleando el movimiento de cabeza hacia ambos lados, de los cuales un poco más de los ciclistas de entre 30-50 voltearán a ambos lados realizando un cruce después de una parada, y de entre 15-30 alrededor de un 55% no pararán al haber realizado esta búsqueda visual a ambos lados. El tercer nodo se presenta en la cuarta partición del diagrama, como se puede observar en la figura 4.12, corresponde al no empleo de búsqueda visual, son en su mayoría entre 30 a 50 años, como se puede apreciar en el nodo nueve y última parte del diagrama alrededor de un 60%, son mujeres que se detienen en la intersección.

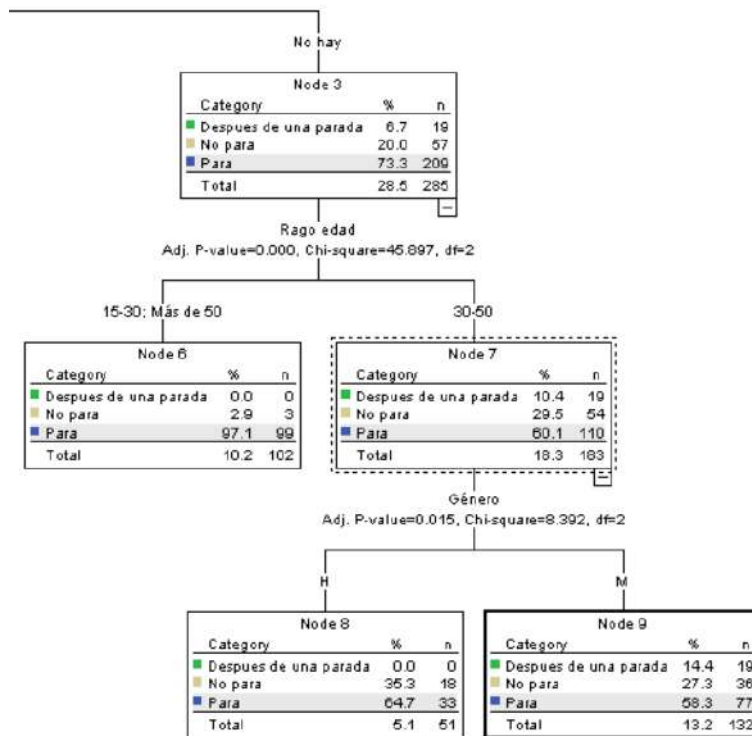


Figura 4.12 Diagrama de árbol de acuerdo a la clasificación del comportamiento, cuarta partición, Fuente: Elaboración propia.

El uso del cubrebocas no fue previamente analizado por ningún autor, por lo tanto, resultó importante su análisis debido a la situación actual. Resulta muy interesante la dependencia estadística que nos muestra, ya que se encontró que el uso del cubrebocas está relacionado con el respeto a la señal de alto. Howard, (2021), nos habla de la percepción del uso de cubrebocas, entendiendo dicho comportamiento con la asociación a la educación, persuasión e incentivación, comprendiendo así un mayor respeto hacia la ley.

En cuanto a la infraestructura, el análisis del semáforo exclusivo y mixto no resultó tener importancia en este comportamiento, si bien como lo mencionan Richardson & Caulfield (2015) se observa el uso de infraestructura peatonal y fase siga peatonal, resulta en conflictos además de ser de riesgo para ambos usuarios.

A partir de los resultados obtenidos se observa que los ciclistas masculinos jóvenes son más propensos a realizar cruces en luz roja, lo que concuerda con diversos autores (Bai & Sze, 2020; Fraboni *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2014; Johnson *et al.*, 2011, 2013; Pai & Jou, 2014; Wu *et al.*, 2012; H. Yang *et al.*, 2018), aunque suele haber casos específicos como el de Zhang *et al.*, 2016, que no lograron encontrar relevancia en edad o género, en la mayoría de los casos se concuerda con los resultados. En este estudio se esperaba contar con mayor influencia sobre la infraestructura tales fueron los casos de Johnson *et al.*, 2011, Richardson & Caulfield, 2015 y Schleinitz *et al.*, 2019, quienes encontraron importancia en ésta, sin embargo, fue posible notar que muchos de los cruces fueron durante la fase verde peatonal, haciendo cambios de infraestructura peatonal o ciclista para lograr estos cruces, lo que causa conflicto a los peatones.

La ciudad de Santiago de Querétaro se encuentra en un porcentaje bastante alto en el cruce en luz roja ya que se encontró un total de 680 ciclistas lo que representa al 68% de la muestra, siendo mayor a resultados en estudios realizados en China con porcentajes de entre 50% y 64% (Wu *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012), Irlanda (Richardson & Caulfield, 2015) e Italia (Fraboni *et al.*, 2018) con 61.9% y 62.9% respectivamente, pero bastante lejanos al comportamiento que ha sido encontrado en países como Australia (Johnson *et al.*, 2011, 2013), quienes encontraron un porcentaje de cruce de luz roja de entre 6.9% a 37%, siendo los mínimos que fueron reportados en los estudios.

A continuación, con información de Richardson & Caulfield, (2015) se presenta la tabla 4.7 en la cual encontramos la comparativa entre diversas ciudades. En lo que concierne a México, no se encontraron datos los cuales nos permitan realizar la comparativa, por lo que el presente estudio nos permite tener una perspectiva del país con respecto a este comportamiento; es posible observar que se encuentra en la posición con mayores tasas de cruce en luz roja, solo por debajo de Irlanda en un estudio realizado por Lawson *et al.* en el año 2013, en contraste con países como

Australia en los cuales se encuentran estudios con tan solo un 6.9%, son datos con un alto grado de importancia, que además nos permiten visualizar al país con mayor claridad. Al ser presentados estos datos se da pauta a una aplicación práctica tanto para el diseño de vialidades y una normatividad los cuales cuenten con enfoque ciclista.

Tabla 4.7 Comparativa de porcentaje respecto a diversos estudios

Porcentaje de cruces en rojo	Autor	Ubicación
6.9%	Johnson <i>et al.</i> (2011)	Melbourne, Australia
9%	Daff and Barton (2005)	Melbourne, Australia
10.3%	Monsere <i>et al.</i> (2011)	Oregón, EUA
11%	Johnson <i>et al.</i> (2008)	Melbourne, Australia
16%	RNPR (2007)	Londres, UK
17%	Allen <i>et al.</i> (2005)	Londres, UK
27.4%	Van der Meel (2012)	Delft, Países Bajos
28%	Rogerson <i>et al.</i> (2012)	Santa Cruz, EUA
32%	Dewar (1992)	Michigan, EUA
37%	Johnson <i>et al.</i> (2013)	Melbourne, Australia
50%	Thom and Clayton (1992)	Washington D.C., EUA
50%	Wu <i>et al.</i> (2012)	Beijing, China
56%	Cole <i>et al.</i> (2011)	Oregón, EUA
61.5%	Tuckel and Milczarski (2013)	Nueva York, EUA
64.3%	Yang <i>et al.</i> (2012)	Beijing, China
61.5%	Richardson & Caulfield, (2015)	Dublín, Irlanda
68%	Estudio actual	Querétaro, México
87.5%	Lawson <i>et al.</i> (2013)	Dublín, Irlanda

Fuente: Elaboración propia con datos de Richardson & Caulfield, (2015).

5. CONCLUSIONES

Se concluye a través de la interpretación de los datos analizados que la hipótesis planteada no se cumple del todo, ya que el tipo de infraestructura, este caso el semáforo exclusivo o mixto no resultó relevante, por otro lado el uso de casco y estrategias visuales llegan a reflejar la incidencia de cruce junto con más variables como la edad, género, tamaño de grupo, tipo de bicicleta, celular, cubrebocas y chaleco reflectivo, contando con una dependencia estadística, siendo así los

hombres de entre 15 a 30 años aquellos que incurren en mayor medida el cruce en luz roja, ya sea con alto previo o bien sin realizarlo en la intersección. Se observó que la búsqueda visual da un indicio a este cruce y que dicha acción también es mayor cuando en un grupo de ciclistas alguno cruza, o bien, si algún ciclista estaba esperando y llega otro que cruza en rojo, suelen seguirlo.

El uso de cubrebocas en ciclistas no se había analizado previamente el cual fue relacionado con un respeto mayor hacia la luz roja. De igual manera, el portar casco, uso de celular, chaleco reflectivo, bicicleta de renta como las proporcionadas por Qrobici en el estado de Querétaro, son variables cuyo análisis resulta importante, teniendo en cuenta que son indicadores para determinar una acción. La presencia de un mayor número de vehículos automotor indica mayor respeto a la señal de alto, lo que se relaciona a la complejidad de la intersección.

Las variables observadas son resultados de análisis de estudios previos, los cuales han demostrado que tienen relevancia al momento de analizar las conductas en luz roja que, además de tomar en cuenta recomendaciones futuras sugeridas, pueden contar con una influencia en los ciclistas ante estas situaciones. Cabe mencionar que algunas variables, como el uso de cubrebocas, fueron agregadas por cuenta propia debido a la importancia de su uso durante la situación de pandemia actual (Gandhi & Marr, 2021).

Algunas de las variables analizadas fueron poco relevantes para el estudio, tales como el portar mochila, uso de audífonos o la hora del día o bien el tipo de infraestructura. Si bien encontramos que para algunos estudios como el de Richardson & Caulfield (2015) ésta última es relevante, e incluso se sugiere que sea analizada, se puede concluir que la semaforización, tanto exclusiva como mixta, no tienen relevancia en este comportamiento, de igual manera muchos de los cruces se realizan en la fase peatonal.

Los resultados presentados brindan conocimiento sobre el comportamiento de los ciclistas en la ciudad Santiago de Querétaro, por lo tanto, resulta importante implementar medidas, las cuales disminuyan estos comportamientos. Dichas infracciones se ven influenciadas por distintos factores, sin embargo, es posible concluir que los ciclistas que no cruzan en luz roja suelen ser los más cuidadosos y respetuosos.

Esta investigación pretende aportar información importante, tales como factores de riesgo para los ciclistas, ya que son indicadores los cuales dan pauta tanto a la planeación como implementación de programas sociales que a través de educación vial podrán crear conciencia a la importancia que conlleva el respeto a la señalización y al reglamento de tránsito, obteniendo de esta manera una reducción en hechos de tránsito ciclistas en intersecciones.

5.1 Líneas de investigación futura

Diversos estudios respecto a los comportamientos de ciclistas han tomado en cuenta distintas variables las cuales, si bien no han resultado de relevancia en sus casos particulares, es posible que en otras ciudades o entornos si tengan relevancia, por lo que se recomienda que futuros estudios tomen en cuenta características de la infraestructura más a fondo, tales como longitud de cruce, tipo de intersección, de igual manera la consideración de la velocidad ha sido relevante en estudios como el de Pai y Jou (2014), por lo que es importante su estudio, los grupos de edad pueden ser reducidos empleando de cámaras con mejor calidad, ya que puede no llegar a definirse con precisión la edad del sujeto, además los volúmenes tanto ciclistas como vehiculares se vieron afectados por la pandemia lo cual sugiere realizar estudios en situación normalizada.

6. REFERENCIAS

- AASHTO. (2012). *Guide for the developmento of Bicycle Facilities* (Vol. Fourth Edition). Washington DC: IHS.
- Aldred, R. (2016). Cycling near misses: Their frequency, impact, and prevention. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 90, 69–83. doi:10.1016/j.tra.2016.04.016
- Aljoufie, M. (2017). Examining the Challenges of Bicycle Use in Jeddah City. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 269–281. doi:10.1016/j.proenv.2017.03.058
- Amoros, E., Martin, J.-L., & Laumon, B. (2006). Under-reporting of road crash casualties in France. *Accident Analysis & Prevention*, 4, 627–635. doi:10.1016/j.aap.2005.11.006
- Assailly, J. P. (2017). Road safety education: What works? . *Patient Education and Counseling*, 100, S24–S29. doi:10.1016/j.pec.2015.10.017
- Ba, Y., Zhang, W., Chan, A. H. S., Zhang, T., & Cheng, A. S. K. (2016). How drivers fail to avoid crashes: A risk-homeostasis/perception-response (RH/PR) framework evidenced by visual perception, electrodermal activity and behavioral responses. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 43, 24–35. doi:10.1016/j.trf.2016.09.025
- Bai, L., & Sze, N. N. (2020). Red light running behavior of bicyclists in urban area: Effects of bicycle type and bicycle group size. *Travel Behaviour and Society*, 21, 226–234. doi:doi.org/10.1016/j.tbs.2020.07.003
- Bai, L., Liu, P., Guo, Y., & Yu, H. (2015). Comparative Analysis of Risky Behaviors of Electric Bicycles at Signalized Intersections. *Traffic Injury Prevention*, 16(4), 424-428. doi:10.1080/15389588.2014.952724

- Billot-Grasset, A. & Hours, M. (2016). How cyclist behavior affects bicycle accident configurations? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 261–276. doi:10.1016/j.trf.2015.10.007
- Bopp, M., Sims, D., & Piatkowski, D. (2018). Benefits and Risks of Bicycling. In *Bicycling for Transportation*. Elsevier. doi:0.1016/b978-0-12-812642-4.00002-7
- Börjesson, M., & Eliasson, J. (2012). The value of time and external benefits in bicycle appraisal. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 673–683. doi:10.1016/j.tra.2012.01.006
- Bösehans, G., & Massola, G. M. (2018). Commuter cyclists' risk perceptions and behaviour in the city of São Paulo. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 414–430. doi:10.1016/j.trf.2018.06.029
- de Souza, A. A., Sanches, S. P., & Ferreira, M. A. G. (2014). Influence of Attitudes with Respect to Cycling on the Perception of Existing Barriers for Using this Mode of Transport for Commuting. . *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 162, 111–120. doi:10.1016/j.sbspro.2014.12.191
- Donaire-Gonzalez, D., de Nazelle, A., Cole-Hunter, T., Curto, A., Rodriguez, D. A., Mendez, M. A., ... Nieuwenhuijsen, M. J. (2015). The Added Benefit of Bicycle Commuting on the Regular Amount of Physical Activity Performed. *American Journal of Preventive Medicine*, 49(6), 842–849. doi:10.1016/j.amepre.2015.03.036
- Edwards, R. D., & Mason, C. N. (2014). Spinning the wheels and rolling the dice: Life-cycle risks and benefits of bicycle commuting in the U.S. *Preventive Medicine*, 64, 8-13. doi:10.1016/j.ypmed.2014.03.015

- Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., & Nashar, D. (2010). Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(1), 101-111. doi:10.1016/j.aap.2009.07.007
- Elvik, R. (2009). The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. . *Accident Analysis & Prevention*, *41*(4), 849–855. doi:10.1016/j.aap.2009.04.009
- Esmailikia, M., Radun, I., Grzebieta, R., & Olivier, J. (2019). Bicycle helmets and risky behaviour: A systematic review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *60*, 299–310. doi:10.1016/j.trf.2018.10.026
- Fraboni, F., Marín Puchades, V., De Angelis, M., Pietrantonio, L., & Prati, G. (2018). Red-light running behavior of cyclists in Italy: An observational study. *Accident Analysis & Prevention*, *120*, 219-232. doi:10.1016/j.aap.2018.08.013
- Fu, L., & Farber, S. (2017). Bicycling frequency: A study of preferences and travel behavior in Salt Lake City, Utah. . *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *101*, 30–50. doi:10.1016/j.tra.2017.05.004
- Fyhri, A., Sundfør, H. B., Weber, C., & Phillips, R. O. (2018). . (2018). Risk compensation theory and bicycle helmets – Results from an experiment of cycling speed and short-term effects of habituation. . *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *58*, 329–338. doi:10.1016/j.trf.2018.06.025
- Garrard, J., Rose, G., & Lo, S. K. (2008). Promoting transportation cycling for women: The role of bicycle infrastructure. *Preventive Medicine*, *46*(1), 55-59. doi:10.1016/j.ypmed.2007.07.010

- Goldenbeld, C., Daniels, S., & Schermers, G. (2019). Red light cameras revisited. Recent evidence on red light camera safety effects. *Accident Analysis and Prevention*, 128, 139-147. doi:10.1016/j.aap.2019.04.007
- Griffin, W., Haworth, N., & Twisk, D. (2020). Patterns in perceived crash risk among male and female drivers with and without substantial cycling experience. . *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, , 69, 1–12. doi:10.1016/j.trf.2019.12.013
- Groeger, J. A. (2011). How Many E's in Road Safety? *Handbook of Traffic Psychology*, 3-12. doi:10.1016/b978-0-12-381984-0.10001-3
- Guo, Y., Liu, P., Bai, L., Xu, C., & Chen, J. (2014). Red light running behavior of electric bicycles at signalized intersections in China. *Transportation Research Record*, 2468, 28–37. doi:doi.org/10.3141/2468-04
- Harris, M.A., Reynolds, C.C.O., Winters, M., Crompton, P.A., Shen, H., Chipman, M.L., Cusimano, M.D., Babul, S., Brubacher, J.R., Friedman, S.M., Hunte, G., Monro, M., Vernich, L., Teschke, K. (2013). Comparing the effects of infrastructure on bicycling injury at intersections and non-intersections using a case-crossover design. *Injury Prevention*, 303-310. doi:10.1136/injuryprev-2012-040561
- Howard, M. C. (2021). Gender, face mask perceptions, and face mask wearing: Are men being dangerous during the COVID-19 pandemic? *Personality and Individual Differences*, 170, 110417. doi:doi.org/10.1016/j.paid.2020.110417
- Høye, A. (2018). Bicycle helmets – To wear or not to wear? A meta-analysis of the effects of bicycle helmets on injuries. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 85–97. doi:10.1016/j.aap.2018.03.026

- Huemer, A. K. (2018). Motivating and deterring factors for two common traffic-rule violations of cyclists in Germany. *Transportation Research Part F*, 54, 223-235. doi:10.1016/j.trf.2018.02.012
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (24 de 09 de 2018). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*. Recuperado el 24 de 09 de 2019, de https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/default.html#Datos_abiertos
- Jahangiri, A., Rakha, H., & Dingus, T. A. . (2016). Red-light running violation prediction using observational and simulator data. *Accident Analysis & Prevention*, 96, 316–328. doi:10.1016/j.aap.2016.06.009
- Jensupakarn, A., & Kanitpong, K. . (2018). Influences of motorcycle rider and driver characteristics and road environment on red light running behavior at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 113, 317–324. doi:10.1016/j.aap.2018.02.007
- Johnson, M., Charlton, J., Oxley, J., & Newstead, S. (2013). Why do cyclists infringe at red lights? An investigation of Australian cyclists' reasons for red light infringement. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 840-847. doi:10.1016/j.aap.2012.07.008
- Johnson, M., Newstead, S., Charlton, J., & Oxley, J. (2011). Riding through red lights: The rate, characteristics and risk factors of non-compliant urban commuter cyclists. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 323–328. doi:10.1016/j.aap.2010.08.030
- Kaplan, S., Luria, R., & Prato, C. G. (2019). The relation between cyclists' perceptions of drivers, self-concepts and their willingness to cycle in mixed traffic. *Transportation Research Part F*(62), 45-57. doi:doi:10.1016/j.trf.2018.12.011

- Krizek, K. J. (2019). Measuring the wind through your hair? Unravelling the positive utility of bicycle travel. *Research in Transportation Business & Management*, 71-76. doi:10.1016/j.rtbm.2019.01.001
- Kummeneje, A.-M., & Rundmo, T. . (2020). Attitudes, risk perception and risk-taking behaviour among regular cyclists in Norway. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 69, 135–150. doi:10.1016/j.trf.2020.01.007
- Lee, Y., Li, Z., Zhang, S., Roshandeh, A. M., Patel, H., & Liu, Y. (2014). Safety impacts of red light running photo enforcement at urban signalized intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(5), 309–324. doi:10.1016/S2095-7564(15)30278-6
- Lehtonen, E., Havia, V., Kovanen, A., Leminen, M., & Saure, E. (2016). Evaluating bicyclists' risk perception using video clips: Comparison of frequent and infrequent city cyclists. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 195–203. doi:10.1016/j.trf.2015.04.006
- Marín P., V., Fassina, F., Fraboni, F., De Angelis, M., Prati, G., de Waard, D., & Pietrantonio, L. (2018). The role of perceived competence and risk perception in cycling near misses. *Safety Science*, 105, 167–177. doi:10.1016/j.ssci.2018.02.013
- Marshall, W. E., & Ferenchak, N. N. (2019). Why cities with high bicycling rates are safer for all road users. *Journal of Transport and Health*, 13, 285-301. doi:10.1016/j.jth.2019.03.004
- Morrison, C. N., Thompson, J., Kondo, M. C., & Beck, B. (2019). On-road bicycle lane types, roadway characteristics, and risks for bicycle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 123-131. doi:10.1016/j.aap.2018.11.017

- Mrkajic, V., Vukelic, D., & Mihajlov, A. (2015). Reduction of CO₂ emission and non-environmental co-benefits of bicycle infrastructure provision: the case of the University of Novi Sad, Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 232–242. doi:10.1016/j.rser.2015.04.100
- National Association of City Transportation Officials . (2011). *Urban Bikeway Designing Guide*. Washington.
- O’Callaghan, F. V., & Nausbaum, S. (2006). Predicting Bicycle Helmet Wearing Intentions and Behavior among Adolescents. *Journal of Safety Research*, 37, 425–431. doi:10.1016/j.jsr.2006.08.001
- Obregón-Biosca, S. A., Betanzo-Quezada, E., Romero-Navarrete, J. A., & Ríos-Núñez, M. (2018). Rating road traffic education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 56, 33-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.03.033>
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Global status report on road safety*. Suiza: L’IV Com Sàrl. Obtenido de https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/es/
- Pai C. & Jou R. (2014). Cyclists’ red-light running behaviours: An examination of risk-taking, opportunistic, and law-obeying behaviours. *Accident Analysis and Prevention*(62), 191-198. doi:10.1016/j.aap.2013.09.008
- Park, J., Abdel-Aty, M., Lee, J., & Lee, C. (2015). Developing crash modification functions to assess safety effects of adding bike lanes for urban arterials with different roadway and socio-economic characteristics. . *Accident Analysis & Prevention*, 74, 179–191. doi:10.1016/j.aap.2014.10.024
- Pico-Merchán, M. E., González-Pérez, R. E., & Noreña-Aristizábal, O. P. (2011). Seguridad vial y peatonal: una aproximación teórica desde la política pública. *Revista Hacia la Promoción de la Salud*, 16(2), 190-204.

- Pitombo, C.S., Kawamoto, E., Sousa, A.J. (2011). An exploratory analysis of relationships between socioeconomic, land use, activity participation variables and travel patterns. *Transportation Policy*, 18(2), 347–357.
- Poó, F. M., López, S. S., Tosi, J., Nucciarone, M. I., & Ledesma, R. D. (2015). Educación vial y movilidad en la Infancia. *Psicología Escolar e Educativa*, 19(2), 387-395. doi:10.1590/2175-3539/2015/0192881
- Prati, G., Fraboni, F., De Angelis, M., Pietrantonio, L., Johnson, D., & Shires, J. (2019). Gender differences in cycling patterns and attitudes towards cycling in a sample of European regular cyclists. *Journal of Transport Geography*, 78, 1-7. doi:10.1016/j.jtrangeo.2019.05.006
- Pucher, J., Buehler, R., & Seinen, M. (2011). Bicycling renaissance in North America? An update and re-appraisal of cycling trends and policies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(6), 451–475. doi:10.1016/j.tra.2011.03.001
- Ren, Y., Wang, Y., Wu, X., Yu, G., & Ding, C. (2016). Influential factors of red-light running at signalized intersection and prediction using a rare events logistic regression model. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 266-273. doi:10.1016/j.aap.2016.07.017
- Rengarasu, T., Hagiwara, T., Hirasawa, M.,. (2009). Effects of road geometry and crosssection variables on traffic accidents: study using homogeneous road segments. *Transp. Res. Rec. Transportation Research Board*, 2102(1), 34–42.
- Reynolds, C.C.O., Harris, M.A., Teschke, K., Cripton, P.A., Winters, M., . (2009). The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environ Health*, 47(8), pp 47-97. doi:10.1186/1476-069X-8-47

- Richardson M. & Caulfield B. (2015). Investigating traffic light violations by cyclists in Dublin City Centre. *Accident Analysis and Prevention*, 84, 65-73. doi:10.1016/j.aap.2015.08.011
- Sanders, R. L. (2015). Perceived traffic risk for cyclists: The impact of near miss and collision experiences. *Accident Analysis & Prevention*, 75, 26-34. doi:10.1016/j.aap.2014.11.004
- Schepers, P., Fishman, E., Beelen, R., Heinen, E., Wijnen, W., & Parkin, J. (2015). The mortality impact of bicycle paths and lanes related to physical activity, air pollution exposure and road safety. *Journal of Transport & Health*, 2(4), 460–473. doi:10.1016/j.jth.2015.09.004
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., & Gehlert, T. (2018). Risk compensation? – The relationship between helmet use and cycling speed under naturalistic conditions. *Journal of Safety Research*. doi:10.1016/j.jsr.2018.10.006
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., Kröling, S., Gehlert, T., & Mach S. (2019). (E-)Cyclists running the red light – The influence of bicycle type and infrastructure characteristics on red light violations. *Accident Analysis & Prevention*, 122, 99-107. doi:10.1016/j.aap.2018.10.002
- Shell, D. F., Newman, I. M., Córdova-Cazar, A. L., & Heese, J. M. (2015). Driver education and teen crashes and traffic violations in the first two years of driving in a graduated licensing system. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 45–52. doi:10.1016/j.aap.2015.05.011
- Stelling-Konczak, A., Vlakveld, W. P., van Gent, P., Commandeur, J. J. F., van Wee, B., & Hagenzieker, M. (2018). A study in real traffic examining glance behaviour of teenage cyclists when listening to music: Results and ethical considerations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 55, 47–57. doi:doi.org/10.1016/j.trf.2018.02.031

- Stier, R., Jehn, P., Johannsen, H., Müller, C. W., Gellrich, N.-C., & Spalthoff, S. (2019). Reality or wishful thinking: do bicycle helmets prevent facial injuries? *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *48*, 1235–1240. doi:10.1016/j.ijom.2019.02.018
- Tencio, C. (2008). Una alternativa para la formación vial. *Revista Educación*, *32*, 13-26.
- Twisk, D. A. M., Commandeur, J. J. F., Vlakveld, W. P., Shope, J. T., & Kok, G. (2015). Relationships amongst psychological determinants, risk behaviour, and road crashes of young adolescent pedestrians and cyclists: Implications for road safety education. *Transportation Research Part F*, *30*, 45–56. doi:10.1016/j.trf.2015.01.011
- Twisk, D. A. M., Vlakveld, W. P., Commandeur, J. J. F., Shope, J. T., & Kok, G. . (2014). Five road safety education programmes for young adolescent pedestrians and cyclists: A multi-programme evaluation in a field setting. *Accident Analysis & Prevention*, *66*, 55–61. doi:10.1016/j.aap.2014.01.002
- University of North Carolina - Highway Safety Research Center. (2014). *North Carolina Bicycle Crash Types 2008-2012*. Obtenido de http://www.pedbikeinfo.org/pbcat_nc/pdf/summary_bike_types08-12.pdf
- Useche, S. A., Alonso, F., Montoro, L., & Esteban, C. (2019). Explaining self-reported traffic crashes of cyclists: An empirical study based on age and road risky behaviors. *Safety Science*, *113*, 105–114. doi:10.1016/j.ssci.2018.11.021
- Useche, S. A., Montoro, L., Tomas, J. M., & Cendales, B. (2018). Validation of the Cycling Behavior Questionnaire: A tool for measuring cyclists' road behaviors. *Transportation Research Part F*, *58*, 1021–1030. doi:10.1016/j.trf.2018.08.003

- Vandenbulcke G., Thomas E. & Int Panis L. (2014). Predicting cycling accident risk in Brussels: A spatial case–control approach. *Accident Analysis and Prevention*, 62, 341–357. doi:10.1016/j.aap.2013.07.001
- Wang, J.Y., Mirza, L., Cheung, A.K., Moradi, S. (2012). Transforming Auckland into a bicycle-friendly city: understanding factors influencing choices of cyclists and potential cyclists. *Australasian Transport Research Forum (ATRF)*.
- Wang, Z., Xue, M., Zhao, Y., & Zhang, B. (2020). Trade-off between environmental benefits and time costs for public bicycles: An empirical analysis using streaming data in China. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.13684
- Wu C., Yao L. & Zhang K. (2012). The red-light running behavior of electric bike riders and cyclists at urban intersections in China: An observational study. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 186–192. doi:10.1016/j.aap.2011.06.001
- Wu, X., Xiao, W., Deng, C., Schwebel, D. C., & Hu, G. (2019). Unsafe riding behaviors of shared-bicycle riders in urban China: A retrospective survey. *Accident Analysis & Prevention*, 131, 1–7. doi:10.1016/j.aap.2019.06.002
- Yan, F., Li, B., Zhang, W., & Hu, G. (2016). Red-light running rates at five intersections by road user in Changsha, China: An observational study. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 381–386. doi:10.1016/j.aap.2015.06.006
- Yan, X., Richards, S., Su, X. (2010). Using hierarchical tree-based regression model to predict train-vehicle crashes at passive highway-rail grade crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 64–74.
- Yang, H., Liu, X., Su, F., Cherry, C., Liu, Y., & Li, Y. (2018). Predicting e-bike users' intention to run the red light: An application and extension of the theory of planned behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 282–291. doi:10.1016/j.trf.2018.05.027

- Zeuwts, L. H. R. H., Vansteenkiste, P., Deconinck, F. J. A., Cardon, G., & Lenoir, M. (2017). Hazard perception in young cyclists and adult cyclists. *Accident Analysis & Prevention, 105*, 64–71. doi:10.1016/j.aap.2016.04.034
- Zhang, G., Tan, Y., & Jou, R. C. (2016). Factors influencing traffic signal violations by car drivers, cyclists, and pedestrians: A case study from Guangdong, China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 42*, 205-216.
- Zhang, W., Wang, K., Wang, L., Feng, Z., & Du, Y. (2016). Exploring factors affecting pedestrians' red-light running behaviors at intersections in China. *Accident Analysis & Prevention, 96*, 71–78. doi:10.1016/j.aap.2016.07.038

7. ANEXOS

Anexo 1 Frecuencias de las variables en los tipos de comportamientos N=1000

		Comportamiento en luz roja						χ^2
		Para durante toda la duración		Viola la luz roja después de una parada		No para en luz roja		
		n	%	n	%	n	%	
1. Género								12.75**
	H	242	24.2	291	29.1	274	27.4	
	M	78	7.8	73	7.3	42	4.2	
2. Edad								27.185***
	15-30	209	20.9	277	27.7	261	26.1	
	30-50	110	11	55	5.5	87	8.7	
	>50	1	0.1	0	0	0	0	
3. Búsqueda visual								333.969***
	No	209	20.9	19	1.9	57	5.7	
	Un lado	90	9	270	27	223	22.3	
	Dos lados	21	2.1	75	7.5	36	3.6	
4. Uso de casco								16.155***
	No	204	20.4	266	26.6	246	24.6	
	Si	116	11.6	98	9.8	70	7	
5. Porta mochila								6.246
	Repartidor	22	2.2	12	1.2	18	1.8	
	No	104	10.4	111	11.1	90	9	
	Si	194	19.4	241	24.1	208	20.8	
6. Grupo de personas								28.233***
	Sola	220	22	270	27	258	25.8	
	1	96	9.6	75	7.5	52	5.2	
	2 o más	4	0.4	19	1.9	6	0.6	
7. Tipo de infraestructura								4.492
	Exclusiva	143	14.3	192	19.2	152	15.2	
	Mixta	177	17.7	172	17.2	164	16.4	
8. Uso de audifonos								0.967
	No	299	29.9	338	33.8	289	28.9	
	Si	21	2.1	26	2.6	27	2.7	
9. Uso de celular								17.842***
	No	292	29.2	348	34.8	311	31.1	
	Si	28	2.8	5	0.5	16	1.6	
10. Hora del día								4.24
	Mañana	141	14.1	185	18.5	162	16.2	
	Tarde	179	17.9	179	17.9	154	15.4	
11. Uso de cubrebocas								10.604**
	No	145	14.5	199	19.9	182	18.2	
	Si	175	17.5	165	16.5	134	13.4	
12. Tipo de bicicleta								33.158**
	Montaña	208	20.8	247	24.7	219	21.9	
	Recreativa	54	5.4	58	5.8	39	3.9	
	Ruta	23	2.3	14	1.4	31	3.1	
	Qrobici	21	2.1	12	1.2	7	0.7	
	BMX	7	0.7	26	2.6	18	1.8	
	Plegable	3	0.3	2	0.2	2	0.2	
	Carga frontal	7	0.7	5	0.5	0	0	
13. Chaleco reflectivo								56.396***
	No	282	28.2	355	35.5	316	31.6	
	Si	38	3.8	9	0.9	0	0	

***, **, * = Nivel de significancia al 1%, 5% y 10 %