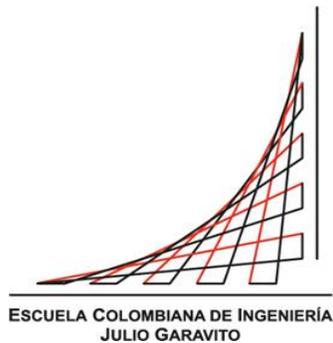


**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**  
**Programa de Ingeniería Civil**

**Análisis de los resultados de una intervención de tipo pacificación vial de la iniciativa *Plazoletas Bogotá* y simulación por computador de esta con propuestas de variaciones**

**Karen Gabriela Jaimes Martin**  
**Federico Ruiz Triana**



**Bogotá D.C., diciembre de 2019**

# **Análisis de los resultados de una intervención de tipo pacificación vial de la iniciativa *Plazoletas Bogotá* y simulación por computador de esta con propuestas de variaciones**

**Para optar al énfasis del programa de Ingeniería Civil en el área  
Tránsito y Transporte**

**Karen Gabriela Jaimes Martin**

**Federico Ruiz Triana**

**Ingeniera Mónica Marcela Suárez Pradilla, Ph.D.**

**Directora**



**Bogotá D.C., diciembre de 2019**

## Agradecimientos

A la Ingeniera María Fernanda Ramírez por sus enseñanzas, por su guía y por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este proyecto. Gracias por sus sugerencias, por atendernos siempre que necesitamos su ayuda y por resolvernos todas las dudas que tuvimos a lo largo de este proceso.

A nuestra directora, la Ingeniera Mónica Suárez, por ser nuestra guía y apoyo al finalizar el proyecto. Gracias por todas sus correcciones que hicieron de este un mejor trabajo.

Al arquitecto Carlos Urrego, director del programa Plazoletas Bogotá y la Secretaría Distrital de Movilidad por suministrarnos los datos necesarios para el buen desarrollo del proyecto.

A la Ingeniera Nataly Sáenz, por su constante ayuda a la hora de realizar los diferentes modelos y por siempre resolver las dudas que tuvimos.

A la Ingeniera Sonia Jaimes por su colaboración en las cuestiones administrativas que al final permitieron la obtención del énfasis en el cual está enmarcado este trabajo.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por facilitar los implementos e instalaciones sin las cuales la culminación del ejercicio académico no habría sido posible.

## Resumen

La movilidad como concepto atraviesa un periodo de modificación y evolución: mientras en antaño era entendida como el estudio del movimiento vehicular en las ciudades, en la actualidad se define como una práctica social de desplazamiento que da mayor cabida al reconocimiento de la movilidad peatonal y no motorizada. Debido a esto, hoy en día es indispensable rediseñar los espacios urbanos en pro de la seguridad y accesibilidad de los usuarios más vulnerables del sistema: los peatones. El objetivo principal de este proyecto es evaluar, mediante una micro simulación por computador, la eficiencia de una intervención de pacificación vial de la iniciativa “Plazoletas Bogotá” realizada en la glorieta de la Virgen del barrio inglés de la localidad Rafael Uribe Uribe en la ciudad de Bogotá, Colombia. Dicha eficiencia se entiende aquí como la capacidad de reducción de los conflictos vehículo-peatón, y será medida mediante la utilización del software PTV VISSIM. La metodología de investigación consta de tres etapas: la recolección y el procesamiento de la información del tráfico correspondiente al sitio de estudio; la modelación de la información procesada mediante el software PTV VISSIM, para los escenarios pre y post intervención, así como para un escenario alternativo; y por último, el análisis de los resultados obtenidos en la modelación. En síntesis, se probará la efectividad de las intervenciones de pacificación vial a través de los métodos planteados.

**Palabras clave:** Movilidad, seguridad vial, pacificación vial, simulación microscópica del tráfico, urbanismo táctico.

## Abstract

Mobility as a concept is facing a period of evolution and change: it was known as the study of vehicular movement in the cities, it is now understood as a social practice of displacement giving a wider space to acknowledgment of pedestrian and non-motorized mobility. Because of this, nowadays it is indispensable re-designing urban space in favor of accessibility and safety of the most vulnerable users of the system: the pedestrians. The main goal of this research project is to virtually assess the efficiency of a traffic calming intervention from the “Plazoletas Bogotá” initiative, on the roundabout “de la Virgen” at the Barrio Inglés in the Rafael Uribe Uribe municipality in Bogotá, Colombia. For this project efficiency is defined as the capacity to reduce the vehicle-pedestrian flow conflicts, and it will be measured using PTV VISSIM software. The methodology in this investigation is composed of three stages: collection and processing of data corresponding to traffic on the study site, modeling of the processed data through the PTV VISSIM software for the pre, post and alternative scenarios, and analysis of the modeling outcome. In summary, through the purposed methods, this project will prove that traffic calming interventions are effective.

**Keywords:** Mobility, road safety, traffic calming, traffic micro-simulation, tactical urbanism.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
2.1. SITUACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL A NIVEL GLOBAL Y LOCAL .....	12
2.2. VISIÓN CERO.....	14
2.2.1. <i>Velocidad</i> .....	15
2.2.2. <i>Conectividad</i> .....	16
2.3. PACIFICACIÓN VIAL.....	18
2.4. MODELOS DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO .....	20
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
<b>4. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>23</b>
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA.....	23
4.1.1. <i>Aspectos geográficos y de localización</i> .....	24
4.1.2. <i>Aspectos demográficos</i> .....	26
4.2. DESCRIPCIÓN DE LA GLORIETA.....	28
4.3. DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN DE TIPO PACIFICACIÓN VIAL EN LA GLORIETA. ....	30
4.4. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE PACIFICACIÓN VIAL EN LA GLORIETA. ....	31
<b>5. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL TRÁFICO EN LA ZONA DE ESTUDIO ANTES DE SER INTERVENIDA.....</b>	<b>32</b>
5.1. INFORMACIÓN VEHICULAR.....	33
5.2. ESTABLECIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DEL TRÁFICO EN LA GLORIETA TRAS LA INTERVENCIÓN. ....	35
5.3. INFORMACIÓN PEATONAL.....	36
<b>6. MODELACIÓN DE LAS DINÁMICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO CON LA INFORMACIÓN RECIBIDA.....</b>	<b>37</b>
6.1. PROCESO DE CREACIÓN DEL MODELO BASE DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA.....	37
6.2. PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO BASE DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA. ....	44
<b>7. MODELACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO APLICANDO EL DISEÑO DE INTERVENCIÓN REALIZADO .....</b>	<b>46</b>
7.1. PROCESO DE CREACIÓN DEL SEGUNDO ESCENARIO DEL MODELO DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA. ....	46
7.2. PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL SEGUNDO ESCENARIO DEL MODELO DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA...48	48
<b>8. MODELACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO APLICANDO VARIACIONES AL DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN .....</b>	<b>50</b>
8.1. PROCESO DE CREACIÓN DEL TERCER ESCENARIO DEL MODELO DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA.....	50
8.2. PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL TERCER ESCENARIO DEL MODELO DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA. ....	51
<b>9. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS MODELADOS.....</b>	<b>52</b>
9.1. ESCENARIO UNO: MODELO BASE.....	53



9.2.	ESCENARIO DOS: INTERVENCIÓN.....	55
9.3.	ESCENARIO TRES: PROPUESTA.....	57
9.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	59
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Fallecidos en Siniestros Viales, Bogotá: 2018 .....	13
Tabla 2. Lesionados en Siniestros Viales, Bogotá: 2018 .....	14
Tabla 3. Características de los Accesos a la Glorieta .....	28
Tabla 4. Periodos de la toma de información .....	32
Tabla 5. Matriz Origen/Destino de los Porcentajes de Flujo Vehicular .....	35
Tabla 6. Volúmenes Vehiculares por Acceso tras la Intervención .....	36
Tabla 7. Matriz Origen/Destino de la Glorieta tras la Intervención .....	36
Tabla 8. Red Vial del Primer Escenario .....	38
Tabla 9. Información Ingresada con la Función "Vehicle Inputs" en el Primer Escenario .....	40
Tabla 10. Lista de la Función "Driving Behaviors" .....	40
Tabla 11. Comparación de Volúmenes Vehiculares con el Estadístico GEH para el Primer Escenario .....	45
Tabla 12. Red Vial del Segundo Escenario .....	46
Tabla 13. Información Ingresada con el Función "Vehicle Inputs" en el Segundo Escenario .....	48
Tabla 14. Comparación de Volúmenes Vehiculares con el Estadístico GEH para el Segundo Escenario .....	49
Tabla 15. Comparación de los Volúmenes Vehiculares con el Estadístico GEH para el Tercer Escenario .....	52
Tabla 16. Comparación de los Resultados de la Modelación de los Escenarios .....	63

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Conectividad según el trazado de la red vial .....	17
Ilustración 2. Distancias de frenado según la longitud entre intersecciones de un segmento vial .....	18
Ilustración 3. Percentiles 85 <sup>o</sup> de la velocidad del tráfico según el ancho del carril. ....	19
Ilustración 4. Metodología .....	23
Ilustración 5. Área de influencia .....	24
Ilustración 6. UPZ de la localidad Rafael Uribe Uribe .....	25
Ilustración 7. Usos del suelo en el área de influencia .....	26
Ilustración 8. Glorieta en estudio .....	28
Ilustración 9. Carriles de la glorieta .....	29
Ilustración 10. Esquema Intervención.....	30
Ilustración 11. Esquema Propuesta.....	31
Ilustración 12. Esquema.....	32
Ilustración 13. Vista en Planta de la Red Vial del Primer Escenario .....	39
Ilustración 14. Ejemplo de Ruta Vehicular en la Red Vial del Primer Escenario .....	41
Ilustración 15. Áreas Peatonales del Primer Escenario .....	41
Ilustración 16. Áreas Origen y Destino del Primer Escenario.....	42
Ilustración 17. Lista de la Función "Pedestrian Inputs" .....	43
Ilustración 18. Ejemplo de Ruta Peatonal en la Red Vial del Primer Escenario .....	44
Ilustración 19. Vista en Planta de la Red Vial del Segundo Escenario.....	47
Ilustración 20. Vista Tridimensional de la Zona de Estudio en el Segundo Escenario ...	47
Ilustración 21. Vista en Planta de la Red Vial del Tercer Escenario .....	50
<i>Ilustración 22. Vista Tridimensional de la Zona de Estudio en el Tercer Escenario .....</i>	<i>51</i>

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Probabilidad de muerte de un peatón al ser impactado por un vehículo en relación con la velocidad .....	15
Gráfica 2. Pirámide Poblacional. ....	27
Gráfica 3. Grupos de edades .....	27
Gráfica 4. Variación Diaria del Tráfico .....	33
Gráfica 5. Aforo Vehicular Total .....	34
Gráfica 6. Distribución Vehicular HMD .....	34
Gráfica 7. Flujo Vehicular por Salida en la Glorieta .....	35
Gráfica 8. Distribución Horaria Peatonal.....	37
Gráfica 9. Relación de flujos Vehiculares para el Modelo Base .....	45
Gráfica 10. Relación de Flujos Vehiculares para el Segundo Escenario .....	49
Gráfica 11. Relación de Flujos Vehiculares para el Tercer Escenario .....	52
Gráfica 12. Distribución Temporal de los Conflictos en el Modelo Base .....	53
Gráfica 13. Distribución de Conflictos por Localización en el Modelo Base .....	54
Gráfica 14. Conflictos por Persona en el Modelo Base.....	54
Gráfica 15. Nivel de Servicio de la Infraestructura en el Primer Escenario. ....	55
Gráfica 16. Distribución Temporal de los Conflictos en la Intervención .....	55
Gráfica 17. Nivel de Servicio de la Infraestructura en el Segundo Escenario. ....	56
Gráfica 18. Distribución Temporal de los Conflictos en la Propuesta.....	57
Gráfica 19. Conflictos por Persona en la Propuesta .....	58
Gráfica 20. Nivel de Servicio de la Infraestructura para el Tercer Escenario. ....	58
Gráfica 21. Volumen de Conflictos para cada Escenario.....	59
Gráfica 22. Conflictos por Escenario como Proporción del Volumen de Conflictos en el Modelo Base .....	60
Gráfica 23. Distribución Temporal de los Conflictos en los Tres Escenarios .....	60
Gráfica 24. Distribución de Conflictos por Localización .....	61
Gráfica 25. Frecuencia de Ocurrencia de un Conflicto para cada Peatón .....	62

## Introducción

La movilidad es un concepto que se ha modificado a través de los años, pasando de ser una herramienta exclusiva de la sociología y la geografía, a ser fundamental en el campo del transporte. En este último aspecto, el análisis de la movilidad se ha centrado casi que exclusivamente en los sistemas de transporte; sin embargo, la movilidad es un derecho y es vital, ya que es mediante ésta que se garantiza el acceso de todas las personas a los bienes y servicios básicos que ofrece la ciudad, y que son indispensables para garantizar un nivel digno de calidad de vida para la población, independientemente de sus distinciones sociales, políticas, culturales y económicas.

Durante las últimas décadas el estudio de la movilidad en la ingeniería ha sufrido un cambio de paradigma, pasando de un estado «pre-social» (*Harvey, 1977*), a una constante preocupación por las variables sociales que influyen en las dinámicas urbanas que se analizan. En contraposición a la perspectiva tradicional del transporte, basada en el concepto de nivel de servicio, y en un enfoque «carro-centrista», aparecen formas alternativas de definir los conceptos de viaje y, por tanto, de movilidad urbana. *Gutiérrez (2012, pp. 65)* define la movilidad como una «práctica social de desplazamiento territorial». En este sentido, las observaciones al transporte urbano desde el punto de vista de la seguridad vial conforman una visión integradora de los cambios y propuestas que la Academia plantea a las ciudades del siglo XXI para configurar un espacio funcional y recreativo, con la capacidad de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos tanto desde la economía, como desde la salud y el ocio.

Como suele suceder con las nuevas teorías, las perspectivas de seguridad vial provienen de una situación material específica que contradice claramente las proposiciones centrales del paradigma anterior (*Johnson, 1971*). Las ciudades diseñadas a partir de los principios tradicionales del siglo XX han generado un ambiente de riesgo para los peatones y los usuarios de vehículos no motorizados. Según la Organización Mundial de la Salud, anualmente se registran alrededor de 1,35 millones de muertes por incidentes viales (*OMS, 2018*), lo que resulta en una afectación económica a la sociedad, referida a un problema de salud pública. Por ello, la movilidad basada en el uso del automóvil se ha vuelto insostenible a nivel mundial y ha dado paso a una nueva forma de pensar los espacios públicos designados para el transporte como las políticas de Visión Cero, que buscan eliminar por completo las víctimas de incidentes relacionados con el tráfico por medio infraestructura orientada a los sistemas multimodales e intervenciones de pacificación vial.

Las intervenciones de pacificación vial buscan reducir los riesgos a los cuales se encuentran expuestos los usuarios más vulnerables de la vía. Esto se logra a partir de la reducción del espacio destinado a los vehículos motorizados en las calles y el uso de estrategias de urbanismo táctico que permitan reducir las velocidades de circulación en las vías, los puntos de conflicto y que guíen la toma de decisiones en la vía, comprendiendo que los seres humanos cometen errores y buscan el camino que exija un menor esfuerzo.

La iniciativa «Plazoletas Bogotá» es una de las muchas a nivel mundial que busca implementar este tipo de intervenciones en el entorno urbano, basándose en la política de visión cero, y bajo la supervisión de expertos relacionados con el tema de movilidad de todo el mundo. El presente proyecto de investigación busca evaluar la eficiencia de una de las intervenciones de pacificación vial asociadas a la iniciativa Plazoletas Bogotá, ubicada en el sur de la ciudad. El espacio intervenido fue la glorieta de la Virgen en el barrio Inglés en la localidad de Rafael Uribe Uribe, en conjunto con sus respectivas calles de acceso. Para evaluar la eficiencia de dicha intervención en la reducción del riesgo para peatones, se seleccionaron los modelos de simulación microscópica como herramienta de análisis del tráfico, de manera que será posible observar el efecto de la intervención medido en términos de su eficiencia. Dicha eficiencia se entiende aquí como la capacidad de reducción de los conflictos vehículo-peatón, y será medida mediante la utilización del software PTV VISSIM. Por último, se pretende buscar otras alternativas posibles de intervención que puedan, en mayor o menor medida, mejorar la seguridad de los usuarios de la infraestructura, así como anotar algunas recomendaciones con base en lo observado.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar, mediante modelos de simulación microscópica, la eficiencia de una intervención de pacificación vial de la iniciativa “Plazoletas Bogotá” realizada en la glorieta de la Virgen del barrio inglés de la localidad Rafael Uribe Uribe en la ciudad de Bogotá, Colombia.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica que explique y justifique los puntos de vista expuestos en la presente investigación.
- Obtener, procesar y analizar información correspondiente a aforos vehiculares y peatonales, de los momentos antes y después de la realización de la intervención de manera que dicha información sea manipulable dentro del software PTV VISSIM.
- Realizar una simulación del escenario “antes”, “después” y “alternativo” de la intervención en la glorieta indicada de modo que se obtenga una medida inicial de los conflictos vehículo-peatón.
- Evaluar y analizar los resultados obtenidos y establecer cuál intervención es óptima y qué tan positivos son sus resultados.

## 2. Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica de la presente investigación pretende buscar en el material académico correspondiente a los temas de movilidad y transporte urbano, un marco referencial que permita entender de dónde surgen intervenciones de pacificación vial como la que aparece en el caso de estudio. Del mismo modo, se quiere explicar aquí de qué forma funcionan este tipo de intervenciones, y cuáles son sus principios de diseño dentro del contexto de la ingeniería.

También se hace importante enunciar algunos de los fundamentos sobre los modelos de simulación microscópica del tráfico, ya que son la herramienta principal para realizar el estudio que se propone.

### 2.1. Situación de la seguridad vial a nivel global y local

La situación de seguridad vial en el mundo ha llegado a puntos críticos. La Organización Mundial de la Salud (*OMS, 2018*) destaca la muerte por siniestro vial como la tercera causa de mortalidad en el mundo para adultos jóvenes y niños (5 – 29 años); y la primera causa de muerte violenta (o no causada por enfermedades biológicas) en un rango de todas las edades, llegando a un total en 2018 de 1,35 millones de muertes, y siguiendo una tendencia creciente. En los llamados países en desarrollo, la situación es aún más preocupante, puesto que allí se registra el 93% de las muertes, aun cuando las cifras de motorización no son las más elevadas (*OMS, 2017*). Estos hechos registrados han logrado que las muertes y lesiones ocasionadas en el tránsito sean consideradas como una de las más grandes epidemias a nivel mundial, y ha generado reacciones tanto desde los establecimientos como desde las academias en los diferentes países alrededor del mundo.

En Colombia, se ha encontrado que para el año 2006 las muertes por incidentes de tránsito ocuparon el segundo lugar dentro de las causas de muertes violentas y se evidencia la tendencia creciente en años anteriores si se tiene en cuenta que hubo un aumento en los incidentes en el periodo 1975 – 1998 de aproximadamente 237% (*Cabrera, Velásquez y Valladares, 2009*). Por ello dentro de las normativas colombianas se estructuró, mediante la resolución 4101 de 2004 el plan nacional de seguridad vial “*Hacia una nueva cultura de seguridad vial*” del que, a pesar de no contar con estudios detallados de impacto dentro de la sociedad colombiana, se puede decir a primera vista que no ha causado un mayor revuelo en la situación de seguridad vial en el país, si se tiene en cuenta que las tasas de mortalidad, a lo mucho, se mantienen estables en ciertos periodos, aunque siguen una tendencia creciente (en el caso nacional las tasas de mortalidad se mantuvieron alrededor de las 13 víctimas por cada 100.000 habitantes, sin embargo en los años siguientes la tendencia creció ligeramente) (*Secretaría Distrital de Movilidad, 2018*).

A nivel local, las cifras oficiales de las entidades encargadas de la gobernación de Bogotá muestran un panorama un poco más optimista, aunque no del todo positivo. El anuario de siniestralidad vial elaborado por la secretaría de movilidad para el año 2018 presenta las siguientes matrices víctimas/victimarios (Tablas 1 y 2), en las cuales se ven reflejadas dinámicas del tráfico.

De las Tablas 1 y 2, se obtiene que, a nivel local, los vehículos livianos son los que más se ven involucrados en siniestros viales seguidos de cerca por las motocicletas y los autobuses (36%, 22% y 14% respectivamente); mientras que, en el caso de las víctimas, los peatones, los ciclistas y los motociclistas, son los actores que sufren más condiciones de morbi-mortalidad (26%, 13% y 34% respectivamente). Aunque no existen estudios que relacionen el crecimiento del parque automotor con el aumento de las muertes y lesiones relacionadas con el tráfico, en Colombia la compra de vehículos particulares aumentó de 1,548,958 en el año 1990 a cerca de 5,112,604 en 2007 (Cabrerá, Velásquez y Valladares, 2009), y es indudable que durante ese periodo el uso del vehículo particular se convirtió en un factor determinante en el estudio de la seguridad vial y una causa mayor de las fatalidades en la vía.

Víctimas	Peatones	Bicicletas	Motocicletas	Vehículos livianos	Buses de Transporte de Pasajeros	Taxis	Transporte de carga	% De víctimas
Peatones	0	1	80	66	50	10	15	56.63%
Ciclistas	0	0	6	8	16	4	13	11.99%
Motocicletas	3	2	5	18	26	6	35	24.23%
Acompañantes de motocicleta	0	0	1	4	4	3	8	5.10%
Conductores de transporte de pasajeros	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
Pasajeros de transporte de pasajeros	0	0	0	0	1	0	0	0.26%
Conductores de taxi	0	0	1	1	1	0	0	0.77%
Pasajeros de taxi	0	0	0	0	0	1	0	0.26%
Ocupantes de vehículos livianos	0	0	0	1	1	0	0	0.51%
Ocupantes de transporte de carga	0	0	1	0	0	0	0	0.26%
% De implicados	0.77%	0.77%	23.98%	25.00%	25.26%	6.12%	18.11%	

Tabla 1. Fallecidos en Siniestros Viales, Bogotá: 2018

Fuente: Elaboración Propia Utilizando Información de Anuario de Siniestralidad Vial (SDM, 2018).

Víctimas	Peatones	Bicicletas	Motocicletas	Vehículos livianos	Buses de Transporte de Pasajeros	Taxis	Transporte de carga	% De víctimas
Peatones	0	100	1637	1025	434	323	107	25.46%
Ciclistas	25	32	469	667	347	231	96	13.11%
Motocicletas	778	276	568	1981	398	656	220	34.25%
Acompañantes de motocicleta	122	58	150	500	105	162	52	8.07%
Conductores de transporte de pasajeros	0	0	0	0	61	9	8	0.55%
Pasajeros de transporte de pasajeros	0	0	0	0	332	46	104	3.38%
Conductores de taxi	22	9	46	105	32	40	5	1.82%
Pasajeros de taxi	12	5	30	238	46	81	19	3.03%
Ocupantes de vehículos livianos	65	62	277	598	153	156	75	9.73%
Ocupantes de transporte de carga	6	5	10	16	21	12	16	0.60%
% De implicados	7.23%	3.84%	22.38%	36.02%	13.55%	12.05%	4.93%	

Tabla 2. Lesionados en Siniestros Viales, Bogotá: 2018

Fuente: Elaboración Propia Utilizando Información de Anuario de Siniestralidad Vial (SDM, 2018).

Si bien Bogotá es una de las ciudades con menores tasas de mortalidad entre las ciudades capitales de todo el país (*Secretaría Distrital de Movilidad, 2018*), lo cierto es que también es una de las ciudades más desarrolladas en cuanto a capacidades estatales de prevención y reducción de siniestros viales. Bogotá cuenta con algunos de los más completos levantamientos de datos en todo el país en cuanto al tema de seguridad vial (debido en parte a la preocupación que genera este tema al interior de las instituciones gubernamentales y en parte a que en esta ciudad se encuentra una gran cantidad de instituciones de educación superior con la capacidad de investigar el tema) y es, por tanto, la ciudad en la que más se ha facilitado la creación de políticas públicas encaminadas a combatir la epidemia de incidentes de tránsito. En este sentido, y teniendo en cuenta que es vital «la aplicación de políticas públicas en seguridad vial que también apunten a mejorar, como parte de una política integral, las condiciones de infraestructura, (...) y la inclusión del enfoque social del riesgo» (*Merchán, Pérez y Aristizábal; 2011*); se ha creado, alrededor del mundo, un principio formador de políticas públicas conocido como Visión Cero.

## 2.2. Visión Cero

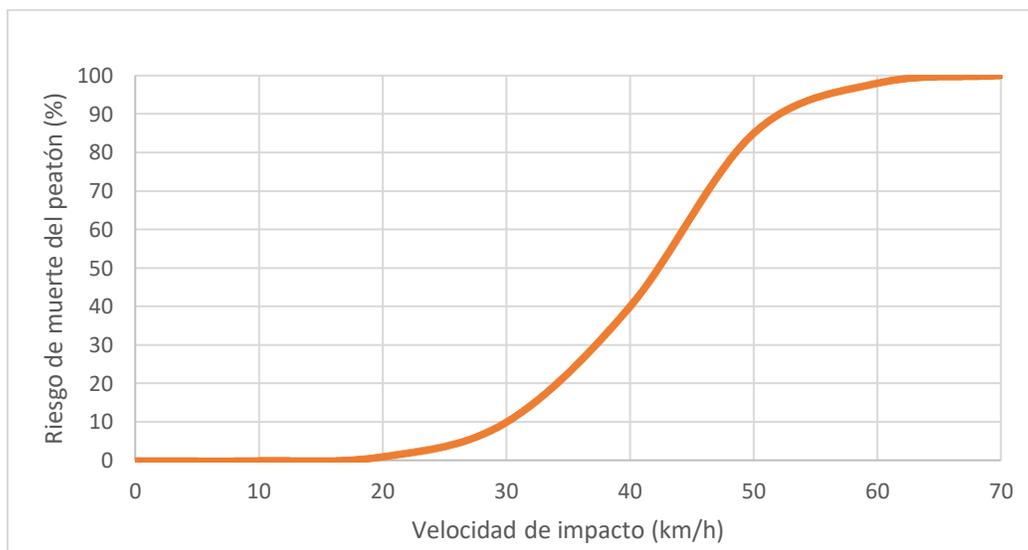
Visión cero es un colectivo de conceptos creado hacia 1995 en Suecia, que tiene como base cinco fundamentos principales, a saber: La ética, la aceptación de errores, la adaptación del medio urbano al cuerpo humano, el estructuralismo, y la conciencia de la

responsabilidad de los actores (*Administración Sueca de Transportes, 2012*). El principio de ética —tal vez el más importante— dicta que es crucial entender que es inaceptable la existencia de fatalidades y lesiones permanentes causadas por el tráfico, así éstas se den en números muy reducidos. Visión cero concibe el problema de la seguridad vial de forma estructural, lo que significa que todos los factores que influyen en la ocurrencia de incidentes en el espacio urbano están conectados de un modo u otro, y por ello las soluciones que se apliquen deben tener en cuenta todos los factores simultáneamente, de manera que no se incurra en un simple *desplazamiento* de las problemáticas. Del mismo modo, es inevitable reconocer que en la estructura de los problemas que surgen del estudio de la seguridad vial, existen diferentes fuerzas ejercidas por los actores que se ven involucrados en las dinámicas y los ambientes urbanos. Es preciso entonces tener en cuenta, para las soluciones que puedan originarse en las investigaciones sobre seguridad vial y espacios de movilidad urbana, que existen ciertos actores (usuarios de la infraestructura urbana, comunidades implicadas, empresas interesadas, diseñadores de los espacios, e instituciones) con ciertos intereses y responsabilidades.

Para lograr que las muertes y lesiones graves tiendan a cero, es importante tener en cuenta que los actores viales no están exentos de cometer errores y por ello se debe construir el ambiente urbano de manera que dichos errores sean perdonados y sus efectos compensados por la infraestructura y los vehículos. Esto implica también, adaptar los espacios urbanos de movilidad a la estructura biológica humana, lo cual se puede simplificar a dos aspectos clave: la velocidad, y la conectividad.

### 2.2.1. Velocidad

Gráfica 1. Probabilidad de muerte de un peatón al ser impactado por un vehículo en relación con la velocidad



Fuente: Elaboración propia utilizando información de *Ciudades más seguras mediante el diseño* (WRI, 2016).

La reducción de la velocidad en los corredores viales es uno de los aspectos principales de las nuevas políticas de seguridad vial. La gráfica 1 enseña la forma en la que crecen las posibilidades de que un incidente automovilístico cause la muerte a una persona a medida que crece la velocidad. Como se puede evidenciar, el segmento del dominio entre los 30 km/h y los 50 km/h, es una zona en la que el rango crece de manera exponencial, siendo que, si entre los 30 km/h y los 40 km/h la probabilidad de morir en un choque es apenas del 20%, esta probabilidad se ve triplicada con un aumento de sólo 10 km/h en la velocidad del vehículo involucrado en el choque. En el sentido contrario, esto también implica que una pequeña disminución en las velocidades máximas de circulación de los vehículos se puede ver reflejada un descenso importante en las tasas de mortalidad asociadas al tráfico en las ciudades.

La pregunta que surge aquí es ¿Cómo lograr que los vehículos disminuyan su velocidad en los espacios urbanos? Pues, aunque en la mayoría de las ciudades existan controles de velocidad, campañas pedagógicas de reducción de la velocidad y reglamentación institucional con límites claros en vías tanto urbanas, como residenciales; aún es posible encontrar vehículos circulando con velocidades muy superiores a los límites establecidos tanto en grandes avenidas, como en caminos cercanos a zonas residenciales y escolares. Se debe tener en cuenta entonces, como anotan Pérez, Novoa y Borrell que:

*«Las intervenciones de seguridad vial más efectivas son aquellas centradas en los factores relacionados con el vehículo o con las infraestructuras, es decir, las que reducen o eliminan el riesgo de padecer una lesión de tráfico y que no dependen del conocimiento o cambio de comportamiento de los usuarios. (...) Las intervenciones centradas en los individuos, como la educación vial, son las menos efectivas, de modo que sólo se aconseja utilizar la educación vial como apoyo de otras intervenciones» (Pérez, Novoa y Borrell; 2009).*

Por este motivo, probablemente lo más razonable para resolver el problema de la reducción de las velocidades, sería intervenir físicamente los espacios de movilidad urbana, de manera que sean más amigables con el peatón y el usuario de vehículos no motorizados, y no permitan que los vehículos que circulen alcancen velocidades exageradas. Para esto es importante introducir el concepto de conectividad.

### **2.2.2. Conectividad**

La conectividad urbana hace referencia a la «densidad de conexiones en una red vial y qué tan directas son» (WRI; 2016). Se dice que una red vial tiene una alta conectividad cuando es posible llegar a un mismo destino a través de más de una ruta sin que el esfuerzo al caminar cambie, y una misma distancia recorrida permite acceder a una gran variedad de lugares. Esto último queda de relieve en la Ilustración 1. Sin embargo, una gran conectividad en la red no implica que todos los viajes al interior de ésta serán cortos y aptos para vehículos no motorizados. Por tanto, es importante garantizar también una mayor accesibilidad a los destinos mediante la planeación territorial, organizando un desarrollo orientado al transporte. En el siglo XXI, es común ver que se mencione la posibilidad de ciudades policéntricas, que sean capaces de ofrecer a sus habitantes los

bienes y servicios que desean, a distancias considerablemente cortas, de manera que no se incentiven desplazamientos muy extensos (*Schneider, 1981*).

Una ciudad con mayor conectividad también es una ciudad más amigable con los peatones y conductores de vehículos no motorizados, pues reduce el esfuerzo que éstos tienen que realizar para llegar a sus destinos. Por ello, cuanto mayor es la conectividad en una ciudad, mayor es la posibilidad de que los usuarios de modos de transporte motorizados migren a modos de transporte alternativos, con lo cual las velocidades se hacen menores y se reduce la congestión.

*Ilustración 1. Conectividad según el trazado de la red vial*

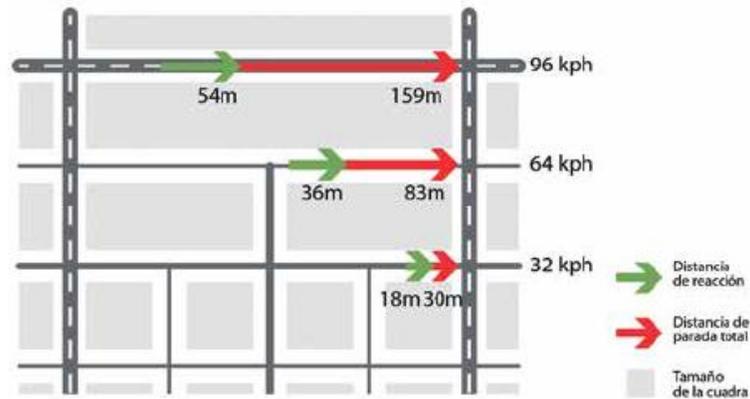


Comparación de una zona con un radio de 800 metros —zona de captación a pie— en diferentes configuraciones de conectividad vial (red compacta frente a un suburbio extendido).

*Fuente: Ciudades más seguras mediante el diseño (WRI, 2016)*

Otra forma en la que la conectividad puede reducir las velocidades es mediante la disminución de distancias de aceleración. La ilustración 2 muestra el modo en el que la creación de cuadras más pequeñas reduce la distancia que los automóviles tienen para acelerar y alcanzar velocidades altas, de modo que se consiguen dos objetivos al mismo tiempo: incentivar los modos alternativos de transporte, y reducir la velocidad a la que circulan los modos tradicionales.

Ilustración 2. Distancias de frenado según la longitud entre intersecciones de un segmento vial



Fuente: Ciudades más seguras mediante el diseño (WRI, 2016).

Por otra parte, es importante notar que aun cuando es posible reducir la velocidad global a la que circulan los vehículos en una ciudad, existen puntos específicos en la red vial en los que los peatones y ciclistas se encuentran expuestos al riesgo, debido a que las aceras son insuficientes o las distancias de cruce en las vías para los peatones son muy largas. Para estas intersecciones y calles, se ha extendido la propuesta de la pacificación vial que pretende recuperar el espacio público para los ciudadanos al tiempo que reduce los puntos de conflicto y las velocidades de los vehículos motorizados.

### 2.3. Pacificación vial

La pacificación vial (conocida como traffic calming en inglés), se encuentra definida como:

*“La combinación de diseños viales y normas de tránsito que reducen deliberadamente la velocidad de los vehículos motorizados por medio del diseño y la implementación de intervenciones en la infraestructura a fin de mejorar la seguridad de todos los usuarios de la vía, en particular, de peatones y ciclistas.” (WRI, 2016).*

Dentro del campo de estudio de la seguridad vial, vista como una afectación de salud pública, las intervenciones de pacificación vial son implementaciones de tipo preventivo que buscan transformar el ambiente vial (Haddon, 1968), de modo que los efectos que éstas tienen sobre la salud de la población son mayores que los de la mayoría de las intervenciones destinadas a mejorar la seguridad vial, dado que parten de medidas coercitivas que se presentan al usuario de manera natural.

A partir de una revisión exhaustiva de la efectividad de las intervenciones en el espacio urbano que buscan mejorar la seguridad vial, Novoa, Pérez y Borrell llegan a la conclusión de que:

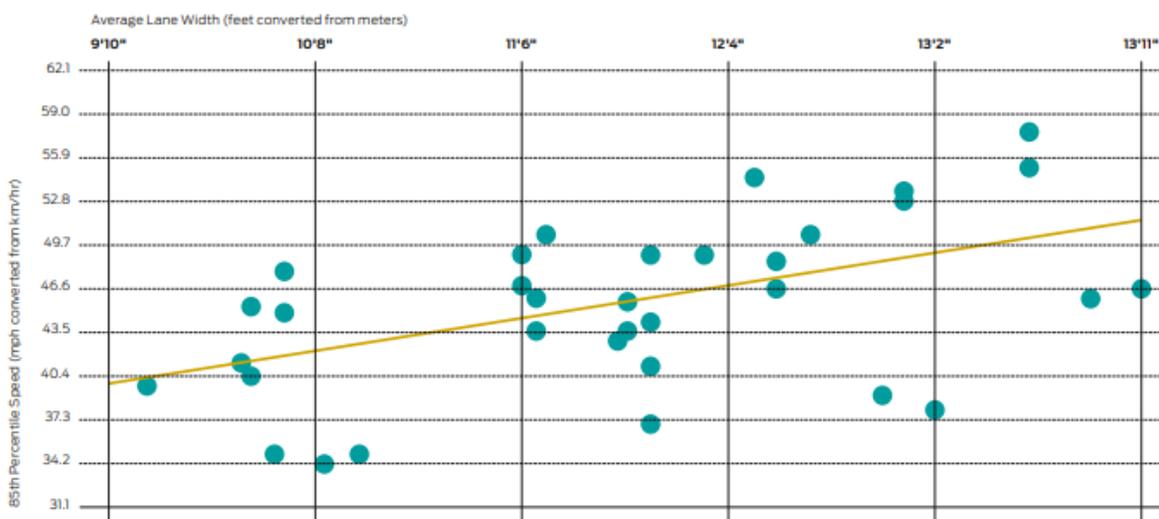
*“Las intervenciones de seguridad vial más efectivas son aquellas centradas en los factores relacionados con el vehículo o con las infraestructuras, es decir, las que reducen o eliminan el riesgo de padecer una lesión en el tráfico y no dependen del conocimiento o cambio de comportamiento de los usuarios” (Novoa, Pérez y Borrell, 2009)*

Por esta razón se puede afirmar que, dentro del marco de acción de una política de visión cero, las intervenciones de pacificación vial son cruciales para ciudades en las que el uso del automóvil se ha generalizado, y la morfología urbana permite el desarrollo de velocidades que superan los límites establecidos.

Las estrategias que la pacificación vial utiliza para disminuir la velocidad de los vehículos en los lugares que se consideran problemáticos van, desde el uso de dispositivos reductores de velocidad, (resaltos, sonorizadores, y pasos peatonales elevados) hasta el rediseño de una vía o una intersección (chicanas, glorietas, reducciones del ancho de carril). Es usual que en una misma intervención se encuentre la combinación de varios dispositivos de control en conjunto con una alteración en el diseño geométrico del punto de implementación. Dentro de las medidas de reducción de velocidad utilizadas para calmar el tráfico, la reducción del ancho del carril es una de las más comunes en este tipo de intervenciones. Esto se debe a que dicho replanteamiento de la infraestructura permite una acción sostenida sobre la velocidad de un vehículo a lo largo de un corredor vial, lo cual representa una gran ventaja en comparación con dispositivos de control como los resaltos, que hacen que el vehículo desacelere en un punto específico para después continuar con una aceleración mayor que le permita alcanzar la velocidad con la que venía realizando su recorrido.

Como se puede ver en la ilustración 3, los carriles más angostos presentan una reducción considerable en la velocidad de la mayoría de los vehículos que transitan a través de la infraestructura. Esto puede deberse a que dicha disminución en el ancho del carril produce en el conductor un estado de precaución, generado por la cercanía lateral de otros vehículos o actores viales y sensación de que el espacio para realizar maniobras de emergencia es menor.

*Ilustración 3. Percentiles 85º de la velocidad del tráfico según el ancho del carril.*



Fuente: *Urban Street Design Guide (NACTO, 2012)*

Dentro de la presente investigación se ha propuesto medir el efecto generado por una intervención de pacificación vial específica en términos de su eficiencia, siendo dicha eficiencia la capacidad para disminuir activamente los conflictos vehículo motorizado-peatón que se puedan presentar en el sitio de estudio. Para ello se hace necesario observar detenidamente las dinámicas del tráfico de la zona de estudio para los escenarios “antes” y “después” de la intervención. Debido a que observar dichas dinámicas se torna complejo mediante mediciones y aforos en campo, resulta provechoso aproximarse a las situaciones reales mediante modelos de simulación microscópica del tráfico.

#### **2.4. Modelos de simulación microscópica del tráfico**

Durante las últimas décadas, con la evolución exponencial de los modelos computacionales capaces de simular fenómenos complejos gracias a su facilidad para crear sistemas estructurales en los que es posible representar el comportamiento de grandes cantidades de variables simultáneamente; los análisis del tráfico se han facilitado ya que sus características se acoplan de manera apropiada con los análisis estructurales producidos por los diferentes softwares.

Dentro de los modelos de simulación del tráfico se pueden distinguir dos categorías principales de acuerdo con el tamaño del territorio analizado. Los modelos macroscópicos se concentran en la representación del flujo vehicular en términos de promedios totales en la escala de una ciudad y son alimentados normalmente a partir de encuestas de origen/destino, por lo cual permiten evaluar la distribución geográfica de la población urbana. Los modelos de simulación microscópica intentan representar la realidad de un punto específico de la red vial reproduciendo el comportamiento aleatorio de vehículos individuales. También es posible encontrar modelos de simulación mesoscópica y empírica del tráfico, aunque estos son de menor importancia para la presente investigación (*IHT, 2006*).

Los modelos de simulación microscópica del tráfico son utilizados en la actualidad para realizar aproximaciones con credibilidad suficiente como para dar factibilidad a una propuesta de solución vial de un problema específico. En este sentido, los modelos de simulación microscópica son apropiados para estudiar el comportamiento del tráfico en intersecciones complejas o segmentos viales problemáticos. Debido a esto, dichos modelos suelen ser esenciales para la presentación de proyectos de semaforización o infraestructura.

La micro simulación del tráfico también tiene la capacidad de representar, con cierto nivel de aproximación a la realidad, el funcionamiento de los sistemas de transporte público (ferroviarios y convencionales) y el comportamiento aleatorio de peatones tanto en la infraestructura vial, como al interior de estaciones de transporte, lugares públicos y edificaciones; de manera que se convierte en una herramienta importante para estudiar la manera en que interactúan los diferentes modos de transporte en puntos específicos del espacio urbano (*PTV GROUP, 2019*)

Los software de simulación más avanzados en la actualidad constan de tres modelos fundamentales para aproximarse al comportamiento de los conductores (*PTV GROUP, 2019*). El modelo de seguimiento vehicular (*Wiedemann, 1974*) a partir del cual se desarrollaron los primeros softwares de simulación microscópica del tráfico, contempla cuatro estados esenciales en la conducción dentro de un mismo carril. El estado de conducción libre, replica el comportamiento de los vehículos cuando no encuentran obstáculos a lo largo de su camino, de manera que se mantiene circulando a su velocidad deseada. El estado de aproximación regula el comportamiento de los conductores cuando encuentran un vehículo circulando a menor velocidad algunos metros por delante. En este estado los vehículos reducen su velocidad para adaptarla a la del vehículo siguiente y posteriormente mantienen una velocidad que les permita mantener cierta distancia de seguridad con dicho vehículo. De este estado se desprende el siguiente, que se trata del seguimiento, en el cual los vehículos mantienen la distancia de seguridad mencionada anteriormente y su velocidad empieza a oscilar alrededor de un valor medio, lo que lo acerca o aleja del siguiente vehículo como sucede en la realidad. El último estado, de frenado, simula la manera en la que los conductores revisan la velocidad de los vehículos adyacentes y produce una reacción de frenado cuando un vehículo reduce su velocidad frente a otro.

El segundo modelo fundamental, de cambio de carril, simula las desviaciones laterales de los conductores teniendo en cuenta dos objetivos principales que éstos puedan tener. Los conductores cambian de carril cuando es necesario y posible rebasar un vehículo que circula a la misma velocidad por el mismo carril; o bien, cuando tienen la necesidad de tomar un desvío para incorporarse a una vía diferente de la que están utilizando.

Por último, el modelo de comportamiento lateral dentro del carril da un enfoque especial a la simulación de la multimodalidad, pues permite que los conductores no basen su comportamiento en la geometría del carril, por lo que tanto motocicletas como bicicletas pueden circular en el mismo carril que un vehículo más grande, siempre que el carril posea un ancho suficiente. Añadido a esto, las características del comportamiento de los conductores pueden ser modificadas, de manera que éste puede ser más o menos agresivo dependiendo de los comportamientos típicos de la zona simulada.

Para que los modelos de simulación microscópica sean válidos como objetos de estudio y planificación de la infraestructura vial y el tráfico, es necesario realizar un proceso de calibrado del modelo que permita concluir que la situación representada es una verdadera aproximación a la situación real presentada en campo. Sobre esto Hollander y Riu (2008) proponen un proceso general que asegure la bondad de la calibración, compuesto por cuatro puntos principales que no necesariamente deben seguir un orden cronológico. Inicialmente se debe calcular un número aproximado de simulaciones necesarias para establecer valores medios que sean estadísticamente válidos. De esta manera se sabe que el modelo converge, dentro de sus resultados, hacia ciertos valores que no han de variar exageradamente alrededor de un promedio.

A partir de los valores resultado de la evaluación que genera el software sobre las simulaciones realizadas, se debe realizar una validación estadística que pruebe que los resultados obtenidos de la simulación son iguales o muy similares a los valores del flujo vehicular presentados en campo. Visto así, es posible equiparar los volúmenes de tráfico vehicular aforados en campo e ingresados en el software, con los volúmenes que han sido simulados dentro del modelo. En la presente investigación se ha seleccionado tal método de calibración, para lo cual se ha utilizado la siguiente ecuación comparativa de volúmenes de tráfico vehicular (Ecuación 1).

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

*Ecuación 1. Cálculo del Estadístico GEH de Comparación de Volúmenes Vehiculares*  
*Fuente: (Havers, 1970).*

De la (Ecuación 1) se tiene lo siguiente:

- GEH – Es una variable estadística que compara un par de valores de volúmenes de flujo vehicular, y se debe realizar para cada movimiento o ruta simulada dentro del modelo. Si el estadístico GEH tiene un valor menor a 5, se considera que la calibración es adecuada para el movimiento estudiado; si su valor oscila entre 5 y 10 aún puede decirse que la simulación del movimiento es aceptable; y finalmente, si su valor es mayor a 10, se considera inaceptable. Para que se permita concluir que un modelo ha sido calibrado, es necesario que por lo menos el 85% de los movimientos presenten un GEH menor a 5, incluyendo el volumen total de la zona de estudio.
- M – Es el volumen modelado por hora.
- C – Es el volumen real aforado por hora en campo e ingresado como información base al software de simulación.

Añadido a esto, los volúmenes de flujo vehicular modelados y aforados pueden ser relacionados gráficamente de manera que aparezcan en una línea recta con una pendiente aproximada a los 45° (pendiente de la ecuación lineal igual a 1) con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) aproximadamente igual a 1.

Es importante que se realicen validaciones adicionales al proceso estadístico. Una de las más sencillas y destacadas, es la calibración visual (especialmente en sistemas con visualización 3D), pues permite detectar pequeños errores en el diseño geométrico de los carriles y conectores que producen problemas de entrecruzamientos entre vehículos.

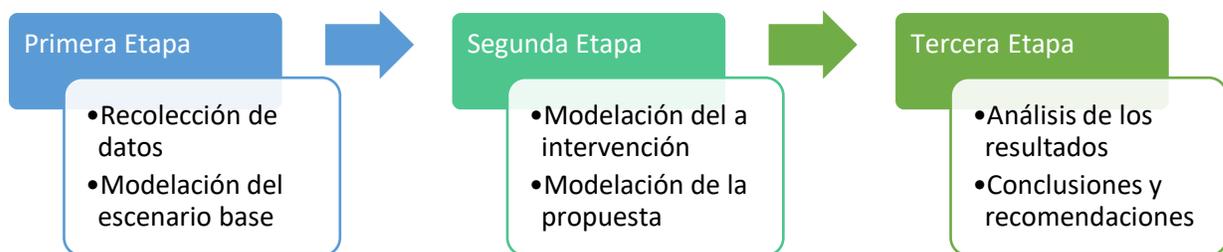
Finalmente, un modelo con una calibración completada puede ser utilizado para la creación de diferentes escenarios sobre el mismo sitio de estudio, de manera que se pueden plantear alternativas sobre un modelo base, lo cual es esencial para modelos que hacen parte de estudios de prefactibilidad, o como en el caso de la presente investigación, son estudios comparativos de intervenciones en la infraestructura.

### 3. Metodología

Para desarrollar el objetivo del proyecto se plantearon tres etapas,

- La primera etapa consistió en la recolección de la información de la situación inicial, como la geometría de la intersección y los volúmenes de peatones y vehículos, además de sus rutas y velocidades vehiculares, para poder así realizar la construcción del modelo base.
- La segunda etapa consistió en la modelación de la intervención realizada por el programa Plazoletas Bogotá utilizando el software PTV Vissim, además de una propuesta de modificaciones que pudieran mejorar la intervención realizada.
- La tercera etapa consistió en la realización del análisis y comparación de los escenarios modelados, para ello, se realizó un conteo de los conflictos vehículo-peatón, para así determinar la exposición a la que se encuentran los peatones en cada escenario, además de las conclusiones y recomendaciones.

*Ilustración 4. Metodología*



*Fuente: Elaboración propia*

### 4. Definición del área de estudio

#### 4.1. Descripción de la zona de influencia

Como se mencionó anteriormente, la intervención a estudiar, propuesta en el programa “Plazoletas Bogotá”, se encuentra ubicada en la localidad Rafael Uribe Uribe, en la glorieta de la Virgen en el barrio Inglés (Transversal 23 sur por carrera 27).

De acuerdo con los datos suministrados por la Secretaría Distrital de Movilidad, se estableció un área de influencia de aproximadamente 440 m de radio con centro ubicado en la glorieta (ilustración 5), para así determinar la población que tiene interacción con esta.

Ilustración 5. Área de influencia



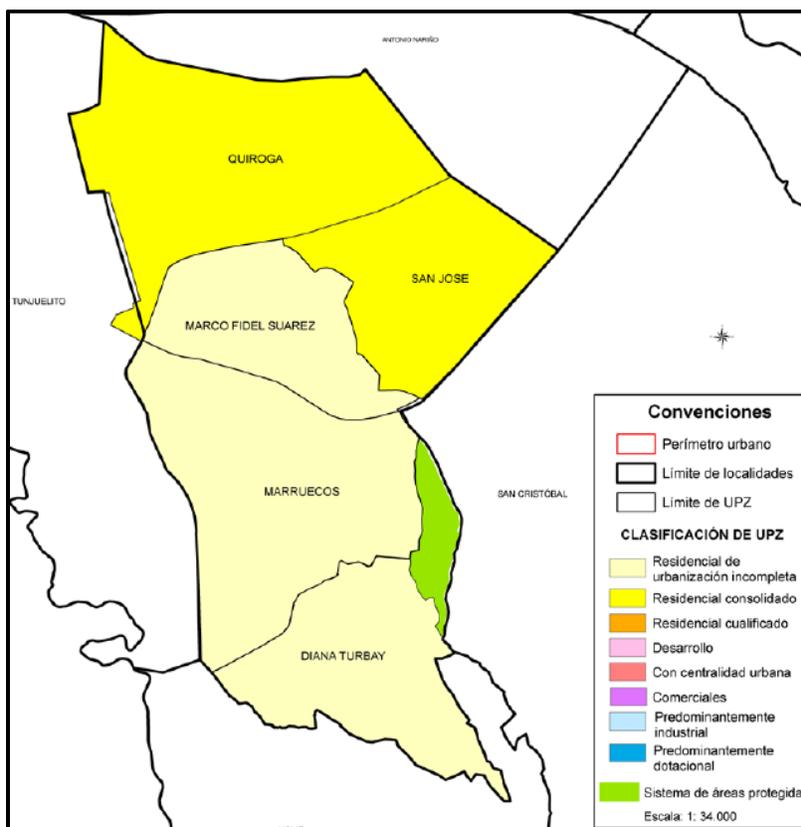
Fuente: Elaboración propia utilizando información del Geoportal del DANE

#### 4.1.1. Aspectos geográficos y de localización

La localidad Rafael Uribe Uribe se divide en las siguientes unidades de planeamiento zonal (UPZ):

- Quiroga
- San José
- Marco Fidel Suarez
- Marruecos
- Diana Turbay

*Ilustración 6. UPZ de la localidad Rafael Uribe Uribe*

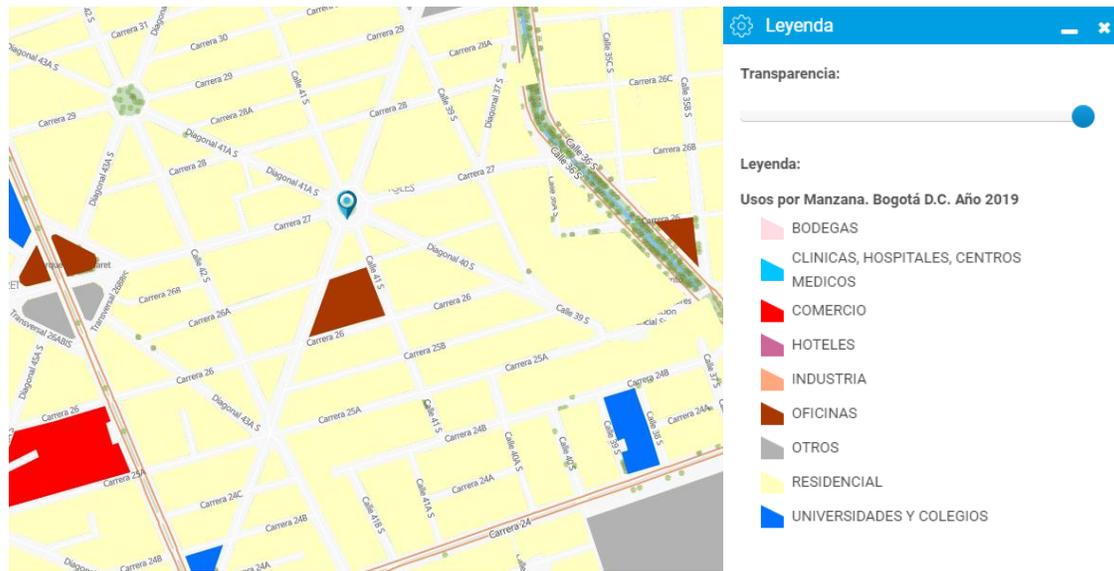


*Fuente: Secretaría Distrital de Planeación*

Como se observa en la ilustración 6, la UPZ Quiroga tiene una clasificación de residencial consolidado, que son sectores de estratos medios, de uso de suelo predominantemente residencial en donde se presenta un cambio de usos actualmente.

Así que se consultó el uso del suelo para el área de influencia de la glorieta y se obtuvo lo siguiente:

Ilustración 7. Usos del suelo en el área de influencia



Fuente: Mapas Bogotá

Como se observa en la ilustración 7, se confirma lo dicho anteriormente, pues la mayoría de las manzanas tienen uso de suelo de tipo residencial, a excepción de unas pocas que varían entre uso de oficinas, de equipamiento (colegios), comercio y otros.

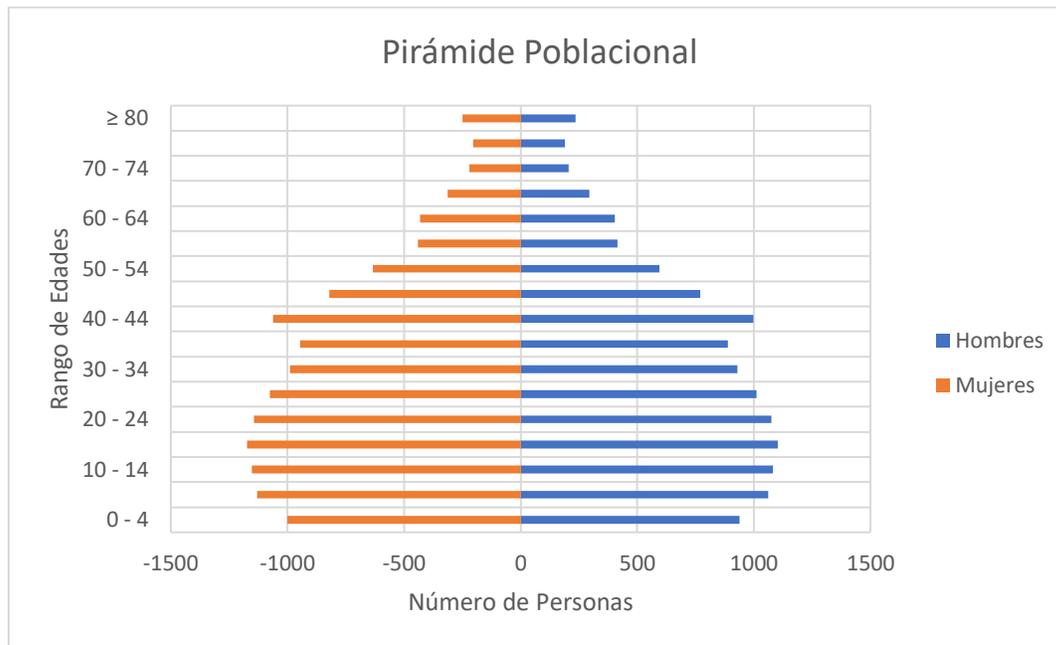
Además, se encontró que la zona de influencia es de estrato 3, pues la UPZ es de tipo residencial consolidado.

#### 4.1.2. Aspectos demográficos

Para el área de influencia se encontró una población total de 25.181 personas, que se divide en un 51.6% de mujeres y 48.4% de hombres.

De acuerdo con los datos obtenidos en el geoportal del DANE, se obtuvo la siguiente pirámide poblacional:

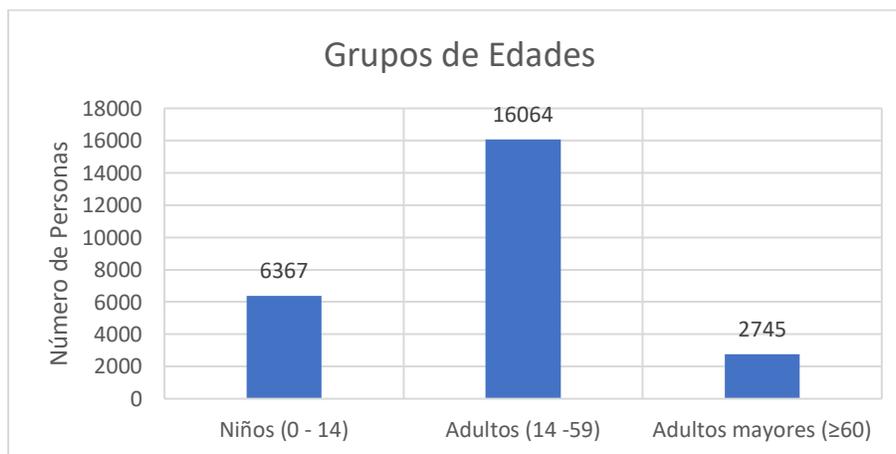
Gráfica 2. Pirámide Poblacional.



Fuente: Elaboración propia utilizando datos del geoportal del DANE

A continuación, se muestra la población por grupos de edades, para así observar las personas que se pueden ver beneficiadas o afectadas por la intervención.

Gráfica 3. Grupos de edades



Fuente: Elaboración propia utilizando datos del geoportal del DANE

Como se observa en la gráfica 3, los niños y adultos mayores son aproximadamente la mitad de la población total, por lo que ellos son los que se verán afectados o beneficiados en gran medida por la intervención propuesta, cosa que se verificará más adelante.

Además, se encontraron 7.357 hogares y 6.756 viviendas, de las cuales hay 3.882 apartamentos, 1.276 cuartos, 1.594 casas, y otros.

## 4.2. Descripción de la glorieta

Ilustración 8. Glorieta en estudio



Fuente: Mapas Bogotá

Como se observa en la ilustración 8, la glorieta cuenta con las siguientes calles de acceso:

- Diagonal 40 Sur (Transversal 23)
- Diagonal 41 A Sur
- Carrera 27
- Calle 41 Sur

Las características de las calles de acceso se muestran a continuación:

Accesos a la glorieta	Número de Carriles				Ancho promedio del carril (m)			
	Sentido NS	Sentido SN	Sentido EW	Sentido WE	Sentido NS	Sentido SN	Sentido EW	Sentido WE
Diagonal 40 S (Norte)	3	-	-	-	4.0	-	-	-
Diagonal 40 S (Sur)	2	-	-	-	4.5	-	-	-
Calle 41 S (Norte)	1	1	-	-	4.5	4.5	-	-
Calle 41 S (Sur)	-	1	-	-	-	5.0	-	-
Carrera 27 (Este)	-	-	1	1	-	-	4.5	4.5
Carrera 27 (Oeste)	-	-	2	-	-	-	4.5	-
Diagonal 41 A S (Norte)	2	-	-	-	4.5	-	-	-
Diagonal 41 A S (Sur)	2	-	-	-	4.5	-	-	-

Tabla 3. Características de los Accesos a la Glorieta  
Fuente: Elaboración propia

La glorieta consta de 3 carriles de medidas 4.8 m, 4.7 m, y 5.0 m, además de un bordillo traspasable de 3.1m de ancho, como se observa en la siguiente ilustración:

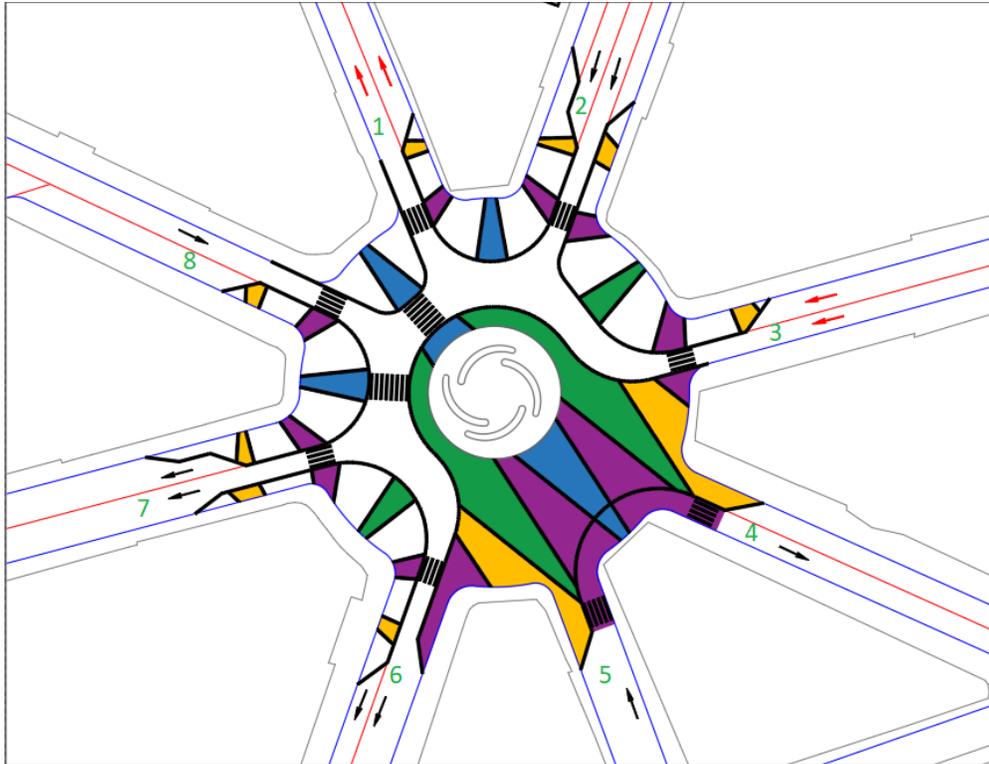
*Ilustración 9. Carriles de la glorieta*



*Fuente: Elaboración propia utilizando imagen proporcionada por la Secretaría Distrital de Movilidad*

### 4.3. Descripción de la intervención de tipo pacificación vial en la glorieta.

Ilustración 10. Esquema Intervención



*Fuente: Elaboración propia utilizando planos de la Secretaría Distrital de Movilidad*

La intervención realizada por la Secretaría de Movilidad propone una transformación de la glorieta que priorice los cruces peatonales y redistribuya el espacio público para así proteger a los actores viales más vulnerables, por esto, como se observa en la ilustración 10, el espacio peatonal aumenta considerablemente, se realizaron extensiones de acera en casi todas las esquinas, las vías 1 y 3 cambiaron de sentido de circulación, además, canalizaron todos los accesos que quedaron de un solo carril, y los vehículos que entran por la vía 5 solo pueden salir por la vía 4, por último, se demarcaron los cruces peatonales para indicar la prioridad pues se recortaron las distancias y se disminuyó la exposición de los peatones.

#### 4.4. Descripción de la propuesta de intervención de pacificación vial en la glorieta.

Ilustración 11. Esquema Propuesta

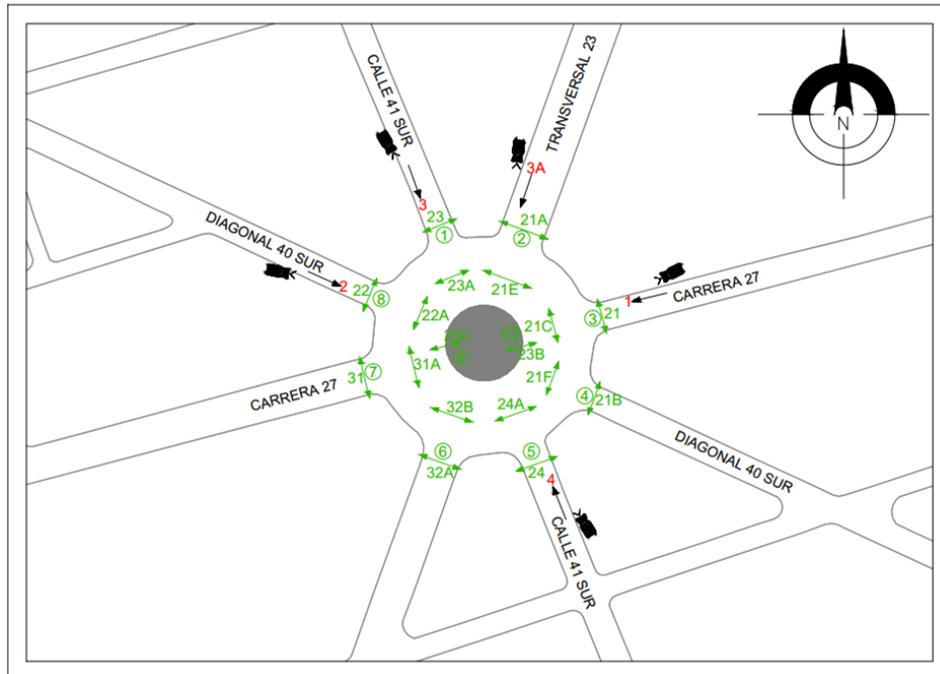


Fuente: Elaboración propia utilizando el software PTV Vissim

Como se observa en la ilustración 11, la propuesta realizada se basó en mantener la glorieta, pero esta vez de un solo carril, para así permitir las rutas del escenario inicial, además de que aumentan y se priorizan los cruces peatonales, se conservan las canalizaciones y las extensiones de acera de la intervención realizada por la Secretaría Distrital de Movilidad, para de esta manera darle una mayor relevancia a los peatones y aun así, dejar que los vehículos puedan seguir con las rutas que ya están establecidas.

## 5. Recolección y procesamiento de la información del tráfico en la zona de estudio antes de ser intervenida

Ilustración 12. Esquema



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad

La numeración de las entradas y las salidas de la glorieta se encuentra basada en las etiquetas circulares de cada salida e ingreso a la glorieta como aparecen en la ilustración 12.

De acuerdo con los datos suministrados por la Secretaría Distrital de Movilidad, el aforo se realizó el jueves 14 de marzo de 2019, en tres periodos distribuidos así:

No. de periodos	Horario
Horario del periodo no. 1	06:00-10:00
Horario del periodo no. 2	10:00-16:00
Horario del periodo no. 3	16:00-20:00
Horario de la toma de información	06:00-10:00, 10:00-16:00 Y 16:00-20:00

Tabla 4. Periodos de la toma de información

Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad

El aforo se realizó el jueves, pues como se observa en la gráfica 4, la variación del tráfico diario de los martes, miércoles y jueves es muy poca, pero hay un pico el viernes, por esta razón, cuando se deben realizar aforos cortos, es recomendable hacerlo entre semana, los martes miércoles y jueves. (Garber, N., & Hoel, L., 2009)

Gráfica 4. Variación Diaria del Tráfico



Fuente: Elaboración propia utilizando información de *Traffic & Highway Engineering* (Garber, N., Hoel, L., 2009)

## 5.1. Información vehicular

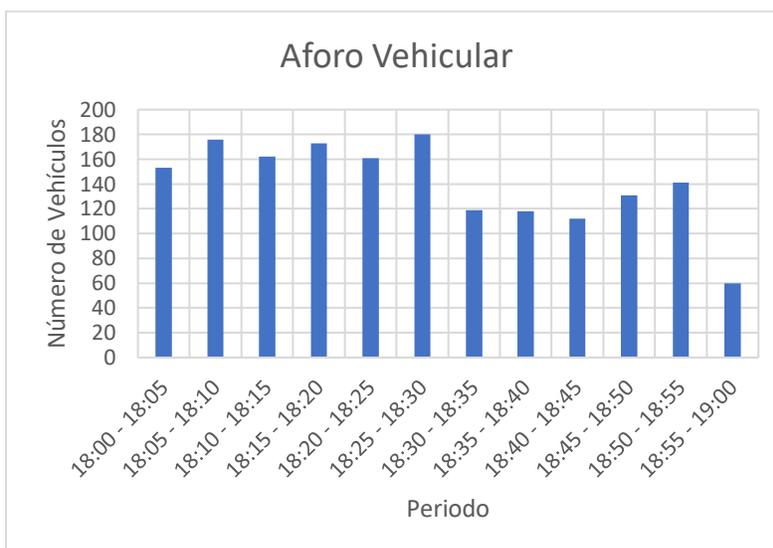
De acuerdo con la información proporcionada por la Secretaría Distrital de Movilidad, se estableció que la hora de máxima demanda es de 18:00 a 19:00, por lo que es la hora escogida para realizar la respectiva modelación.

Debido a que en la información obtenida sobre el tráfico vehicular no se encontraron conteos de salida de la intersección, ni especificaciones sobre los movimientos que realizan los automóviles al aproximarse a ésta; la Secretaría Distrital de Movilidad proveyó un video de vigilancia en el cual quedan registrados los movimientos de los vehículos que ingresan a la glorieta, del martes 19 de marzo desde las 5:00 hasta las 20:00. Haciendo uso de dicho video, se realizó un aforo aproximado sobre las salidas de la glorieta.

Los aforos fueron realizados sobre la hora de máxima demanda designada en la información correspondiente a los ingresos. Sin embargo, el día en el que se realizó el video utilizado para hacer los aforos de las salidas, no es el mismo en el que se realizaron los aforos de los ingresos a la glorieta, por lo cual la información para crear las rutas seguidas por los vehículos que ingresaban a la glorieta se utilizó de manera proporcional.

Además de esto, se decidió realizar la respectiva modelación con los datos de los aforos obtenidos del video, por lo que se realizó una proporción entre el total del aforo y el total de la información proveída, y se obtuvo lo siguiente:

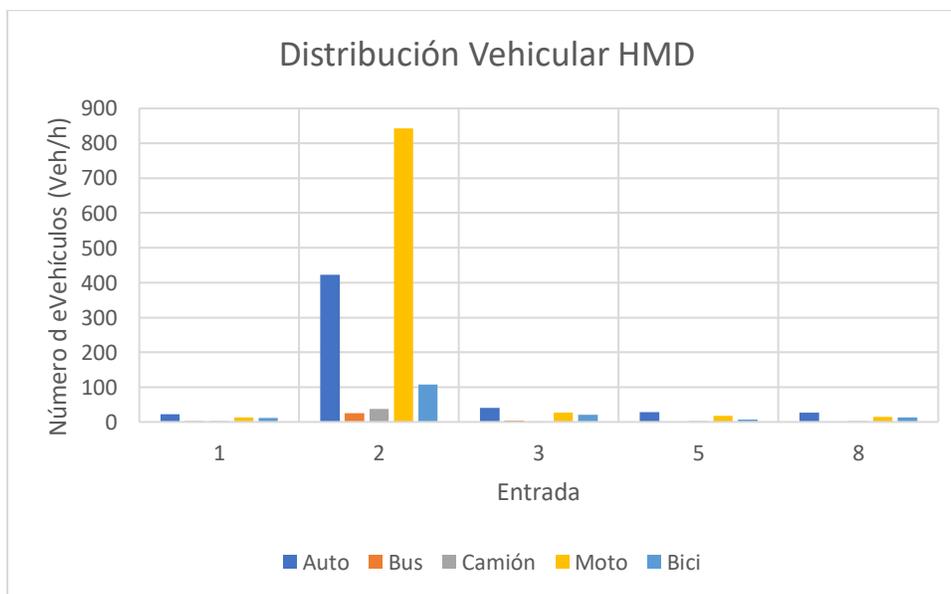
Gráfica 5. Aforo Vehicular Total



Fuente: Elaboración propia utilizando información de la Secretaría de Movilidad

Adicionalmente, con la información proporcionada y con los aforos realizados, se obtuvo una distribución vehicular así:

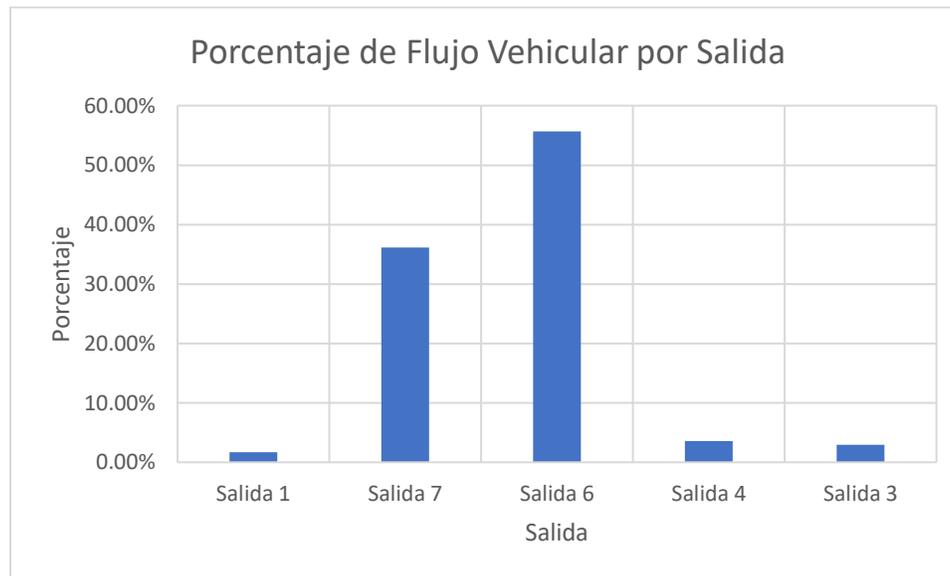
Gráfica 6. Distribución Vehicular HMD



Fuente: Elaboración propia utilizando información de la Secretaría de Movilidad

Los resultados obtenidos para los vehículos salientes de la glorieta se muestran a continuación:

Gráfica 7. Flujo Vehicular por Salida en la Glorieta



Fuente: Elaboración propia utilizando información de la Secretaría Distrital de Movilidad.

En la gráfica 7, se evidencia que las salidas con un mayor flujo vehicular son las 6 y 7 albergando más de un 90% del flujo vehicular total de la intersección. A partir de estos porcentajes se definieron los movimientos que realizarían los vehículos dentro de la glorieta basándose en el mismo principio de proporcionalidad. Puesto que los accesos 1 y 3 funcionan como ingresos y salidas simultáneamente, se asumió que ningún vehículo utilizaría la glorieta para hacer un retorno, por lo cual, del total de vehículos que ingresaban por dichos accesos se eliminó la proporción que se suponía debía salir por el mismo punto por el que ingresó y se repartió dicho porcentaje entre las demás salidas. Finalmente, las rutas quedan definidas proporcionalmente en una matriz origen/destino como se muestra en la tabla 5.

O/D	Salida 1	Salida 7	Salida 6	Salida 4	Salida 3
Entrada 1	-	36.55%	56.12%	3.99%	3.34%
Entrada 2	1.72%	36.12%	55.69%	3.56%	2.91%
Entrada 3	2.45%	36.85%	56.42%	4.29%	-
Entrada 5	1.72%	36.12%	55.69%	3.56%	2.91%
Entrada 8	1.72%	36.12%	55.69%	3.56%	2.91%

Tabla 5. Matriz Origen/Destino de los Porcentajes de Flujo Vehicular  
Fuente: Elaboración propia utilizando información de la Secretaría Distrital de Movilidad.

## 5.2. Establecimiento del funcionamiento del tráfico en la glorieta tras la intervención.

Como se muestra en la sección 4.3 del presente documento, los cambios de los accesos 1 y 5 (véase Ilustración 12) a la intersección, eliminan todas las rutas que provienen del

acceso 1 y únicamente permanece la ruta entre el acceso 5 y el 4. Teniendo esto en cuenta, se asume que el volumen vehicular que ingresaba a la intersección utilizando el acceso 1 se distribuye equitativamente en los accesos 2 y 8. En cuanto al acceso 5, la cantidad de vehículos que transitaban hacia el acceso 4 era de apenas el 3,56% del volumen total que utilizaba el acceso, por lo tanto, se asume que este volumen vehicular, expresado como porcentaje del total del modelo base, es el volumen que continúa utilizando el acceso 5. El volumen correspondiente al porcentaje restante que utiliza el acceso 5 en el modelo base, no es redistribuido entre los remanentes accesos de la intersección, pues se considera que la red vial adyacente es suficiente para redirigir los vehículos restantes en todas las direcciones que sean requeridas: los vehículos pueden utilizar la Carrera 26a para circular hacia el norte o el sur y tomar posteriormente la Transversal 23 para realizar el retorno hacia el occidente; si requieren transitar hacia el occidente también les es posible hacer uso de la Calle 39 Sur y la Calle 42 Sur.

Los volúmenes vehiculares por acceso después del proceso de redistribución quedan registrados en la Tabla 6.

Entrada	3	8	1	5	2
Volumen Vehicular	91	80	0	2	1460

Tabla 6. Volúmenes Vehiculares por Acceso tras la Intervención  
Fuente: Elaboración Propia.

Puesto que el acceso 3 cambia de sentido en uno de sus carriles, permitiendo la circulación vehicular únicamente hacia el sur, las rutas que desde otros accesos se dirigían hacia éste, también son eliminadas.

A partir de los cambios descritos anteriormente, se asume que las rutas que permanecen en la intersección, entre los accesos 3, 2, y 8; y las salidas 1, 7, y 6; toman equitativamente los volúmenes de las rutas eliminadas, de manera que la matriz origen destino, en valores de porcentaje del total del volumen por acceso, queda como se muestra en la Tabla 7.

O/D	Salida 1	Salida 7	Salida 6	Salida 4
Entrada 2	1.84%	38.62%	59.54%	-
Entrada 3	2.56%	38.50%	58.95%	-
Entrada 5	-	-	-	100.00%
Entrada 8	-	39.34%	60.66%	-

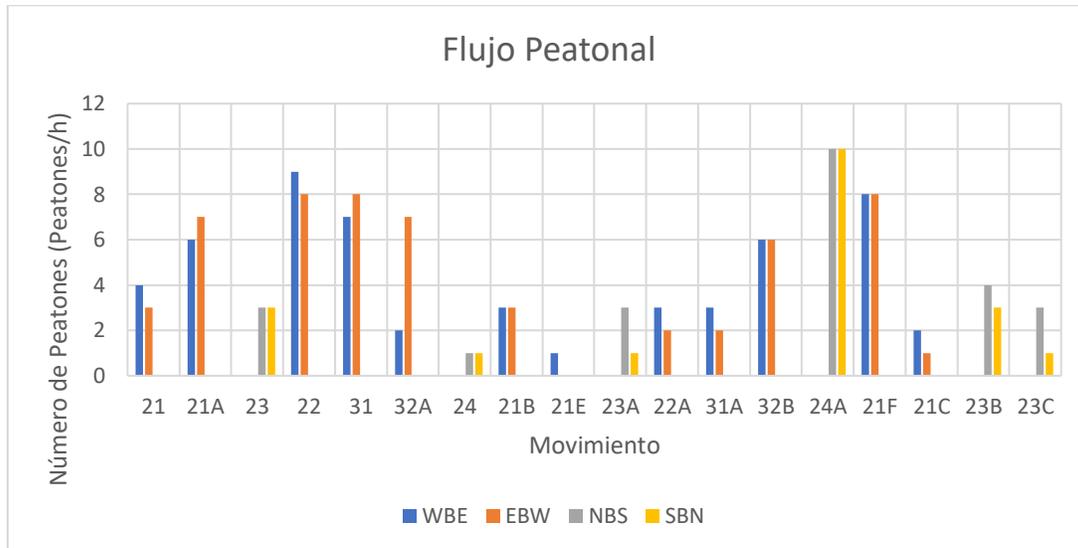
Tabla 7. Matriz Origen/Destino de la Glorieta tras la Intervención  
Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3. Información peatonal

Para la información peatonal se decidió realizar el mismo proceso que para la información vehicular, se realizó un aforo de peatones utilizando el video de seguridad que se grabó

del martes 19 de marzo entre las 5:00 y las 20:00, y se hizo la proporción entre el total del aforo y el total de la información proveída, obteniendo lo siguiente:

Gráfica 8. Distribución Horaria Peatonal



Fuente: Elaboración propia utilizando datos de la Secretaría Distrital de Movilidad

Como se observa en la gráfica 8, hay un alto flujo peatonal en la zona de la glorieta.

Además de esto, se encontró que:

«En el área de influencia del proyecto se han registrado 133 siniestros en los últimos ocho años, de los cuales 10 fueron fatales e involucraron personas de la tercera edad, peatones, ciclistas, motociclistas y pasajeros de vehículos. En los 123 siniestros restantes resultaron heridos 18 menores de edad.» (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019)

## 6. Modelación de las dinámicas de la zona de estudio con la información recibida

### 6.1. Proceso de creación del modelo base de simulación microscópica.

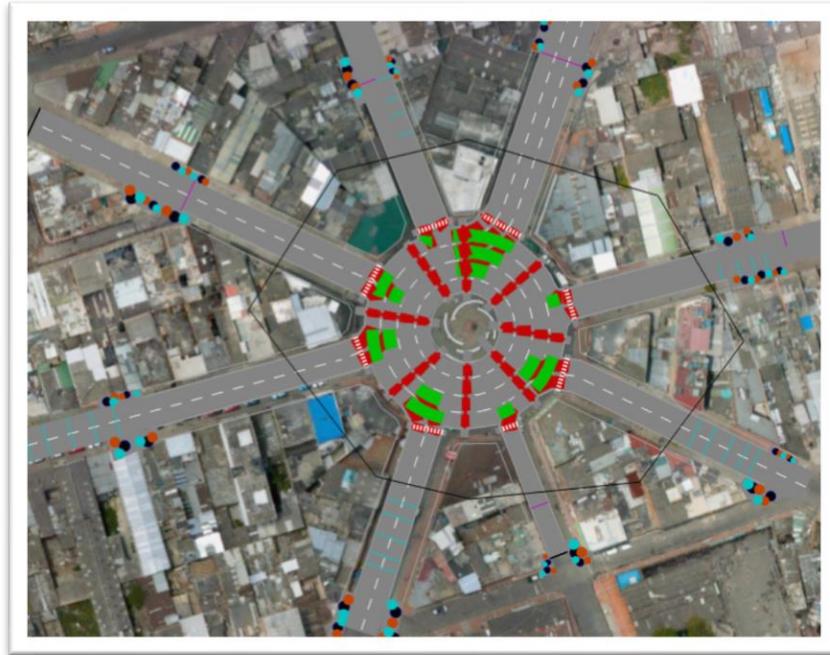
Una vez toda la información recopilada acerca de las dinámicas del tráfico en la zona de estudio fue analizada y procesada para su uso, se inició con el desarrollo de la simulación microscópica de la situación inicial presentada en la glorieta. Haciendo uso del software PTV VISSIM, se ubicó geográficamente la zona de estudio dentro de los mapas globales "Global Street Map" que el programa incluye. Añadido a esto, se utilizó un recorte de la ortofotografía digital de Bogotá para el año 2014, de manera que se incluyese un contexto geográfico visual que brindara información sobre la infraestructura vial encontrada. A partir de dicho contexto geográfico se dio inicio al proceso de diseño de la red, el cual

consistió en crear los segmentos viales correspondientes a la infraestructura encontrada en la situación inicial de la intervención (véase tabla 3 y 8).

Nombre	Uso	Carriles	Longitud (m)	Carril	Ancho de Carril (m)
Glorieta	Urbano, Motorizado.	4	117.800	1	4.5
				2	4.7
				3	5.0
				4	4.0
2	Urbano, Motorizado.	3	80.460	1	4.0
				2	4.0
				3	4.0
1A	Urbano, Motorizado.	1	61.650	1	4.5
1B	Urbano, Motorizado.	1	61.620	1	4.5
8	Urbano, Motorizado.	2	101.810	1	4.5
				2	4.5
7	Urbano, Motorizado.	2	161.440	1	4.5
				2	4.5
6	Urbano, Motorizado.	2	60.540	1	4.5
				2	4.5
5	Urbano, Motorizado.	1	35.530	1	5.0
4	Urbano, Motorizado.	2	72.230	1	4.5
				2	4.5
3A	Urbano, Motorizado.	1	80.280	1	4.5
3B	Urbano, Motorizado.	1	80.280	1	4.5

*Tabla 8. Red Vial del Primer Escenario  
Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim*

*Ilustración 13. Vista en Planta de la Red Vial del Primer Escenario*



*Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim*

Una vez ha sido creada la red de infraestructura vial de la zona de estudio, se procede a insertar la información recopilada en los aforos vehiculares para la hora de máxima demanda definida. Puesto que se tienen conteos para los ingresos por cada acceso a la intersección, las fuentes de tráfico se ubican en cada uno de los accesos cuyo sentido permite la entrada a la glorieta, y se descompone el tráfico por tipo de vehículo. Para ello se utilizan los modelos vehiculares tridimensionales preexistentes en el programa y se crea además el modelo tridimensional de una motocicleta, puesto que conforma una gran parte de la composición del tráfico en la zona de estudio.

Nombre	Link	Volumen	Vehículo
1	3A	40	Automóvil
1	3A	4	Bus
1	3A	1	Camión
1	3A	26	Motocicleta
1	3A	20	Bicicleta
2	8	26	Automóvil
2	8	0	Bus
2	8	2	Camión
2	8	14	Motocicleta
2	8	13	Bicicleta
3	1A	22	Automóvil
3	1A	3	Bus
3	1A	2	Camión
3	1A	13	Motocicleta

3	1A	11	Bicicleta
3A	2	422	Automóvil
3A	2	25	Bus
3A	2	38	Camión
3A	2	843	Motocicleta
3A	2	107	Bicicleta
4	5	29	Automóvil
4	5	0	Bus
4	5	2	Camión
4	5	17	Motocicleta
4	5	7	Bicicleta

Tabla 9. Información Ingresada con la Función "Vehicle Inputs" en el Primer Escenario  
Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

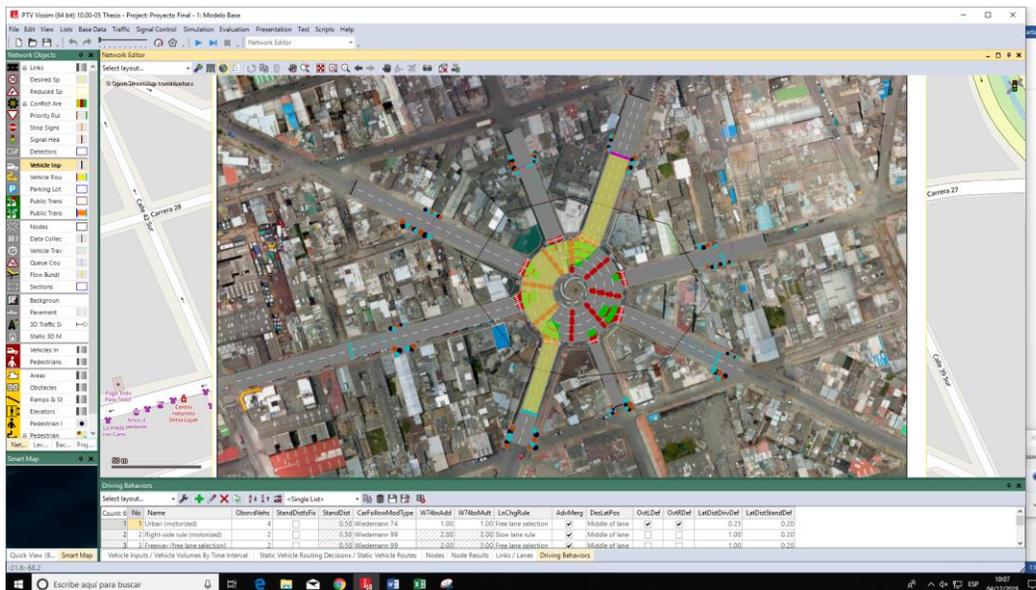
Posteriormente se modifican los comportamientos de los conductores que utilizan la infraestructura debido a que los comportamientos preexistentes en el programa no corresponden ni se aproximan a los comportamientos reales presentados en campo por los conductores que transitan en la zona de estudio. Para modificar dichos comportamientos se cambiaron algunos de los valores presentados en la pestaña «Driving Behaviors» por los valores proveídos por el Ingeniero Jesús Antonio Díaz Arévalo

No	Name	Obsevd Vehs	Stand Dist	CarFollow ModType	W74b xAdd	W74b xMult	LnChg Rule	DesLat Pos	LatDist DrivDef	LatDist StandDef
1	Urban (Motorized)	4	0,5	Wiedeman n 74	1,00	1,0	free lane selection	Middle of lane	0,25	0,20
2	Right-side rule (Motorized)	2	0,5	Wiedeman n 99	2,00	3,0	Slow lane rule	Middle of lane	1,00	0,20
3	Freeway (free lane selection)	2	0,5	Wiedeman n 99	2,00	3,0	free lane selection	Middle of lane	1,00	0,20
4	Footpath (no interaction)	2	0,5	No interaction	2,00	3,0	free lane selection	Any	1,00	0,20
5	Cycle-Track (free overtaking)	2	0,5	Wiedeman n 99	2,00	3,0	free lane selection	Right	0,30	0,10
6	Moto	2	0,5	Wiedeman n 74	0,45	0,5	free lane selection	Any	0,80	0,30

Tabla 10. Lista de la Función "Driving Behaviors"  
Fuente: Elaboración Propia Utilizando Información del Ing. Jesús Díaz y el software PTV Vissim

Haciendo uso de la función «vehicle routes» se definieron rutas desde cada uno de los accesos hacia todas las salidas mediante los porcentajes de flujo vehicular presentados en la tabla 5.

Ilustración 14. Ejemplo de Ruta Vehicular en la Red Vial del Primer Escenario



Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

Para insertar los volúmenes y rutas peatonales en el modelo se crean las áreas peatonales y sus respectivos cruces con la red, utilizando las funciones “Area” y “Links”. En esta última, se selecciona la opción “Is Pedestrian Area” al momento de crear un cruce, de modo que los peatones de la simulación puedan utilizar estas conexiones para atravesar segmentos de vías para vehículos motorizados ubicados entre áreas peatonales.

Ilustración 15. Áreas Peatonales del Primer Escenario



Fuente: Elaboración propia utilizando el software PTV Vissim

En cada extremo de los accesos a la red se ubicaron dos áreas peatonales que sirven, cada una, como origen y destino para los peatones que circulan por la intersección. En la Ilustración 16 las áreas señaladas con color rojo fueron utilizadas para crear y recibir a los peatones que circulan haciendo uso de los andenes y no atraviesan la glorieta por entre las vías pavimentadas. Las áreas señaladas con color verde son áreas que sirven de origen y destino para peatones que atraviesan la calzada.

*Ilustración 16. Áreas Origen y Destino del Primer Escenario*



*Fuente: Elaboración propia utilizando el software PTV Vissim*

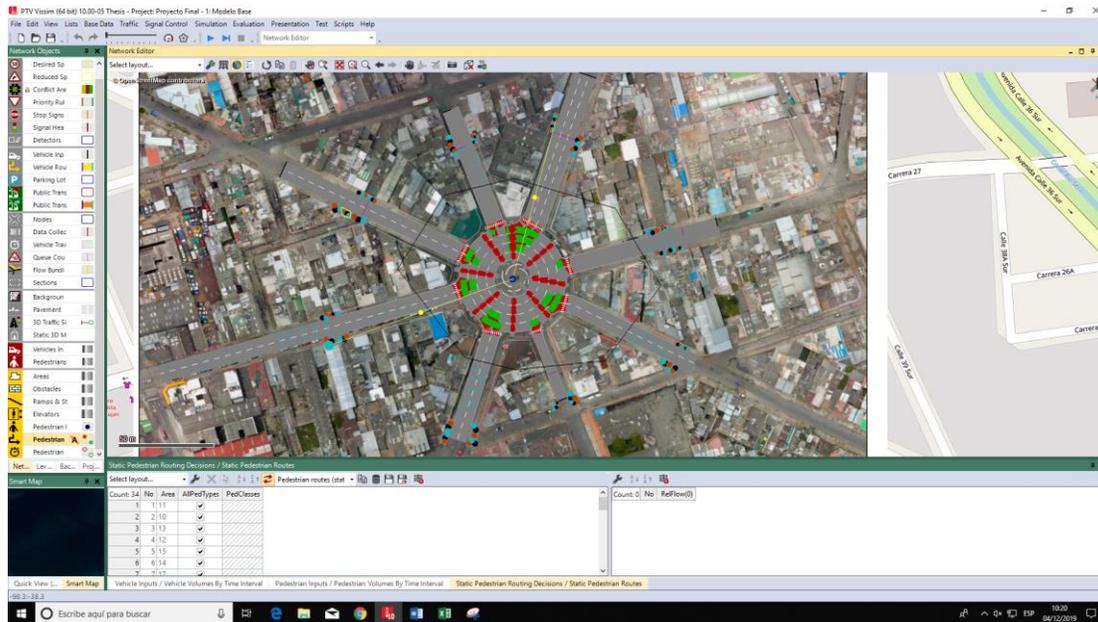
Finalmente, haciendo uso de las funciones “Pedestrian Inputs” y “Pedestrian Routes” se insertan los volúmenes peatonales y las rutas seguidas por éstos (Véase Ilustración 17). Para iniciar el proceso de simulación, se define un tiempo de 4500 segundos, de modo que los 900 segundos iniciales se dedican a realizar una precarga del modelo que permite que las medidas realizadas sobre la simulación durante la hora restante no se vean afectadas por la ausencia inicial de vehículos en el modelo.

Ilustración 17. Lista de la Función "Pedestrian Inputs"

Count: 34	No	Name	Area	Volume(0)	PedComp(0)
1	1	21AE	10	7.0	1: Pedestrians
2	2	21AW	11	6.0	1: Pedestrians
3	3	23N	12	3.0	1: Pedestrians
4	4	23S	13	3.0	1: Pedestrians
5	5	22W	14	9.0	1: Pedestrians
6	6	22E	15	8.0	1: Pedestrians
7	7	31W	17	7.0	1: Pedestrians
8	8	31E	16	8.0	1: Pedestrians
9	9	32AE	18	7.0	1: Pedestrians
10	10	32AW	19	2.0	1: Pedestrians
11	11	24N	21	1.0	1: Pedestrians
12	12	24S	20	1.0	1: Pedestrians
13	13	21BE	22	3.0	1: Pedestrians
14	14	21BW	23	3.0	1: Pedestrians
15	15	21E	24	3.0	1: Pedestrians
16	16	21W	25	4.0	1: Pedestrians
17	17	23AN	27	3.0	1: Pedestrians
18	18	23AS	26	1.0	1: Pedestrians
19	19	21EE	29	0.0	1: Pedestrians
20	20	21EW	28	1.0	1: Pedestrians
21	21	21CW	31	2.0	1: Pedestrians
22	22	21CE	30	1.0	1: Pedestrians
23	23	21FW	33	8.0	1: Pedestrians
24	24	21FE	32	8.0	1: Pedestrians
25	25	24AN	34	10.0	1: Pedestrians
26	26	24AS	35	10.0	1: Pedestrians
27	27	32BW	36	6.0	1: Pedestrians
28	28	32BE	37	6.0	1: Pedestrians
29	29	31AE	39	2.0	1: Pedestrians
30	30	31AW	38	3.0	1: Pedestrians
31	31	22AE	40	2.0	1: Pedestrians
32	32	22AW	41	3.0	1: Pedestrians
33	33	23BCS	42	4.0	1: Pedestrians
34	34	23BCN	43	6.0	1: Pedestrians

Fuente: Tomado del proceso de creación del modelo en el software PTV VISSIM.

Ilustración 18. Ejemplo de Ruta Peatonal en la Red Vial del Primer Escenario



Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

## 6.2. Proceso de calibración del modelo base de simulación microscópica.

Una vez se ha finalizado el proceso de creación del modelo del escenario presentado en campo, se prosigue con la calibración del modelo. Esta calibración supone lograr que los volúmenes vehiculares modelados sean lo más cercanos posibles a los volúmenes vehiculares aforados en campo. Para ello se hace uso del estadístico GEH, formulación empírica que permite la comparación de dos volúmenes de tráfico vehicular (Ecuación 1). La comparación de volúmenes de tráfico vehicular se debe realizar para cada uno de los movimientos que surgen dentro de la intersección. En el caso analizado se presentan los siguientes volúmenes por ruta, con sus respectivos estadísticos GEH calculados (Tabla 11).

Movimiento	Volumen Modelado	Volumen Real	GEH
2 - 7	503	518	1
2 - 6	791	799	0
2 - 4	47	51	1
2 - 3	36	41	1
2 - 1	25	25	0
1 - 7	21	18	1
1 - 6	24	28	1
1 - 4	0	2	2
1 - 3	2	2	0
8 - 7	16	20	1
8 - 6	31	30	0

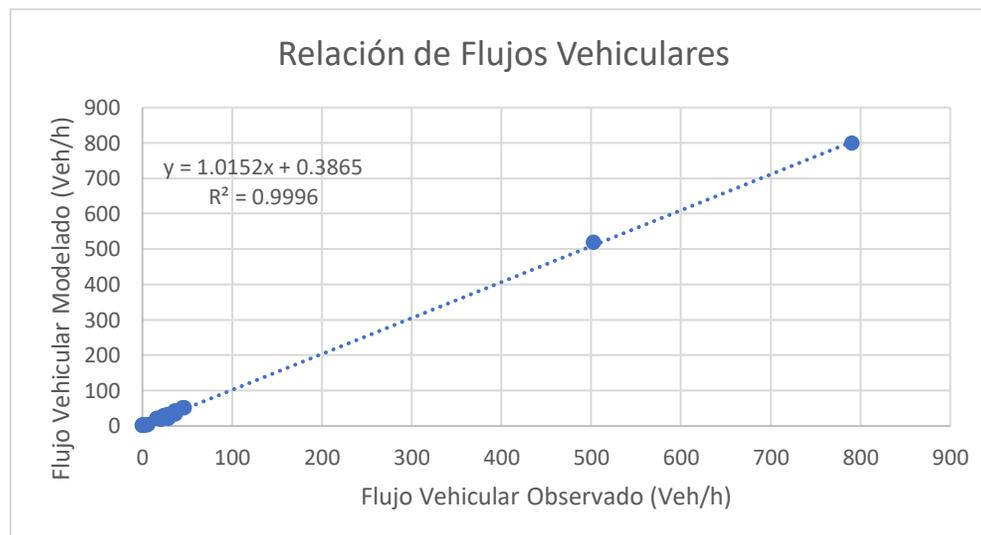
8 - 4	2	2	0
8 - 3	1	2	1
8 - 1	0	1	1
5 - 7	29	20	2
5 - 6	28	31	1
5 - 4	1	2	1
5 - 3	1	2	1
5 - 1	1	1	0
3 - 7	37	33	1
3 - 6	45	50	1
3 - 4	6	3	1
3 - 1	2	2	0
<b>Total</b>	<b>1649</b>	<b>1683</b>	<b>1</b>

Tabla 11. Comparación de Volúmenes Vehiculares con el Estadístico GEH para el Primer Escenario

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede ver en la Tabla 11 el estadístico GEH tiene un valor menor a cinco para cada caso, lo cual indica que el modelo ha sido correctamente calibrado. Estos volúmenes de flujo vehicular son relacionados gráficamente de manera que aparezcan en una línea recta con una pendiente aproximada a los 45° (pendiente de la ecuación lineal igual a 1,0152) con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) aproximadamente igual a 0,9996, que indica que la correlación entre los valores modelados y aforados en campo es directa.

Gráfica 9. Relación de flujos Vehiculares para el Modelo Base



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez el modelo ha sido correctamente calibrado, de manera que la situación modelada es lo suficientemente similar a la situación observada en campo, es posible

proceder con la modelación del siguiente escenario, correspondiente a la intervención de pacificación realizada en la zona de estudio.

## 7. Modelación de la zona de estudio aplicando el diseño de intervención realizado

### 7.1. Proceso de creación del segundo escenario del modelo de simulación microscópica.

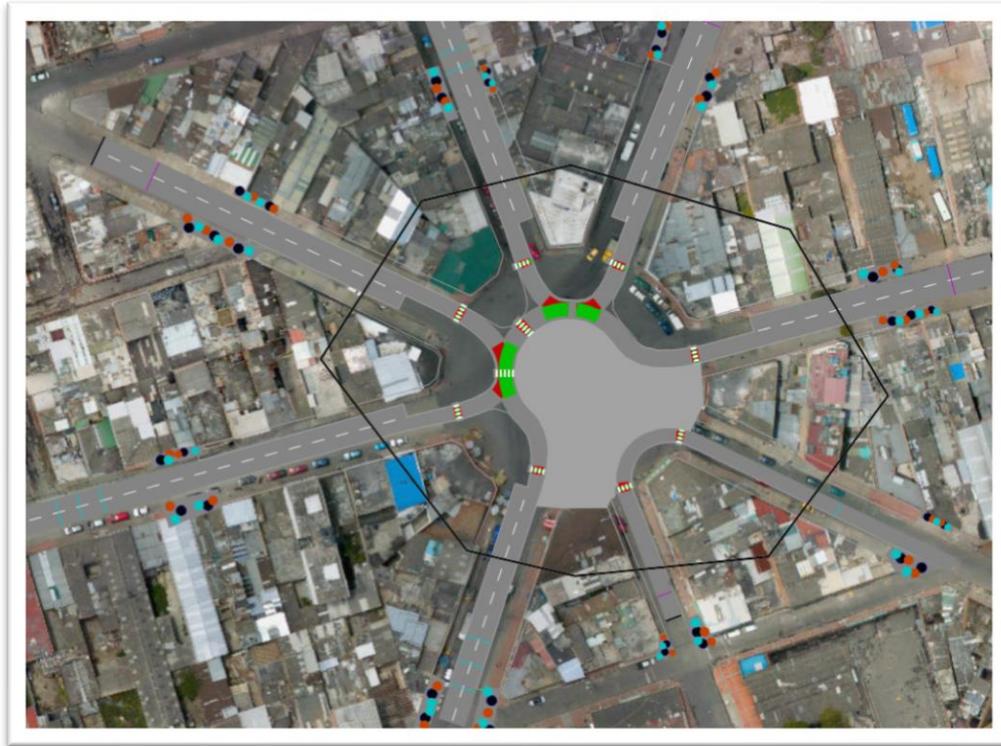
A partir de la creación de un modelo base calibrado, es posible generar diferentes escenarios como variaciones de dicho modelo. Para generar una modelación de la zona de estudio aplicando el diseño de la intervención de pacificación vial realizada por la iniciativa Plazoletas Bogotá, se duplicó el modelo anteriormente generado de manera que se partiera de un escenario con la misma información inicial sobre tráfico vehicular y peatonal.

La intervención de pacificación vial en la glorieta planteada por la iniciativa Plazoletas Bogotá, sigue las características geométricas presentadas en la sección 4.3. **Descripción de la intervención de tipo pacificación vial en la glorieta**, de manera que para la creación del escenario post-intervención fue necesario crear una nueva red vial sobrepuesta a la que aparece en el modelo base. Utilizando la función “Links” proporcionada por el software se creó la red vial correspondiente a la intervención (véase Ilustración 19 y Tabla 12),

Nombre	Uso	Carriles	Longitud (m)	Carril	Ancho de Carril (m)
Glorieta	Urbano, Motorizado.	1		1	4,50
2	Urbano, Motorizado.	2	76,540	1	3,75
				2	3,75
8	Urbano, Motorizado.	2	83,350	1	3,75
				2	3,75
7	Urbano, Motorizado.	2	151,340	1	3,25
				2	3,25
6	Urbano, Motorizado.	2	60,540	1	3,25
5	Urbano, Motorizado.	1	35,530	1	3,75
4	Urbano, Motorizado.	1	72,230	1	3,5
3A	Urbano, Motorizado.	2	61,050	1	3,75
				2	3,75
1B	Urbano, Motorizado.	2	59,620	1	3,75
				2	3,75

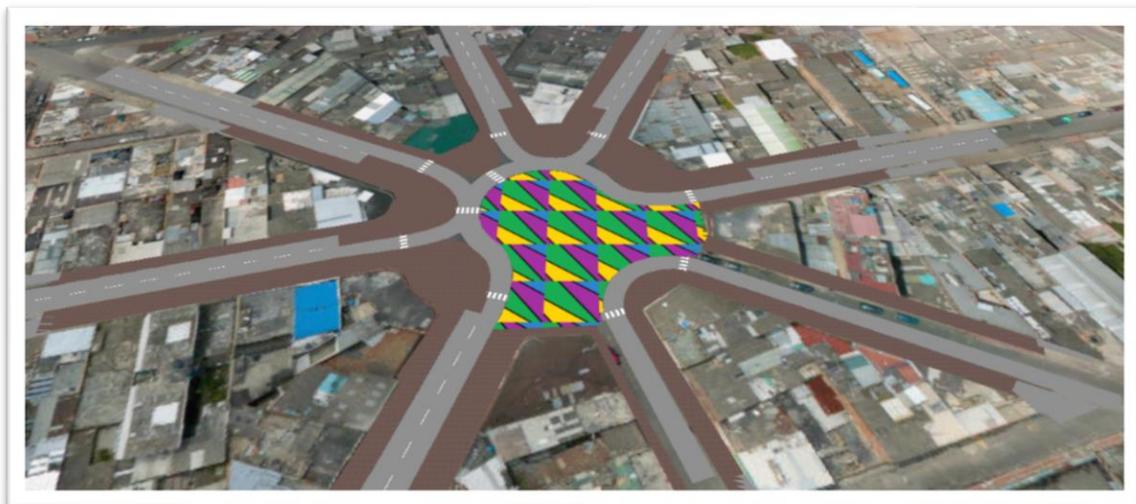
Tabla 12. Red Vial del Segundo Escenario  
Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

Ilustración 19. Vista en Planta de la Red Vial del Segundo Escenario



Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

Ilustración 20. Vista Tridimensional de la Zona de Estudio en el Segundo Escenario



Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

La modificación de los segmentos viales y sus sentidos de flujo trajo consigo una modificación en las rutas y volúmenes vehiculares por ingreso en la intersección. Para

establecer el nuevo funcionamiento del tráfico en la intersección fue necesario realizar una serie de supuestos que no generaran grandes diferencias con el modelo base. Los volúmenes vehiculares y las rutas en la glorieta tras la realización de la intervención se muestran en la sección **5.2. Establecimiento del funcionamiento del tráfico en la glorieta tras la intervención.**

Estos volúmenes y rutas vehiculares fueron insertados en el software de simulación mediante las funciones “Vehicle Inputs” y “Vehicle Routes”, como se muestra en la tabla 13.

Nombre	Link	Volumen	Vehículo
1	3A	40	Automóvil
1	3A	4	Bus
1	3A	1	Camión
1	3A	26	Motocicleta
1	3A	20	Bicicleta
2	8	38	Automóvil
2	8	0	Bus
2	8	3	Camión
2	8	20	Motocicleta
2	8	19	Bicicleta
3A	2	429	Automóvil
3A	2	25	Bus
3A	2	39	Camión
3A	2	858	Motocicleta
3A	2	109	Bicicleta
4	5	1	Automóvil
4	5	0	Bus
4	5	0	Camión
4	5	1	Motocicleta
4	5	0	Bicicleta

Tabla 13. Información Ingresada con el Función "Vehicle Inputs" en el Segundo Escenario  
Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim

Con respecto a la información sobre flujos peatonales, no fue necesario realizar ningún cambio con relación a la información insertada en el modelo base, puesto que los peatones son capaces de completar las rutas ya establecidas a través de la infraestructura existente. (Para ver el proceso de insertado de volúmenes y rutas peatonales véase la sección **6.1. Proceso de creación del modelo base de simulación microscópica.**)

## 7.2. Proceso de calibración del segundo escenario del modelo de simulación microscópica.

Del mismo modo en que se estudian los movimientos vehiculares para las condiciones dadas en el modelo base, se realiza una comparación estadística de los valores obtenidos

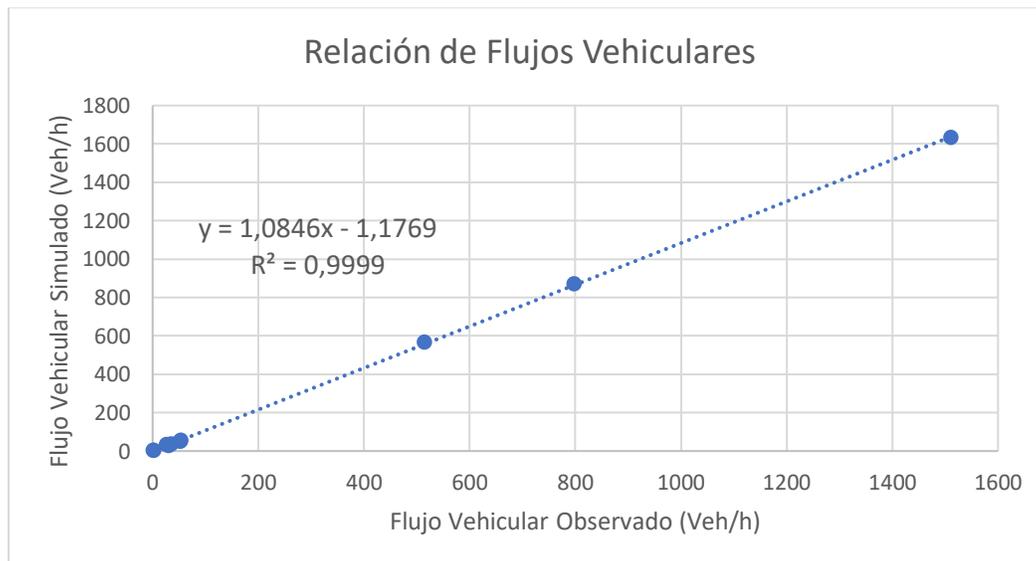
ingresados al software como volúmenes de flujo vehicular, con los resultados arrojados por la simulación para el escenario que representa la realización de la intervención. Así, los estadísticos GEH para los movimientos de dicho escenario quedan expuestos en la Tabla 14.

Movimiento	Volumen Modelado	Volumen Real	GEH
2 - 1	30	27	1
2 - 6	798	869	2
2 - 7	514	564	2
3 - 1	2	2	0
3 - 6	53	54	0
3 - 7	35	35	0
5 - 4	1	2	1
8 - 6	52	49	0
8 - 7	26	31	1
<b>Total</b>	<b>1511</b>	<b>1633</b>	<b>3</b>

Tabla 14. Comparación de Volúmenes Vehiculares con el Estadístico GEH para el Segundo Escenario  
Fuente: Elaboración Propia.

Para el segundo escenario la relación gráfica aparece con una pendiente de la ecuación de la recta igual a 1,0846 y coeficiente de determinación  $R^2$  igual a 0,9999 (Véase Gráfica 10).

Gráfica 10. Relación de Flujos Vehiculares para el Segundo Escenario



Fuente: Elaboración Propia.

## 8. Modelación de la zona de estudio aplicando variaciones al diseño de la intervención

### 8.1. Proceso de creación del tercer escenario del modelo de simulación microscópica.

Para crear la red vial, propuesta en la presente investigación como alternativa de intervención de pacificación vial en la zona de estudio, se duplicó el modelo base de la simulación y se utilizó la herramienta “Links” para eliminar y crear los segmentos y conectores viales necesarios (Ver el diseño geométrico de la alternativa en la sección **4.4. Descripción de la propuesta de intervención de pacificación vial en la glorieta**). La red vial se muestra en el software como se ve en la ilustración 21.

Del mismo modo se modifican las áreas peatonales para cumplir con el diseño geométrico propuesto (Ver Ilustración 22).

*Ilustración 21. Vista en Planta de la Red Vial del Tercer Escenario*



*Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim*

*Ilustración 22. Vista Tridimensional de la Zona de Estudio en el Tercer Escenario*



*Fuente: Elaboración Propia utilizando el software PTV Vissim*

Debido a que las modificaciones en el diseño geométrico de la red no cambian en ningún sentido los volúmenes y las rutas, tanto vehiculares como peatonales; se utiliza la información insertada en el modelo base para realizar la simulación microscópica (Para ver el proceso de inserción de los datos remítase a la sección **6.1. Proceso de creación del modelo base de simulación microscópica.**).

## **8.2. Proceso de calibración del tercer escenario del modelo de simulación microscópica.**

Haciendo uso de la misma técnica utilizada en los anteriores escenarios, se comparan los volúmenes vehiculares observados y simulados para clasificar la simulación como una representación aceptable de la realidad. La comparación de volúmenes por movimiento se muestra en la Tabla 15.

<b>Movimiento</b>	<b>Volumen Modelado</b>	<b>Volumen Real</b>	<b>GEH</b>
2 - 7	454	518	3
2 - 6	707	799	3
2 - 4	44	51	1
2 - 3	35	41	1
2 - 1	21	25	1
1 - 7	20	18	0
1 - 6	24	28	1
1 - 4	0	2	2
1 - 3	2	2	0
8 - 7	17	20	1

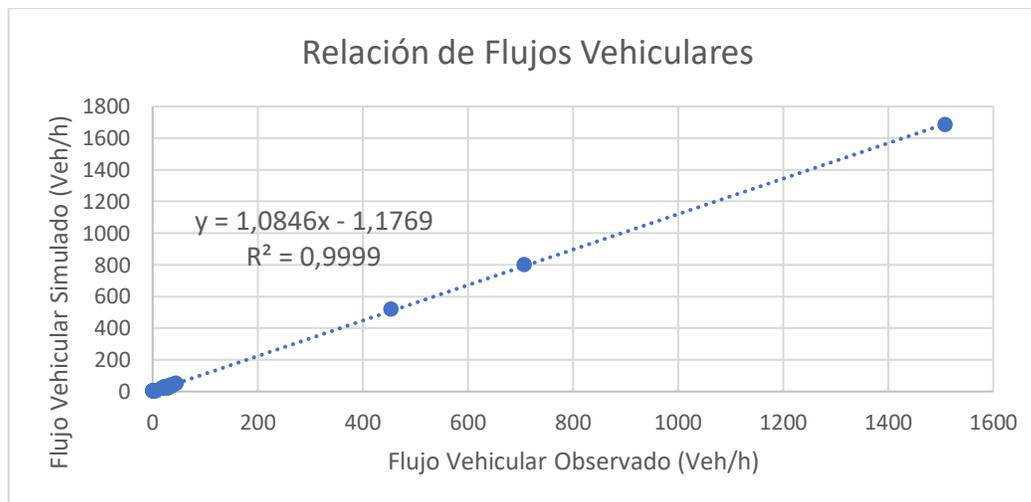
8 - 6	31	30	0
8 - 4	2	2	0
8 - 3	1	2	1
8 - 1	0	1	1
5 - 7	29	20	2
5 - 6	28	31	1
5 - 4	1	2	1
5 - 3	1	2	1
5 - 1	1	1	0
3 - 7	37	33	1
3 - 6	45	50	1
3 - 4	6	3	1
3 - 1	2	2	0
<b>Total</b>	<b>1508</b>	<b>1683</b>	<b>4</b>

Tabla 15. Comparación de los Volúmenes Vehiculares con el Estadístico GEH para el Tercer Escenario

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, la relación gráfica de volúmenes de flujo vehicular arroja una pendiente de 1,0846 y un coeficiente de determinación igual a 0,9999, lo que indica que la simulación es apropiada (ver Gráfica 11).

Gráfica 11. Relación de Flujos Vehiculares para el Tercer Escenario



Fuente: Elaboración Propia.

## 9. Análisis comparativo de los resultados de las simulaciones en los diferentes escenarios modelados

Como se especificó en la sección 3. Metodología, para calcular la efectividad de las intervenciones de pacificación vial en la infraestructura, se decidió aforar los volúmenes de conflictos vehículo-peatón, de manera que se pudiese obtener una medida directa del riesgo al que están expuestos los peatones en vía.

Los aforos se realizaron manualmente sobre la vista tridimensional de la simulación una vez finalizados los 900 segundos de precarga y durante toda la hora siguiente. Se contó como conflicto todo evento en el que un vehículo se detuviese para permitir el paso de un peatón y viceversa.

En cada uno de los escenarios planteados se realizaron tres aforos. Los resultados de dichos aforos convergen rápidamente hacia un valor promedio en cada escenario simulado debido a que, a menos que se realice un cambio en la estructura del modelo, los sucesos de la simulación no han de variar. La variación de resultados encontrada para las tomas de datos de cada uno de los escenarios se explica en el error natural cometido por los aforadores en el ejercicio. Por ello no se considera necesario obtener una cantidad de datos suficiente como para construir distribuciones estadísticas, pues el valor promedio determinado es una aproximación idónea a un volumen de conflictos, no variable, arrojado por la simulación. Los dos aforos adicionales por escenario se ejecutaron para tener en consideración el error humano cometido por los aforadores y obtener información sobre la temporalidad, espacialidad y frecuencia en la ocurrencia de conflictos para cada peatón.

### 9.1. Escenario uno: Modelo base.

La distribución temporal del aforo de conflictos realizado se muestra a continuación,

*Gráfica 12. Distribución Temporal de los Conflictos en el Modelo Base*

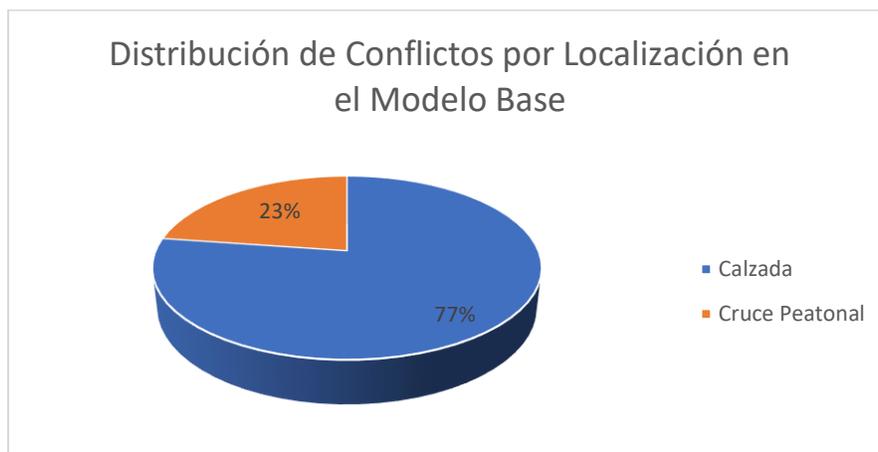


*Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim*

Como se observa en la gráfica 12, el número de conflictos inicia en un valor alto, y se mantiene más o menos constante durante los primeros 15 minutos, luego se presenta una distribución que asemeja a una onda sinusoidal, para finalizar en un pico, además se tienen que en promedio ocurren 92 conflictos durante la hora de máxima demanda.

Asimismo, el aforo se discriminó por la localización en la que ocurrió cada conflicto, como se muestra en la gráfica 13, se tiene que el 77% de los conflictos ocurren en la calzada, y el 23% restante en los cruces peatonales establecidos, por lo que en el escenario base se encuentra una alta exposición de los peatones a un posible incidente vial.

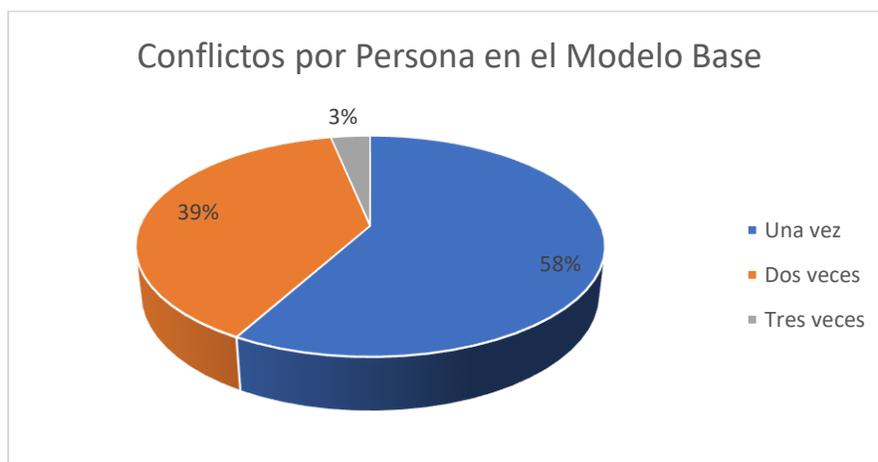
Gráfica 13. Distribución de Conflictos por Localización en el Modelo Base



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

También se realizó el conteo de conflictos por persona (gráfica 14), y se obtuvo que el 58% de las personas están expuestas a un solo conflicto, el 39% a dos conflictos y el 3% a tres conflictos, por lo que alrededor del 42% del total de los peatones está expuesta a incurrir en un incidente vial en más de una ocasión al querer realizar el cruce por la glorieta.

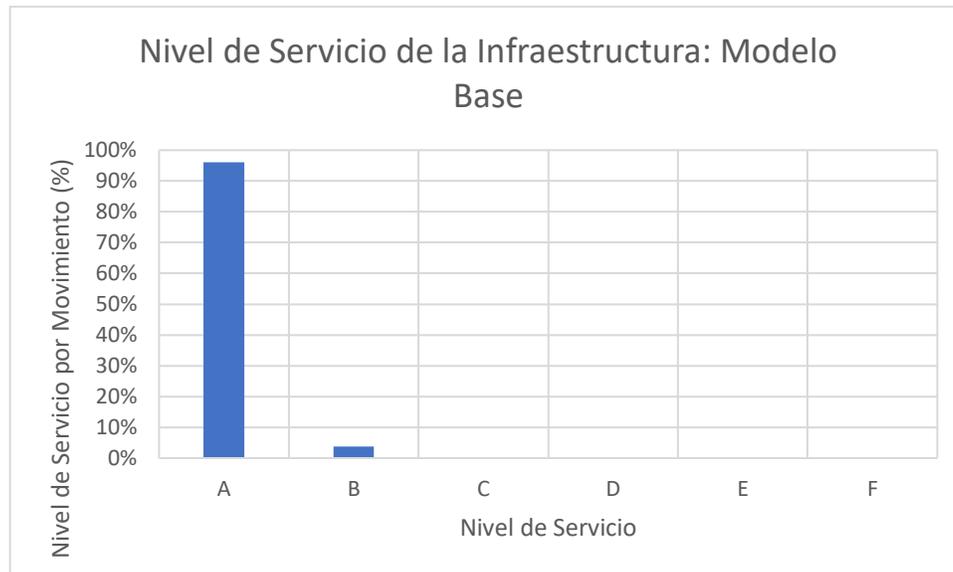
Gráfica 14. Conflictos por Persona en el Modelo Base



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

Respecto al flujo vehicular en el primer escenario se debe anotar que se presentó un nivel de servicio A en el 96% de los movimientos, lo que indica que la infraestructura tiene una capacidad mayor a la requerida para que su uso sea óptimo (ver gráfica 15).

Gráfica 15. Nivel de Servicio de la Infraestructura en el Primer Escenario.



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim.

## 9.2. Escenario dos: Intervención.

La distribución temporal del aforo de conflictos realizado se muestra a continuación,

Gráfica 16. Distribución Temporal de los Conflictos en la Intervención



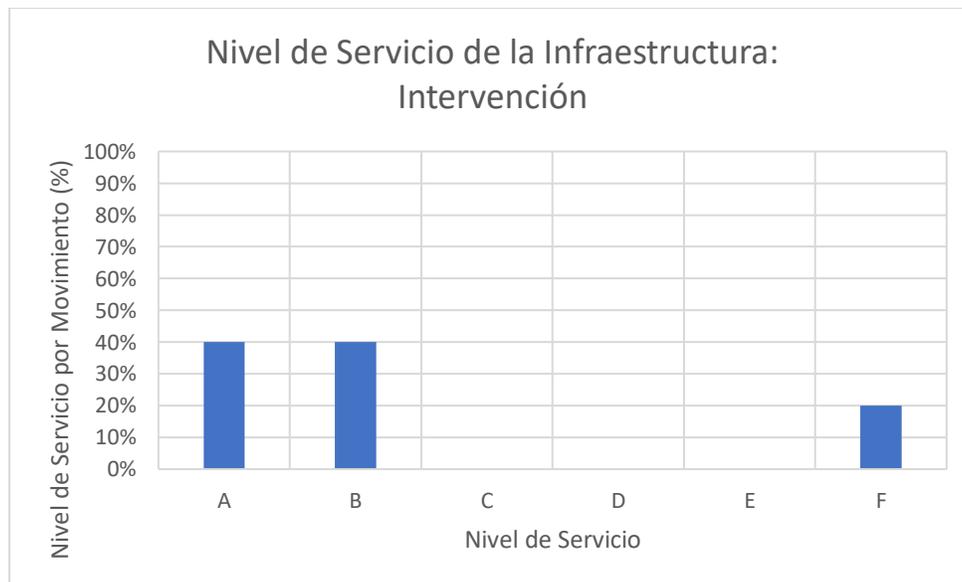
Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

Como se observa en la gráfica 16, el comportamiento de los conflictos en la intervención es muy variado, pues parece no tener una tendencia clara, aunque se ve claramente que tiene unos pocos intervalos en los que los conflictos son pocos, además de que entre las 18:35 y las 18:40 no se registró ninguno, para tener un total de 57 conflictos durante la hora modelada.

Adicional a esto, todos los conflictos se presentaron en los cruces peatonales, pues en este escenario ya no hay ningún cruce permitido que se realice por la calzada.

En cuanto al flujo vehicular que circula por la infraestructura, se debe decir que la intervención provoca que el servicio tienda hacia un nivel óptimo, aunque aun se presentan circunstancias que implican que la capacidad de la infraestructura es mucho mayor a la demanda, pues el 80% de los movimientos presenta niveles de servicio entre el A y el B. Sin embargo, dos de los movimientos realizados por los vehículos, provenientes del acceso número 8, tienen niveles de servicio F, que se deben a la dificultad de los vehículos pesados que utilizan el acceso para tomar la semiglorieta, a causa del paso de los vehículos provenientes de los accesos 3 y 2 (ver gráfica 17).

Gráfica 17. Nivel de Servicio de la Infraestructura en el Segundo Escenario.

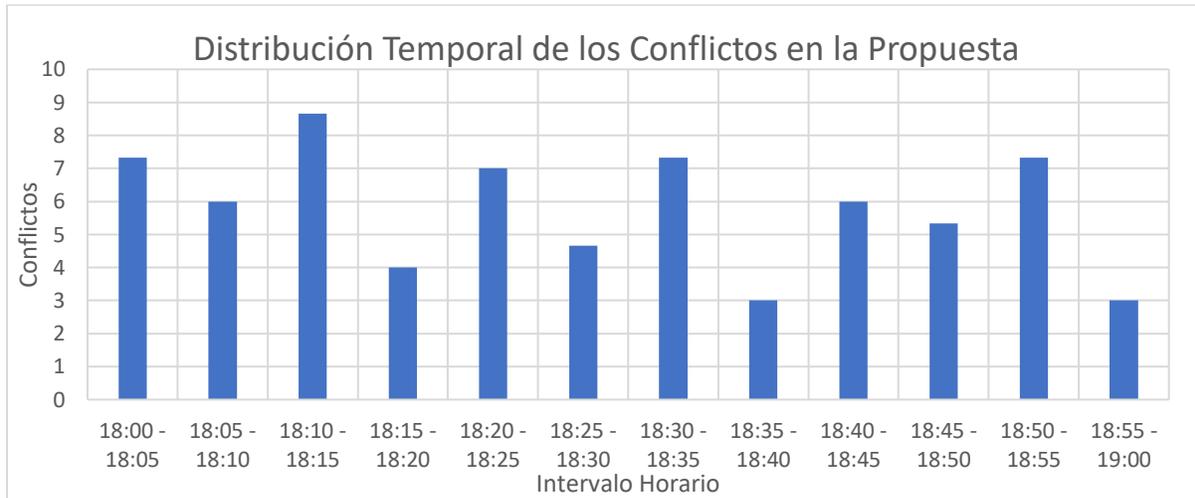


Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

### 9.3. Escenario tres: Propuesta.

La distribución temporal del aforo de conflictos realizado se muestra a continuación,

Gráfica 18. Distribución Temporal de los Conflictos en la Propuesta

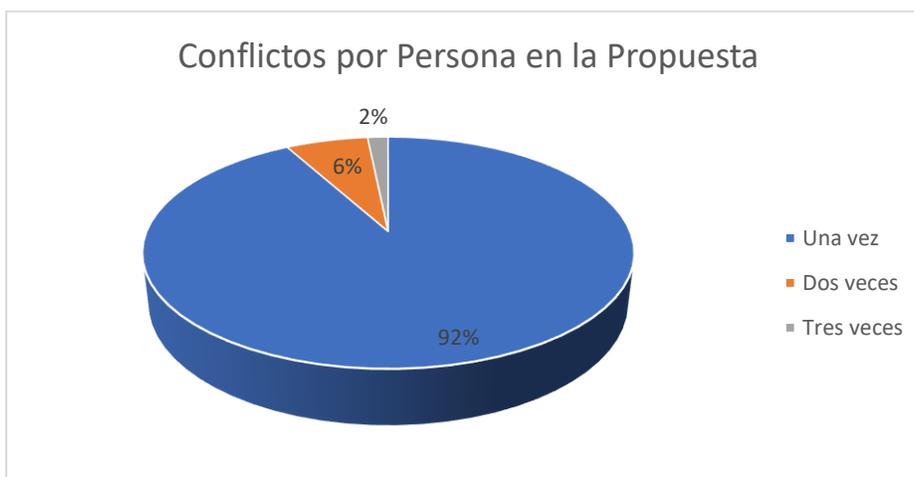


Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

Como se observa en la gráfica 18, la distribución temporal de los conflictos tiene un comportamiento semejante a una onda sinusoidal, empezando con un valor alto y terminando con un valor bajo, para tener un total de 70 conflictos durante la hora de máxima demanda.

Además, se realizó el aforo de conflictos por persona (gráfica 19), obteniendo que el 92% de las personas están expuestas a un conflicto, el 6% a dos conflictos y el 2% a tres, para obtener que tan solo el 8% del total de los peatones están sujetos a incurrir en un incidente vial en más de una ocasión al querer atravesar por la glorieta.

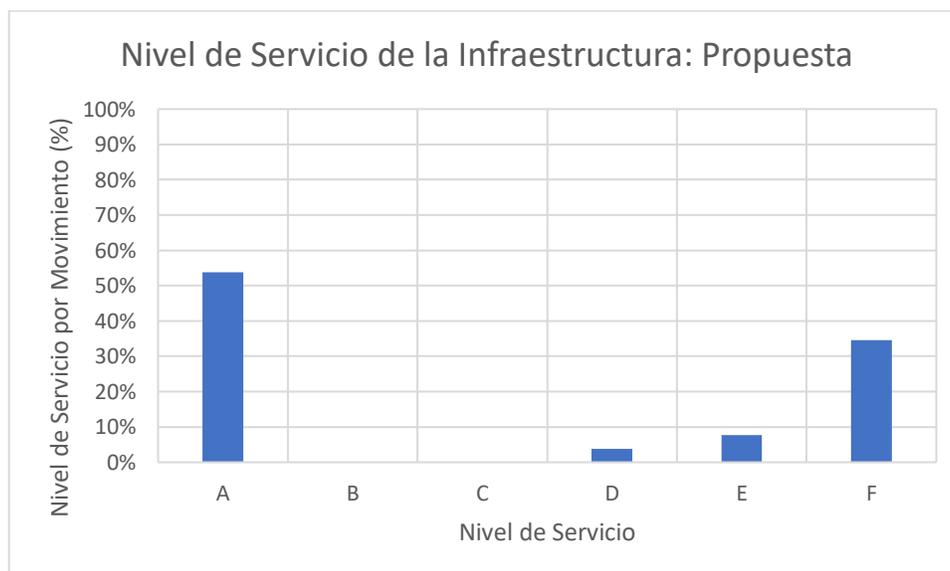
Gráfica 19. Conflictos por Persona en la Propuesta



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim.

Los niveles de servicio presentados en el escenario correspondiente a la propuesta de pacificación vial planteada en la investigación muestran un flujo vehicular con mayores represamientos. En este caso el 35% de los movimientos presenta un nivel de servicio F, y a diferencia de los anteriores escenarios, estos niveles de servicio se presentan para los movimientos provenientes del acceso 2. Por otra parte, en el 54% de los movimientos se obtuvo un nivel de servicio A, lo que indica que algunos accesos están subutilizados.

Gráfica 20. Nivel de Servicio de la Infraestructura para el Tercer Escenario.



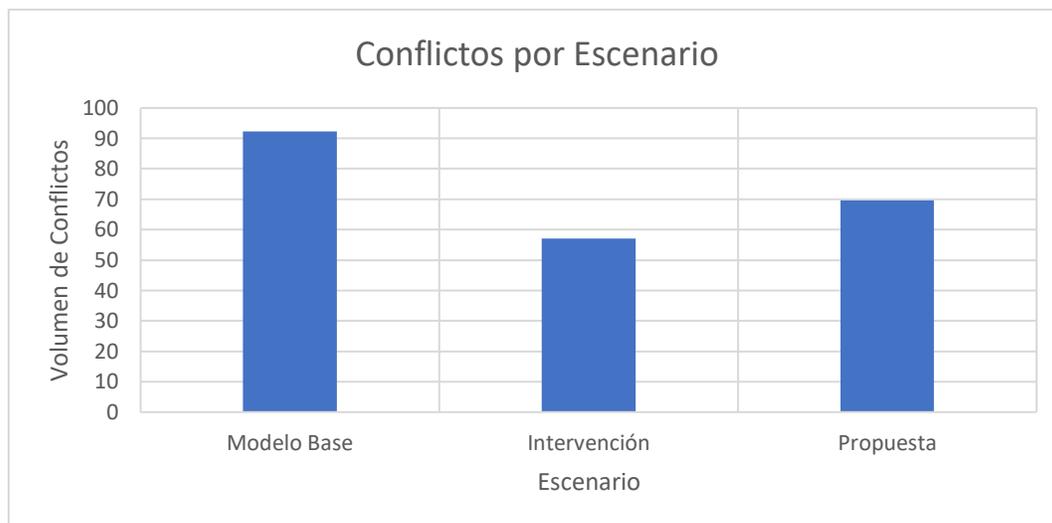
Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim.

## 9.4. Análisis Comparativo

Como se ha mencionado antes, los resultados obtenidos hacen referencia a un valor no variable de conflictos por cada escenario simulado. En las gráficas 21 y 22 se muestra la comparación en términos absolutos y como proporción del volumen de conflictos obtenido en el modelo base. Allí se evidencia que para el escenario que corresponde a la intervención de pacificación vial realizada por la iniciativa “Plazoletas Bogotá” existe una disminución de un 38% en el volumen de conflictos con respecto a la situación inicial.

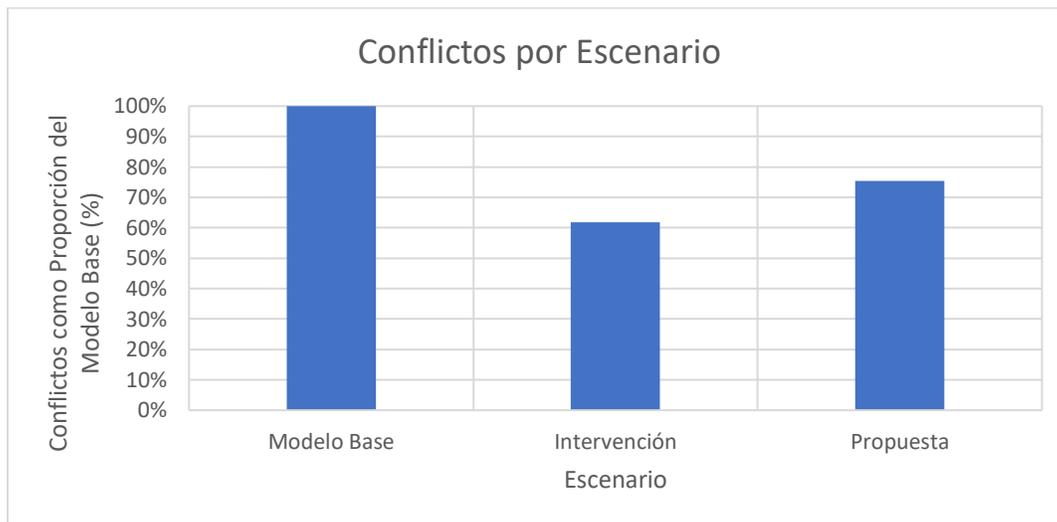
Por otra parte, la propuesta de intervención presentada en la actual investigación muestra una reducción en el volumen de conflictos del 25% con respecto al modelo base, lo que quiere decir que su efectividad se encuentra 14 puntos porcentuales por debajo de la intervención realizada.

Gráfica 21. Volumen de Conflictos para cada Escenario



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim.

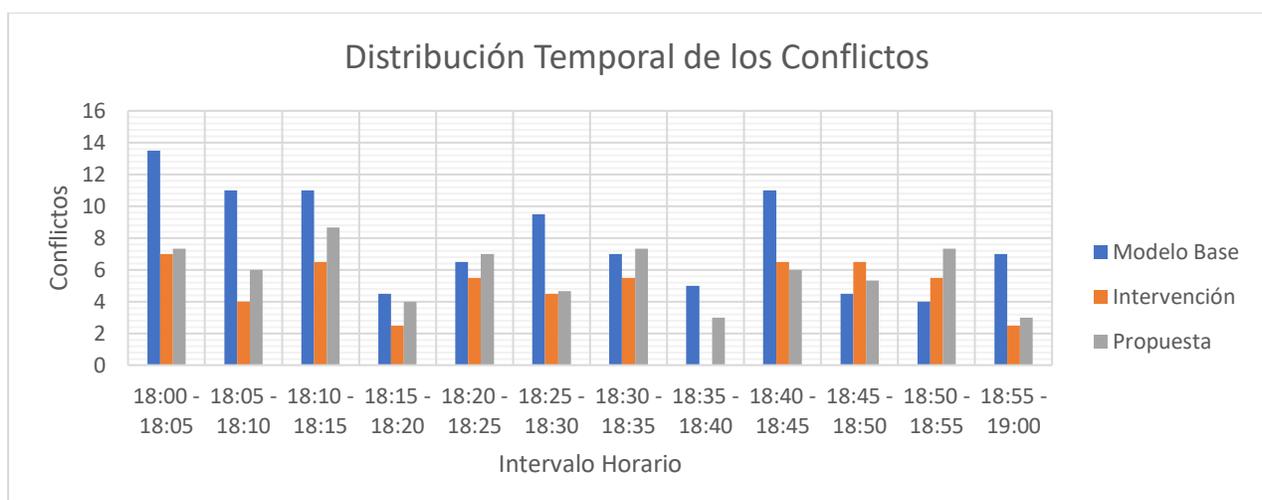
Gráfica 22. Conflictos por Escenario como Proporción del Volumen de Conflictos en el Modelo Base



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim.

La efectividad de las intervenciones de pacificación vial planteadas se muestra también en la distribución temporal de los conflictos durante la hora de máxima demanda. Como se puede ver en la gráfica 23, el modelo base presenta un mayor volumen que los dos escenarios siguientes para un 66% de los intervalos horarios en los que se dividió el aforo. Únicamente, se aprecian variaciones a esta condición en los intervalos de 18:20 a 18:25, 18:30 a 18:35, 18:45 a 18:50 y de 18:50 a 18:55; mientras que sólo en estos últimos dos el volumen de conflictos del escenario correspondiente a la intervención supera al del modelo base.

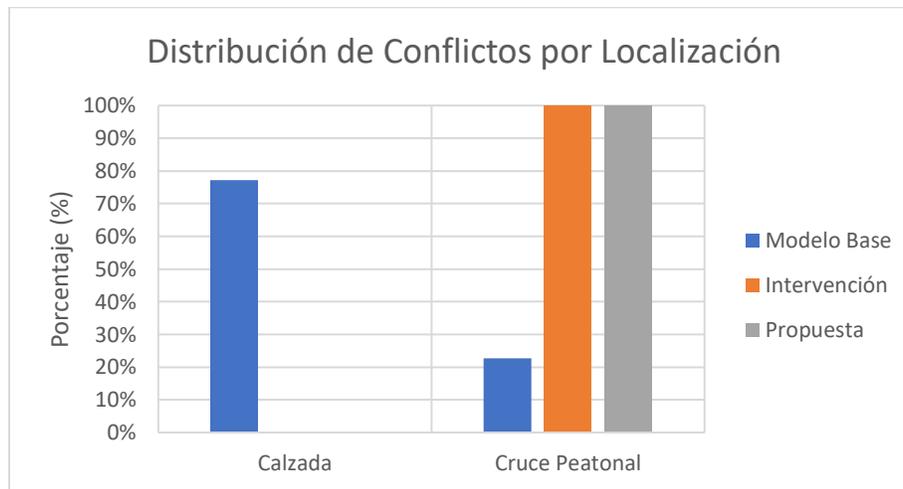
Gráfica 23. Distribución Temporal de los Conflictos en los Tres Escenarios



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

En la gráfica 24, se observa la distribución de los conflictos por localización, si ocurrieron en la calzada o en los cruces peatonales, el modelo base presenta un alto porcentaje de conflictos ocurridos en la calzada, lo cual indica que, hay una alta exposición y riesgo de que los peatones incurran en algún incidente vial, caso contrario a la intervención y a la propuesta, pues en estos escenarios todos los movimientos peatonales se realizan en los cruces destinados a ello, y como en estos modelos la prioridad es del peatón, el riesgo disminuye considerablemente.

Gráfica 24. Distribución de Conflictos por Localización



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

La gráfica 25 indica la cantidad de veces que un mismo peatón estuvo involucrado en un conflicto durante la realización de su trayecto. Los resultados se muestran como una proporción del total de peatones involucrados en conflictos para cada escenario. Allí se evidencia que, para el escenario correspondiente a la intervención, todos los conflictos sucedieron a peatones diferentes; mientras que, para el escenario correspondiente a la propuesta de intervención propia, hasta un 6% de los peatones estuvo involucrado en dos conflictos, y en un caso fueron registrados tres conflictos para un mismo recorrido. Esto se debe a que para este escenario algunos peatones debían cruzar la calzada un mayor número de veces que en la intervención del escenario dos.

En el modelo base se registró la mayor cantidad de repeticiones en los conflictos para un mismo peatón. Alrededor de un 39% de las personas estuvieron expuestas dos veces al riesgo en vía durante la realización de un solo trayecto y el 3% se vio involucrado en tres conflictos con vehículos durante su recorrido. Esto encuentra su explicación en las dimensiones exageradas de la calzada en la glorieta, pues los peatones deben atravesar tres carriles amplios para poder llegar a su destino. Añadido a esto, y como se muestra en la gráfica 24, estos conflictos repetidos suelen suceder en cruces en los que el peatón no tiene prioridad, lo cual incrementa su vulnerabilidad y por tanto el riesgo al que se ve expuesto.

Gráfica 25. Frecuencia de Ocurrencia de un Conflicto para cada Peatón



Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim.

## 10. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten concluir que el manejo de la información bibliográfica y técnica requerida para la realización de los modelos de simulación microscópica propuestos fue exitoso. Los datos obtenidos sobre los flujos peatonales y vehiculares que atraviesan la zona de estudio fueron manipulados de manera que permitieran la creación de un modelo que funcionara como una aproximación real a la situación presentada en campo.

Los procedimientos propuestos desde la metodología fueron llevados a cabo sin percances graves que impidieran la realización del estudio y de esto dan cuenta las evaluaciones del funcionamiento de las simulaciones como se muestra en las secciones **6.2.**, **7.2.**, y **8.2.**; que afirman, mediante un procedimiento de calibración, que los modelos son adecuados. Adicionalmente, y como se menciona en la sección **2.4.** se realizaron calibraciones visuales sobre las simulaciones de los tres escenarios propuestos, de modo que se eliminaran errores notorios en el comportamiento de los vehículos y los peatones. Este tipo de validación fue tanto más profundizada por cuanto se realizaron aforos manuales sobre los diferentes escenarios.

Se considera por tales razones que los procesos de creación de los modelos de simulación microscópica de la zona de estudio fueron exitosos y, por tanto, los resultados que de dichos modelos se obtienen tienen la validez necesaria para generar unas conclusiones que realmente den cuenta de las dinámicas de la movilidad en la zona de estudio.

Escenario	Total	Reducción	Localización		Conflictos por Persona		
			Calzada	Cruce Peatonal	Uno	Dos	Tres
Modelo Base	92	-	77%	23%	58%	39%	3%
Intervención	57	38%	0%	100%	100%	0%	0%
Propuesta	70	25%	0%	100%	92%	6%	2%

Tabla 16. Comparación de los Resultados de la Modelación de los Escenarios

Fuente: Elaboración propia utilizando los resultados obtenidos de la modelación en el software PTV Vissim

Al realizar la comparación de los resultados, se evidencia que efectivamente, la intervención y la propuesta tienen un impacto positivo, pues tienen una gran disminución de conflictos, ya que los peatones están menormente expuestos a incurrir en algún tipo de incidente vial. Como se observa en la tabla 16, la intervención y la propuesta tuvieron una reducción de conflictos del 38% y el 25% respectivamente, además de que la mayoría de las personas que se encuentran expuestas, solo tienen un conflicto durante su recorrido, caso contrario al modelo base, en el que el 42% de las personas están expuestas a dos o más conflictos, razón por la que es un escenario riesgoso para los peatones.

Si se tienen en cuenta las variables adicionales analizadas, como son la frecuencia de conflictos por persona y la localización de los conflictos, se puede ver que el riesgo al que se encuentran expuestos los peatones en la infraestructura cuando no se han implementado intervenciones de pacificación vial, se ve triplicado. Como se puede ver en la gráfica 25 las condiciones geométricas de la infraestructura en el modelo base, provocan que alrededor del 42% de las personas que utilizan la intersección se vean involucradas en dos o tres conflictos durante su recorrido. A través de la revisión visual de las simulaciones se logró constatar que la mayoría de estos conflictos se suceden unos a otros, lo que implica que el segundo o tercer conflicto se tiene con un vehículo que, por circular a un lado del vehículo involucrado en el primer conflicto, tiene una visión reducida de la vía y los peatones. Si a esto se añade que la mayoría de estos conflictos ocurren en zonas en donde el peatón no tiene una prioridad de paso, se tiene que el riesgo de sufrir un incidente por parte de los peatones se ve incrementado.

Contrario a ello, los escenarios en los que se realizaron intervenciones de pacificación vial probaron tener efectividad para reducir el riesgo en los tres sentidos analizados. Como se puede ver en la gráfica 24, todos los conflictos que tienen lugar en los dos escenarios intervenidos suceden en cruces peatonalizados que priorizan el paso de los caminantes y mejoran la visión y atención de los conductores que se ven involucrados en los conflictos. Además, en el escenario de la simulación que corresponde a la propuesta apenas el 8% de los peatones se ve involucrado en dos o tres conflictos no sucesivos; mientras que el escenario dedicado a la intervención no presenta ninguna repetición en cuanto a conflictos, lo que indica que el riesgo disminuye también en este sentido.

Por lo anterior, aunque la intervención y la propuesta tienen un efecto positivo, el escenario óptimo es el de la propuesta realizada por el programa Plazoletas Bogotá, ya que es el que tiene el impacto más grande, pues tiene la mayor reducción de conflictos con respecto al modelo base, además, todos estos ocurren en los cruces peatonales, y no en alguna parte de la calzada en la que sea aún más riesgoso. Asimismo, todos los peatones se encuentran expuestos a solo un conflicto en su recorrido, esto debido a que, como se menciona anteriormente, la forma en que está dispuesta la intervención no permite que el peatón exponga su integridad física, pues hay más cruces peatonales priorizados, por lo que los vehículos ahora deben ceder el paso y esto evita que haya un mayor riesgo para los peatones.

Si bien la validez de los resultados en los que se basa la presente investigación se ve fundamentada en procesos de calibración estandarizados, existen variables sociales que no son tenidas en cuenta en el estudio debido al nivel de complejidad que pueden agregar a los modelos, o a la dificultad (en algunos casos imposibilidad) que se encuentra al intentar cuantificarlas. Un ejemplo de esto tiene que ver con la agresividad en las vías, pues aunque en los modelos de simulación microscópica se busca que los comportamientos de los actores viales se aproximen de la mejor manera a los comportamientos presentados en campo, existen algunas situaciones en las que dichos actores viales actúan irrespetando las normas de tránsito establecidas y se tornan agresivos con los usuarios más vulnerables de la infraestructura. Esto es de especial importancia si se tiene en cuenta el contexto geográfico en el que se encuentra inmerso la presente investigación (*Fierro, Gómez-Talegón y Álvarez; 2010*).

Aunque se ha logrado constatar que las intervenciones planteadas tienen una efectividad considerable a la hora de disminuir el riesgo al que se encuentran expuestos los peatones en vía, más aun en el escenario correspondiente a la intervención realizada por la iniciativa “Plazoletas Bogotá”; lo cierto es que, dentro del marco de una política de Visión Cero, las intervenciones de pacificación vial solo representan parte de la solución de los problemas de seguridad vial que se tienen en consideración.

En este sentido, las intervenciones de pacificación vial pueden ser vistas como soluciones puntuales aplicables en lugares en los que la probabilidad de ocurrencia de siniestros viales es alta. Sin embargo, para llevar a cero la totalidad de los siniestros viales y fatalidades ocurridos en contextos urbanos, se hace necesario disminuir radicalmente el flujo de vehículos medianos y pesados que tienen la capacidad de alcanzar altas velocidades. Para ello es necesario impulsar desarrollos orientados al transporte que, desde la planificación territorial, modifiquen la localización de las actividades de manera que la mayoría de los viajes en una ciudad se hagan cortos, y la proporción de viajes largos restante se pueda realizar haciendo uso del transporte público.

Para modificar los usos del suelo de este modo, se deben tener en cuenta las variables económicas que afectan la distribución del territorio urbano como lo ha planteado David Harvey en su libro *Urbanismo y Desigualdad Social*; pues las locaciones en las ciudades actuales dependen en gran medida de la ubicación de los centros de trabajo y las

preferencias de residencia de los habitantes con mayor poder adquisitivo en el casco urbano. El poder de replantear los usos del suelo en una ciudad pasa entonces por la disminución de las brechas de desigualdad social existentes, ya que se requiere que todos los habitantes de la ciudad tengan la capacidad de decisión sobre el territorio suficiente como para cambiar de residencia y actividad principal sin mayores dificultades (capacidad que actualmente se reserva a los habitantes con mayores ingresos). De esta manera, políticas y acciones puntuales encaminadas al mejoramiento de la salud pública, como lo son las políticas de Visión Cero y las intervenciones de pacificación vial, también se ven involucradas en la disminución de de la desigualdad social y la creación de espacios urbanos más equitativos y amables con los diferentes usuarios de la infraestructura.

## 11. Bibliografía

Cabrera, G., Velásquez, N., & Valladares, M. (2009). Seguridad vial, un desafío de salud pública en la Colombia del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 27(2), 218-225.

Fierro, I., Gómez-Talegón, T., & Álvarez, F. J. (2010). Agresividad vial en la población general. *Gaceta Sanitaria*, 24(5), 423-427.

Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2009). *Traffic and Highway Engineering*. Cengage Learning.

Gutiérrez, A. (2012). ¿Qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitácora Urbano-Territorial*, 21(2), 3.

Haddon Jr, W. (1968). The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *American journal of public health and the Nations health*, 58(8), 1431-1438.

Harvey, D., & González Arenas, M. (1977). *Urbanismo y desigualdad social*.

Havers, G. E. (1970) Wisconsin Department of Transportation Model Calibration.

Hollander, Y., & Liu, R. (2008). The principles of calibrating traffic microsimulation models. *Transportation*, 35(3), 347-362.

Institution of Highways & Transportation. (2006). Traffic Micro-Simulation Modelling.

Recuperado de:

[https://www.ciht.org.uk/media/4365/traffic\\_microsimulation\\_modelling.pdf](https://www.ciht.org.uk/media/4365/traffic_microsimulation_modelling.pdf)

Johnson, H. G. (1971). The Keynesian revolution and the monetarist counter-revolution. *The American Economic Review*, 61(2), 1-14.

Merchán, M. E. P., Pérez, R. E. G., & Aristizábal, O. P. N. (2011). Seguridad vial y peatonal: una aproximación teórica desde la política pública. *Revista Hacia la Promoción de la Salud*, 16(2), 190-204.

Novoa, A. M., Pérez, K., & Borrell, C. (2009). Efectividad de las intervenciones de seguridad vial basadas en la evidencia: una revisión de la literatura. *Gaceta Sanitaria*, 23(6), 553-e1.

PTV GROUP. (2019). ¿Qué es lo que mantiene al tránsito fluyendo? Recuperado de:

[http://vision-](http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files_ptvvision/Downloads_N/0_General/2_Products/2_PT)

[traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files\\_ptvvision/Downloads\\_N/0\\_General/2\\_Products/2\\_PT](http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files_ptvvision/Downloads_N/0_General/2_Products/2_PT)  
[V\\_Vissim/ES\\_PTV\\_Vissim\\_Brochure.pdf](http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/products/ptv-vissim/)

PTV GROUP. (2019). PTV Vissim. Recuperado de: [http://vision-](http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/products/ptv-vissim/)  
[traffic.ptvgroup.com/es/products/ptv-vissim/](http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/products/ptv-vissim/)

Sadik-Khan, J. (2012). *Urban Street Design Guide*. New York: NACTO.

Schneider, J. B. (1981). Transit and the Polycentric city (No. DOT-I-81-33). United States. Urban Mass Transportation Administration.

Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. (2018) Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá. Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá.

Secretaría Distrital de Movilidad. (2019). Con piloto en el barrio Inglés, Distrito pone a prueba intervención integral de seguridad vial. Recuperado de: [https://www.movilidadbogota.gov.co/web/Noticia/con\\_piloto\\_en\\_el\\_barrio\\_ingl%C3%A9s\\_distrito\\_pone\\_a\\_prueba\\_intervenci%C3%B3n\\_integral\\_de\\_seguridad](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/Noticia/con_piloto_en_el_barrio_ingl%C3%A9s_distrito_pone_a_prueba_intervenci%C3%B3n_integral_de_seguridad)

Swedish Transport Administration. (2012) Seguridad vial, la Visión Cero en camino. STA.

Wiedemann, R. (1974). Simulation of road traffic flow. Reports of the Institute for Transport and Communication, University of Karlsruhe.

World Health Organization. (2017). 10 Datos sobre la Seguridad Vial en el Mundo. Recuperado de: <https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>

World Health Organization. (2018). *Global status report on road safety 2018*. World Health Organization.

World Resources Institute, Ross Center. (2016). Ciudades más Seguras Mediante el Diseño. Washington D.C. USA.