

Determinación del nivel de seguridad en función de eventos potencialmente conflictivos en los corredores de mayor accidentalidad vial en Bogotá

Rafael Alberto González Rodríguez^{a,1}, Carlos Fabián Flórez Valero^a, Carlos Eduardo Rodríguez Pineda^a

^a Universidad Javeriana, Carrera 7 N° 40-62, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia

ARTICLE INFO

Keywords:

Técnicas de conflictos de tráfico
Medidas sustitutivas de seguridad vial
Análisis de accidentalidad vial
Interacciones de tráfico
Cuasi-accidentes

ABSTRACT

The global status of road safety has acquired relevance worldwide because each day more people are affected by it. Historical crash data is the basis for most road safety analysis and researchers have been able to demonstrate that this data's inaccuracy can affect the outcome. Two methodologies have risen to address this issue (Traffic conflicts technique and surrogate measures of safety) that are based on traffic conflicts that not necessarily involve a crash. The hypothesis presented in this document aims towards the fact that the road safety levels in Bogotá's roads can be established with increased accuracy and shorter time, based on the traffic potentially conflicting events in roads without the need of historical reports of injured or death persons. Road safety levels are published based on the analysis carried out. The information about the erratic circulation of the vehicles, for its part in Av. Carrera 68 corresponds to motorcycles doing zigzagging maneuvers. Likewise, safety levels were determined according to the composition of the vehicle and the geometry of the road.

Resumen

La situación mundial de seguridad vial ha tomado relevancia debido a la cantidad de personas que se ven afectadas diariamente. Los históricos de accidentalidad son el fundamento de la mayoría de análisis de seguridad vial e investigadores han podido demostrar que dichos datos cuentan con inconsistencias que pueden afectar los resultados. Dos metodologías surgieron para solventar este problema (la Técnica de conflictos de tráfico y las Medidas sustitutivas de seguridad), ya que están basadas en conflictos de tráfico que no implican necesariamente algún tipo de colisión. La hipótesis planteada en este documento apunta a que la determinación de niveles de seguridad vial en los corredores de Bogotá, puede establecerse de manera más eficaz y en un periodo de tiempo menor, en función de eventos potencialmente conflictivos en las vías sin la necesidad de depender de históricos de lesionados o muertos. Los niveles de seguridad vial establecidos a partir del análisis realizado, para el corredor de la Av. Boyacá se encuentran relacionados con la circulación errática de los vehículos, por su parte en la Av. Carrera 68 corresponden a motocicletas haciendo maniobras de zigzaggeo. Así mismo, se determinaron niveles de seguridad de acuerdo a la composición vehicular y geometría de la vía.

1. Introducción

Problemática

La situación mundial de la seguridad vial ha venido tomando relevancia en los últimos años debido a la cantidad de personas que se ven afectadas por eventos relacionados con accidentes de tránsito. En este sentido, la Organización

Mundial de la Salud, incluyó a los accidentes de tránsito en la lista de epidemias mundiales, ya que cada año mueren cerca de 1,3 millones de personas en las carreteras del mundo (World Health Organization, 2015). Por su parte, el Banco Mundial menciona que, en lo referente a la mortalidad provocada por lesiones de tránsito en el mundo, Colombia se presenta con una tasa de 18,9 por cada 100.000 habitantes (The World Bank, 2019).

En el contexto colombiano se encuentran tres principales problemas con la toma de decisiones de política pública la cual se fundamenta sobre la información disponible de accidentes de tránsito. El primero es la calidad de los registros de accidentes, lo cual ya ha sido objeto de algunas investigaciones en Colombia (Flórez, Patiño, Rodríguez,

¹ Autor correspondiente.

E-mail: rgonzalezr@javeriana.edu.co (R. González),
florez.carlos@javeriana.edu.co (C. Flórez),
crodriguezp@javeriana.edu.co (C. Rodríguez).

Ariza, & González, 2018), donde han concluido que estos registros son deficientes, así como en otras ciudades estudiadas de la región (Soderlund & Zwi, 1995), que aseguran que los problemas en los datos recolectados de accidentes de tránsito son casi exclusiva de países en desarrollo.

El segundo problema es que la información disponible de accidentes de tránsito puede tener faltantes, dado a subregistros de lesionados leves (Cardona-Arbeláez, Molina-Castaño, Arango-Álzate, & Pichott-Padilla, 2010), así que se puede estar teniendo un subregistro de información de las víctimas en accidentes de tránsito (Segura, Cardona, Berbesí, & Agudelo, 2015). En otros países como Brasil se presentan subregistros hasta del 53% (Barros, Amaral, Oliveira, Lima, & Gonçalves, 2003) y en general a nivel mundial, según (Grayson & Harkket, 1987), una vez realizada la recolección de información de la escena del accidente, los reportes son entregados para que sean digitalizados. Sin embargo, dicho recurso ha sido controvertido ya que, a pesar de formar parte de las estadísticas oficiales, ha resultado ser de poca utilidad para el análisis de accidentalidad debido a sus limitaciones, inexactitudes, y en muchos casos, a que no son diligenciados de forma completa.

Y el tercer problema es la cantidad de información necesaria para la recolección de información de accidentes, ya que no es suficiente recopilar los datos de accidentalidad durante semanas o meses; el período típico que se considera suficiente es de hasta 3 años (Songchitruksa & Tarko, 2006), el cual es un período de tiempo muy prolongado que le resta eficiencia al análisis, dificultando la toma de decisiones por parte de las entidades gubernamentales. Investigaciones recientes en Bogotá (Otero Niño et al., 2019) muestra cómo se pueden aplicar técnicas no basadas en históricos de accidentes de tránsito, en pequeños periodos (1 hora) con el fin de proponer contramedidas de ingeniería y regulación acordes a las condiciones de seguridad del entorno.

Bajo este escenario, esta investigación busca lograr determinar el nivel de seguridad vial en función de eventos potencialmente conflictivos de los tres corredores viales de Bogotá con mayor accidentalidad, por medio de la caracterización de los históricos de accidentalidad de la ciudad sobre cada uno de los corredores de estudio, para posteriormente identificar los eventos potencialmente conflictivos que se presentan con mayor frecuencia mediante la observación de videos, y de esta forma poder postular los rangos de nivel de seguridad vial de cada uno de los corredores.

Marco de Referencia

Una forma de no emplear metodologías que se fundamentan sobre bases de datos de accidentalidad y que ha venido desarrollándose a través de los años ha sido la

utilización de conflictos de tráfico, la cual consiste en identificar eventos críticos que no necesariamente implican algún tipo de colisión.

Una de ellas es la Técnica de conflictos de tráfico, en donde se plantea que la interacción de los actores de la vía puede ser descrita a través de una serie de eventos elementales, y que dichos eventos pueden ocurrir con diferente probabilidad y con diferente grado de severidad (Amundsen & Hydén, 1977). Para esto, existen tres criterios principales a tener en cuenta en el momento de definir los eventos: 1) el evento debe ser mucho más frecuente que los accidentes; 2) el grado de severidad debe ser definido claramente con el fin de que la probabilidad de accidente sea obvia; y 3) el historial completo de eventos debe registrarse de manera fácil y confiable (Amundsen & Hydén, 1977).

La hipótesis planteada por Christer Hyden (1987), sostiene que los conflictos graves indican una ruptura entre la interacción de dos actores de la vía, es decir, que el potencial del accidente percibido es tan alto, que al menos uno de los actores involucrados no desea participar de forma deliberada en la creación de un evento similar. La técnica original plantea que "se produce un conflicto grave cuando dos actores de la vía están involucrados en una situación de conflicto en la que se habría producido una colisión en 1.5 segundos, si los dos actores de la vía involucrados hubieran continuado con las mismas velocidades y trayectorias. El tiempo se calcula desde el momento en que uno de los actores de la vía comienza a frenar o a desviarse para evitar la colisión" (C. Hydén & Linderholm, 1984). En este sentido, la variable Time-to-Accident permite describir la gravedad del evento, ya que su valor representa el momento en que uno de los usuarios toma la primera acción evasiva (Hydén, 1987). Es preciso aclarar que la técnica anteriormente descrita es aplicable a todo tipo de conflictos que involucran al menos un vehículo motorizado en zonas urbanas, con un límite de velocidad igual o menor a 50 Km/h.

Establece también que los procesos que provocan cuasi-accidentes o conflictos graves son similares a los que preceden a las colisiones reales, sólo que el resultado es diferente para cada uno de los casos (Christer Hydén, 1987). Van der Horst validó la tesis propuesta por esta técnica, afirmando que ya que los cuasi-accidentes se presentan con mayor frecuencia que los accidentes y que los periodos para su observación son más cortos, resultan valiosos porque se pueden realizar de forma sistemática, lo que resulta favorable para el diagnóstico y la resolución de problemas de seguridad vial (Van der Horst, 1990). Klebelsber por su parte, anteriormente había postulado la necesidad de clasificar las interacciones de tráfico por severidad según una continuidad de eventos, que van desde situaciones normales hasta colisiones reales (Klebelsberg, 1964), y finalmente fue Hydén quien propuso una representación piramidal que se divide en varias capas, cada una de ellas representa una clase de eventos de severidad

similar, y su volumen representa la frecuencia de estos eventos. Los más graves y menos frecuentes son los accidentes en la parte superior de la pirámide, como se observa en la *Figura 1*.

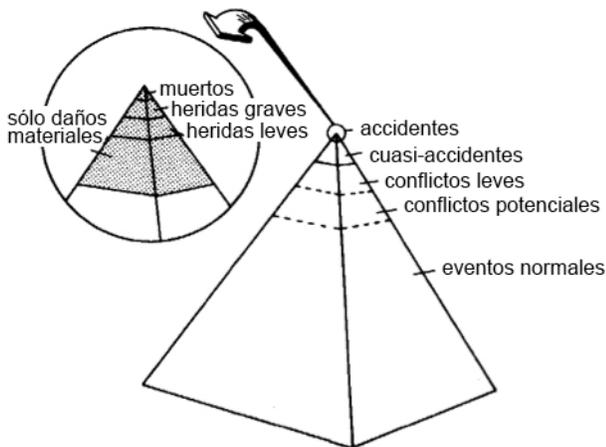


Figura 1. Continuidad de eventos desde flujo sin conflictos hasta accidentes mortales

Fuente: Adaptado de Hydén, 1987

Otra técnica que coincide en que depender de la utilización de bases de accidentalidad conlleva a la existencia de problemas de disponibilidad y calidad asociados a dichos datos es la de Medidas sustitutivas de seguridad, la cual menciona que los tamaños de esas muestras son pequeños y conducen a resultados no concluyentes y tienen datos incompletos para poder comprender de manera integral los eventos que desencadenaron en un accidente (A. Tarko, 2018). Esta técnica fue seleccionada entre las tres direcciones de investigación más prometedoras en el taller de FHWA (*Federal Highway Administration - USA*) y ha sido reconocida como portadora de buenos indicadores de seguridad para el análisis y prevención de accidentes. “White Paper Surrogate Measures of Safety” explica la aplicabilidad de las medidas sustitutivas a la seguridad vial, partiendo de su utilización previa en el campo de las ciencias médicas (Andrew Tarko, Davis, Saunier, Sayed, & Washington, 2009). En este sentido, menciona que el resultado clínicamente significativo de un tratamiento médico es la calidad de vida del paciente después de someterse al mismo, y ya que este resultado no puede ser medido durante el tratamiento, son necesarios los resultados sustitutos para evaluar el tratamiento con anticipación. En consecuencia, señala que una medida sustitutiva debe cumplir dos condiciones con el fin de servir como un sustituto aceptable: 1) debe correlacionarse con el resultado clínicamente significativo, y 2) debe capturar totalmente el efecto del tratamiento. En el área de la seguridad vial, el resultado significativo de la ingeniería es la reducción o eliminación de accidentes. Dicho lo anterior, ya que la reducción de la frecuencia de eventos que desencadenen un accidente cumple la primera condición para ser un sustituto efectivo, la frecuencia y otras características de dichos eventos sustitutos pueden considerarse medidas sustitutivas

de seguridad. En la *Figura 2*, se expone la relación entre las medidas sustitutivas y la seguridad. La flecha horizontal representa la necesidad de que se presente un evento sustituto previo a la ocurrencia de un accidente. Las flechas verticales representan los factores que son externos a las medidas sustitutivas por los cuales la seguridad también se puede ver afectada, y entre menores y más débiles sean dichos valores adicionales, más eficaz es la medida sustitutiva.

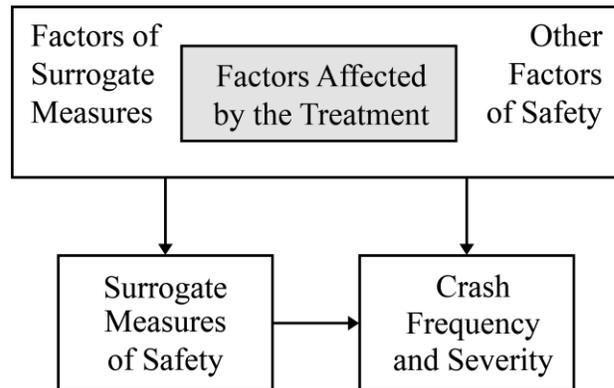


Figura 2. Relación entre medidas sustitutivas de seguridad y la seguridad

Fuente: Tarko, Davis, Saunier, Sayed, & Washington, 2009

Por lo anterior, la medición del número de bicicletas que hacen zig zag entre vehículos se puede considerar como una medida sustitutiva de los históricos de atropellamiento de ciclistas.

La aplicabilidad de este tipo de teorías alternativas en el contexto de la seguridad vial ha sido previamente investigada en el contexto colombiano en vista de que resulta evidente que pueden ser herramientas efectivas en el cumplimiento del objetivo común de evitar accidentes. Este es el caso de (Bulla & Lyons, 2015), quienes evaluaron la seguridad vial de una glorieta de la ciudad de Bogotá, por medio de modelos de microsimulación haciendo uso de las medidas sustitutivas. Los investigadores seleccionaron la hora de máxima demanda vehicular de la intersección, e inicialmente identificaron los conflictos de tráfico en la glorieta por medio del modelo para la evaluación de medidas sustitutivas de la seguridad vial (*Surrogate Safety Assessment Model - SSAM*), para posteriormente calibrarlos al compararlos con los conflictos identificados en campo con la ayuda de análisis de video en el lugar de estudio, y finalmente realizaron un análisis univariado de las medidas sustitutivas obtenidas para la evaluación de la seguridad vial de la intersección. Las conclusiones que arrojó la investigación mostraron que algunas de las medidas sustitutivas pueden ser subjetivas si se analizan de manera independiente, pero que en el momento de correlacionarlas ofrecen indicadores valiosos para establecer la eficiencia de los mecanismos de control y el comportamiento de los actores de la vía. Asimismo, mencionan que el estudio se concentró en la hora de máxima demanda vehicular, y que los resultados, al realizar el análisis en periodos diferentes

bajo condiciones variadas, pueden afectar el comportamiento de los conductores.

Como se puede observar, ya existen precedentes de investigaciones que toman como base datos diferentes a los registros históricos que pueden arrojar conclusiones con información fiable, en menores periodos y que además, pueden ser útiles en corredores donde, o no existen registros oficiales de accidentalidad o dicha información es insuficiente. Las técnicas anteriormente mencionadas también pueden resultar eficaces para lograr determinar los niveles de seguridad de una vía en función de los eventos potencialmente conflictivos de tráfico y no en función de la accidentalidad registrada.

Para comprender la conveniencia de la aplicabilidad de dichas técnicas en la determinación de los niveles de seguridad vial, es importante discutir los indicadores que se han dispuesto para poder estimar un rango de seguridad de los corredores en estudio. Inicialmente se debe resaltar que actualmente no existe un modelo estándar de indicadores de seguridad vial en el mundo, y que a pesar de que se han realizado numerosos esfuerzos en el tema, no se ha llegado aún a un consenso al respecto (Observatorio de Seguridad Vial de Argentina, 2011). Así, se pueden encontrar diferentes entidades y metodologías a niveles regionales como el Observatorio de Seguridad Vial Europeo, la Asociación de Asia Sudoriental, el Banco Asiático de Desarrollo, la Comisión Económica de las Naciones Unidas (UNECE), el Banco Mundial (Agencia de Seguridad Vial de Argentina, 2010), iRAP (Pérez, Cuevas, Abarca, & Mendoza, 2015), el RSDI (*Road Safety Development Index*)

(Al-Haji, 2007) y la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC - *Permanent International of Road Congresses*) (PIARC, 2012), que se basan en los históricos de accidentalidad. En relación a los conflictos de tráfico, se han desarrollado técnicas como la denominada sueca (TCT) y la holandesa (DOCTOR), así como, la técnica de medidas de seguridad probabilísticas desarrollada en Canadá (PSMS); los dos primeros métodos se basan en detección y conteo de eventos críticos, mientras que el tercero considera las probabilidades de múltiples trayectorias para cada interacción y entrega un mapa de densidad de posibles puntos de colisión. (Laureshyn, Goede, Saunier, & Fyhri, 2017) analizó tres intersecciones en Noruega mediante la implementación de estas tres técnicas, detectando similitudes con los registros de accidentes. Si bien las técnicas de conflictos de tráfico no han sido validadas, permite cambiar la perspectiva en el análisis de la seguridad vial.

2. Metodología

La metodología utilizada en esta investigación (*Figura 3*) se fundamentó en las teorías anteriormente mencionadas: la Técnica de conflictos de tráfico y las Medidas sustitutivas de seguridad desarrolladas por Christer Hydén y Andrew P. Tarko respectivamente. Haciendo la salvedad que en esta investigación se evaluaron eventos potencialmente conflictivos, que en este caso son considerados como eventos sustitutos del choque, así las cosas, en esta investigación no se estableció la severidad del evento, sino que se determinó la frecuencia de cada uno de ellos.

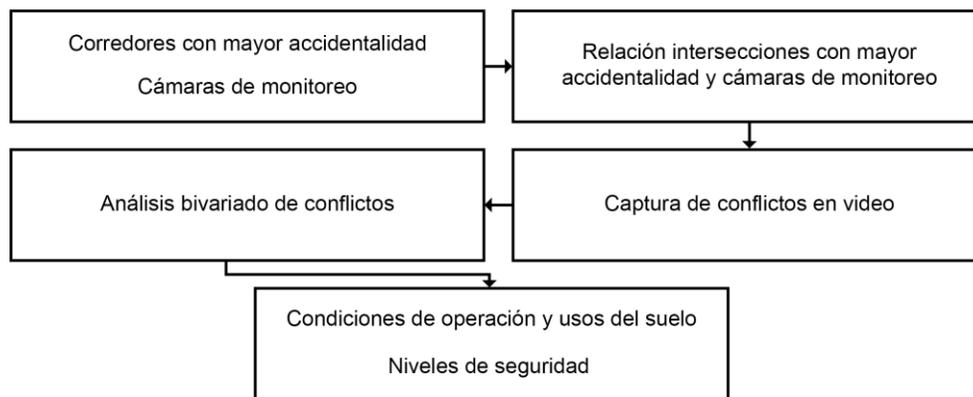


Figura 3. Metodología
Fuente: Elaboración propia

De igual forma es preciso mencionar que este análisis no se llevó a cabo por medio de micro simulaciones en puntos específicos, sino que se buscó llevarlo a cabo a nivel macro en la ciudad de Bogotá, por lo cual se tomaron en cuenta las bases de datos georeferenciadas de accidentes de la ciudad de los años 2007 al 2018, cuya información es recolectada in situ por la Policía de Tránsito por medio de los formatos de Informes Policiales de Accidentes de Tránsito (IPAT)

(Ministerio de Transporte de Colombia, 2012). A su vez se utilizaron las cámaras de monitoreo de la Secretaría Distrital de Movilidad con el fin de que se pueda contar en un futuro con este insumo para su consulta, que se puedan replicar con ellos resultados y que se pueda extraer otro tipo de información para ser analizada.

Posteriormente, se realizó una relación entre las intersecciones con mayor accidentalidad y la ubicación de las cámaras de monitoreo, con el fin de seleccionar los 3 corredores que presentaban mayor riesgo como objetos de estudio. Para esto se analizaron los accidentes que estaban en la zona de influencia de las cámaras de monitoreo con la ayuda del software ArcGis para sobreponer el rango de visión de las cámaras con el área de ocurrencia de los accidentes en cada uno de los puntos. El resultado fue la selección del corredor de la Av. Boyacá, el de la Av. Ciudad de Cali y el de la Av. Cra. 68 (la cual incluye la continuación del corredor por la Cll. 100). En la *Tabla 1* se relacionan las 20 intersecciones seleccionadas por cada uno de ellos.

Tabla 1. Intersecciones seleccionadas por corredor

ID	Dirección
Corredor Av. Boyacá	
1	Av. Boyacá con Calle 170
2	Av. Boyacá con Calle 138
3	Av. Boyacá con Calle 127
4	Av. Boyacá con Calle 53
5	Av. Boyacá con Calle 39B sur
6	Av. Boyacá con Avenida Gaitán Cortés
Corredor Av. Ciudad de Cali	
1	Av. Ciudad de Cali con Calle 139
2	Av. Ciudad de Cali con Calle 153
3	Av. Ciudad de Cali con Calle 72
4	Avenida Ciudad de Cali con Calle 145
5	Avenida Ciudad de Cali con Avenida Ferrocarril
6	Avenida Ciudad de Cali con Avenida Manuel Cepeda Vargas
7	Avenida Ciudad de Cali con Avenida Villavicencio
Corredor Av. Cra. 68	
1	Calle 100 con Carrera 9
2	Calle 100 con Carrera 11
	Calle 100 con Carrera 19
4	Calle 100 con Avenida Suba
5	Av. Carrera 68 con Calle 98
6	Av. Carrera 68 con Calle 3
7	Av. Carrera 68 con Calle 44 sur

Fuente: Elaboración propia

En esta investigación se hará referencia a las intersecciones en cuestión, cuando se haga mención al análisis realizado en cada uno de los corredores.

Para la captura de eventos potencialmente conflictivos se tomó como base la investigación en curso que se está llevando a cabo en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá relacionada con eventos potencialmente conflictivos de tráfico, la cual previamente identificó 36 eventos considerados para esta investigación como sustitutos del choque, de los cuales, para este estudio, se tomaron los 16 de mayor frecuencia, los cuales se mencionan en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Eventos potencialmente conflictivos seleccionados para la captura de información

ID	Evento Potencialmente Conflictivo
C1	Moto adelantando por carril derecho
C2	Bicicleta transitando entre vehículos o en carril diferente al derecho

C3	Peatón cruzando a riesgo con tráfico en movimiento o circulando al lado derecho de la calzada
C4	Peatón cruzando la vía sin tráfico
C5	Cuasi atropello
C6	Motocicleta adelantando entre carros
C8	Motocicleta haciendo zigzag
C9	Circulación errática de vehículo (no circula dentro de un carril)
C10	Ascenso y descenso de pasajeros
C11	Moto estacionada sobre la vía
C12	Vehículo estacionado en la vía que obstruye la circulación
C14	Vehículo con cambios bruscos de carril
C15	Motociclista no respetando carril de giro
C17	Vehículo no respetando carril de giro
C19	Bicicleta pasa semáforo en rojo
C28	Obstrucción de la zona de intersección

Fuente: Elaboración propia

Los videos analizados corresponden a un día hábil, específicamente el 09 de mayo de 2018, en los horarios de 06:30 - 08:30, 12:00 - 14:00, 15:30 - 17:30. Estos periodos fueron elegidos bajo el supuesto de que en las horas de mayor demanda se presentan mayor número de eventos potencialmente conflictivos debido a que hay más vehículos en la vía, lo que coincide con los promedios de máxima demanda de las estaciones de conteo vehicular maestras de Bogotá (Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2018), además de las horas de adecuada luminosidad, descartando así horas previas a las 6:30 y posteriores a las 17:30.

Luego de depurada y procesada la información de eventos potencialmente conflictivos, mediante un análisis estadístico bivariado se relacionaron la severidad del accidente, la clase de accidente y la clase de vehículo, esto según la clasificación dada por el IPAT (Ministerio de Transporte de Colombia, 2012), para un total de 48 combinaciones de accidentes (*Tabla 3*) con cada uno de los 16 eventos potencialmente conflictivos en cada corredor. Lo anterior para encontrar los eventos potencialmente conflictivos de mayor frecuencia y los de mejor correlación con cada accidente en función de tiempo y espacio.

Tabla 3. Lista de accidentes

ID	Accidente
A01	Con heridos
A02	Con muertos
A03	Sólo daños
A04	Total accidentes
A05	Con heridos atropello
A06	Con muertos atropello
A07	Sólo daños atropello
A08	Total accidentes atropello
A09	Con heridos autolesión
A10	Con muertos autolesión
A11	Sólo daños autolesión
A12	Total accidentes autolesión
A13	Con heridos caída de ocupante
A14	Con muertos caída de ocupante
A15	Sólo daños caída de ocupante
A16	Total accidentes caída de ocupante
A17	Con heridos choque
A18	Con muertos choque
A19	Sólo daños choque
A20	Total accidentes choque
A21	Con heridos volcamiento
A22	Con muertos volcamiento
A23	Sólo daños volcamiento

- A24 Total accidentes volcamiento
- A25 Con heridos bicicleta
- A26 Con muertos bicicleta
- A27 Sólo daños bicicleta
- A28 Total accidentes bicicleta
- A29 Con heridos motocicleta
- A30 Con muertos motocicleta
- A31 Sólo daños motocicleta
- A32 Total accidentes motocicleta
- A33 Con heridos peatón
- A34 Con muertos peatón
- A35 Sólo daños peatón
- A36 Total accidentes peatón
- A37 Con heridos bus
- A38 Con muertos bus
- A39 Sólo daños bus
- A40 Total accidentes bus
- A41 Con heridos automóvil
- A42 Con muertos automóvil
- A43 Sólo daños automóvil
- A44 Total accidentes automóvil
- A45 Con heridos camiones
- A46 Con muertos camiones
- A47 Sólo daños camiones
- A48 Total accidentes camiones

Fuente: Elaboración propia

Para postular los rangos de niveles de seguridad vial, se tomó la información disponible por la Secretaría Distrital de Movilidad relacionada con volúmenes y composición vehicular. Por otro lado, la ciudad de Bogotá cuenta con el repositorio de información IDECA (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital, 2018) de donde se extrajo el uso del suelo de cada uno de los corredores e intersecciones y las características de número de carriles y número de calzadas, para realizar los análisis, y así elaborar una propuesta de rangos para las variables que mejor correlación y coherencia guardaran.

3. Resultados

Caracterización de la accidentalidad

Según datos extraídos del Sistema de Información Geográfica con el que cuenta la ciudad de Bogotá (Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2018), la accidentalidad total entre el año 2007 y el año 2018 sobre la Av. Boyacá fue de 8.087 accidentes, en la Av. Cra. 68 un total de 5.224 y sobre la Av. Ciudad de Cali, 3.953. Para el caso de los corredores de estudio, se tomó la sumatoria de accidentes de las áreas aferentes seleccionadas en cada corredor (Av. Boyacá con 6 intersecciones, Av. Cra. 68 con 7 intersecciones y la Av. Ciudad de Cali con 7 intersecciones), con un total de 245, 125 y 367, respectivamente, para los 12 años de estudio.

En la Figura 4 se presenta el porcentaje de aporte en la severidad de la accidentalidad de cada uno de los corredores de estudio. El corredor que presentó una mayor proporción de accidentes graves (A01 y A02) es el corredor de la Av. Ciudad de Cali con 26,4%, seguida por el de la Av. Cra. 68 con el 24,0% y por último, la Av. Boyacá con el 15,9%.

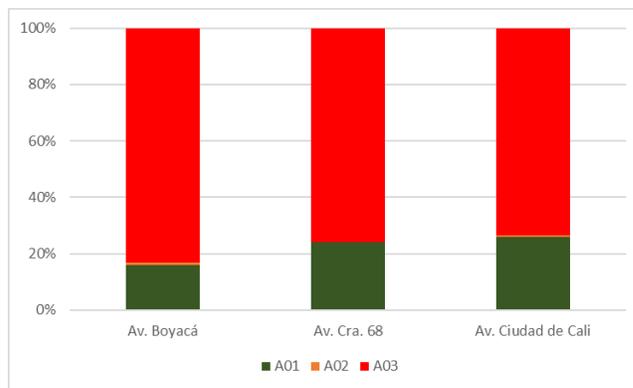


Figura 4. Severidad de los accidentes por corredor
A01: Accidentes con heridos, A02: Accidentes con muertos, A03: Accidentes sólo daños
Fuente: Elaboración propia

La distribución porcentual de cada corredor con relación a la clase de accidente se encuentra en la Figura 5, donde el corredor de la Av. Boyacá presentó la mayor proporción de accidentes A20 con el 97,9% seguido en menor proporción por los accidentes A08 con el 1,2%; el corredor de la Av. Ciudad de Cali presentó el 90,5% de accidentes A20 seguido por los accidentes A08 con el 5,9%; y finalmente, el corredor de la Av. Cra. 68 contó con el 82,3% de accidentes A20 y el 13,7% de A08.

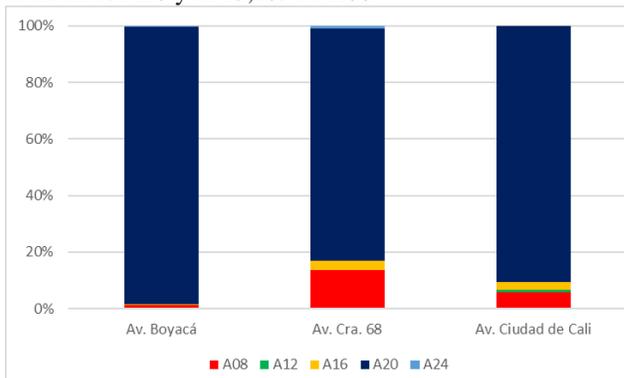


Figura 5. Clase accidente por corredor
A08: Total accidentes atropellamiento, A12: Total accidentes autolesión, A16: Total accidentes caída de ocupante, A20: Total accidentes choque, A24: Total accidentes volcamiento
Fuente: Elaboración propia

En lo referente a la participación por clase de vehículo (Figura 6), los cuales incluye peatón, bicicleta, motocicleta, automóvil, bus y camión, en la totalidad de los corredores se encontró que los automóviles, seguidos de los buses y las motocicletas son los vehículos involucrados en mayor proporción. El corredor de la Av. Ciudad de Cali tiene la mayor participación con el 8,9% de accidentes A32; para el caso de los accidentes A36, la Av. Cra. 68 es el corredor donde tuvieron mayor participación con el 9,6%; y para el caso de la Av. Boyacá, los accidentes A44 presentaron la mayor participación con el 59,1%.

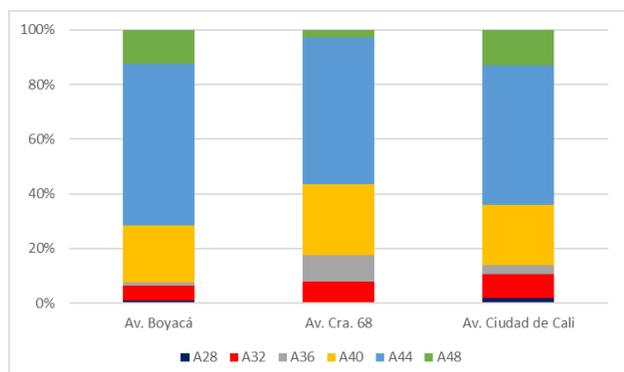


Figura 6: Clase de vehículo por corredor
 A28: Total accidentes bicicleta, A32: Total accidentes motocicleta
 A36: Total accidentes peatón, A40: Total accidentes bus total, A44: Total accidentes automóvil, A48: Total accidentes camiones
Fuente: Elaboración propia

Identificación de eventos potencialmente conflictivos

Las mediciones de los conflictos se realizaron en tres periodos de 2 horas, para las franjas de mayor flujo

Tabla 4. Frecuencia de eventos potencialmente conflictivos por hora en los corredores

Corredor	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 8	C 9	C 10	C 11	C 12	C 14	C 15	C 17	C 19	C 28	Total
Av. Boyacá	8,3	78	31,3	52,7	0,8	45	28,5	7,2	1	1,5	5,8	36,3	12,5	22,5	14,5	8	354
Av. 68	110	108,3	65,5	73,2	6,3	56,3	27,3	9,3	21,7	6	12,5	20,8	14,3	20,8	27,3	11,7	591,5
Av. Ciudad de Cali	46,5	64,8	64,5	90,2	8	114,8	38,8	17,5	79,2	4	12	5,2	12,3	16,3	77,5	17	668,7

Fuente: Elaboración propia

Análisis bivariado espacial de corredores

Para el caso de los eventos potencialmente conflictivos C6 se encontró un factor de determinación de 0,41 con accidentes A01, para los casos de accidentes A17 de 0,33, y en lo referente al análisis por tipo de vehículo, se encontró una relación de 0,44 con accidentes A45, y una de 0,37 con accidentes A25.

Con base en estos resultados y dado que las correlaciones de accidentes A17 involucran accidentes A45 y A25, podríamos entender que dicho evento relacionado con otras variables (eventos potencialmente conflictivos), aunque presentó esta correlación, puede tener un posible vínculo.

Así mismo, para los eventos potencialmente conflictivos C15 y C17, se encontró una asociación con los accidentes

vehicular de la mañana, mediodía y tarde, de lo anterior se obtuvo un conteo total de 9683 conflictos, de los cuales 2125 correspondieron al corredor de la Av. Boyacá, 4009 al corredor de la Av. Ciudad de Cali, y 3549 al corredor de la Av. 68.

Todos los corredores presentaron una alta frecuencia para los eventos potencialmente conflictivos C2, C3, C4, y C6, eventos asociados a peatones, bicicletas y motocicletas, quienes son los usuarios de la vía más vulnerables. Para la Av. Boyacá se halló una frecuencia considerable de los eventos C14 y C8 asociados a vehículos haciendo cambios bruscos de carril y motocicletas en zigzag. Para el caso de la Av. Cra. 68 se dio una alta frecuencia del eventos C1 asociado a motocicletas adelantado por carril derecho, y para la Av. Ciudad de Cali los eventos C10 por ascenso y descenso de pasajeros y C19 de bicicletas pasando el semáforo en rojo, presentaron una alta frecuencia. En la *Tabla 4* se presentan los conflictos por hora.

A02 de 0,45 y 0,23 respectivamente, lo que también sugiere que deben ser estudiadas de forma conjunta con otros eventos para explicar mejor su relación con el desenlace de muertos en la vía.

Análisis temporal del Corredor de la Av. Boyacá

Los eventos potencialmente conflictivos C9 guardan asociaciones con accidentes A01 de 0,48, y así mismo con los A29, A41 y A33, de 0,57, 0,56 y 0,30 de factor de determinación, respectivamente (*Figura 7*).

Lo anterior muestra que la conducción imprudente de vehículos en general puede ser la responsable de los accidentes con heridos entre ellos mismos, con motos y peatones.

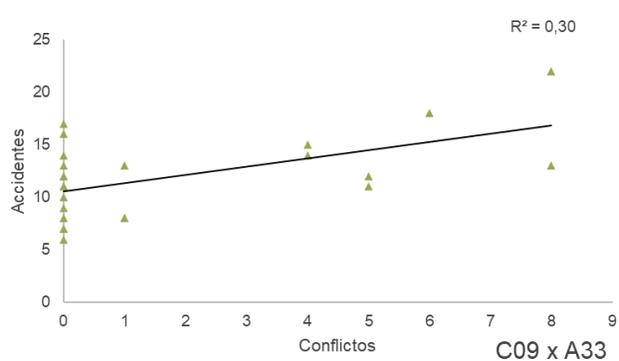
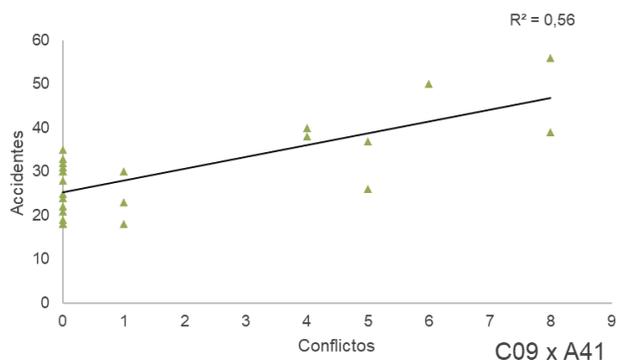
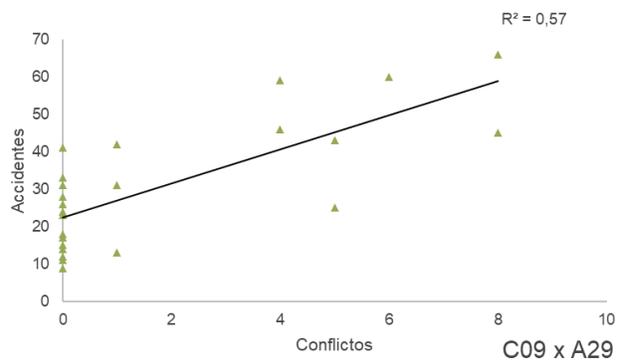
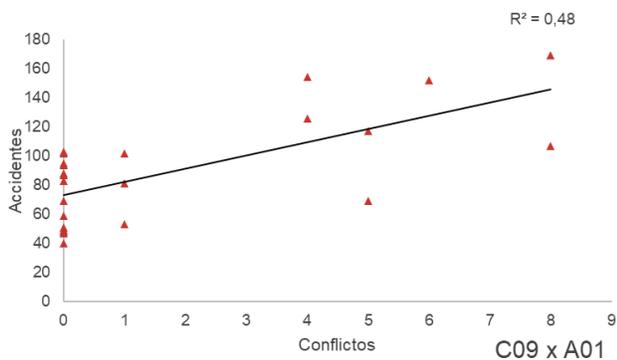


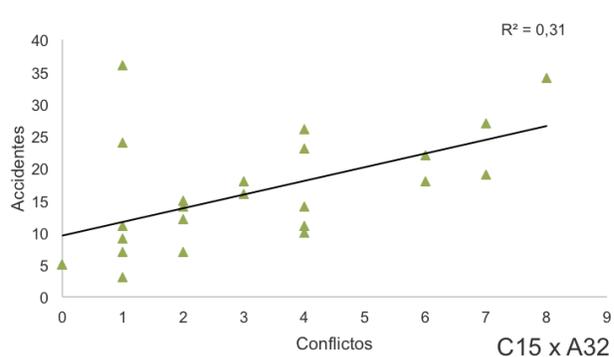
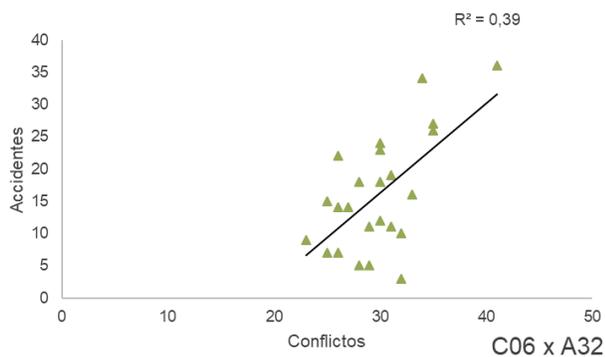
Figura 7. Factores de determinación corredor Av. Boyacá
Fuente: Elaboración propia

Análisis temporal del Corredor de la Av. Ciudad de Cali

Se encontró que los eventos potencialmente conflictivos C6, C15 y C17, tuvieron un factor de determinación con respecto a los accidentes A32 de 0,39, 0,31 y 0,36, respectivamente (*Figura 8*). En este caso se entiende que el hecho de girar por un carril que no corresponde, afecta principalmente a las motocicletas.

Este hallazgo encuentra similitudes con estudios recientes que han utilizado la Técnica de conflictos de tráfico de

Hydén, donde han encontrado que en países como Taiwán, el principal tipo de accidente es el choque entre motocicletas y otros tipos de vehículos. Según los datos de accidentalidad de este país, el 61,4% de los accidentes de motocicleta ocurren en las intersecciones y mencionan que en el caso puntual de choques entre motociclistas y automóviles que realizan giros, un factor determinante de choque es que las motocicletas no son visibles para el conductor del automóvil (Hsu & Wen, 2019).



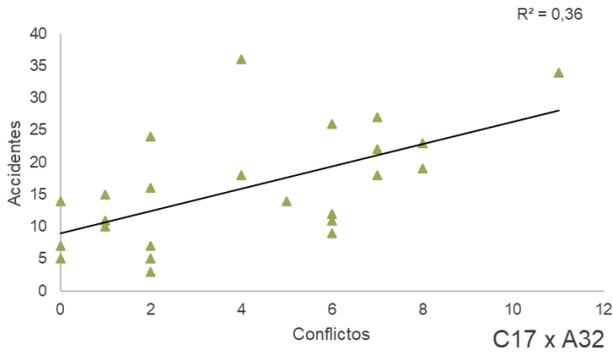


Figura 8. Factores de determinación corredor Av. Ciudad de Cali
Fuente: Elaboración propia

Análisis temporal del Corredor de la Av. Cra. 68

El corredor de la Av. Cra. 68 presenta un factor de determinación entre el evento potencialmente conflictivo C8 y los accidentes A32 de 0,53, sumado a un factor de

determinación con los accidentes A01, A17 y A29 de 0,34, 0,32 y 0,50 respectivamente (Figura 9). Esto muestra una posible relación entre el zigzaguo de motocicletas y los heridos en este corredor.

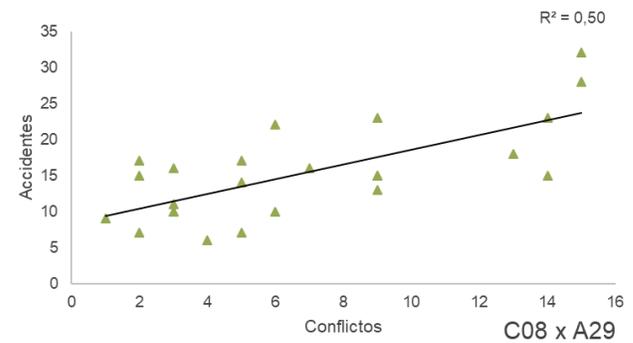
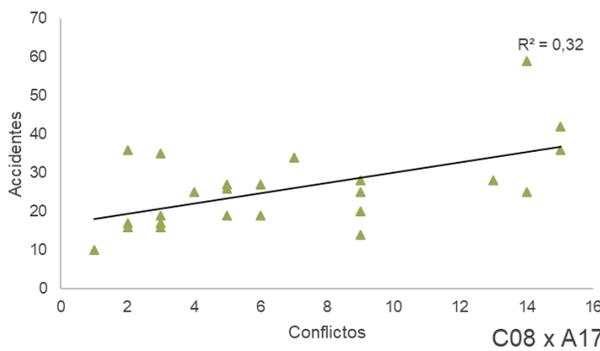
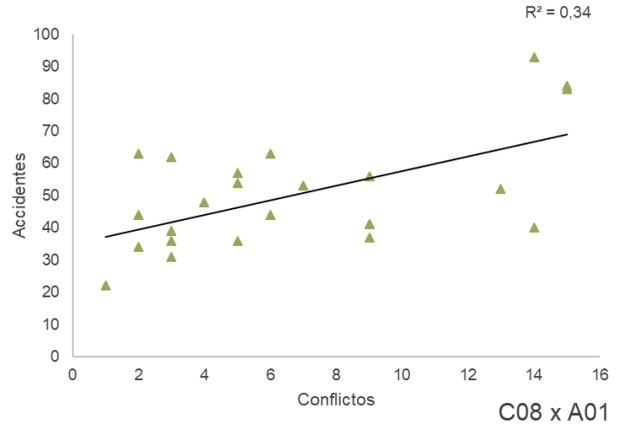
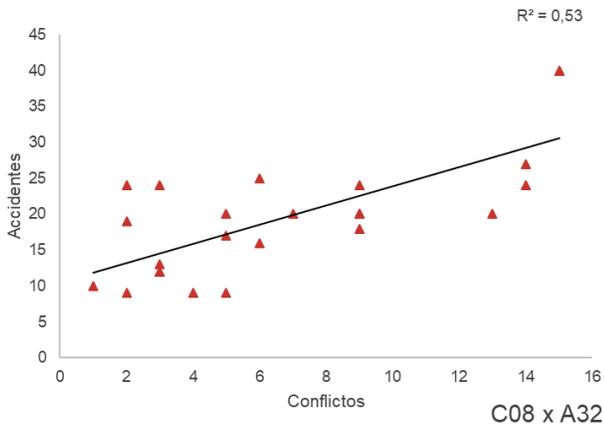


Figura 9. Factor de determinación corredor Av. Cra. 68
Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados en función de niveles de seguridad vial

En los corredores con un porcentaje de composición vehicular mayor al 25% de motocicletas, se encontró que el evento C19 tuvo una asociación de 0,46 con respecto a los

accidentes A03, y a los A04 de 0,51. También se presentó una asociación a los accidentes A05 de 0,46 y a los A08 de 0,45. Lo anterior, se suma a un factor de determinación de 0,61 para los accidentes A32 y 0,53 para los A48.

Esto va en línea con lo encontrado en Alemania, donde para los casos en los que los ciclistas fueron parcialmente responsables de algún tipo de accidente, alrededor del 52% circularon por lugares prohibidos, el 20% se debió a errores no identificados, y el 11% fueron causados porque los ciclistas ignoraron el semáforo en rojo (Richter & Sachs, 2017).

Para el caso de corredores con porcentaje de camiones $> = 5.5\%$, se encontró con el evento C2 un factor de determinación de 0,85 con respecto a los accidentes A04 y de 0,78 a los accidentes A03. Además, que para los accidentes A20 y A19, se encontró un factor de determinación de 0,83 y 0,78 respectivamente. Y en cuanto a los accidentes A43 y A47, los factores de determinación encontrados fueron de 0,64 y 0,66 respectivamente.

Por otro lado, se identificó un factor de determinación entre el evento C12 con los accidentes A02 de 0,82, un factor de determinación con los accidentes A06 de 0,77 y con los A18 de 0,60.

Para los corredores con dos carriles se encontró un factor de determinación con el evento C14 con los accidentes A42, A41, A43, A44 de 0,84, 0,84, 0,45 y 0,67, respectivamente. Lo anterior es un indicio de que, al no haber espacio de maniobra por parte de los conductores, se pueden encontrar de manera frecuente roces entre los mismos dado las condiciones de operación.

Además, para el mismo tipo de corredor, se encontraron factores de determinación de 0,60 entre el evento C3 y los accidentes A44, lo que sugiere que las acciones imprudentes de los peatones inciden en los accidentes entre vehículos, ya que inducen al conductor del automóvil a llevar a cabo una maniobra evasiva peligrosa. Esto guarda similitud con el estudio realizado en Hungría, donde se examinaron los accidentes entre automóviles y peatones causados por peatones dentro de áreas urbanas, y se identificó que la razón principal más común de los accidentes fue el "descenso imprudente y repentino a la vía" (47,2%). La conducta de "paso por detrás de los vehículos", "cruce ilegal" y "cruce durante la luz roja" también fueron significativos. Estas cuatro razones principales de accidentes representaron el 91,7% de todos los accidentes entre automóviles y peatones causados por peatones dentro de áreas urbanas (Glász & Juhász, 2017). En este sentido, se propone estudiar en conjunto los eventos potencialmente conflictivos asociados a cambios bruscos de carril y peatones cruzando a riesgo en vías de dos carriles en futuras investigaciones para profundizar en este fenómeno.

Para los corredores con más de dos carriles se identificaron factores de determinación relacionados a los eventos C15 con los accidentes A02 de 0,48. Adicional a esto, también se hallaron factores de determinación cercanos a 0,68 para los accidentes A06, A38, A46 y A34, lo cual guarda similitudes con los resultados encontrados anteriormente

para corredores con composiciones vehiculares mayores al 25% de clase de vehículo motocicleta. En este caso se puede entender que, al haber un mayor espacio para los giros, las trayectorias no son respetadas por las motocicletas.

Para los corredores con $<$ de 5,5% de camiones, se encontró que con el evento C12 existe un factor de determinación de cerca del 0,43 para los accidentes A13 y A37.

Y finalmente, para los usos del suelo, no se evidenciaron factores de determinación representativos con ninguno de los eventos potencialmente conflictivos analizados.

Determinación de los niveles de seguridad vial

En el análisis de los diferentes rangos de seguridad dados por la composición vehicular, el número de calzadas y carriles, y los usos del suelo sobre los 20 puntos de los corredores de estudio, y realizando asociaciones con los factores de determinación más relevantes encontrados, se pudo determinar que los rangos referentes a composiciones vehiculares y número de carriles son:

- **Asociados al corredor de la Av. Boyacá: C9**
Se considera que, si hay un menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a conducción errática de un vehículo, el nivel de seguridad vial será más alto para las clases de vehículos automóvil y peatón.
- **Asociados al corredor de la Av. Cra. 68: C8**
Se considera que, si hay un menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a motocicletas haciendo zigzag, el nivel de seguridad vial será más alto para la clase de vehículo motocicleta.
- **Asociados a porcentaje de motocicletas: $> = 25\%$**
Se considera que, si hay menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a bicicletas pasándose el semáforo en rojo, el nivel de seguridad vial será más alto para las clases de vehículos motocicletas, automóviles y camiones.
- **Asociados a porcentaje de camiones: $> = 5,5\%$**
Se considera que, si hay un menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a bicicletas adelantando entre vehículos o en carril diferente al derecho, el nivel de seguridad vial será más alto para las clases de vehículos automóviles y camiones. También si el evento vehículo estacionado que obstruye la circulación es menor, hay una mejora en el nivel de seguridad vial para los peatones.
- **Asociados a porcentaje de camiones: $< 5,5\%$**
Se considera que, si hay un menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a la obstrucción

de la intersección, el nivel de seguridad vial será más alto para los pasajeros de la clase de vehículo tipo bus.

- **Asociado a 2 carriles por calzada**
Se considera que, si hay un menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a vehículos con cambio brusco de carril y de peatón cruzando a riesgo con tráfico, el nivel de seguridad vial de los automóviles será mayor.
- **Asociado a más de 2 carriles por calzada**
Se considera que, si hay un menor número de eventos potencialmente conflictivos asociados a motocicletas que no respetan el carril de giro, el nivel de seguridad vial de las clases de vehículos peatones, buses y camiones, será mayor.

Con base en lo anterior, podemos determinar el nivel de seguridad vial de los corredores en función de estos rangos, como se muestra en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Niveles de seguridad vial

Por corredor			
Av. Boyacá			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C9	0 - 3	4 - 8	>8
Av. Cra. 68			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C8	0 - 12	13 - 24	>24
Composición vehicular			
Porcentaje de motocicletas >= 25%			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C19	0 - 8	9 - 16	>16
Porcentaje de camiones >= 5,5%			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C2	0 - 8	9 - 16	>16
C12	0 - 2	3 - 4	>4
Porcentaje de camiones < 5,5%			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C28	0 - 8	9 - 16	>16
Geometría de la vía			
Corredores de 2 carriles por calzada			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C14	0 - 5	6 - 10	>10
C3	0 - 7	8 - 14	>14
Corredores con más de 2 carriles por calzada			
Evento*	Bajo	Medio	Alto
C15	0 - 4	5 - 8	>8

* eventos potencialmente conflictivos por hora

Fuente: Elaboración propia

La metodología planteada hace un acercamiento sencillo al problema para el caso particular de Bogotá, que facilita una medición más cercana a los posibles detonantes de un accidente, y además resuelve los problemas de tomar los históricos de accidentalidad, planteados inicialmente en este trabajo, ya que no se presentan deficiencias en la calidad de los datos recopilados como se da en los formatos de toma de accidentes in situ (Flórez et al., 2018), no hay subregistros de información por el hecho de tenerla disponible en videos (Cardona-Arbeláez et al., 2010), y no requiere un tiempo prolongado para su recolección (Songchitruksa & Tarko, 2006).

Sin embargo, para lo relacionado con las bases de datos de accidentalidad de Bogotá, se aconseja utilizar la información disponible desde el año 2012 en adelante, dado que en los anteriores años se identificaron problemas con la georreferenciación y digitación de las direcciones. A pesar de ello, en este estudio se tomaron datos desde el 2007 para contar con un amplio volumen de información, ya que las zonas de estudio para cada corredor con relación a su longitud total eran pequeñas.

En lo referente a investigaciones anteriores que se desarrollaron en función de conflictos, se han encontrado similitudes con lo hallado en este trabajo. Es el caso de estudio basado en la Técnica de conflictos de tráfico llevado a cabo en Suecia, donde se utilizó la medida PET (*Post Encroachment Time*) para cuantificar los conflictos entre peatones y automóviles, y donde se encontraron relaciones entre conflictos asociados a peatones con accidentes de automóviles (Várhelyi, 1998).

Otras asociaciones importantes fueron identificadas en los resultados del análisis, la más frecuente, fue encontrada entre motocicletas adelantando entre carriles y motocicletas no respetando el carril de giro, en relación con accidentes con todas las demás clases de vehículos y tipos de accidentes, y otras como la relación entre peatones y ciclistas, en función del número de carriles. Estos hallazgos dan pie para sugerir una investigación entre eventos potencialmente conflictivos y accidentalidad más exhaustiva en el futuro, que tenga en cuenta todos eventos asociados a motocicletas, con base en la composición vehicular del punto de estudio.

De acuerdo con esto, a nivel general se propone que en estudios posteriores se realice un análisis multivariado entre eventos potencialmente conflictivos y accidentalidad, porque si bien los resultados arrojaron factores de determinación entre 0,6 y 0,8, no se consideran suficientes para tener certeza que con el conteo de un único evento se pueda garantizar el nivel de seguridad vial de un corredor y con el uso de un análisis multivariado pueden surgir nuevas propuestas en la determinación de niveles, que por el uso de un análisis bivariado, no pudieron ser detectadas.

4. Discusión y Conclusiones

Otra recomendación para futuros estudios es no evaluar únicamente los eventos potencialmente conflictivos de mayor frecuencia, ya que no necesariamente los eventos que tienen una mayor ocurrencia tienen una alta correlación, como se pudo apreciar en los resultados, por lo que debería utilizarse la mayor cantidad de eventos posibles.

Y por último, aunque se encontraron factores de determinación, en algunos casos mayores a 0,8, no deben tomarse como resultados definitivos para tomar decisiones de intervención para la mitigación de la accidentalidad, puesto que se debe entender que este es un trabajo observacional cuya finalidad buscaba comprender la viabilidad de determinar niveles de seguridad vial en función de eventos potencialmente conflictivos.

5. Referencias

- Agencia de Seguridad Vial de Argentina. (2010). *Análisis de indicadores de seguridad vial utilizados actualmente en los países líderes en la materia*.
- Al-Haji, G. (2007). *Road Safety Development Index (RSDI) Theory, Philosophy and Practice*. Retrieved from <http://www.itn.liu.se>
- Amundsen, F. H., & Hydén, C. (1977). LIB_Amundsen_Hyden_1977.pdf. *Proceedings: First Workshop on TRAFFIC CONFLICTS*.
- Barros, A. J. D., Amaral, R. L., Oliveira, M. S., Lima, S. C., & Gonçalves, E. V. (2003). Acidentes de trânsito com vítimas: sub-registro, caracterização e letalidade. *Cadernos de Saúde Pública*, 19(4), 979–986. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000400021>
- Bulla, L. A., & Lyons, L. L. (2015). *Estado del arte en la evaluación de la seguridad vial por medio de conflictos de tráfico: aplicación al estudio de caso en una glorieta en Bogotá*. Retrieved from www.mintransporte.gov.co
- Cardona-Arbeláez, S. A., Molina-Castaño, C. F., Arango-Álzate, C. M., & Pichott-Padilla, J. T. (2010). Characterization of traffic accidents and tariff rating of the medical attention in the emergency services, Caldas-Antioquia, 2007-2008. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 9(19), 216–228. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-70272010000200013
- Flórez, C. F., Patiño, C., Rodríguez, J. M., Ariza, L. K., & González, R. A. (2018). Análisis multicausal de ‘accidentes’ de tránsito en dos ciudades de Colombia. *Archivos de Medicina (Manizales)*, 18(1), 69–85. <https://doi.org/10.30554/archmed.18.1.2477.2018>
- Glász, A., & Juhász, J. (2017). Car-pedestrian and car-cyclist accidents in Hungary. *Transportation Research Procedia*, 24, 474–481. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.085>
- Hsu, T.-P., & Wen, K.-L. (2019). Effect of novel divergence markings on conflict prevention regarding motorcycle-involved right turn accidents of mixed traffic flow. *Journal of Safety Research*, 69, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.03.003>
- Hydén, C., & Linderholm, L. (1984). The Swedish Traffic-Conflicts Technique. In *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques* (pp. 133–139). https://doi.org/10.1007/978-3-642-82109-7_12
- Hydén, Christer. (1987). The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: the Swedish Traffic Conflict Technique. *Bulletin Lund University of Technology*, p. 229. <https://doi.org/10.1002/2016GC006399>
- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. (2018). IDECA.
- Laureshyn, A. et al., (2017). Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway. *Accident Analysis and Prevention*. Retrieved from <https://pdf.sciencedirectassets.com>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2012). *Resolución No. 0011268 del 06 de diciembre 2012*. Retrieved from http://web.mintransporte.gov.co/rnat/app/ayudas/Resolucion_0011268_2012.pdf
- Observatorio de Seguridad Vial de Argentina. (2011). *Estándares internacionales en materia de Indicadores de seguridad vial*. Retrieved from [http://www.conaset.cl/programa/observatorio-datos-estadistica/%0Afile:///C:/Users/User/Desktop/Ardil SR search v2/google random search/Informe estudio homicidio Barranquilla - agosto 14nestor\(1\).pdf](http://www.conaset.cl/programa/observatorio-datos-estadistica/%0Afile:///C:/Users/User/Desktop/Ardil%20SR%20search%20v2/google%20random%20search/Informe%20estudio%20homicidio%20Barranquilla%20-%20agosto%2014%20nestor(1).pdf)
- Otero Niño, J. D., Heredia Castiblanco, J. D., Daniela Fonseca-Agudelo, P., Cabrera Pinzón, S., Gómez Mosquera, A., David López-Buitrago, L., ... Bulla Cruz, A. (2019). Road safety assessment in preferential bus lanes through field analysis and microsimulation of traffic conflicts. *Revista de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 90(90), 1–29. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n90a10>
- Pérez, J. G., Cuevas, A. C., Abarca, E., & Mendoza, A. (2015). *Comparación estadística entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad en carreteras federales*. Retrieved from <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt438.pdf>
- PIARC. (2012). *Road safety inspection guidelines for safety checks of existing roads*. Retrieved from <http://www.piarc.org>
- Richter, T., & Sachs, J. (2017). Turning accidents between cars and trucks and cyclists driving straight ahead. *Transportation Research Procedia*, 25, 1946–1954. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.219>
- Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá. (2018). SIMUR. Retrieved from www.simur.gov.co/portal-simur/2018/10/23/siniestros-transito/
- Segura, A. M., Cardona, D., Berbesí, D. Y., & Agudelo, A. (2015). Mortalidad por accidente de tránsito en el adulto mayor en Colombia. *Revista de Saúde Pública*, 51, 1–8. <https://doi.org/10.1590/S1518->

8787.2017051006405

- Soderlund, N., & Zwi, A. B. (1995). *Traffic-related mortality in industrialized and less developed countries*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2486752/pdf/bullwho00406-0043.pdf>
- Songchitruksa, P., & Tarko, A. P. (2006). The extreme value theory approach to safety estimation. *Accident Analysis and Prevention*, 38(4), 811–822. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.02.003>
- Tarko, A. (2018). Surrogate measures of safety. In *Safe Mobility: Challenges, Methodology and Solutions* (pp. 383–405).
- Tarko, Andrew, Davis, G., Saunier, N., Sayed, T., & Washington, S. (2009). White Paper Surrogate Measures of Safety ANB20(3) Subcommittee on Surrogate Measures of Safety. *Safety Data Evaluation and Analysis - ANB20, 20(3)*, 1–13.
- The World Bank. (2019). The World Bank. Retrieved from Mortality caused by road traffic injury (per 100,000 people) website: <https://data.worldbank.org/indicator/SH.STA.TRAF.P5>
- Van der Horst, A. R. A. (1990). *A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters*.
- Várhelyi, A. (1998). Drivers' speed behaviour at a zebra crossing: A case study. *Accident Analysis and Prevention*, 30(6), 731–743. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(98\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00026-8)
- World Health Organization. (2015). *Global status report on road safety 2015*. Retrieved from http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_traffic/en/

Rafael Alberto González Rodríguez, Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia y estudiante de Maestría en Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

Carlos Fabián Flórez Valero, Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Ingeniería de Transporte de la Universidad Nacional de Colombia y Magister en Ingeniería de Transporte de la Universidad Nacional de Colombia.

Carlos Eduardo Rodríguez Pineda, Doctor en Ingeniería Civil del *Imperial College of Science Technology and Medicine*.

