

**Maestría en Ingeniería Civil**

**LINEAMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE TRAMOS DE  
CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN VÍAS RURALES A  
TRAVÉS DE LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICES DE SINIESTRALIDAD - CASO DE  
ESTUDIO VÍA CERETÉ – LORICA (CÓRDOBA, COLOMBIA) – APP-IP CONEXIÓN  
DEPARTAMENTOS ANTIOQUIA – BOLÍVAR**

**HENRY VERGARA BARRETO**



**Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**

**Bogotá, D.C., 8 de junio de 2023**

**LINEAMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE  
ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN VÍAS RURALES A TRAVÉS DE LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICES  
DE SINIESTRALIDAD - CASO DE ESTUDIO VÍA CERETÉ – LORICA (CÓRDOBA, COLOMBIA) –  
APP-IP CONEXIÓN DEPARTAMENTOS ANTIOQUIA – BOLÍVAR**

**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Seguridad Vial y  
Prevención de accidentes de Tránsito**

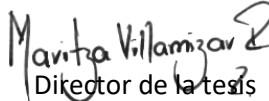
**MSc. Maritza Cecilia Villamizar Ropero  
Director**



**Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**

**Bogotá, D.C., 8 de junio de 2023**

La tesis de maestría titulada “LINEAMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN VÍAS RURALES A TRAVÉS DE LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICES DE SINIESTRALIDAD - CASO DE ESTUDIO VÍA CERETÉ – LORICA (CÓRDOBA, COLOMBIA) – APP-IP CONEXIÓN DEPARTAMENTOS ANTIOQUIA – BOLÍVAR”, presentada por Henry Vergara Barreto, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Seguridad Vial y Prevención de Accidentes de Tránsito.



Director de la tesis  
Ing. MSc. Maritza Cecilia Villamizar Roper



Jurado  
Ing. Msc. Santiago Henao Pérez



Jurado  
Ing. Esp. Wilson Francisco Pulido Varón

Bogotá, D.C., 30 de junio de 2023

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis profesores, quienes con su valioso conocimiento y dedicación han sido fundamentales en mi proceso de formación y en la culminación exitosa de esta tesis.*

*A los Ingenieros Maritza Villamizar Roper, Santiago Henao Pérez, Mónica Suarez Pradilla, Héctor Espitia Pérez y Roger Cardozo Pinilla, les debo gran parte de mi éxito académico y profesional, ya que, gracias a sus enseñanzas, consejos y apoyo incondicional, he logrado alcanzar este importante objetivo en mi carrera. Este logro no habría sido posible sin su valioso aporte y compromiso, por lo que les estaré eternamente agradecido. ¡Mil gracias por todo!*

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mi amada esposa, Camila Galvis Reyes, quien ha sido mi mayor apoyo y compañera durante todo este camino. Agradezco su constante motivación, paciencia y comprensión, no solo en los momentos más difíciles, sino también en aquellos en los que celebramos juntos cada pequeño logro. Gracias por ser mi fuente de inspiración y por compartir conmigo este sueño hecho realidad. Te amo.*

## RESUMEN

La mayoría de los estudios realizados respecto a la siniestralidad vial se desarrollan para las áreas urbanas, sin embargo, los estudios de los siniestros viales en las carreteras interurbanas son escasos particularmente en Colombia. Este documento se centra en la identificación de tramos de concentración de accidentes en carreteras rurales, un proceso fundamental para mejorar la seguridad vial y reducir la incidencia de accidentes de tránsito en estos sectores. El objetivo principal es definir una metodología apropiada para identificar los tramos de carretera donde ocurre un mayor número de accidentes. Como caso de estudio se analiza el tramo de la carretera Cereté – Loricá en el departamento de Córdoba.

Para ello, se realizó una revisión de la literatura y la normativa sobre las metodologías existentes en otros países, con el propósito de adaptarlas a las condiciones y características específicas del área de estudio. A partir de allí, se generó un marco teórico sólido que permite aprovechar las mejores prácticas para identificar de tramos de concentración de accidentes.

El procedimiento propuesto para la identificación de tramos de concentración de accidentes utiliza índices de siniestralidad y el procedimiento de la ventana deslizante para definir la medida de umbralización. Se valida con los registros históricos de siniestralidad; su efectividad y precisión se evalúa mediante indicadores de desempeño, como el número de accidentes evitados y la reducción de lesiones y fatalidades en los tramos identificados.

La metodología utilizada identifica que el método de la ventana deslizante identifica con más precisión los TCA. Los resultados de este trabajo son de gran importancia para las autoridades de tránsito y transporte, ya que brindan información valiosa para la implementación de medidas preventivas y la asignación eficiente de recursos en la mejora de la seguridad vial. El método desarrollado puede contribuir significativamente a la reducción de accidentes de tránsito y mejorar la calidad de vida de los usuarios de las vías rurales.

**Palabras Claves:** *Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), Siniestralidad, Ventana Deslizante, Indicadores de Exposición de Riesgo*

## ABSTRACT

Most of the studies carried out on road accidents are developed for urban areas; however, studies of road accidents on interurban roads are scarce, particularly in Colombia. This paper focuses on the identification of accident concentration sections in rural roads, a fundamental process to improve road safety and reduce the incidence of traffic accidents in these sectors. The main objective is to define an appropriate methodology to identify the road sections where a greater number of accidents occur. As a case study, the section of the Cereté - Lórica highway in the department of Córdoba is analyzed.

For this purpose, a review of the literature and regulations on existing methodologies in other countries was carried out, with the purpose of adapting them to the specific conditions and characteristics of the study area. From there, a solid theoretical framework was generated that allows taking advantage of the best practices to identify accident concentration sections.

The proposed method for the identification of accident concentration stretches uses accident rates and the sliding window method to define the threshold measure. It is validated with historical accident records; its effectiveness and accuracy are evaluated through performance indicators, such as the number of accidents avoided and the reduction of injuries and fatalities in the identified sections.

The methodology used identifies that the sliding window method more accurately identifies AARs. The results of this work are of great importance for traffic and transportation authorities, as they provide valuable information for the implementation of preventive measures and the efficient allocation of resources to improve road safety. The developed method can contribute significantly to the reduction of traffic accidents and improve the quality of life of rural road users.

**Key Words:** *Accident Concentration Tracts (ACT), Accident Rate, Sliding Window, Risk Exposure Indicators*

## GLOSARIO

**Accidente de tráfico en la vía:** colisión u otro impacto en la vía que causa muerte, cualquier lesión o daño.

**Tramo de concentración de accidentes - TCA:** Se refiere a los puntos peligrosos de una red de carreteras; considerándose como tal aquel tramo de la red que presenta un riesgo de incidente vial significativamente superior a la media de tramos de características semejantes, y en el que, previsiblemente, una actuación de mejora de la infraestructura puede conducir a una reducción efectiva de la accidentalidad.

**Análisis de Tramos de Concentración de Accidentes (ATCA):** Es una técnica reactiva para la gestión de la seguridad vial que debe realizarse por lo menos una vez cada año. Los tramos de concentración de accidentes son sectores críticos donde se espera un alto número de accidentes, que tiene como resultado factores locales de riesgo. Estos espacios se identifican en términos del número de accidentes reportados, pero preferiblemente por el número de accidentes esperados.

**Carretera:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se define como: vía cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos, con niveles adecuados de seguridad y comodidad.

**Calzada:** Zona de la vía destinada a la circulación de los vehículos.

**Carril:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito. Ley 769 del 2002, se define como: parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

**Control:** Es un proceso sistemático orientado a comparar mediante la verificación y vigilancia de las operaciones, la aplicación de los estándares de seguridad vial y requisitos del SGSV y determinar si es acorde con las especificaciones, reglas y órdenes establecida

**Gestión de Riesgos:** Es el proceso sistemático por el que los factores de riesgo en el tránsito de la vía se identifican, evalúan y se controlan para disminuir su impacto

**Etapas de operación y mantenimiento:** Se refiere a la segunda etapa de ejecución del contrato de concesión durante la cual el objeto principal del contrato será la realización de las actividades de

operación y mantenimiento sobre el proyecto. Esta etapa correrá desde la suscripción de la última acta de terminación de Unidad Funcional hasta la fecha de terminación de la etapa de operación y mantenimiento, una vez terminada la etapa de operación y mantenimiento se iniciará la etapa de reversión del contrato.

**Exposición al riesgo:** Valoración asociada con la vulnerabilidad que tienen los usuarios, referente a su intensidad y frecuencia. En otras palabras, es una medida de frecuencia y está relacionada con el tiempo al que están expuestos los usuarios de la vía a una deficiencia determinada. (Guía técnica de auditorías e inspecciones de seguridad vial para Colombia).

**Factor de desempeño de la seguridad vial:** Factor medible, elemento y criterio que contribuye a la seguridad vial que la organización puede influir y que permite que la organización determine los impactos sobre la Seguridad Vial (SV) (ISO 39001).

**Incidente de tráfico en la vía:** Evento que ocurre por una falla de un componente o factores externos que contribuyen al sistema de tráfico vial. Los accidentes incluyen, entre otros, los accidentes de tráfico en la vía y los cuasi accidentes (ISO 39001).

**Indicador:** Es una expresión cuantitativa del comportamiento de las variables o de los atributos de un producto o proceso de una organización.

**Intervención:** Toda obra de construcción, rehabilitación y/o mejoramiento necesario para el cumplimiento de las obligaciones del Concesionario. Así como la provisión e instalación de equipos y señalización en el proyecto.

**Lesión vial grave:** Lesión que tiene un impacto para la salud a largo plazo, o lesión considerable causada al cuerpo de una persona o a sus funciones, debido a un accidente de tráfico en la vía (ISO 39001).

**Mejoramiento:** Son las intervenciones en las cuales, el concesionario deberá mejorar las condiciones de una vía existente con el objetivo de llevarla a unas características técnicas determinadas y de mayor estándar que los que presenta la vía, de tal manera que mejoren la capacidad o el nivel de servicio, bien sea, mediante la ejecución de actividades que mínimo logren: aumentar la velocidad de diseño, rectificar o mejorar alineamientos horizontales o verticales puntuales o continuos, ampliar las secciones geométricas de las vías, ampliación de calzadas



existentes o nuevos carriles, minimizar los impactos de sitios críticos o vulnerables, pavimentar incluyendo la estructura del pavimento, construir entre otros.

**Meta de la seguridad vial:** Desempeño detallado que se va a lograr, consistente con la política y los objetivos de la SV que una organización aplica en forma individual o junto con las partes interesadas (ISO 39001).

**Monitoreo:** Proceso sistemático para recolectar, analizar y utilizar información para establecer los efectos de las medidas de intervención adoptadas en procura de la consecución de los objetivos y metas de seguridad vial y sobre la aparición de nuevos focos ya sea sobre la infraestructura o sobre el comportamiento de los usuarios que afecten el desempeño de la seguridad vial y tomar correctivos en el corto plazo.

**Peligro:** condición u objeto que potencialmente puede causar pérdidas que afecten los objetivos a cualquier nivel.

**Red Nacional de Carreteras:** es la red vial de Colombia regulada por el Ministerio de Transporte colombiano mediante el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y el Instituto Nacional de Concesiones (ANI), de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1735 de agosto de 20011 y a veces delegadas a empresas privadas a través de contratos de concesión.

**Red vial:** Es el conjunto de vías de un país o región; incluyen ferrocarriles, carreteras, puertos aéreos y marítimos y fluviales. Son el sistema circulatorio por el que transitan bienes y servicios (el transporte es un servicio y lleva bienes).

**Riesgo:** efecto de la incertidumbre y/o posibilidad que ocurra una situación que afecte el cumplimiento de los objetivos a cualquier nivel

**Seguridad Vial:** condiciones y factores relacionados con accidentes de tráfico en la vía y otros accidentes de tráfico en la vía que tienen impacto o tienen potencial de tener impacto relacionado con la muerte o lesión grave de usuarios de vías.

**Señal de tránsito:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito Ley 769 del 2002 se define como: dispositivo físico o marca especial: Preventiva y reglamentaria e informativa, que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías.

**SGSV:** Sistema de Gestión de Seguridad Vial.

**Sistema Integral de Gestión (SIG):** conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr los objetivos y el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001.

**Tráfico:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito Ley 769 del 2002 se define como: Volumen de vehículos, peatones, o productos que pasan por un punto específico durante un periodo determinado.

**Tránsito:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito Ley 769 del 2002 se define como: Es la movilización de personas, animales o vehículos por una vía pública o privada abierta al público.

**Transporte:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito Ley 769 del 2002 se define como: Es el traslado de personas, animales o cosas de un punto a otro a través de un medio físico.

**Usuario de la vía:** cualquier persona que este sobre la vía.

**Vía:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito Ley 769 del 2002 se define como: Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales.

**Vehículo:** De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito Ley 769 del 2002 se define como: Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas, animales o cosas de un punto a otro por vía terrestre pública o privada abierta al público

**Zona rural:** Franja donde las edificaciones son muy escasas y el terreno está en su estado natural o dedicado a cultivos.

**Zona urbana:** Franja en la que gran parte del terreno está ocupado por edificaciones

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>3</b>	<b>MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
3.1.1	MARCO TEÓRICO DE LAS METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN DE TCA	21
3.1.2	METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS TCA	33
3.1.3	RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN DE TCA	39
<b>3.2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>42</b>
3.2.1	ANTECEDENTES	42
3.2.2	AFECTACIÓN DE LOS ESTADOS DE SEGURIDAD VIAL DEBIDO A LOS TCA	51
3.2.3	ESTADOS UNIDOS	52
3.2.4	ESPAÑA	54
3.2.5	RESTO DE EUROPA	56
3.2.6	ARGENTINA	57
3.2.7	COLOMBIA	59
<b>4</b>	<b>CASO DE ESTUDIO, DATOS Y METODOLOGÍA</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>62</b>
4.1.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	62
4.1.2	MÉTODOS ACTUALES Y NORMATIVA PARA LA ESTIMACIÓN DE TCA EN COLOMBIA	62
4.1.3	ESTADO DEL ARTE	62
4.1.4	VALIDACIÓN DE DATOS	62
4.1.5	ÍNDICES DE TCA	63

4.1.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
<b>4.2</b>	<b>CASO DE ESTUDIO</b>	<b>64</b>
<b>4.3</b>	<b>DATOS</b>	<b>67</b>
4.3.1	MÉTODOS ACTUALES DE ESTIMACIÓN DE TCA EN OTROS PAÍSES	67
<b>5</b>	<b><u>APLICACIÓN METODOLOGÍA DEL CASO DE ESTUDIO</u></b>	<b><u>67</u></b>
5.1	ESTIMACIÓN DE TCA MEDIANTE LA METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SECTORES DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO	70
5.2	ESTIMACIÓN DE TCA MEDIANTE EL MÉTODO IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS – FONPREVIAL - INVIAS	73
5.3	ESTIMACIÓN DE TCA MÉTODO IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS – FONPREVIAL – INVIAS, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE LA VENTANA DESLIZANTE	82
5.4	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE TCA	87
<b>6</b>	<b><u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b>	<b><u>91</u></b>
<b>7</b>	<b><u>REFERENCIAS</u></b>	<b><u>98</u></b>
<b>8</b>	<b><u>ANEXOS</u></b>	<b><u>101</u></b>
8.1	ANEXO 1	101

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>ILUSTRACIÓN 1.</b> LINEAMIENTOS PARA LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS Y GESTIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES .....	21
<b>ILUSTRACIÓN 2.</b> DISTRIBUCIÓN DE LOS MÉTODOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE TCA .....	22
<b>ILUSTRACIÓN 3.</b> <i>TENDENCIAS EN LAS TASAS DE MORTALIDAD POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN UNA SELECCIÓN DE PAÍSES DE INGRESOS ALTOS</i> .....	43
<b>ILUSTRACIÓN 4.</b> TASA CALCULADA DE MORTALIDAD CAUSADA POR EL TRÁNSITO (POR 100.000 HABITANTES) EN LA REGIÓN DE LAS AMÉRICAS, POR PAÍS, 2013. ....	43
<b>ILUSTRACIÓN 5.</b> SERIE HISTÓRICA (2010-2020) DEL TOTAL DE FALLECIDOS POR SINIESTROS VIALES A 30 DÍAS .....	44
<b>ILUSTRACIÓN 6.</b> OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....	45
<b>ILUSTRACIÓN 7.</b> PARQUE AUTOMOTOR REGISTRADO EN RUNT, CON CORTE A FEBRERO DE 2022 .....	47
<b>ILUSTRACIÓN 8.</b> CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR 2015 -2017 .....	48
<b>ILUSTRACIÓN 9.</b> VARIACIÓN DEL INDICADOR TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO-TPD .....	49
<b>ILUSTRACIÓN 10.</b> ESTADO DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS NO CONCESIONADAS 2015 – 2021 .....	49
<b>ILUSTRACIÓN 11.</b> ESTADO DE LA RED PRIMARIA NO CONCESIONADA PAVIMENTADA POR DEPARTAMENTOS.....	50
<b>ILUSTRACIÓN 12.</b> DIAGRAMA METODOLÓGICO PROPUESTO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
<b>ILUSTRACIÓN 13.</b> LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	66
<b>ILUSTRACIÓN 14.</b> CANTIDAD DE ACCIDENTES POR CADA KILÓMETRO EN LA UNIDAD FUNCIONAL 6 – CERETÉ - LORICA .....	66
<b>ILUSTRACIÓN 15.</b> INCIDENCIA DE LA ACCIDENTALIDAD POR EL TIPO DE CAUSA .....	68
<b>ILUSTRACIÓN 16.</b> ACCIDENTES POR CATEGORÍA DE VEHÍCULOS.....	68
<b>ILUSTRACIÓN 17.</b> INCIDENCIA POR CATEGORÍA DE VEHÍCULOS.....	69
<b>ILUSTRACIÓN 18.</b> SINIESTROS VIALES CON VÍCTIMAS FATALES PRESENTADOS EN LA UF-6,1 .....	69
<b>ILUSTRACIÓN 19.</b> SINIESTROS VIALES CON VÍCTIMAS FATALES PRESENTADOS EN LA UF-6,2 .....	69
<b>ILUSTRACIÓN 20.</b> SINIESTROS VIALES CON VÍCTIMAS FATALES PRESENTADOS EN LA UF-6,3 .....	70
<b>ILUSTRACIÓN 21.</b> TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES NEGROS EN LA UF-6,1.....	84
<b>ILUSTRACIÓN 22.</b> TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES EN LA UF-6,2.....	85
<b>ILUSTRACIÓN 23.</b> TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES EN LA UF-6,3.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> CRITERIOS PARA LAS ECUACIONES DE CÁLCULO DE TCA SEGÚN LA DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁNSITO DE ESPAÑA .....	25
<b>TABLA 2.</b> <i>AUTOPISTAS Y CARRETERAS CONVENCIONALES DOBLE CALZADA SEGÚN LA DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁNSITO DE ESPAÑA</i> .....	26
<b>TABLA 3.</b> CARRETERAS CONVENCIONALES BIDIRECCIONALES RÁPIDAS SEGÚN LA DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁNSITO DE ESPAÑA...	26
<b>TABLA 4.</b> GUÍA DE FACTORES DE DESEMPEÑO DE LA NORMA NTC – ISO 39001 .....	32
<b>TABLA 5.</b> COEFICIENTES DE PONDERACIÓN PAÍSES DE LATINOAMÉRICA.....	35
<b>TABLA 6.</b> PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SECTORES DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES.....	36
<b>TABLA 7.</b> SERIES HISTÓRICAS ACTUALIZADAS DEL TPD DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS.....	48
<b>TABLA 8.</b> PARÁMETROS PARA IDENTIFICAR TRAMOS CON CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES – TCA EN ARGENTINA.....	58
<b>TABLA 9.</b> IP PARA LA UF-6,1 DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR LOS INGENIEROS ARY BUSTAMANTE Y SERGIO CARVAJAL .....	71
<b>TABLA 10.</b> IP PARA LA UF-6,2 DE ACUERDO CON LA METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SECTORES DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO .....	72
<b>TABLA 11.</b> IP PARA LA UF-6,3 DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR LOS INGENIEROS ARY BUSTAMANTE Y SERGIO CARVAJAL .....	72
<b>TABLA 12.</b> IP PARA LA UF-6,1 DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR EL INGENIERO SERGIO PABÓN ADOPTADO POR EL FONDO DE PREVENCIÓN VIAL. ....	73
<b>TABLA 13.</b> IP PARA LA UF-6,2 DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR EL INGENIERO SERGIO PABÓN ADOPTADO POR EL FONDO DE PREVENCIÓN VIAL. ....	78
<b>TABLA 14.</b> IP PARA LA UF-6,3 DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR EL INGENIERO SERGIO PABÓN ADOPTADO POR EL FONDO DE PREVENCIÓN VIAL. ....	80
<b>TABLA 15.</b> TCA DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR EL INGENIERO SERGIO PABÓN ADOPTADO POR EL FONDO DE PREVENCIÓN VIAL.....	82
<b>TABLA 16.</b> DESCRIPCIÓN DE LA UF-6 POR SUBSECTORES .....	82
<b>TABLA 17.</b> SINIESTROS VIALES POR AÑO SEGÚN EL SUBSECTOR.....	83
<b>TABLA 18.</b> TPD DE ACUERDO CON LOS REGISTROS DE LA BASE MATA DE CAÑA .....	83
<b>TABLA 19.</b> CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PELIGROSIDAD.....	84
<b>TABLA 20.</b> IP PARA LA UF-6,1 DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO DE LA VENTANA DESLIZANTE.....	85
<b>TABLA 21.</b> IP PARA LA UF-6,2 DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO DE LA VENTANA DESLIZANTE.....	86
<b>TABLA 22.</b> IP PARA LA UF-6,3 DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO DE LA VENTANA DESLIZANTE.....	86
<b>TABLA 23.</b> TCA DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO DE LA VENTANA DESLIZANTE.....	87
<b>TABLA 24.</b> COMPARACIÓN DE TCA MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LA VENTANA DESLIZANTE Y EL MÉTODO DE SERGIO PABÓN .....	88

# 1 INTRODUCCIÓN

Debido a los altos índices de siniestros viales, la seguridad vial se convierte en una problemática frecuente en las vías territoriales de todos los países, tal como lo establece en su reporte la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde informa que:

*“cada año mueren cerca de 1,3 millones de personas en las carreteras del mundo entero y entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales. Los accidentes de tránsito son una de las principales causas de muerte en todos los grupos etarios, y la primera entre personas de entre 15 y 29 años.”* (Seguro Coche, 2015)

Según lo anterior y los datos de las últimas estadísticas sanitarias mundiales de la OMS y el informe sobre la situación mundial de la seguridad vial publicado en 2015, los traumatismos por accidente de tránsito siguen representando un importante problema de la salud pública en todo el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2018). Solo en América, en el año 2019 se presentaron alrededor de 155 mil víctimas fatales que perdieron la vida en accidentes viales, lo que representan el 12% de las muertes ocasionadas en el tránsito a escala mundial (Organización Panamericana de la Salud - OPS, 2019).

Las víctimas graves y fatales tienen grave impacto en las economías nacionales, costando entre el 1% y 3% del PIB a los países, generalmente mucho más en los países de ingresos bajos, donde el 1% de los vehículos causa el 13% de las muertes por accidente de tránsito; mientras que en los países desarrollados el 40% de los vehículos causa el 7% de las muertes en estos accidentes (Organización Mundial de la Salud, 2018)..

Teniendo la cuenta que la seguridad vial se debe abordar como un problema de salud pública, para mitigarlo, los países pertenecientes a la agenda 2030 de desarrollo sostenible, centran sus esfuerzos en los ODS y para reducir las muertes y lesiones en las carreteras en un 50% para 2030.

Con el fin de dar soluciones a esta problemática y a fin de cumplir los objetivos propuestos, las administraciones y concesiones de carreteras realizan un análisis a fondo de las circunstancias que inducen a los accidentes de tráfico en un sector. Cuando las estadísticas de accidentes registrados

indican que en un tramo el nivel de riesgo de accidente es significativamente superior al de aquellos tramos de la red con características semejantes, se considera que es un tramo de concentración de accidentes (Structuralia, 2018).

Establecer los TCA se lleva a cabo con el objeto de proporcionar lineamientos que ayuden a identificar los factores que contribuyen a la ocurrencia de accidentes y que medidas pueden ser implementadas para contrarrestar la accidentalidad en estos tramos, lo que resulta de gran importancia para el cumplimiento de las metas propuestas en el decenio de la seguridad vial 2021 - 2030.

En general, en muchos países se usa la terminología "punto negro" (PN) para referir lugares de alta concentración de accidentes; sin embargo, esta definición no posee un entendimiento universalmente reconocido en la literatura. Se designa como "punto-negro-existente" (PNE) a una sección de una vía de longitud 'x', en la cual la cantidad de colisiones que resultan en lesiones personales alcanza o supera un valor 'y' durante un periodo de 'z' años. Definiciones más sofisticadas provenientes de países con avances en Ingeniería de Seguridad Vial integran variables adicionales. Estas incluyen la severidad de las lesiones personales, la diferencia entre el día y la noche, la orientación de la vía (recta o curva), y la textura de la superficie de la carretera ( ) (Berardo, y otros, 2012).

Este trabajo busca determinar los lineamientos más apropiada para establecer los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) en vías rurales, usando como medida de determinación de umbral el índice de siniestralidad. Identificando métodos, criterios e índice existentes para determinación del umbral más apropiado para la determinación TCA en vías rurales; para así seleccionar los parámetros pertinentes para establecer los Tramos de Concentración de Accidentes en vías rurales.

Los métodos de análisis de siniestralidad empleados en este estudio corresponden a cálculos matemáticas y estadísticos que facilitaron la observación del comportamiento de las variables más recurrentes de siniestralidad, comparando sus resultados respecto a un patrón común entre los diversos métodos. El patrón transversal empleado para la comparación del nivel de precisión de los métodos de análisis de TCA involucra el número de accidentes con víctimas durante un periodo de tiempo a lo largo del corredor vial objeto de estudio, y el nivel de detalle y precisión de cada uno de los métodos incide directamente en el nivel de actuación que se debe realizar para mitigar los impactos causados por la siniestralidad.



El documento se compone de siete capítulos; en el primer capítulo se presentan una breve descripción de los antecedentes y la motivación del tema en relación a la seguridad vial y a los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA); el capítulo dos presenta los objetivos generales y específicos que busca alcanzar el trabajo; en el capítulo tres se relaciona el marco teórico, normativo y el estado del arte de la revisión bibliográfica de países que lideran temas de seguridad vial como Estados Unidos, España y otros países de Europa, además de hacer la comparativa de los métodos usados en países pioneros en temas de seguridad vial con países latinoamericanos como Colombia y Argentina. El capítulo cuatro presenta el caso de estudio con el cual se verificará las metodologías propuestas, los datos usados y se establece la ruta metodología a seguir en la elaboración del documento; en el capítulo cinco se concentra la aplicación de la metodología de identificación de Tramos de Concentración de Accidentalidad (TCA) al caso de estudio y se desarrolla el respectivo análisis de las diferentes metodologías de estimación de TCA. El capítulo seis presenta las principales conclusiones y recomendaciones de la investigación en cumplimiento de los objetivos establecidos. Finalmente, en el capítulo siete se presentan las referencias que guiaron y ayudaron a dar vida a este trabajo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la metodología más apropiada para establecer los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) en vías rurales, utilizando el índice de siniestralidad como medida para determinación del umbral.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las metodologías, normativas y criterios existentes para establecer los Tramos de Concentración de Accidentes en vías rurales para Colombia y otros países.
- Identificar y establecer el índice más adecuado para la medida del umbral de determinación de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) en vías rurales.
- Establecer la metodología e índice adecuado para la identificación de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA).

## 3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Este capítulo reúne un sumario de la información conceptual e investigación académica disponible que existe alrededor del tema de investigación propuesto, estableciendo los antecedentes que justifican este trabajo y los avances científicos en el tema.

### 3.1 MARCO TEÓRICO

De acuerdo con las condiciones locales de intensidad de tránsito, la disponibilidad de datos de siniestros viales, con la calidad y cantidad necesaria para hacer inferencia sobre los mismos, con la información relevante de tiempo, modo y lugar, el periodo de tiempo de análisis de los índices de exposición, la longitud del tramo vial objeto de estudio, se procederá a seleccionar los lineamientos que más se ajusten a las situaciones que se presenten en esta materia en la red nacional de carreteras, para determinar un Tramo de Concentración de Accidentes – TCA.

En la actualidad el análisis de tramos críticos de accidentalidad por tránsito es una técnica reactiva para la gestión de la seguridad vial que debe realizarse por lo menos una vez cada año. Los tramos críticos de accidentalidad vial son tramos donde se espera un alto número de accidentes, que tiene como resultado factores locales de riesgo. Estos espacios se identifican en términos del número de accidentes reportados, pero preferiblemente por el número de accidentes esperados. Un análisis de tramos de concentración de accidentes de tránsito comprende varios elementos importantes que se utilizan para identificar y evaluar los tramos de carretera con una alta concentración de accidentes. Estos elementos incluyen:

- **Datos de accidentes:** Se recopilan y analizan datos detallados sobre los accidentes de tránsito que han ocurrido en la zona de estudio. Estos datos pueden incluir información sobre la ubicación de los accidentes, las características de los vehículos involucrados, las condiciones meteorológicas, las lesiones sufridas y otras variables relevantes.
- **Georreferenciación:** Los datos de accidentes se georreferencian para ubicarlos espacialmente en un mapa y así visualizar la distribución de los accidentes a lo largo del tramo de carretera.
- **Análisis estadístico:** Se aplican técnicas estadísticas para identificar los tramos de concentración de accidentes. Esto puede incluir el cálculo de la tasa de accidentes por

unidad de longitud u otros índices, la comparación de estos índices de accidentes en diferentes tramos de carretera y el análisis de tendencias temporales.

- **Identificación de patrones:** Se buscan patrones o características comunes en los accidentes identificados, como intersecciones peligrosas, curvas pronunciadas, cambios abruptos de velocidad, presencia de peatones o ciclistas, entre otros.
- **Evaluación de factores contribuyentes:** Se analizan los factores que pueden contribuir a la concentración de accidentes, como la falta de señalización adecuada, el diseño deficiente de la carretera, el exceso de velocidad, el comportamiento del conductor o condiciones ambientales adversas.
- **Evaluación de medidas de seguridad existentes:** Se evalúa la efectividad de las medidas de seguridad existentes en el tramo de carretera, como la presencia de señales de tráfico, la iluminación, los dispositivos de control de velocidad, entre otros.
- **Propuestas de mejora:** Se formulan recomendaciones específicas para mejorar la seguridad en los tramos de concentración de accidentes identificados. Estas propuestas pueden incluir la implementación de medidas de ingeniería vial, mejoras en la señalización, cambios en el diseño de la carretera, programas de educación vial o la aplicación de medidas de control de velocidad.

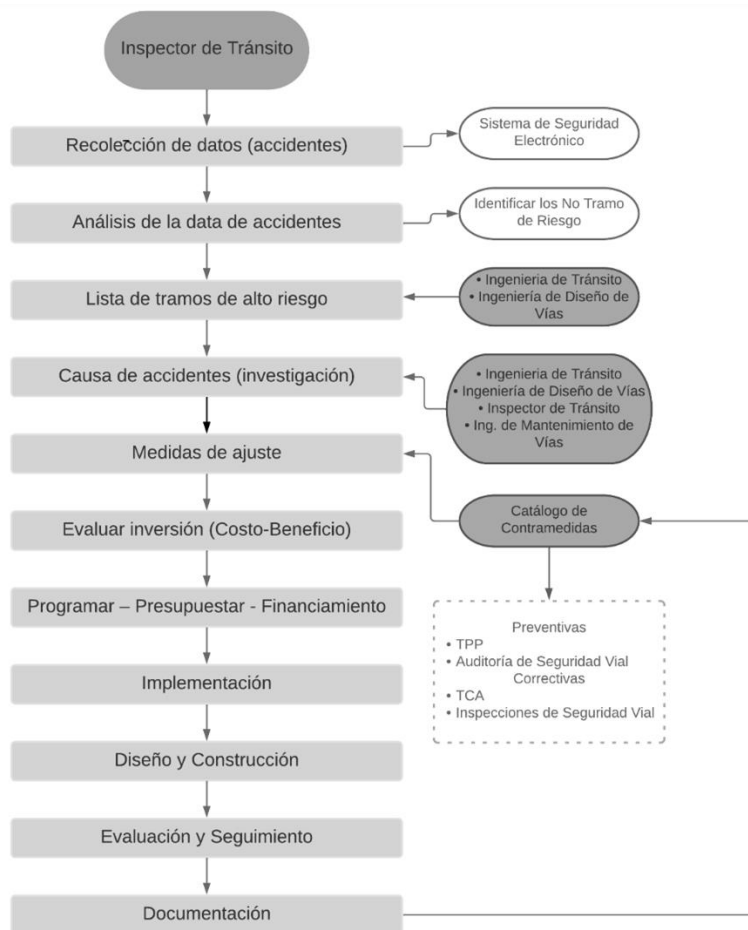
A continuación, se presentan los lineamientos para el análisis y gestión de tramos de concentración de accidentes el cual es uno de los elementos esenciales de cualquier Sistema de Gestión de la Seguridad Vial de las carreteras comprende la identificación, análisis y tratamiento de los puntos de concentración de accidentes de tránsito. En general los accidentes de tránsito en una carretera se agrupan en espacios específicos y no se distribuyen al azar.

El estudio de los accidentes en estos lugares suele producir patrones de accidentes e identificar características de ingeniería de carreteras, las cuales con la aplicación de una medida de mejora adecuada puede impedir la repetición de dichos eventos. El análisis de tramos críticos de accidentalidad por tránsito es una técnica reactiva para la gestión de la seguridad vial que debe realizarse por lo menos una vez cada año

La gestión de los tramos críticos de accidentalidad por tránsito es una técnica reactiva para la gestión de la seguridad vial que comprende por una parte la identificación y análisis de los tramos y espacios donde se ocurren frecuentemente accidentes viales, y por la otra la definición, implementación y evaluación de las medidas correctivas aplicadas

El criterio del análisis de los tramos de concentración de accidentes es la utilizar el historial de accidentes para identificar lugares con factores de riesgo locales relacionados con el trazado detallado de la carretera. De esta manera también es viable estimar el número de accidentes esperados en un sector similar. Para la realización del ATCA, se requieren registros sobre los accidentes ocurridos, y datos sobre los volúmenes de tránsito, el diseño de la vía y el entorno.

**Ilustración 1.** Lineamientos para la metodología del análisis y gestión de tramos de concentración de accidentes



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.1 Marco Teórico de las Metodología De Identificación de TCA

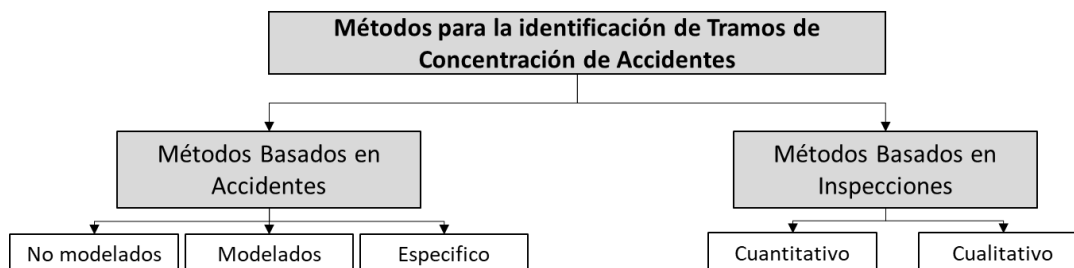
En términos globales, para la identificación de TCA se utilizan métodos basados en datos de accidentes, siempre y cuando se cuente con registros históricos e idóneos de accidentalidad en la vía; y métodos basados en inspecciones visuales de la red vial, los cuales requieren un mayor desarrollo y evaluación. Los métodos basados en datos de accidentes, procedentes de estadísticas oficiales de accidentalidad generalmente, se pueden categorizar entre los métodos que utilizan

modelos de accidentes y aquellos que utilizan métodos específicos. Entre los métodos que no se basan en datos de accidentes cabe diferenciar entre los que utilizan métodos cuantitativos o cualitativos como se presenta en la **Ilustración 2.** (Arnés García, 2011)

En consecuencia, para la identificación de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) existen los métodos descritos a continuación, que dependen de la información disponible:

- **Métodos no basados en accidentes:** Están basados en la observación o inspección de la red vial y necesitan un mayor desarrollo y evaluación. Por el momento no existe ningún método no basado en accidentes que haya proporcionado resultados suficientemente satisfactorios.
- **Métodos no basados en modelos estadísticos:** Consiste en detectar los TCA a partir de los accidentes observados.
- **Métodos basados en modelos estadísticos de accidentalidad – Método combinado:** Identifican los TCA a partir de los accidentes esperados (modelos de predicción de accidentes).

**Ilustración 2.** distribución de los métodos para la identificación de TCA



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.1.1 Identificación de los TCA mediante la aplicación de métodos de análisis de siniestralidad

Algunos métodos basados en modelos no estadísticos de accidentalidad son la frecuencia de accidentes, definida como el tramo de concentración en el cual se registran  $n$  números de accidentes en un periodo de estudio; o la densidad de accidentes que considera un TCA a una densidad de accidentes superior a un valor determinado; o el índice de peligrosidad que tiene en cuenta los niveles de exposición y cuya ecuación se presenta a continuación (Arnés García, 2011).

$$IP = \frac{n(t)}{q(t)} \quad (1)$$

Donde:

**n(t)**= Número de accidentes registrado en un determinado tramo durante un tiempo "t".

**q(t)**= Volumen de tráfico en dicha localización durante un tiempo "t".

también métodos estadísticos que basan su determinación en la comparación entre el número de accidentes observados dentro de un tramo con tipología determinada y el número de accidentes que se produce en un tramo de vía de características similares. Uno de ellos es el número crítico de accidentes, N-crítico asumiendo que los accidentes siguen una distribución de Poisson, es decir que sea una distribución discreta que exprese, a partir de una frecuencia de ocurrencia media la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo.

$$N_{critico} = N_{medio} + k * \sqrt{N_{medio}} + \frac{1}{2} \quad (2)$$

Donde:

**N crítico:** Número crítico de accidentes para una determinada localización (sección/intersección)

**N medio:** Media de accidentes en los tramos de similares características.

**K:** Factor de probabilidad determinado por el nivel de significación deseado para el N crítico. Por ejemplo, k=1,645 para un intervalo de confianza del 95% (Arnés García, 2011).

Lo que significa que existe un 5% de probabilidad de que dicha localización registre un número de accidentes es mayor respecto a la media de los tramos de características similares.

Otras metodologías integran la severidad de los accidentes ocurridos teniendo en cuenta los criterios basados en accidentes y no en los usuarios, se deberá ponderar la severidad en tres categorías del accidente y de la persona herida, y dichos pesos de ponderación deberán ser calculados a partir de valoraciones económica y la media de accidentes registrados según la categoría de accidentalidad; como la EPDO (Equivalent Property Damage Only), el cual asigna pesos a un accidente según la severidad máxima registrada en el mismo (Campbell & Knapp, 2005).

$$IS = \frac{W_F + W_A * A + W_B * B + W_C * C + D}{T} \quad (3)$$

Donde:

**IS:** Índice de severidad para una determinada localización (sección/intersección)

**W:** Coeficientes de ponderación de cada categoría de severidad.

**F:** Accidentes con víctimas mortales en una determinada localización.

**A:** Accidentes con víctimas con heridas del tipo A (graves, precisan hospitalización) en una determinada localización

**B:** Accidentes con víctimas con heridas del tipo B (leves, precisa atención médica) en una determinada localización

**C:** Accidentes con víctimas con heridas del tipo C (heridos con contusiones) en una determinada localización.

**D:** Accidentes con daños materiales en una determinada localización

**T:** Número total de accidentes en una determinada localización

Aunque los métodos expuestos anteriormente son matemática y descriptivamente acertados para la determinación de TCA, varios autores recomiendan el uso del método empírico de bayes. Sin embargo, por los altos costos de recolección e interconexión de bases de información, las entidades gubernamentales y privadas no utilizan dicho método. Así mismo investigaciones presentan como altamente recomendados los métodos estadísticos debido al perfeccionamiento del proceso de identificación de TCA y de igual forma el método de índice de peligrosidad que se obtiene a partir de métodos estadístico sobre tramos de características físicas de diseño semejantes (Arnés García, 2011).

En la literatura no se presentan evidencia confiable del uso de métodos basados en severidad de accidentes, y son estos modelos los que mayormente se usan para la determinación de tramos de concentración (Arnés García, 2011).

Aunque son válidas y actualmente usadas las metodologías expuestas anteriormente, no presentan lineamientos concisos y una definición clara para la determinación de tramos de accidentes, es por esto, que hoy en día cada país establece una normativa técnica para la determinación de TCA; y teniendo en cuenta que España con el cuarto país del mundo con menor tasa de mortalidad en accidentes de tránsito (29 fallecidos por millón de habitantes), se usa como referencia de comparación metodología en la determinación de TCA, con las actuales metodologías para el análisis de accidentalidad en Colombia, como lo son la de Escobar (et al, 1980) y la del Sergio Pabón (Instituto Nacional de Vías INVIAS y Fondo de Prevención Vial, 2001); a continuación se presentan los lineamientos y definición de cada una de las metodología mencionadas.

### ***3.1.1.2 Metodología de la Dirección General de Transito – DGT España.***

Este apartado corresponde a los lineamientos establecidos por la Dirección General de Tráfico – DGT de España, para la identificación de los TCA. Corresponde a la identificación o localización de los tramos de mayor concentración de tramos de accidentalidad en la red de carreteras de estudio,



donde su peligrosidad se resalta de los demás tramos. Como principal insumo para la aplicación de esta metodología, se debe contar con los datos históricos de registro de accidentalidad, actualizados, de no ser así se deberá contemplar metodologías basadas en no accidentes (basados en la observación o inspección de la red vial).

Se debe realizar un análisis del número de accidentes presentados a lo largo de la vía en estudio, lo anterior con el fin de no generar confusiones en cuanto a la identificación de los tramos de concentración de accidentes de tránsito. Finalmente, para determinar los tramos de alta concentración de accidentes, se debe tener en cuenta el número de accidentes mortales por unidad de longitud de vía con relación en el volumen de tráfico de años anteriores.

Una vez desarrolla la metodología expuesta, se podrá realizar el análisis de los tramos bajo la definición que un tramo de concentración de accidentes (TCA) es aquel tramo de 1 km, en el que el número de accidentes con víctimas en los últimos cinco (5) años y el índice de peligrosidad (IP) medio en ese período sea superior a la media más la desviación estándar de los mismos; esto para todos los tramos de vía que cuenten con características similares en cuanto a su categoría (uso, diseño físico) y TPD equivalentes (Dirección General de Tráfico , 2014).

$$IPM_5 \geq P \quad y \quad \sum ACV_5 \geq N \quad (4)$$

Los criterios de identificación del TCA son los tramos de un 1 kilómetro que cumple las siguientes condiciones:

**Tabla 1.** Criterios para las ecuaciones de cálculo de TCA según la Dirección General de Tránsito de España

CRITERIO	ECUACIONES
Criterio I	$IP_{aa} \geq \frac{P}{2} \quad y \quad IP_{ua} \geq \frac{P}{2}$
Criterio II	$IPM_2 \geq \frac{2P}{3} P \text{ (II)}$
Criterio III	$\sum ACV_{aa} \geq \frac{N}{5} \quad y \quad \sum ACV_{ua} \geq \frac{N}{5}$
Criterio IV	$\sum ACV_2 \geq \frac{N}{2}$

**Fuente:** (Dirección General de Tráfico , 2014)

Donde:

**IPM<sub>5</sub>**: índice de peligrosidad medio en los últimos 5 años (acv/10<sup>8</sup> veh-km). Cuando a lo largo del periodo de 5 años se hayan producido modificaciones sensibles en las características físicas o del tráfico del tramo, se considerarán el índice de peligrosidad medio y los accidentes del periodo en el que el tramo haya permanecido con su configuración actual.

**IPM<sub>2</sub>**: índice de peligrosidad medio en los últimos 2 años (acv/10<sup>8</sup> veh-km).

**SACV<sub>5</sub>**: Suma de los accidentes de los últimos 5 años.

**SACV<sub>2</sub>**: Suma de los accidentes de los últimos 2 años.

**aa**: Año anterior.

**ua**: Último año.

**P**: Constante dependiente del tipo de tramo (Tipo de vía, zona, tráfico). Que se ha calculado, con los índices de peligrosidad de todos los tramos con características semejantes, en función de la suma de la media de la serie y de su desviación media.

**N**: Constante dependiente del tipo de tramo (Tipo de vía, zona, tráfico). Que se ha calculado, con el número de accidentes con víctimas de todos los tramos con características semejantes, en función de la suma de la media de la serie y de su desviación media.

Los tramos de 1 km a considerar podrán no ser coincidentes con los Pk de la carretera, y en el caso de identificarse varios TCA solapados, su estudio se realizará de forma conjunta, lo que dará lugar al estudio de un tramo de longitud superior a 1 km. Los siguientes son los valores de P y N según el tipo de vía y TPD utilizados para el año, como se expresa en la Tabla 2y Tabla 3.

**Tabla 2.** *Autopistas y carreteras convencionales doble calzada según la Dirección General de Tránsito de España*

TPD	URBANO		RURAL	
	P	N	P	N
0 – 10.000	210	10	90	10
10.000 – 15.000	93	10	69	10
15.000 – 20.000	15	10	41	10
20.000 – 40.000	52	11	34	10
40.000 – 80.000	60	23	31	10
> 80.000	46	42	30	18

**FUENTE:** Dirección General de Tráfico – DGT

**Tabla 3.** *carreteras convencionales bidireccionales rápidas según la Dirección General de Tránsito de España*

TPD	URBANO		RURAL	
	P	N	P	N
0 – 3.000	287	10	159	10
3.000 – 5.000	162	5	126	5
5.000 – 8.000	213	11	77	5
8.000 – 15.000	95	8	80	6
> 15.000	73	12	48	7

**FUENTE:** Dirección General de Tráfico – DGT

El enfoque existente en la reducción de las tasas de accidentes en la red de carreteras ha impulsado el desarrollo de métodos que pueden identificar y mejorar de manera efectiva los lugares de alta incidencia de accidentes, conocidos como Tramos de Concentración de Accidentes.

Estos tramos representan aquellos lugares de la red donde el riesgo de accidente es mayor que otros sitios de similares características. Por un lado, su identificación permite actuar directamente para mejorar la seguridad vial donde se concentren los accidentes, optimizando así el uso de los recursos disponibles. Por otro lado, se espera que el tratamiento de los lugares propensos a los accidentes nos proporcione información útil para introducir principios de seguridad en el diseño, preparación y mantenimiento de las carreteras como medio para prevenir accidentes.

### 3.1.1.3 Metodología para la Identificación, Clasificación y Estudio de los Sectores de Concentración de Accidentes de Tránsito

Desarrolló una metodología para determinar tramos de concentración de accidentes aprovechando la información estadística que se tenía en su momento sobre los siniestros viales. Para determinar los tramos de concentración de accidentes en las carretas estudiadas se calculó para cada kilómetro de vía el número total de accidentes, el Índice de peligrosidad en accidentes totales y el índice de peligrosidad de accidentes con víctimas (Bustamante & Carvajal, 1998).

La selección de los tramos críticos se efectuó a partir de la aplicación simultanea de los siguientes criterios, teniendo en cuenta (Universidad Nacional de Colombia, 1980):

- a) índice de peligrosidad en accidentes totales. mayor o igual a 5
- b) Índice de peligrosidad en accidentes con víctimas. mayor o igual a 100
- c) Número total de accidente s. mayor o igual a 3
- d) Que los Índices posean valor por 10 menos en tres de los cinco años analizados

Sin embargo, estos valores no tienen un sustento técnico o matemático que justifique la escogencia de estos valores

$$\text{Índice de Peligrosidad en accidentes totales} = \frac{\text{No. de accidentes totales por km en un año}}{\text{TPD} \times 365} 10^6 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &\text{Índice de Peligrosidad en accidentes con víctimas} \\ &= \frac{\text{No. de accidentes totales con víctimas por km en un año}}{\text{TPD} \times 365} 10^8 \quad (6) \end{aligned}$$

Donde:

**TPD:** tránsito promedio diario para cada tramo obtenido para cada año de boletín de volúmenes de tránsito publicado por la oficina de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y transporte (Universidad Nacional de Colombia, 1980).

#### *3.1.1.4 Método Identificación de Puntos Críticos – FONPREVIAL - INVIAS*

Según Sergio Pabón (Pabón Lozano, Accidentalidad en Carreteras. Identificación y solución de puntos críticos, 1986), en su documento denominado Manual de Identificación de Puntos Críticos por Accidentalidad en Carreteras, publicado por el Fondo de Prevención Vial – FONPREVIAL - con el auspicio del Instituto Nacional de Vías -INVIAS – en el 2001; para la determinación de tramos de concentración de accidentes (TCA), una vez definida la sectorización de los sitios con mayor registro de siniestros viales, deben consolidarse los accidentes entre tramos de referencia consecutivos para dos sectorizaciones desplazadas entre si la mitad de la distancia entre tramos consecutivos. Debido a que previamente se han consolidado los accidentes por tramos de la mitad de la distancia entre tramos de referencia, los accidentes entre tramos resultan de sumar tramos consecutivos (Instituto Nacional de Vías INVIAS y Fondo de Prevención Vial, 2001).

Si bien los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) refieren segmentos específicos de una vía donde se produce una mayor concentración de accidentes; estos tramos suelen caracterizarse por presentar condiciones o factores de riesgo que contribuyen a la ocurrencia de accidentes, como curvas peligrosas, intersecciones conflictivas, falta de señalización adecuada, entre otros, por lo cual, los indicadores de accidentalidad son medidas cuantitativas útiles para analizar y evaluar la frecuencia y gravedad de los accidentes. Estos indicadores se basan en datos recopilados, como el número de accidentes, lesionados o fallecidos, y se utilizan para medir el nivel de seguridad en un área o en un período de tiempo específico.

A continuación, se presentan los indicadores de Accidentalidad más usados y que presentan una definición en el análisis de seguridad vial.

### 3.1.1.5 Cálculo de los Indicadores de Accidentalidad

Los indicadores de accidentalidad se utilizan para medir, analizar y gestionar los riesgos de accidentes en diferentes contextos, con el objetivo de prevenirlos y mejorar la seguridad vial de los usuarios, convirtiéndose en herramientas fundamentales en la planificación, implementación y evaluación de estrategias de prevención de accidentes.

Una vez definidos los tramos de concentración de accidentes de tránsito, se calculan los índices básicos de accidentalidad para cada tramo entre tramos consecutivos y para cada año de análisis, algunos de los índices de medición propuestos por Sergio Pabón Lozano (Pabón Lozano, Accidentalidad en Carreteras. Identificación y solución de puntos críticos, 1986) son el índice de Peligrosidad para accidentes totales (Ipat), Índice de Peligrosidad para accidentes con víctimas (Ipad), e Índice de Severidad (IS), A continuación, se describe la forma de calcular cada uno de los indicadores.

#### Índice de Peligrosidad para el total de accidentes (Ipad)

$$IPAT = Nat * \frac{10^6}{TPD * 365 * L} \text{ accidentes /veh - Km} \quad (7)$$

Donde:

**Nat:** número de accidentes totales registrados en un año

**TPD:** Transito Promedio Diario Semanal del tramo analizado

**L:** longitud del tramo en kilómetros

#### Índice de Peligrosidad para los accidentes con víctimas (IPAV)

$$IPAV = \frac{Nav * 10^6}{TPD * 365 * L} \text{ accidentes /veh - Km} \quad (8)$$

Donde:

**Nav:** número de accidentes con víctimas totales registrados en un año

**TPD:** Transito Promedio Diario Semanal del tramo analizado

**L:** longitud del tramo en kilómetros

## Índice de Severidad (IS)

$$IS = \frac{(M * 18 + 2H + S) * 10^6}{TPD * 365 * L} \text{ accidentes /veh - Km} \quad (9)$$

### Donde:

**M:** número de accidentes con víctimas.

**H:** número de accidentes con heridos.

**S:** número de accidentes con daños a propiedades.

**TPD:** Transito Promedio Diario Semanal del tramo analizado

**L:** longitud del tramo en kilómetros

Adicional se obtienen los siguientes indicadores adicionales, que se expresan en accidentes / km y que son de utilidad en la priorización del estudio detallado de los tramos críticos:

### **Tasa de accidentes con víctimas**

**TAV** = número de accidentes con víctimas / L (longitud del tramo en km)

### **Tasa de víctimas**

**TV** = número de víctimas / L (longitud del tramo en km)

Una vez calculados los índices relacionados, se propone obtener la media y la desviación estándar para cada uno de los tres indicadores básicos mencionados y para los indicadores adicionales, como el número de víctimas y accidentes con víctimas, estos indicadores para incluyendo para la totalidad de datos en los años analizados entre tramos consecutivos; es decir, que para calcular el índice de severidad medio de una vía, esta se obtiene al sumar la totalidad de índices de severidad calculados para cada sector y para cada año, y posteriormente, dividirla por el número total de datos considerados.

Al tener el valor medio de y desviación de cada indicador para cada tramo, se comparan con el fin de determinar los tramos de concentración de accidentes cuyo valor sea más altos para al menos dos de los tres indicadores establecidos. (Instituto Nacional de Vías INVIAS y Fondo de Prevención Vial, 2001).

La metodología expuesta anteriormente, compara específicamente los sectores inmediatamente anteriores y posteriores al tramo con la longitud establecida inicialmente, sin embargo, asegurar que los tramos de concentración se generaran dentro de la longitud constantes definida, puede proporcionar un error en la determinación de TCA; por lo tanto, se deben implementar herramientas de análisis para la correcta identificación y clasificación de TCA. A continuación, se

presentan la metodología de identificación de TCA usada actualmente en Colombia y la usada en España, con el fin de poder realizar una comparación en los métodos propuestos.

#### *3.1.1.6 Sistema de Indicadores según la NTC- ISO 39001*

La NTC-ISO 39001 es una norma internacional que establece los requisitos para un sistema de gestión de la seguridad vial. Esta norma proporciona un marco de referencia para que las organizaciones implementen medidas efectivas para prevenir y reducir los accidentes de tránsito, así como minimizar sus consecuencias; por lo tanto, es importante establecer y medir los indicadores propuestas en esta normativa para garantizar la comparativa de los indicadores con otros países.

En este numeral se trata lo relacionado con el diseño conceptual del sistema de indicadores, que comprende la formulación de los indicadores tanto para medir el desempeño de la seguridad vial en la organización, como para el seguimiento de los programas, proyectos y actividades que el concesionario se proponga realizar en este campo

Por otra parte, la norma ISO 39001 recomienda que la organización debe seguir un proceso que revise su desempeño en seguridad vial actual, determine los riesgos y oportunidades, seleccione los indicadores de desempeño en seguridad vial en los que se va a trabajar, analice lo que se puede conseguir a lo largo del tiempo y establezca los objetivos, metas de seguridad vial y planes apropiados para conseguirlos. Así mismo, especifica que el desempeño en seguridad actual debe cuantificarse cuando sea posible y evaluarse los impactos potenciales futuros de acuerdo con los indicadores de desempeño en SV.

#### **Guía de factores de Desempeño de la Norma NTC – ISO 39001**

La norma NTC -ISO 39001 presenta una lista de indicadores de desempeño de la seguridad vial a fin de que las organizaciones identifique aquellos que le sean aplicables. En la siguiente tabla se compilan los factores de desempeño sugeridos por la norma NTC -ISO 39001 para orientar a las organizaciones en la formulación de sus propios indicadores.

**Tabla 4. Guía de factores de desempeño de la norma ntc – ISO 39001**

TIPO DE INDICADORES	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
<b>Indicadores de exposición al riesgo</b>	Estos indicadores consideran hasta qué punto los usuarios de la concesión se expone a los riesgos dentro del sistema de seguridad vial del corredor	Distancia recorrida y volumen de tráfico, desglosando por tipo de vehículo y usuario de la vía, estén o no afectados por la organización Volumen de producto y/o servicio suministrado por la organización
<b>Indicadores finales de resultado de seguridad vial</b>	Este tipo de indicadores tienen en cuenta las repercusiones de la operación del corredor en términos de muertes y heridas graves	Número de muertos y heridos graves
<b>Indicadores intermedios de resultado de seguridad vial</b>	Se refieren a la planificación, diseño y uso seguros de la red vial y los productos y servicios dentro de la misma, las condiciones para la entrada y salida de estos productos, servicios y usuarios, así como la recuperación y rehabilitación de las víctimas de los accidentes de tráfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño vial y velocidad segura, considerando especialmente la segregación (del tráfico en dirección contraria, usuarios vulnerables), zonas próximas y diseño de intersecciones.</li> <li>-Uso de vías adecuadas, en función del tipo de vehículo, usuario, carga y equipamiento.</li> <li>-Uso de equipos personales de seguridad, en especial cinturones de seguridad, sistemas de retención infantil, cascos de bicicletas y motocicletas, así como los sistemas para ver y ser visto.</li> <li>-Velocidad de conducción segura, teniendo en cuenta tipo de vehículo, tránsito y condiciones meteorológicas.</li> <li>-Condiciones en que se encuentran los conductores, considerando especialmente la fatiga, la distracción, el alcohol y las drogas.</li> <li>-Planificación segura del viaje, incluyendo la consideración de la necesidad del viaje, la cantidad de viajes, el modo de transporte, la elección de la ruta, el vehículo y el conductor.</li> <li>-Seguridad de los vehículos, considerando en especial la protección de los ocupantes, la protección de otros.</li> <li>-Usuarios de la vía (vulnerables, así como otros ocupantes del vehículo), prevención de los accidentes de tránsito y mejora de sus consecuencias, inspección técnica de vehículos, capacidad de carga del vehículo y aseguramiento de la carga dentro y sobre el vehículo.</li> <li>-Autorización adecuada al tipo de vehículo que se conduce.</li> <li>-Retiro de vehículos y conductores no aptos de la red vial.</li> <li>-Respuesta posterior al accidente y primeros auxilios, formación en emergencias, recuperación posterior al accidente y rehabilitación.</li> </ul>

**Fuente:** NTC –ISO 39001. "Sistemas de gestión de la seguridad vial – Requisitos con guía para su uso". 2014



### 3.1.2 Metodologías para la identificación, clasificación y estudio de los TCA

A continuación, se presentan las herramientas metodológicas para la identificación y clasificación de los tramos de concentración de accidentes una vez se ha realizado el análisis de indicadores de accidentalidad propuestos anteriormente.

#### 3.1.2.1 Metodología del Fondo de Prevención Vial y Ministerio de Transporte

De acuerdo con el documento denominado - *Metodología para la identificación, clasificación y estudio de los sectores de concentración de accidentes de tránsito*, del Ingeniero Ary Bustamante y el Ingeniero Mauricio Carvajal, publicado por Fondo de Prevención Vial - FONPREVIAL, con el auspicio del Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías – INVIAS – en el año 1998 Concentración de Accidentes (TCA), de acuerdo con la información estadística y la observación propia del sector, es la siguiente:

- Después de validar la información disponible para las carreteras, se listan los segmentos (SGA) que tuvieron cinco o más accidentes de tránsito en los dos años de estudio.
- Se identifica físicamente el sector para localizar los sitios en donde ocurrieron los accidentes registrados y definir si se trata de un Tramo de Concentración de Accidentes de Tránsito (TCA).
- Se realiza una categorización de la vía dependiendo las semejanzas en cuanto al número de carriles y volúmenes de tránsito manejado.
- Se realiza el cálculo de los índices de accidentalidad que se consideren pertinentes (ver Cálculo de los Indicadores de Accidentalidad)
- Se califica cada uno de los indicadores de accidentalidad de acuerdo con los valores y rangos establecidos en la institución de trabajo; estos valores y rangos están asociados a valores estadísticos como la media, la media más la desviación estándar, la media más dos veces la desviación estándar o el valor promedio de la frecuencia de datos; y carecen de un criterio técnico para su determinación.
- Con los cálculos de los indicadores de accidentalidad, se procede a la clasificación de los TCA, utilizando el siguiente procedimiento:

### Índices de análisis:

**Índice de peligrosidad:** El índice de peligrosidad en accidentes de tránsito, relaciona el número total de accidentes registrados en un año con la cantidad de vehículos que circula por un sector determinado de carretera. Se evalúa mediante la expresión:

$$IP = \frac{N * 10^8}{TPD * 365 * L} \quad (10)$$

Donde:

**N:** número de accidentes de tránsito totales del año.

**TPD:** tránsito promedio diario en vehículos por día. Si se tiene el número de vehículos que pasaron en el año de análisis, en la fórmula se eliminara el factor igual al número de días del año (365).

**L:** Longitud del sector en kilómetros.

**Índice de Severidad:** el índice de severidad relaciona el número equivalente de accidentes de tránsito registrados en un año con la cantidad de vehículos que circula por un sector determinado de carretera. Se mide mediante a la expresión:

$$IS = \frac{Ne * 10^8}{TPD * 365 * L} \frac{\text{accidentes equivalentes}}{\text{veh/Km}} \quad (11)$$
$$Ne = 12AM + 3AH + AS$$

Donde:

**Ne:** número equivalente de accidentes de tránsito en el año.

**AM:** número de accidentes de tránsito con muertos o con muertos y heridos en el año.

**AH:** número de accidentes de tránsito con heridos solamente, en el año.

**AS:** número de accidentes de tránsito con daños solamente, en el año.

**TPD:** tránsito promedio diario en vehículos por día. Si se tiene el número de vehículos que pasaron en el año de análisis, en la fórmula se eliminara el factor igual al número de días del año (365).

**L:** longitud del sector en kilómetros.

**M:** número de accidentes con víctimas.

**H:** número de accidentes con heridos.

**S:** número de accidentes con daños a propiedades.

De acuerdo con lo establecido por la Guía Metodológica Evaluación de Instalación y Operación de Medios Técnicos y Tecnológicos de Detección de Infracciones de Tránsito, publicada por la Agencia Nacional de Seguridad Vial, en abril de 2018 (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2018), para Colombia los coeficientes de ponderación para las variables M, H y S corresponden a A=12, B=2 y C=1, respectivamente según la **Tabla 5** donde se exponen los coeficientes de ponderación para

países latinoamericanos propuestos por el Ingeniero Hernán Otoniel Fernández Ordoñez de HOF CONSULTORES S.A.S.

**Tabla 5. Coeficientes de Ponderación Países de Latinoamérica**

Factor/País	Brasil 1987	Colombia 1985	Colombia 1998	Chile	Bogotá
A	13	12	18	12	9
B	5	2	2	5	1,5
C	1	1	1	1	1

**FUENTE:** Ingeniero Hernán Otoniel Fernández Ordoñez de HOF CONSULTORES S.A.S

**Tasa de accidentes de tránsito:** es el número de accidentes de tránsito totales registrados en un periodo de tiempo igual a un año calendario.

**Tasa de accidentes con víctimas:** es el número de accidentes de tránsito registrados que presenta víctimas en un periodo de tiempo igual a un año calendario.

**Tasa de víctimas por accidentes totales:** es el número de víctimas (H+M) por accidentes de tránsito totales registros en el año (Ta) en un periodo de tiempo igual en un año calendario. Se mide mediante la expresión:

$$T_{vat} = \frac{H + M}{Ta} \quad (12)$$

Donde:

**H:** número de heridos registrados

**M:** número de muertos registrados

**Ta:** tasa de accidentes de tránsito.

Se califican los TCA de acuerdo con las categorías definidas para cada uno de los indicadores de accidentalidad según la metodología para la identificación, clasificación y estudio de los sectores de concentración de accidentes de tránsito, aplicando las siguientes tablas:

**Tabla 6. Parámetros para la clasificación de Sectores de Concentración de Accidentes**

NIVEL DE PELIGROSIDAD			NIVEL DE SEVERIDAD		
ALTO	$IP > 500$	$CIP = 10$	ALTO	$IS > 1000$	$CIS = 10$
MEDIO	$200 < IP \leq 500$	$5 < CIP < 10$	MEDIO	$500 < IS \leq 1000$	$5 < CIS \leq 10$
BAJO	$100 < IP \leq 200$	$2 < CIP \leq 5$	BAJO	$200 < IS \leq 500$	$2 < CIS \leq 5$
MUY BAJO	$0 < IP \leq 100$	$0 < CIP \leq 2$	MUY BAJO	$0 < IS \leq 200$	$0 < CIS \leq 2$
NULO	$IP = 0$	$CIP = 0$	NULO	$IS = 0$	$CIS = 0$

NIVEL DE TASA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO			NIVEL DE TASA DE ACCIDENTES CON VÍCTIMAS		
ALTO	$Ta > 500$	$CTa = 10$	ALTO	$Tav > 3$	$CTv = 10$
MEDIO	$5 < Ta \leq 10$	$5 < CTa < 10$	MEDIO	$Tav = 3$	$CTv = 8$
BAJO	$2 < Ta \leq 5$	$2 < CTa \leq 5$	BAJO	$Tav = 2$	$CTv = 5$
MUY BAJO	$0 < Ta \leq 2$	$0 < CTa \leq 2$	MUY BAJO	$Tav = 1$	$CTv = 2$
NULO	$Ta = 0$	$CTa = 0$	NULO	$Tav = 0$	$CTv = 0$

NIVEL DE TASA DE VÍCTIMAS POR ACCIDENTES TOTALES			NIVEL DE ACCIDENTALIDAD	
ALTO	$Tvat > 1.50$	$CTvat = 10$	5. ALTO	$40 < C / \leq 50$
MEDIO	$1 < Tvat \leq 1.5$	$5 < CTvat < 10$	4. MEDIO	$25 < C / < 40$
BAJO	$0.5 < Tvat \leq 1$	$2 < CTvat \leq 5$	3. BAJO	$10 < C / \leq 25$
MUY BAJO	$0 < Tvat \leq 0.5$	$0 < CTvat \leq 2$	2. MUY BAJO	$0 < C / \leq 10$
NULO	$Tvat = 0$	$CTvat = 0$	1. NULO	$C / = 0$

*Fuente: (Bustamante & Carvajal, 1998)*

### 3.1.2.2 Procedimiento de la Ventana Deslizante para la determinación del umbral en TCA

El procedimiento de la ventana deslizante es una técnica estadística utilizada para identificar tramos de concentración de accidentes de tránsito. Este método consiste en dividir una carretera en secciones de igual longitud y luego analizar el número de accidentes que ocurren en cada sección.

Para aplicar el procedimiento de la ventana deslizante, se utiliza una ventana o marco móvil que se desplaza a lo largo de la carretera cuya longitud de la ventana puede ser variable o constante según las necesidades de la investigación; la ventana se desplaza de forma secuencial, y en cada posición se calcula el número de accidentes que ocurren dentro de la ventana.

Una vez que se han calculado los números de accidentes para cada posición de la ventana, se construye un gráfico de frecuencia acumulada para las secciones de la carretera. El gráfico muestra el número de secciones con un número de accidentes menor o igual a cierto valor. De esta manera, se puede identificar cuáles son las secciones de la carretera donde se concentran los accidentes.

El procedimiento de la ventana deslizante permite analizar la distribución espacial de los accidentes a lo largo de una carretera y, por lo tanto, identificar tramos de concentración de accidentes que pueden estar relacionados con factores específicos, como las características de la carretera, el clima, el tráfico o el comportamiento de los conductores.

En resumen, el procedimiento de la ventana deslizante es una técnica útil para el análisis de tramos de concentración de accidentes de tránsito y puede ayudar a identificar áreas de mejora en las carreteras y en la seguridad vial en general

Aquí se presenta una breve explicación de los pasos necesarios para hacerlo:

- ✓ **Preparación de datos:** Es necesario contar con un conjunto de datos que contenga la información de los accidentes y la ubicación en la carretera donde ocurrieron. El conjunto de datos debe tener al menos tres columnas: una para la ubicación (kilómetro, por ejemplo), otra para el número de accidentes y otra para las secciones de la carretera (opcional).
- ✓ **Creación de una tabla de frecuencia:** En Excel, se puede crear una tabla de frecuencia utilizando la función "FRECUENCIA". Esta función permite contar el número de valores que se encuentran en un rango de valores, lo que es necesario para calcular la cantidad de secciones que tienen un número determinado de accidentes. Los datos de ubicación de los accidentes deben ser organizados en una columna, y los datos de accidentes en otra.
- ✓ **Creación de la ventana deslizante:** Se debe definir la longitud de la ventana y el tamaño del paso de desplazamiento. Esto se puede hacer utilizando la función "DESREF", que permite

seleccionar un rango de celdas desplazando una referencia en un número determinado de filas y columnas. La ventana deslizante se puede crear utilizando una columna adicional para indicar la ubicación de la ventana.

- ✓ **Cálculo de los accidentes dentro de la ventana:** Una vez que se ha creado la ventana deslizante, se puede calcular el número de accidentes que ocurren dentro de la ventana para cada posición. Esto se puede hacer utilizando la función "SUMAPRODUCTO", que permite multiplicar dos rangos de celdas y luego sumar el resultado. Se debe multiplicar el número de accidentes por la presencia de la ventana en cada sección. Construcción del gráfico de frecuencia acumulada: Finalmente, se puede construir el gráfico de frecuencia acumulada utilizando los datos obtenidos. Para ello, se deben ordenar los datos de accidentes dentro de la ventana de manera ascendente y luego calcular el número acumulado de secciones que tienen un número menor o igual de accidentes. El gráfico se puede crear utilizando la función "GRÁFICO DE DISPERSIÓN".

Es importante tener en cuenta que este es solo un ejemplo de cómo se puede aplicar el procedimiento de la ventana deslizante utilizando Excel. La técnica se puede personalizar y adaptar a las necesidades específicas de la investigación y los datos disponibles. Para determinar un TCA, se puede usar el procedimiento de ventana deslizante (*Sliding Window Method*), este método consiste en separar todo el tramo de la carretera en estaciones:

- **Estación i:** Se toma un primer punto o estación, de 1 km y se mide la tasa de accidentalidad
- **Estación i + 1:** Se restan los primeros 100 metros de ese sector y se le agregan esos 100 metros al sector siguiente, se mide también la tasa de accidentalidad.
- **Estación i + 2:** Se repite el mismo procedimiento.
- **Estación i + 3:** Se comparan las tasas de accidentalidad y se analiza cual es mayor a la tasa de accidentalidad limite, donde eso ocurra, serán considerados TCA.

Clasificación método de  
ventana deslizante (*Sliding  
Window Method*)

- Accidentes de gravedad
- Longitud
- Volúmenes de tráfico

Para la determinación de un TCA empleando el procedimiento de la ventana deslizante se puede utilizar el Índice de Peligrosidad (IP) mediante la ecuación que se relaciona a continuación:

$$IP = \frac{\text{número de accidentes con víctimas}}{TPD * 365 * L} * 10^6 \quad (13)$$

Donde:

**IP:** Índice de peligrosidad

**TPD:** tránsito promedio diario en el tramo de estudio

**L:** longitud del tramo en kilómetros

### 3.1.3 Recomendaciones para la Aplicación de Metodologías de Identificación de TCA

Una vez expuestos los distintos métodos de identificación de TCA, se realizan las recomendaciones generales que se deben tener en cuenta para la identificación de los TCA, según los métodos expuestos anteriormente.

#### **División de la red en tramos**

Los TCA pueden identificarse mediante el análisis de una muestra claramente definida de tramos de carretera de la red. Estos tramos pueden ser secciones de la carretera de una determinada longitud, curvas con un radio específico, puentes, intersecciones en 'T' o 'Y', intersecciones en 'X' o '+'... Esta división permite que las distribuciones teóricas de probabilidad de accidentes se ajusten más a una distribución empírica. La mayoría de los autores proponen metodologías diferenciadas de identificación de TCA para intersecciones y para secciones (tramos de carretera entre intersecciones). Otra manera de detectar TCA es mediante el uso de una ventana deslizante de una longitud determinada. Esta ventana se desliza a lo largo de la carretera y se para cuándo en el tramo definido por la ventana se cumpla el criterio definido para la identificación de los TCA.

Existen estudios (Rune, 2007) que indican que la utilización de este método genera un mayor número de tramos falsos de concentración de accidentes que son catalogados como TCA que cuando se utiliza una sección fija de la misma longitud que la ventana deslizante. Es recomendable el uso de secciones fijas que no se solapen como con la 'ventana deslizante' por los siguientes motivos:

- Requiere menos recursos que la utilización del procedimiento de la ventana deslizante.
- Es más simple y resulta más fácil de comprender.

- Si el criterio de identificación de TCA se basa en modelos estadísticos es absolutamente recomendable que se divida la red en secciones claramente definidas.

Sin embargo, también existen problemas con la ramificación en secciones fijas por lo que diferentes países como Noruega, Portugal, Austria, Dinamarca o Hungría han optado por utilizar el procedimiento de la ventana deslizante. Este problema está relacionado especialmente con las secciones de carretera, ya que la utilización de secciones (p. ej. secciones de 0,5 km) que no se solapan tiene el riesgo de que la división no se ajuste al patrón de accidentes y que los picos de accidente se encuentren entre dos secciones por lo que éstos no pueden ser identificados como TCA. Una solución podría consistir en la reducción de la longitud de las secciones, pero se incrementaría el riesgo de que picos aleatorios de accidentes fuesen identificados como TCA.

### **Periodo de estudio**

El periodo de estudio debe ser suficientemente largo para asegurar la fiabilidad de la muestra de accidentes, sin embargo, no puede ser demasiado extenso (mayor a cinco años) para garantizar que las condiciones de comparación sean estables a lo largo del periodo de estudio, pues pueden variar sustancialmente las condiciones de contorno a lo largo de su análisis. Se recomienda considerar un periodo de estudio de entre 3 y 5 años, sin embargo, si los recursos son limitados un periodo de dos años es aceptable (Deacon, Zegeer, & Deen, 1975).

### **Estimación del Umbral para la identificación de TCA**

El umbral de identificación de tramos de concentración de accidentes se utiliza en el ámbito de la seguridad vial para identificar aquellos tramos de carretera que presentan una concentración alta de accidentes, respecto al promedio de otros tramos. Este umbral se establece como un valor o criterio estadístico que permite determinar si un tramo de carretera está experimentando un número significativo de accidentes en comparación con otros tramos similares.

El objetivo principal de establecer un umbral de identificación de tramos de concentración de accidentes es poder identificar y priorizar aquellos tramos de carretera que requieren medidas de seguridad adicionales para reducir los accidentes y mejorar la seguridad vial. Al identificar estos tramos de alta concentración de accidentes, las autoridades de tráfico y los responsables de la gestión de carreteras pueden tomar acciones específicas, como la implementación de medidas de ingeniería vial, mejoras en la señalización, cambios en el diseño de la carretera o la aplicación de medidas de control de velocidad.



Es importante destacar que el umbral de identificación de tramos de concentración de accidentes puede variar en diferentes contextos y países, ya que depende de factores como la cantidad de tráfico, las características de la carretera y la disponibilidad de datos de accidentes. Además, es necesario realizar un análisis estadístico riguroso para determinar el umbral adecuado, teniendo en cuenta la fiabilidad de los datos y la precisión de las medidas de seguridad propuestas.

Una vez se determina el índice de medida con el cual se pretende trabajar, se establece algún enfoque estadístico como nivel de umbral, algunos enfoques comunes para establecer el umbral son:

**Medidas Estadística:** Para la estimación de los TCA por medio de la aplicación de los métodos estadísticos, la literatura propone usar como medida de análisis los percentiles 90 para establecer el umbral, por ejemplo, al elegirse el percentil 90, los tramos que tengan un índice de severidad en el 10% superior se considerarán TCA (LaScala, Gruenewald, & Johnson, 2004).

**Promedio:** Calcular el promedio de los índices de siniestralidad de todos los tramos y establecerlo como el umbral; los valores que sean mayores o iguales a el promedio serán considerados como TCA. Si se pretende calcular el índice de severidad medio de una vía, se debe calcular la totalidad de índices de severidad calculados para cada sector y cada año y dividirlo sobre el número total de datos considerados (Pabón Lozano & Carvajal, Manual de Identificación de Puntos Críticos por Accidentalidad en Carretera, 2001).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_{ij}}{n}$$

Donde:

$X_{ij}$ : es el valor del indicado de accidentalidad en cuestión para un sector  $i$  y un año específico  $j$ .

$n$ : el total de sectores considerados entre los PR considerados en todos los años.

#### **Desviación Estándar:**

La desviación estándar se debe calcular para cada uno de los indicadores de accidentalidad analizados mediante la ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^2}{n}}$$

Donde:

**X:** media de cada indicador de accidentalidad

**X<sub>ij</sub>:** valor del indicador de accidentalidad para el sector i y un año específico j

**N:** total de sectores entre tramos de referencia obtenidos en el periodo considerado

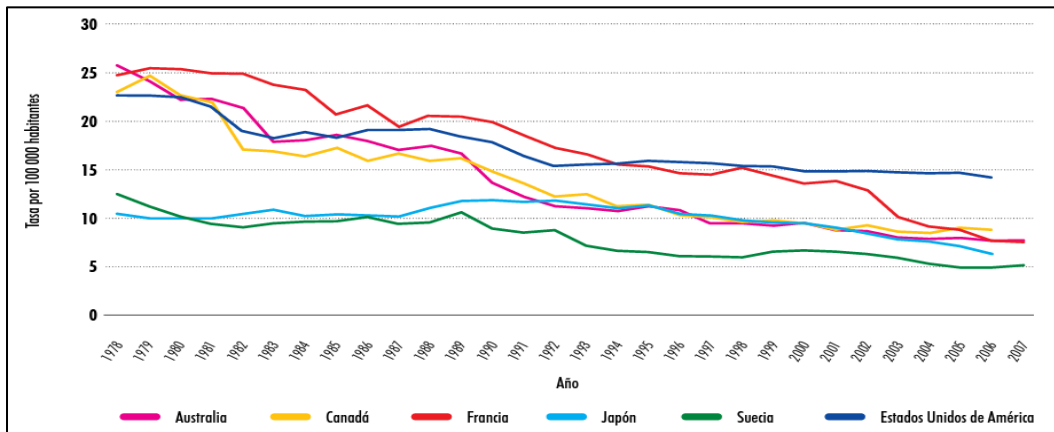
Una vez se apliquen y obtenga un indicador de accidentalidad para vías de características similares (tramos con igual diseño físico y similar TPD), mediante el promedio y la desviación estándar, se pueden establecer umbrales para incluir TCA en dicha vía (Pabón Lozano & Carvajal, Manual de Identificación de Puntos Críticos por Accidentalidad en Carretera, 2001). Independientemente del método utilizado para estimar el umbral, es crucial que se realice un análisis cuidadoso y una validación de los resultados bajo diferentes metodologías e índices para, garantizar que los tramos identificados como TCA sean realmente confiables y requieran intervenciones de seguridad vial.

## 3.2 ESTADO DEL ARTE

### 3.2.1 Antecedentes

Según el Informe Sobre La Situación Mundial De La Seguridad Vial de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el año 2016 el número anual de muertes por accidentes en el tránsito alcanzó 1,35 millones de víctimas, siendo la principal causa de muerte entre las personas de 5 a 29 años, con una tasa promedio de 27,5 muertes por 100.000 habitantes. El riesgo que tiene una persona de morir a causa de un accidente de tránsito es tres veces mayor en los países de ingresos bajos, que, en los países desarrollados de ingresos superiores, donde la tasa promedio es de 8,3 muertes por 100.000 habitantes como se presenta en la **Ilustración 3**. El costo total de los siniestros viales para los países podría alcanzar el 3% de su Producto Interno Bruto (PIB). Además, entre 20 y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y muchos de ellos provocan una discapacidad (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2009).

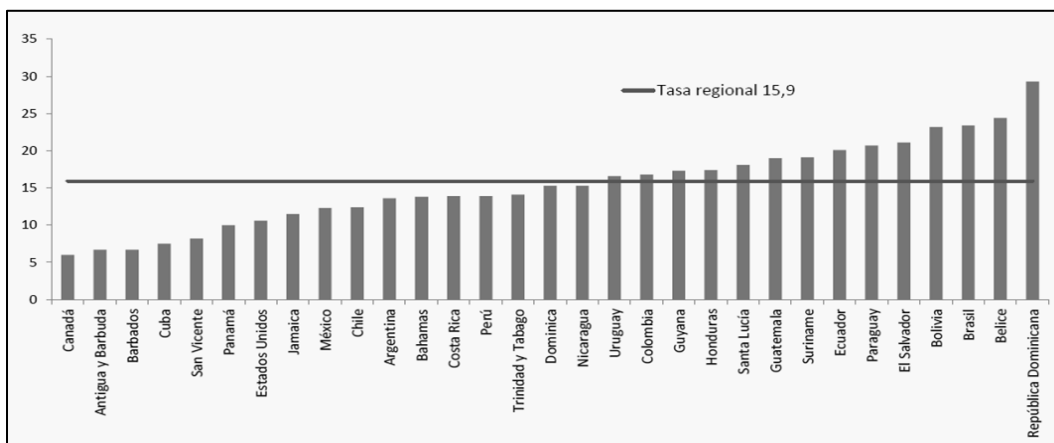
**Ilustración 3.** Tendencias en las tasas de mortalidad por accidentes de tránsito en una selección de países de ingresos altos



**Fuente:** Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción. Organización Mundial de la Salud. 2018

En América, de acuerdo con lo establecido por la Organización Panamericana de la Salud – OPS, para el año 2019, alrededor de 155 mil personas al año perdieron la vida en accidentes viales, lo que representan el 12% de las muertes ocasionadas en el tránsito a escala mundial. La tasa de mortalidad regional causada por el tránsito es de 15,6 por 100.000 habitantes, mientras que la tasa mundial es de 17,4. Sin embargo, las alentadoras cifras continentales subyacen sobre marcadas diferencias entre países, pues las tasas varían mucho como lo establece **Ilustración 4**, desde una cifra baja en Canadá (6,0), que contrasta con una muy alta en la República Dominicana (29,3) (Organización Panamericana de la Salud - OPS, 2019).

**Ilustración 4.** Tasa calculada de mortalidad causada por el tránsito (por 100.000 habitantes) en la Región de las Américas, por país, 2013.

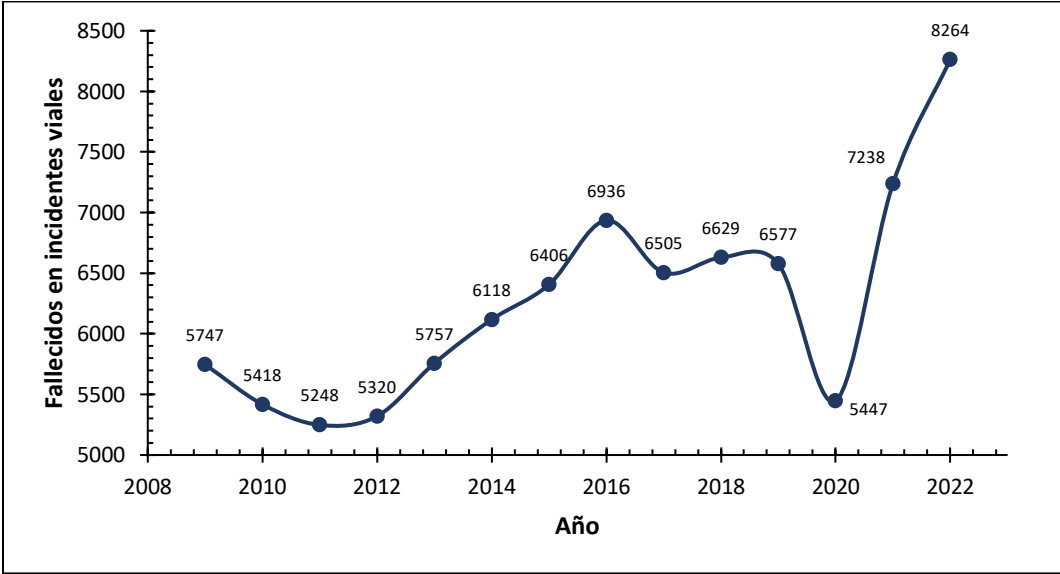


**Fuente:** Organización Panamericana de la Salud. Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas. Washington, D.C, 2019

A nivel local, las cifras sobre muertes en accidentes viales no son alentadoras, para el año 2020, según el Observatorio de Seguridad Vial de la Agencia Nacional de Seguridad Vial, fallecieron en eventos relacionados con el tránsito 5447 personas, lo que significa que Colombia para ese año presentó una tasa de mortalidad de 10,8 por cada 100.000 habitantes. Los hombres entre los 20 y los 25 años fueron las víctimas más afectadas por los accidentes viales. El 56% de las fatalidades fueron usuarios de motocicletas (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2022).

Considerando que el 2020 fue el inicio de la pandemia COVID-19, se puede establecer que los datos de ese año son atípicos y por tanto no son relevantes dentro de la información, se considera que los datos sobre siniestralidad serían el 2019 y el 2021 son los verdaderamente influyentes. En Colombia en el primer año relacionado se presentaron 6945 fallecimientos en eventos conexos con el tránsito, lo que nos deja una tasa de 13,79 muertos por cada cien mil habitantes; en el 2021 se presentaron 7.270, para ese año la tasa de mortalidad fue de 14,18, de los cuales el 59% fueron motociclistas, el 21% (1.566) eran peatones y 615 de ellos murió por una causa asociada a un motociclista. El resto de las personas que perdieron la vida eran usuarios de vehículos y de bicicletas.

**Ilustración 5. Serie histórica (2010-2020) del total de fallecidos por siniestros viales a 30 días**





**Fuente:** *Elaboración propia con datos del Observatorio de Seguridad Vial de la ANSV*

La Asamblea General de las Naciones Unidas, en septiembre de 2015 aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la que se reafirman los Objetivos de Desarrollo del Milenio del año 2000, enfocados en la reducción del hambre, la pobreza, las enfermedades, la desigualdad de género y en

garantizar el acceso al agua y el saneamiento para 2030. Según las Naciones Unidas, los Nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible, que consisten en una agenda de sostenibilidad más amplia, buscan completar aquello que los ODM no lograron, y van mucho más lejos para abordar las causas de fondo de la pobreza y la desigualdad, así como la necesidad universal de un desarrollo que beneficie a todas las personas.

Teniendo la cuenta que la Seguridad Vial se debe abordar como un problema de salud pública, para mitigarlo, Colombia como país adherente de la Agenda debe centrar sus esfuerzos en los ODS y las metas respectivas, tal como se relaciona en **Ilustración 6**.

**Ilustración 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible**

	<p><b>ODS 3</b>  <b>Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.</b></p>	<p><b>Meta 3.6</b>            Para 2020, reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo.</p>
	<p><b>ODS 11</b>  <b>Lograr que las ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.</b></p>	<p><b>Meta 11.2</b>            Para 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación vulnerable, mujeres, niños, personas con discapacidad y de edad.</p>

**Fuente:** Informe Sobre Seguridad Vial para El Congreso de la República, junio de 2021. Agencia Nacional de Seguridad Vial - ANSV.

En términos generales, los traumatismos causados por el tránsito tienen un grave impacto en las economías nacionales y como se relacionó en párrafos precedentes, les cuestan a los países el 3% de su producto interno bruto anual (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2009). Por este motivo, la meta 3.6 de los ODS pedía reducir a la mitad el número de muertes y lesiones graves por accidentes de tránsito para 2020. Garantizar la seguridad de los sistemas de transporte también está directamente relacionado con las metas de los ODS sobre ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y la acción climática (ODS 13).

Ante el incumplimiento de las metas (3.6 de los ODS) (Federación Iberoamericana de Asociaciones de Víctimas Contra La Violencia Vial, 2019), para la década de acción 2010-2020 en Seguridad Vial, El 31 de agosto de 2020, la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la resolución A/RES/74/299 para el mejoramiento de la seguridad vial en el mundo. La resolución tomó como referencia la Declaración de Estocolmo acordada en la Tercera Conferencia Ministerial Mundial

sobre Seguridad Vial, celebrada en febrero de 2020. En ella se estableció un nuevo objetivo de seguridad vial para el decenio 2020-2030 y se proclama el Segundo Decenio de Acción para la Seguridad Vial.

Los compromisos más relevantes acordados fueron: Proclamación de una segunda década de acción para la seguridad vial 2021 - 2030. Un nuevo objetivo para reducir las muertes y lesiones en las carreteras en un 50% para 2030. Una petición al UNRSC (United Nations Road Safety Collaboration), la OMS y las Comisiones Regionales de las Naciones Unidas para preparar un plan de acción.

El aliento a los Estados Miembros para que adopten una visión holística de la seguridad vial en el contexto del programa completo del SDG, vinculándola a las cuestiones ambientales, de movilidad, de igualdad, de género y de planificación urbana. Promoción de medios de transporte de calidad, ambientalmente racionales, seguros, accesibles y asequibles, especialmente el transporte público y no motorizado, y para proteger y promover activamente la seguridad de los peatones y la movilidad de los ciclistas. Atención especial a los usuarios vulnerables de las carreteras, incluidos los niños y los jóvenes, las personas de edad y las personas con discapacidad. Un sistema seguro y un enfoque de visión cero que promueva un enfoque basado en pruebas e impulsado por los datos. Disposiciones para la seguridad de los vehículos, las normas para los conductores, la infraestructura vial y la tecnología, y para abordar los principales comportamientos de riesgo. Atención, rehabilitación y reinserción social de las víctimas de accidentes de tránsito. El papel de las ONG, el mundo académico, el sector privado y las partes interesadas para ayudar a los gobiernos, que son los principales responsables de la seguridad vial, a trabajar juntos para alcanzar los objetivos. Una reunión de alto nivel de la Asamblea General de las Naciones Unidas para finales de 2022 sobre el mejoramiento de la seguridad vial en el mundo con miras a abordar las deficiencias y los desafíos.

De acuerdo con lo relacionado en los párrafos precedentes, la información más reciente y consolidada sobre siniestralidad, obedecen a los informes de Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción. Organización Mundial de la Salud, donde se refiere a la siniestralidad mundial con corte a 2016; mientras que para América latina la Organización Panamericana de la Salud en su informe, Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas, relaciona datos del hasta el año 2019 (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2009).

Por otra parte, el aumento del parque automotor en Colombia, el mejoramiento de la infraestructura vial que ha visto el país en las últimas décadas, y la falta de comportamientos adecuados de los usuarios que conducen vehículos que transitan por las carreteras, aumenta la

exposición al riesgo de estos en el tránsito por la red nacional. Esta simbiosis concurre en la ocurrencia de siniestros viales a lo largo y ancho de nuestro país, pudiéndose observar que algunos corredores viales son más peligrosos que otros, identificándose entre ellos tramos o sectores donde más se presentan eventos y que se han denominado tramos de concentración de accidentes - TCA.

Según el RUNT, con corte al 28 de febrero de 2022, el parque automotor de Colombia es de 17.183.677 vehículos, discriminados de la siguiente manera: 10.265.440 son motocicletas, 6.734.329 entre automóviles, camionetas, camiones, buses, busetas, entre otros, y 183.909 entre maquinaria, remolques y semi remolques; representando el 60%, 39% y 1%, respectivamente, tal como se muestra en la **Ilustración 7**.

**Ilustración 7.** Parque automotor registrado en RUNT, con corte a febrero de 2022

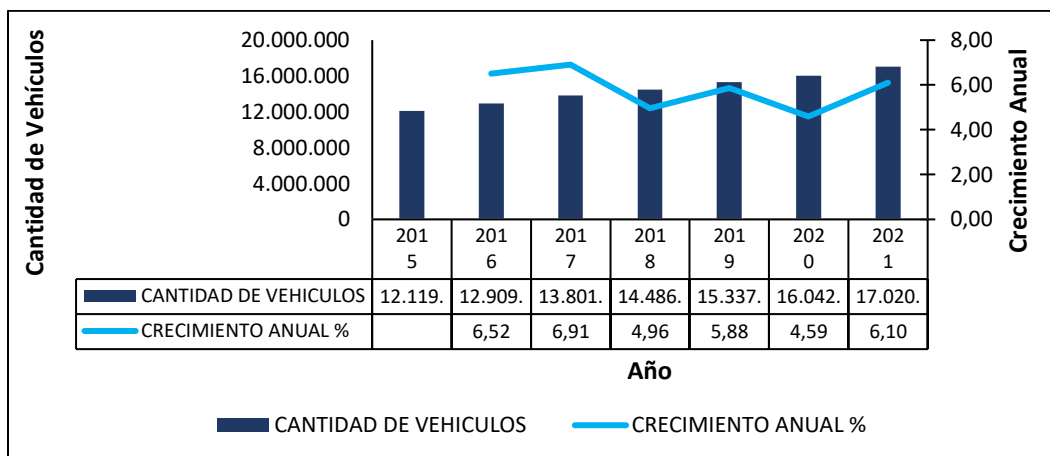


**Fuente:** Registro único Nacional de Tránsito – RUNT

De acuerdo con el Ministerio de Transporte (Ministerio de Transporte de Colombia, 2019), para el año 2019, el total del parque automotor registrado en el Colombia ascendió a 15.627.240 unidades, de los cuales el 58,3% correspondió a motocicletas, 23% a automóviles y camionetas al 8,8%.

De los datos registrados en el RUNT del parque automotor del año 2015 al 2021, se puede observar el que este tuvo un crecimiento de 34,96%, en los seis años, con un promedio anual del 5,83%, pasando de 12.119.782 a 17.020.451 vehículos registrados; circulando por las vías de la red nacional de carreteras en el año 2021, 4.900.669 más que en el 2015. Lo anterior implica una mayor exposición al riesgo de los usuarios por la cantidad de desplazamiento adicionales que se generan.

**Ilustración 8. Crecimiento del Parque Automotor 2015 -2017**



**Fuente:** *Elaboración propia con datos del RUNT*

La cantidad de desplazamiento adicionales que genera el crecimiento del parque automotor puede verse reflejado en el aumento del TPD en red nacional de carreteras que para el año 2009 fue de 3411 y para el año 2018 fue de 6261, representando un aumento acumulado del TPD en esos 11 años del 83,55%, como se puede deducir **Tabla 7**.

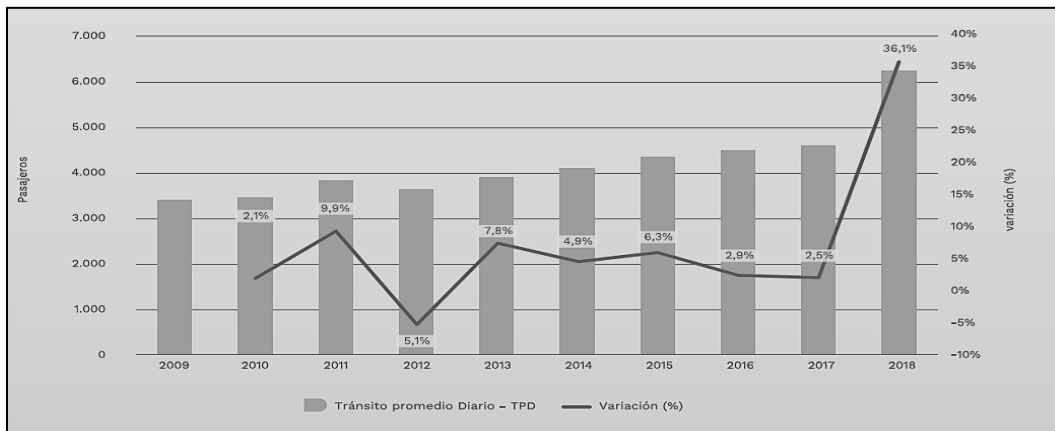
**Tabla 7. Series históricas actualizadas del TPD de la Red Nacional de Carreteras**

Año	Tránsito Promedio Diario (TPD)	Vehículos - Kilometro / Año
2009	3,411	17,109
2010	3,481	19,03
2011	3,825	20,192
2012	3,629	19,871
2013	3,911	21,771
2014	4,104	22,846
2015	4,364	24,254
2016	4,489	21,566
2017	4,601	25,419
2018	6,221	20,762

**Fuente:** *Elaboración propia con datos de Ministerio de Transporte, Informe Transporte en Cifras (2019)*



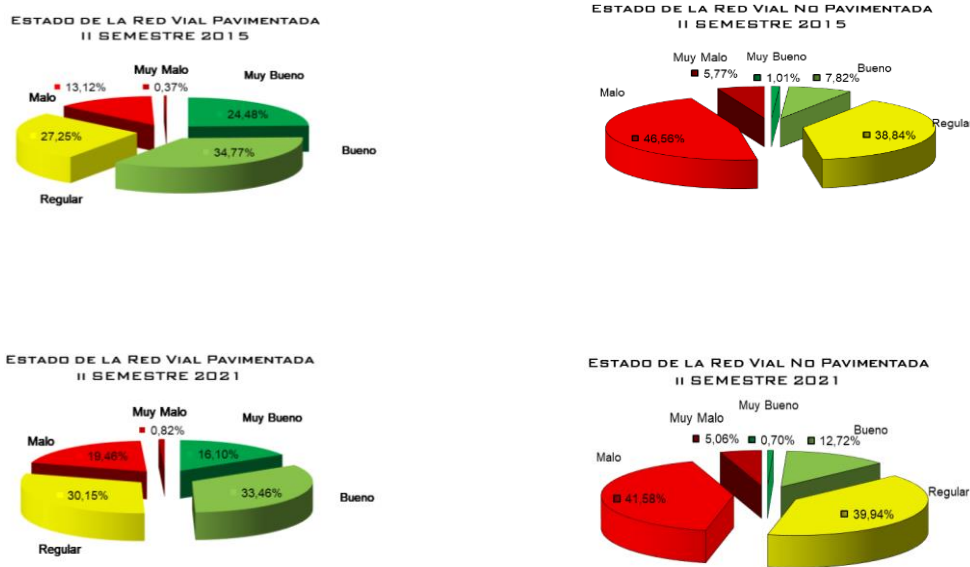
**Ilustración 9. Variación del indicador Tránsito Promedio Diario-TPD**



**Fuente:** Ministerio de Transporte, Informe Transporte en Cifras (2019)

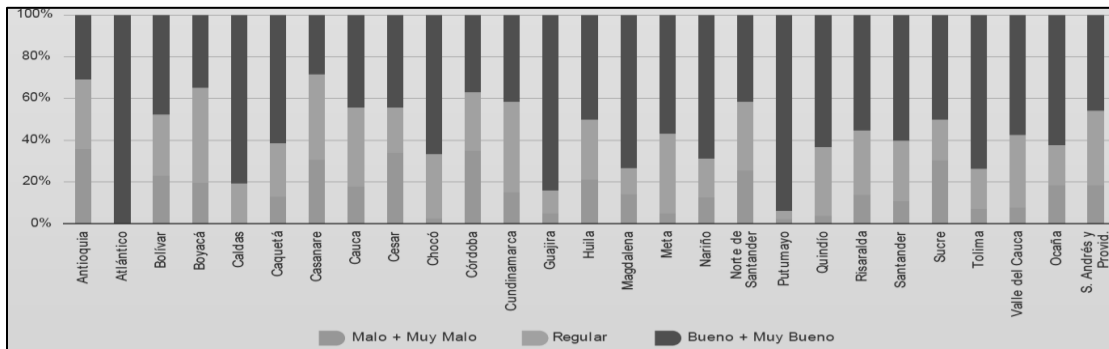
Ahora bien, respecto de otro factor que aumenta la exposición al riesgo de los usuarios en el tránsito, como es el mejoramiento de la infraestructura, según datos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), entidad que administra, opera y mantiene la red nacional de carreteras no concesionadas, en el año 2015 tenía 8.754 Km de vías, entre pavimentadas y no pavimentadas a su cargo, pasando al 2021 a tener 10.983 Km. En la **Ilustración 10** se muestran la calificación técnica del estado, dada por la institución, que va desde muy bueno hasta muy malo.

**Ilustración 10. Estado de la Red nacional de Carreteras no concesionadas 2015 – 2021**



**Fuente:** Instituto Nacional de Vías – INVIAS

**Ilustración 11.** Estado de la red primaria no concesionada pavimentada por departamentos



**Fuente:** Transporte en Cifras Vigencia 2020, Ministerio de Transporte de Colombia

Respecto de red nacional de carreteras concesionada, administrada por la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI, según el Ministerio de Transporte, Transporte en Cifras Vigencia 2020, para ese año 2020 se encontraban concesionados 6.809 km (origen- destino) (Ministerio de Transporte de Colombia, 2020); se construyeron durante la vigencia 17,08 km de calzada sencilla y 94,34 km kilómetros de doble calzada; adicionalmente la red concesionada contaba con una totalidad de 470 puentes, 12 túneles y 17 viaductos construidos y ubicados en los diferentes proyectos 1G, 3G y 4G. Mientras que para el Año 2015, existían solamente 2291 Km. entre concesiones de primera y tercera generación. De acuerdo con las cifras de ese Instituto, con corte a 31 de octubre de 2021, los proyectos de Cuarta Generación de Concesiones Viales (4G) presentaban un avance promedio del 60,73% en la ejecución de las obras.

Para poder mitigar el impacto de la siniestralidad en la salud pública de los colombianos es necesario identificar adecuadamente, entre otras cosas, las causas probables de los accidentes y los sitios donde se están presentando para poder proponer actuaciones ajustadas a las necesidades que muestre el estudio y análisis de esos factores y su incidencia en los mismos.

En lo que tiene que ver con los sitios donde se están presentando más accidentes en las carretas colombianas, se presenta una disyuntiva por la ausencia de una definición legal de tramo de concentración de accidentes, que puede generar un conflicto entre autoridades del sector, por las responsabilidades frente a la siniestralidad vial y los administradores de las vialidades, esto debido a los diferentes criterios para definir un tramo de concentración de accidentes TCA, en algunos casos por falta de coordinación entre entidades encargadas, en otros por la falta de continuidad en la memoria institucional, aunado a la falta de conocimiento y estado del arte sobre la determinación de TCA.

Así las cosas, con la determinación de límites admisibles de los indicadores de exposición al riesgo en la determinación de Tramos Concentración de Accidentes – TCA, se puede mitigar el problema de seguridad vial que afecta a los usuarios de la red nacional de carreteras, toda vez que con esta caracterización se podrán concentrar los esfuerzos de todos los involucrados, para centrar los esfuerzos de gestión y recursos en los sitios identificados como tales.

Teniendo en cuenta que, para poder hacer una adecuada asignación de recursos, para implementar actuaciones que propendan por la mejora de la seguridad vial de los usuarios vulnerables, de las vías de la red nacional de carreteras de Colombia, es muy importante contar con una metodología, o en su defecto implementar metodologías existentes, que estén acordes con la situación actual del país, con la que se puedan identificar claramente los tramos de los corredores donde se estén presentando un número de eventos que esté por encima de la media observada en sectores de las mismas características.

Determinar un tramo de concentración de accidentes en el tránsito en una carretera, es una estrategia de mejora de la seguridad vial, que se enmarca en dentro de los denominados Métodos Reactivos, que responde a los sucesos que ya ocurrieron, como lo son los accidentes de tránsito. De la implementación de estas técnicas en Colombia se tienen referencia desde la década de los ochenta, que fueron trabajos emprendidos conjuntamente entre la academia, el sector asegurador y el estado.

### 3.2.2 Afectación de los estados de seguridad vial debido a los TCA

Se puede decir que lo más importante y el trasfondo cuando se trata y se piensa en mejorar la seguridad vial, es el propósito de mejorar el bienestar y la calidad de vida de los usuarios. El bienestar es el grado de relajación de la experiencia individual, material y mental. Tener un alto bienestar significa tener cubiertas todas las necesidades materiales y físicas básicas y poder experimentar un estado de bienestar físico, mental y social con normalidad en el día a día (MAPFRE, 2004).

De hecho, vincular la noción de seguridad vial no solo con el tiempo que vivimos, sino también con la forma en la que vivimos, no es algo nuevo. El imperativo de mejorar la seguridad vial aparece dos veces en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. Primero, con el objetivo de reducir a la mitad las muertes por accidentes de tráfico en el marco del ODS que aborda la salud y el bienestar. Y después,

en el ODS 11, que aborda la necesidad de equilibrar nuestro desarrollo urbano con la sostenibilidad social, económica y medioambiental, mientras hace un llamado explícito a mejorar la seguridad vial.

Por supuesto, la medida del éxito para reducir a la mitad las muertes y lesiones causadas por el tráfico es la disminución de la tasa de muertes por tráfico. Si bien es cierto que una reducción sustancial de las tasas de mortalidad es fundamental, este contexto ignora la oportunidad que ofrece mejorar la seguridad vial: la posibilidad de disfrutar de una vida sana, del bienestar y de la libertad de movimiento de forma segura.

Adicionalmente, el Índice de Progreso Social (IPS), el marco mundial para medir los aspectos del bienestar también identifica a la seguridad vial como una medida fundamental para el progreso social. El Índice relaciona la sensación de seguridad personal de las personas con la tasa de muertes por accidentes de tráfico y concluye que la seguridad vial es una necesidad humana básica en una sociedad exitosa. Es un objetivo al que merece la pena aspirar. Desde 2018, el Fondo de Seguridad Vial de las Naciones Unidas (UNRSF) coordina el apoyo de la ONU para ayudar a los países a cumplir su promesa de un futuro más seguro y habitable (World Economic Forum, 2022).

La reafirmación de la seguridad vial como una prioridad de desarrollo mundial, requiere que los Estados, las agencias de la ONU y las empresas pueden expresar una mayor voluntad política y comprometer una financiación significativa para trabajar juntos en el objetivo, resolviendo al mismo tiempo la crisis de la seguridad vial.

### 3.2.3 Estados Unidos

En Estados Unidos de Norteamérica, fue fundamental la promulgación de la ley de Seguridad Vial y de Vehículos Motorizados en 1966 (Sielski, 2022), ante el incremento de las muertes en accidentes de tránsito, en 1962, por primera vez en su historia, superaron las 40.000 muertes y el problema siguió escalando hasta alcanzar un récord de 52.500 en 1966. El Consejo Nacional de Seguridad de EE. UU. predijo que en un período de cinco años entre 1966 y 1970, 283.000 estadounidenses habrán muerto en las calles y carreteras y que para 1970 el número de muertes anual aumentaría a 60.000. La preocupación de los norteamericanos se desató ante las predicciones del gran aumento del uso de vehículos automotores, esperando que para 1970 circularan por sus vías rurales y urbanas unos 108 millones de unidades, pues en 1966 circulaban 95 millones (Sielski, 2022).

La ley norteamericana precitada, incluía una política para la identificación y vigilancia de lugares de accidentes, dando lineamientos para la implementación de un programa para corregir las

ubicaciones de alto número de accidentes, así como el de un sistema de números de camino o designaciones de postes de referencia del abscisado de las vías. Aquí se sentaron las bases contemporáneas para el estudio de los tramos de concentración de accidentes, pues además exigió la designación de un equipo interinstitucional de ingenieros, personal encargado de hacer cumplir la ley y otros especialistas para mantener una vigilancia continua de caminos y calles para detectar y corregir condiciones que produzcan accidentes graves.

Con la promulgación de la ley de Seguridad Vial y de Vehículos Motorizados, en 1966, así como la creación de la Agencia Nacional de Seguridad en las Carreteras, en el mismo año, proliferaron los programas de mejora de la seguridad vial como resultado de la asistencia federal a los gobiernos estatales y locales, alentados por el primer director de esa agencia federal, el Dr. William Haddon (Haddon, 1996), quien subrayaba con frecuencia la necesidad de un enfoque simple y lógico del problema de los accidentes, ahondado en todo lo que contribuye a ellos. Los componentes esenciales de estos programas incluían, la identificación de ubicaciones potencialmente peligrosas, estudios de investigación de accidentes, investigaciones en el sitio, estudios de diseño, programación, implementación de mejoras y revisiones y evaluaciones continuas.

La abundancia de estudios para la identificación de ubicaciones de carreteras rurales peligrosas, o tramos de concentración de accidente (accidentes) en el tránsito, en la década de los 70, bajo el auspicio de la ley de Seguridad Vial y de Vehículos Motorizados de 1966 y la Agencia Nacional de Seguridad en las Carreteras, que permitieron establecer, procedimientos efectivos para identificar la ubicación de estos sectores de vías rurales peligrosas con base en estadísticas de accidentes.

Esos estudios permitieron la determinación de indicadores, con base en la observación de accidentes que incluyeron la cantidad de accidentes fatales, la cantidad total de accidentes, la cantidad de accidentes equivalentes solo con daños a la propiedad, el tráfico local y las condiciones de las carreteras, y las actitudes predominantes de los usuarios hacia seguridad vial.

Por ejemplo, John A. Deacon, de la Universidad de Kentucky, Charles V. Zegeer and Robert C. Deen, del Bureau de Carreteras del Departamento de Transporte de Kentucky, en 1975 presentaron el estudio denominado *identification of hazardous rural highway locations* (identificación de ubicaciones de carreteras rurales peligrosas) (Deacon, Zegeer, & Deen, 1975), en el que propusieron una metodología para la identificación de ubicaciones de carreteras peligrosas, haciendo una distinción entre segmentos de carretera cortos (puntos) y segmentos grandes (tramos), y los puntos los clasificaron además como ubicaciones de intersección y sin intersección. Los puntos de

intersección debían incluir una distancia de 0,15 millas (0,24 km) a lo largo de todos los accesos; los puntos de no intersección correspondían a segmentos aislados de 0,3 millas (0,48 km); y los tramos serían segmentos flotantes de 3 millas (4,8 km). Tanto los puntos como las secciones deben clasificarse por tipo de carretera y ubicación; consideraron deseable el uso de intervalos de 1 y 2 años para acumular y evaluar las estadísticas de accidentes.

En términos generales y según el Highway Safety Manual - HSM (ASSHTO, 2010), en Estados Unidos para determinar un Tramo de Concentración de Accidentes – TCA, se utiliza un método basado en la gravedad del siniestro, en el que se convierte cada choque en una equivalencia de "solo daño a la propiedad" ("Property Damage Only - PDO). La gravedad de un choque está determinada por la lesión más grave involucrada en el incidente, independientemente de la cantidad de lesiones (por ejemplo, si un choque tiene una lesión de tipo A y seis lesiones de tipo C, entonces se clasifica como un choque de tipo A). El índice de daños equivalentes a la propiedad solamente (Equivalent Property Damage Only index - EPDO) se calcula utilizando coeficientes calibrados basados en datos de costos de accidentes.

La identificación y tratamiento de Tramos de Contracción de Accidentes – TCA (Baamonde & Pérez), en Estado Unidos se basa en la observación de la frecuencia de los eventos, la severidad de los daños, la afectación a la vida y la propiedad, usando valores críticos de índices de exposición al riesgo, inventarios de elementos peligrosos en la infraestructura vial, análisis de costos de los siniestros viales, etc.

#### 3.2.4 España

La definición de un Tramo de Concentración de Accidentes propuesta por la Dirección General de Tráfico de España, en el documento denominado: Tema 30 - LA SEGURIDAD DE LAS INFRAESTRUCTURAS VIARIAS. PUNTOS NEGROS Y TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES – ESTT – OEP – 2014 (Dirección General de Tráfico , 2014), establece la siguiente definición:

*“un Tramo de Concentración de Accidentes (TCA) es el tramo de carretera de longitud no inferior a un 1 km (1000 m), salvo excepciones justificadas, que lleve en operación más de tres (3) años, en los que las estadísticas de accidentes registrados indiquen que el nivel de riesgo de accidente es significativamente superior al de aquellos tramos de la red con características semejantes.”*

El nivel de riesgo es significativo cuando el Índice de accidentalidad utilizado como referencia resulte superior a un umbral determinado como aceptable.

En España un Tramo de Concentración de Accidentes – TCA, es aquel tramo de 1 Km de carretera en el que tanto el número de siniestros con víctimas en los últimos 5 años como el índice de peligrosidad medio en ese periodo sea superior a la media respectiva de todos los tramos de características similares, según el tipo de vía y el TPD más la desviación media de los mismos.

La metodología para identificar Tramos de Concentración de Accidentes – TCA, se basan en la siniestralidad en toda la red en un periodo determinado, utilizando indicadores de exposición al riesgo con valores límites de umbral, que tienen en cuenta la intensidad de tráfico, TPD, la longitud del tramo en estudio, el periodo de tiempo de las observaciones (generalmente de 5 años) y los eventos que se presentaron.

Para detectar aquellos tramos de la red donde se produce un número de accidentes con víctimas significativamente mayor que en otros tramos con características similares se utiliza el procedimiento que determinar los Tramos de Alto Potencial de Mejora de la Seguridad Vial (TAPM) según el Real Decreto 345/2011 sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias en la Red de Carreteras del estado y ajustado a la Directiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo sobre gestión de la seguridad de las infraestructuras viarias. (Diario Oficial de la Unión Europea 29/11/2008), en el que se regula el establecimiento y la aplicación de los métodos para la gestión de la seguridad en la Red Transeuropea de Carreteras

La metodología considera tramos de carretera más largos con características parecidas en cuanto al tránsito promedio diario y categorización de la carretera; estimando el costo que conllevan los siniestros viales ocurridos en cada tramo, asignando un valor teórico a cada herido leve, herido grave y fallecido. Con esta orientación se hace énfasis en prevenir los siniestros en el tránsito con víctimas y mejorar las características de seguridad vial del tramo. En la definición española de TCA, se incluyen todos los siniestros viales con víctimas, aparte de si éstos son mortales, graves o leves, exceptuando en todo caso los accidentes de sólo daños materiales, y sin hacer clasificaciones o diferenciaciones en cuanto a la exposición al riesgo (volumen de tráfico - TPD).

Teniendo en cuenta que España está en la lista de países con menores tasa de siniestralidad, desde 2017, la DGT se enfoca en una estrategia para mejorar la seguridad vial de los usuarios de las vías, que subyace en Visión Cero, que es una iniciativa mundial, que le da un enfoque ético a la seguridad

vial y tiene como ideal reducir a cero el número de víctimas fatales o heridos graves de siniestros viales. La iniciativa se sustenta en el hecho que como humanos cometemos errores, establece que la pérdida de una vida es moralmente inaceptable y considera que el sistema vial debe protegernos a cada instante.

### 3.2.5 Resto de Europa

En Europa generalmente se utilizan metodologías para identificar los Tramos de Concentración de Accidentes – TCA, con enfoques vanguardistas, mediante los cuales se adelanta la gestión y actuaciones frente a esos hallazgos. Lo avanzado se refiere a enfoques desde un punto de vista teórico, que no son necesariamente idénticos a los enfoques que se utilizan actualmente en Colombia.

Las actividades básicas para identificar TCA son dos, que incluyen elementos esenciales de cualquier sistema de gestión de la seguridad vial: primero, la identificación, análisis y tratamiento de los sitios de concentración de accidentes en el tránsito y segundo, el análisis de la seguridad de redes viales. En los últimos años cada vez más países del viejo continente han integrado la gestión tradicional de los TCA con el Análisis de Seguridad de la Red de Carreteras (Safety Analysis of Road Networks) o con la Gestión Integral de la Seguridad de la Red Vial (NSM - Network Safety Management).

Según The Institute of Transport Economics (TOI), que es una institución nacional noruega para la investigación multidisciplinaria del transporte, en Europa no se presenta un uso sistemático del método empírico de Bayes, con el que es posible identificar ubicaciones peligrosas de carreteras. La técnica empírica de Bayes funciona mejor que cualquier otro método de acuerdo con los criterios epidemiológicos comúnmente aceptados de precisión diagnóstica. El enfoque empírico de Bayes hasta ahora no se ha aplicado ampliamente en Europa, pero se usa considerablemente en Canadá y EE. UU.

Para Elvik (Rune, 2007), en la práctica, entre los países europeos se observan diferentes tendencias al respecto. En algunos de los países como Finlandia, Suecia e Inglaterra, que tratan los TCA desde los años 60, la gestión de estos ha sido reemplazada por la Gestión Integral de la Seguridad de la Red de carreteras, dado que todos los TCA han sido identificados y tratados. En Francia también se ha decidido suspender la gestión de los TCA y en su lugar se han centrado en la Gestión Integral de la Seguridad de la Red Vial. En Noruega, Dinamarca y Alemania, que también gestionan los TCA



desde hace muchos años, el tratamiento e investigación de estos no ha sido reemplazada sino complementada por la Gestión Integral de la Seguridad de la Red Vial.

### 3.2.6 Argentina

En Argentina es aceptado que un Tramo de Concentración de Accidentes TCA se refiere a una sección de la red vial que muestra un riesgo de incidentes notablemente mayor en comparación con tramos de similares características. Se anticipa que, en estas zonas, una intervención orientada a la mejora de la infraestructura podría resultar en una disminución efectiva de los accidentes (Berardo, y otros, 2012).

Diversas técnicas de análisis han sido empleadas en el país austral para identificar los tramos de concentración de accidentes. Entre los métodos más destacados se encuentran: el Método del Número – Tasa, el Método del Control de Calidad de la Tasa, y el Índice de Peligrosidad, entre otros.

Desde el 2000 la Dirección Nacional de Vialidad - DNV por intermedio de la División Seguridad Vial publica el DVD SIAT Sistema de Información de Accidentes de Tránsito con los datos procesados de accidentes ocurridos anualmente en las rutas nacionales no-concesionadas. La última publicación refleja la información del 2006.

La información es aportada contractualmente por las empresas del sistema Contratos de recuperación y mantenimiento - CReMa, recogida y transmitida mensualmente mediante el llenado de los formularios SIAT 2000 (o policiales) de Registro de Accidentes de Tránsito, o de formularios policiales.

En esencia el procesamiento SIAT consiste en utilizar indicadores del nivel de seguridad vial como:

- Índice de Peligrosidad (IP): Cantidad de accidentes con víctimas por cada  $10^8$  vehículo - kilómetros.
- Índice de Accidentes Mortales (IAM): Cantidad de accidentes mortales por cada  $10^8$  vehículo - kilómetros.
- Índice de Mortalidad (IM): Cantidad de muertos cada  $10^8$  vehículo - kilómetros.
- Índice de Riesgo (IR): Cantidad de accidentes por cada  $10^6$  vehículo – kilómetros
- Densidad (Dacv): Cantidad de accidentes con víctimas por cada 1.000 km.

Son cuatro índices referidos o dependientes de la exposición, medida en vehículo - kilómetros recorridos, V-km. La víctima muerta es la que muere dentro de las 24 h siguientes al accidente.

La DNV analiza comparativamente los indicadores ordenados por valor, por rutas y distritos jurisdiccionales, los tabula, comenta y remite el informe anual al área de Planeamiento para su posterior consideración, y lo difunde. No se estudian las probables causas de los accidentes debidas a fallas del camino-conductor-vehículo, ni las prácticas inadecuadas detectadas.

En el contexto de los estudios de análisis de TCA que se realizan en Argentina, los tramos que cumplen con las condiciones especificadas en la tabla XX correspondiente serán reconocidos como Tramos de Concentración de Accidentes (TCA).

En Argentina, para determinar los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), se calculan los indicadores de accidentalidad para subtramos de 1 km de longitud, basándose en los datos obtenidos de los registros de accidentes.

**Tabla 8.** Parámetros para identificar tramos con concentración de accidentes – TCA en Argentina

TIPOLOGÍA	ZONA	RANGOS DE TMDA (veh./día)	CONDICIONES Por tramo de 1 km.
Autopistas Autovías Vía Rápida	Llana	> 80.000	IP> 30 ó ACV/año > 9
	Ondulada	> 40.000 y < 80.000	IP> 35 ó ACV/año > 5
	Montañosa.	< 40.000	IP> 40 ó ACV/año > 3
Ruta Convencional	Urbana ó rural llana, ondulada ó montañosa	> 7.000	IP> 70 ó ACV/año > 3
		< 7.000	IP> 100 ó ACV/año > 3

**Fuente:** Tomado de (Berardo, y otros, 2012)

El Índice de Peligrosidad (IP) es influenciado por diversos factores como el comportamiento de los usuarios, las prestaciones de los vehículos, las características de la carretera y su entorno, las particularidades del tráfico y factores aleatorios. A fin de minimizar el componente aleatorio, se tiende a extender el periodo de análisis considerado.

Las características de la carretera y su entorno contribuyen a determinar lo que se podría denominar como "riesgo intrínseco" asociado al tramo en las condiciones actuales. Manteniendo constantes los demás componentes, el riesgo intrínseco varía en función de la tipología de la carretera (autopista, autovía, vía rápida, ruta convencional), la zona (urbana, interurbana, intersección, tramo), y los rangos de volúmenes de tráfico (los cuales dependen del tipo de vía). A medida que aumenta el volumen de tráfico, el Índice de Peligrosidad tiende a disminuir; sin embargo, dentro de ciertos rangos, que dependen del tipo de vía, puede considerarse prácticamente constante.

Con base en las características mencionadas anteriormente, se puede definir grupos de tramos que son homogéneos en términos de su nivel de seguridad.

### 3.2.7 Colombia

La influencia norteamericana en el desarrollo de conocimiento no tuvo su excepción en nuestro país, fue así, como se dijo antes, que durante finales de la década de los setenta del siglo anterior, se empezaron a desarrollar estudios encaminados a brindar propuestas para la resolución a los tramos críticos por accidentalidad en carreteras nacionales, sobre la base de metodología desarrollada para tal efecto en el Programa de Investigaciones del Transporte - PIT de la Universidad Nacional, que contó con la colaboración de la División de Seguridad Vial del INTRA (División del Ministerio de Obras Públicas) y del Programa Acción Vial Preventiva, así como de FASECOLDA.

A mediados de la década de los ochenta, se desplegaron trabajos encaminados al análisis de la siniestralidad en el tránsito, por ejemplo, el estudio desarrollado por el Programa de Investigaciones del Transporte - PIT, del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional. durante el periodo comprendido entre abril de 1986 y marzo de 1987, con la participación de profesores como: Fabio Regueros Chosnek, Victoria Beatriz Durán y Néstor Saénz Saavedra, bajo la coordinación del ingeniero Sergio Pabón, en desarrollo del Convenio 006 - 85 INTRA - Universidad Nacional (Gitelman, Vis, Weijermars, & Shalom, 2014).

En ese estudio, se identificaron tramos críticos por accidentalidad en 1.388 kilómetros de las carreteras troncales de los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila; además se determinó como la causa más probable de los eventos viales en cada sector crítico, y se dieron recomendaciones técnicas para la implementación a corto, mediano y largo plazo, que propendían por solucionar los problemas detectados en cada uno de los tramos críticos estudiados, para de esta manera minimizar su peligrosidad.

La antesala a las iniciativas relacionadas en los párrafos anteriores tuvo como acelerante la advertencia que la accidentalidad vial en Colombia se había convertido en un problema para la vida de los colombianos en ese momento, pues tal como sucede hoy por hoy, las muertes por siniestros viales en el tránsito se constituyeron en una de las causas principales de mortalidad. Sin dejar de lado que los costos de la siniestralidad afectaban considerablemente el presupuesto de la nación.

Siguieron estudios de costos de la siniestralidad, como, por ejemplo, Costos de accidentes de tránsito en vías rurales, auspiciado por el Programa de Investigaciones del Transporte – PIT,

presentado para optar por el título de ingeniería Civil por los estudiantes de la Universidad de Colombia, sede Bogotá, César Augusto Salazar y Joaquín Ovidio Valencia; cabe resaltar que dicho estudio es hasta nuestros días un referente en el análisis de Tramos de Concentración de Accidentes – TCA.

Patrocinados por el Fondo de Prevención Vial - FONPREVIAL se dieron otros estudios, entre los que cabe resaltar la Metodología para la Identificación, Clasificación y Estudio de los Sectores de Concentración de Accidentes de Tránsito, elaborado por los Ingenieros Ary Bustamante y Mauricio Carvajal, con el concurso del Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 1998. Posteriormente y a expensas de las mismas entidades, se dio a conocer el Manual de Identificación de tramos Críticos por Accidentalidad en Carreteras, preparado por la empresa de consultoría Projekta Ltda., en 2001 (Bustamante & Carvajal, 1998).

En 2014 se desarrolló un estudio para determinar la influencia de los elementos de la infraestructura en la seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas, el estudio se concentró exclusivamente en los elementos del alineamiento horizontal y vertical de la infraestructura, que consideraron influían en la ocurrencia de eventos en el tránsito y por ende en la seguridad vial de los usuarios de las carreteras interurbanas.

Básicamente en Colombia los estudios realizados en TCA, se relacionan con la identificación y propuestas de actuación paliativas de tramos críticos en la red nacional de carreteras, con la identificación de las causas más probables y sin el establecimiento de metodologías claras para la identificación, el seguimiento y evaluación respectiva, que verifique la efectividad de las medidas implementadas. Entonces es claro que no existe una metodología reconocida por autoridad competente en esta materia y la identificación y tratamiento de Tramos de Contracción de Accidentes – TCA, pues esto se hace a discreción de las entidades que requieren el estudio particular, bajo los criterios del consultor o autor del estudio; lo que no permite avanzar en la adecuada gestión de los mismos, precarizando la destinación de recursos para las actuaciones a corto, mediano y largo plazo que mejoren la seguridad vial de los usuarios, y aun con la deuda de avanzar hacia los modelos de gestión que se han implementado en países con mejores condiciones de seguridad vial, como es el caso de EE. UU. y Europa.

Desde la presentación de las metodologías auspiciadas por el Fondo de Prevención Vial – FONPREVIAL (hoy transformado en la Agencia Nacional de Seguridad Vial, por la ley 702 de 2013), a principios de este siglo, no se continuó con la investigación en esta área de la Seguridad Vial para

fijar política pública, lo que ha llevado a que se presente una disyuntiva por la ausencia de una definición legal de tramo de concentración de accidentes, que puede generar un conflicto entre autoridades del sector, por las responsabilidades frente a la siniestralidad vial y los administradores de las vialidades, esto debido a los diferentes criterios para definir un TCA, en algunos casos por falta de coordinación entre entidades encargadas, en otros por la falta de continuidad en la memoria institucional, aunado a la falta de conocimiento y estado del arte sobre la determinación de Tramos Concentración de Accidentes – TCA.

Así las cosas, se hace necesario la determinación de límites admisibles de los indicadores de exposición al riesgo, en la determinación de Tramos Concentración de Accidentes – TCA, mitigando el problema de seguridad vial que afecta a los usuarios de la red nacional de carreteras, toda vez que con esta caracterización se podrán concentrar los esfuerzos de todos los involucrados, para encaminar la gestión y recursos en los sitios o tramos viales identificados como tales.

Al cerrar esa brecha que existe, identificando claramente los TCA, teniendo en cuenta los factores asociados a la siniestralidad, sea la infraestructura, los vehículos o el comportamiento de los usuarios, se deben diseñar e implantar las actuaciones más adecuadas en los sitios o tramos viales identificados como peligrosos y que puedan afectar la salud y la propiedad de los usuarios de nuestra red de carreteras, sin olvidar implementar un sistema de monitoreo y control para poder medir la eficacia y eficiencia de lo implementado.

Una vez suceda eso, se debe diseñar e implementar una estrategia que siga las directrices de políticas públicas exitosas en otras latitudes, como Visión Cero y Sistema Seguro, que le da un enfoque ético a la gestión de la Seguridad Vial y tienen como objetivo reducir a cero el número de víctimas fatales o heridos graves de siniestros viales. La iniciativa se sustenta en el hecho que como humanos cometemos errores, establece que la pérdida de una vida es moralmente inaceptable y considera que el sistema vial debe protegernos a cada instante.

## 4 CASO DE ESTUDIO, DATOS Y METODOLOGÍA

### 4.1 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología implementada para el desarrollo del documento con la definición y alcance de cada uno de los apartados.

#### 4.1.1 Revisión Bibliográfica

Se realiza búsqueda de artículos académicos, publicaciones en revistas indexadas, conferencias, tesis de grados, entre otras, que se relacionen con la seguridad vial y la determinación de Tramos de concentración de Accidentes (TCA); identificando aspectos relevantes como metodologías, resultados obtenidos, aplicaciones y recomendaciones generales, esto con el fin de establecer una guía primaria de entendimiento del problema.

#### 4.1.2 Métodos Actuales y Normativa para la Estimación de TCA en Colombia

Se estudia la normativa actualmente existente para Colombia, comprendiendo que establece la metodología para la identificación, clasificación y estudio de los sectores de concentración de accidentes de tránsito; además de conocer las recomendaciones de la norma técnica ISO 39001 en cuanto a selección de indicadores de desempeño, riesgos e impactos de los sistemas de gestión de la seguridad vial.

#### 4.1.3 Estado del Arte

Se realiza agrupar la información recolectada de textos académicos, normas técnicas, publicaciones científicas nacionales e internacionales, entre otras, para formar una metodología apropiada de investigación, comparar las distintas formas y métodos de determinar los tramos de concentración de accidentes y encontrar nuevas herramientas que permitan establecer de forma más precisa estos tramos. Además de establecer los índices comúnmente usados y de mejor desempeño que determinan el mejor umbral de estos tramos.

#### 4.1.4 Validación de Datos

Los documentos técnicos consultados, establecen como definición de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) *“el tramo de carretera de longitud no inferior a un 1 km (1000 m), salvo excepciones justificadas, que lleve en operación más de tres (3) años, en los que las estadísticas de*

*accidentes registrados indiquen que el nivel de riesgo de accidente es significativamente superior al de aquellos tramos de la red con características semejantes”* (Dirección General de Tráfico , 2014); por lo tanto, para la determinación de TCA se deberá contar con datos categorizados de accidentes de tránsito superiores a tres años en vías que cuenten con una caracterización.

#### 4.1.5 Índices de TCA

Se establecen el índice de análisis con el cual se establecerán los TCA y el método de determinación del umbral que más se ajuste para identificar tramos de concentración en vías de características semejantes.

***Variables de entrada:***

- Histórico de accidentes con víctimas fatales
- Histórico de accidentes leves
- Histórico de accidentes solo daños materiales
- Transito Promedio Diario Anual (TPDA)
- Longitud de la vía con características semejantes

***Variables de salida:***

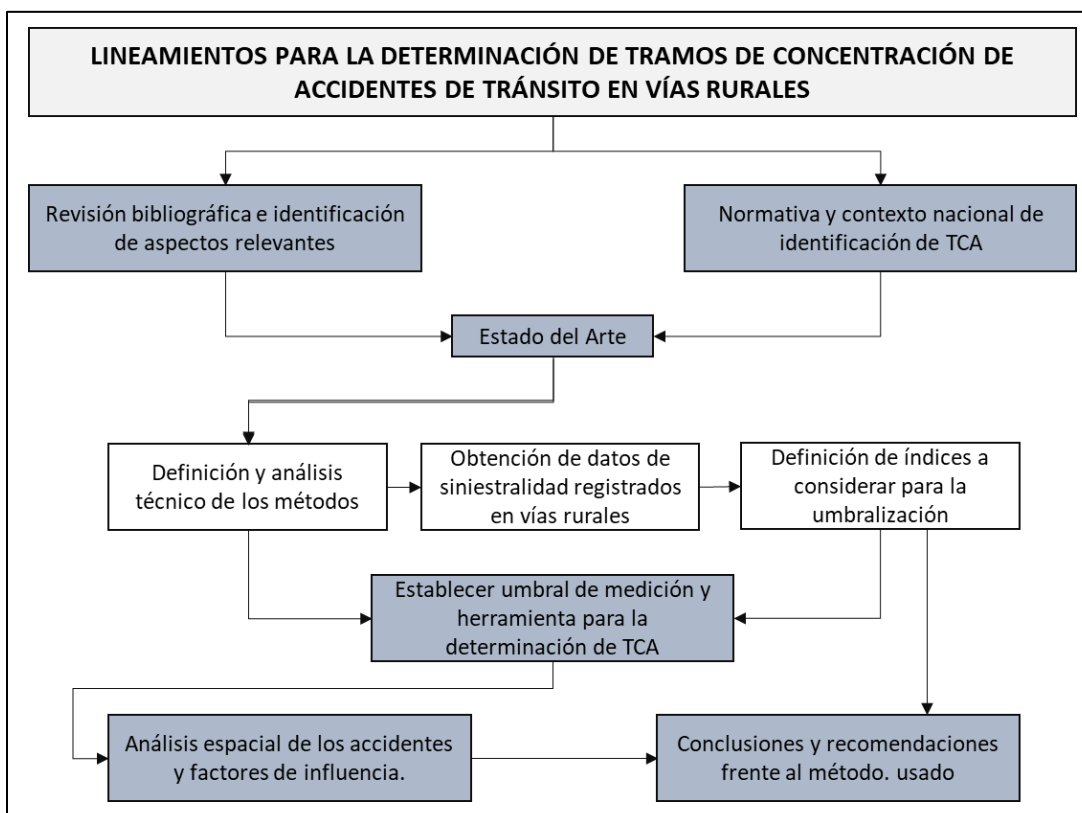
- Tramos de Concentración de Accidentes (TCA)

#### 4.1.6 Análisis de resultados

A partir de esta información se analiza la distribución espacial de los accidentes a lo largo de una carretera y, por lo tanto, factores específicos, como las características físicas, el clima, el tráfico o el comportamiento de los conductores. Se concluye sobre los objetivos y resultados obtenidos; adicionalmente se realiza recomendaciones sobre la metodología métodos e índices escogidos.

A partir de lo mencionado anteriormente, se desarrolla el diagrama metodológico de la investigación presentado en la **Ilustración 12**.

**Ilustración 12.** Diagrama metodológico propuesto para el desarrollo de la investigación



Fuente: *Elaboración Propia*

## 4.2 CASO DE ESTUDIO

En Colombia, el Ministerio de Transporte y la Agencia Nacional de Seguridad Vial desempeñan roles clave en la implementación de políticas y medidas de seguridad vial. En este contexto, la labor de CORUMAR S.A.S. como concesionaria del tramo Cereté - Lórica (Unidad Funcional 6) es de vital importancia, recopilando datos detallados de accidentes de tráfico que incluyen su ubicación, gravedad y causas subyacentes. El análisis exhaustivo de estos datos permite una clasificación eficiente de las vías por su siniestralidad, utilizando criterios tales como el número total de accidentes, la cantidad de lesionados o fallecidos, y la frecuencia de accidentes en relación con el volumen de tráfico, entre otros.

Según la clasificación proporcionada por la Superintendencia de Transporte, una entidad adscrita al Ministerio de Transporte, la Unidad Funcional 6, Cereté - Lórica, gestionada por CORUMAR S.A.S., figura como una de las 40 vías más peligrosas del país en términos de siniestralidad. Esta clasificación



se basa en la alta incidencia de accidentes, el número significativo de víctimas mortales y la frecuencia de ocurrencia de dichos incidentes.

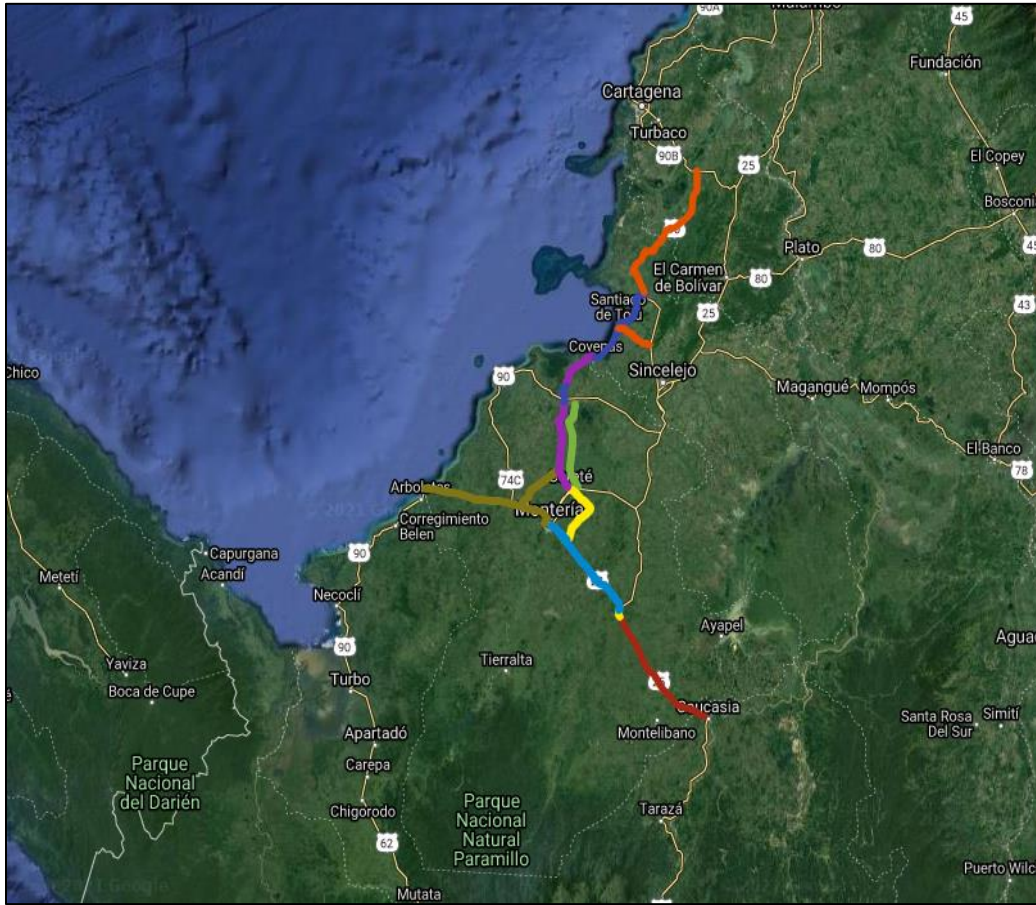
Existen diversos factores que contribuyen a esta alta siniestralidad. Se destacan, por ejemplo, la cultura de conducción de la región costera de Colombia, a menudo caracterizada por el exceso de velocidad y la conducción agresiva, así como el incumplimiento de las normas de tránsito y la falta de uso de equipos de protección por parte de los motociclistas. El tramo vial Cereté - Lórica se encuentra entre dos centros poblacionales, lo cual aumenta el flujo de tráfico, incrementando el riesgo de accidentes por la mayor interacción entre vehículos. Asimismo, las variaciones de velocidad entre áreas urbanas y rurales pueden llevar a cambios bruscos que intensifican el riesgo de accidentes.

La elección del tramo Cereté - Lórica como caso de estudio para esta tesis se debe a su alta tasa de accidentes, lo que lo convierte en un caso crítico para el análisis de la seguridad vial en Colombia. A través de la implementación de los métodos de determinación de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), se analizará la siniestralidad en este tramo vial específico. Este tramo, bajo la administración de la Concesionaria Ruta al Mar S.A.S. – CORUMAR S.A.S., supone uno de los mayores desafíos en términos de seguridad vial en el país.

Se hará una validación de los lineamientos estudiados, a través de un estudio de caso. Para tal efecto se cuenta con datos de siniestralidad del periodo comprendido entre los años 2016 y 2021 de la Concesión Ruta al Mar S.A.S. – CORUMAR S.A.S., que tiene a cargo la construcción, rehabilitación, mejoramiento, operación y mantenimiento del sistema vial para la conexión de los Departamentos de Antioquia – Bolívar”, con una duración de 34 años en los cuales se consideran 1 año de pro construcción, 4 años de construcción y 29 años de operación y mantenimiento, con una longitud total de 492 kilómetros, teniendo influencia, en 4 departamentos, además de los principales que son Antioquia y Bolívar, en los de Córdoba y Sucre.

En la siguiente figura se puede observar la localización de la unidad Funcional Cereté – Lórica, que se encuentra resaltada en color lila:

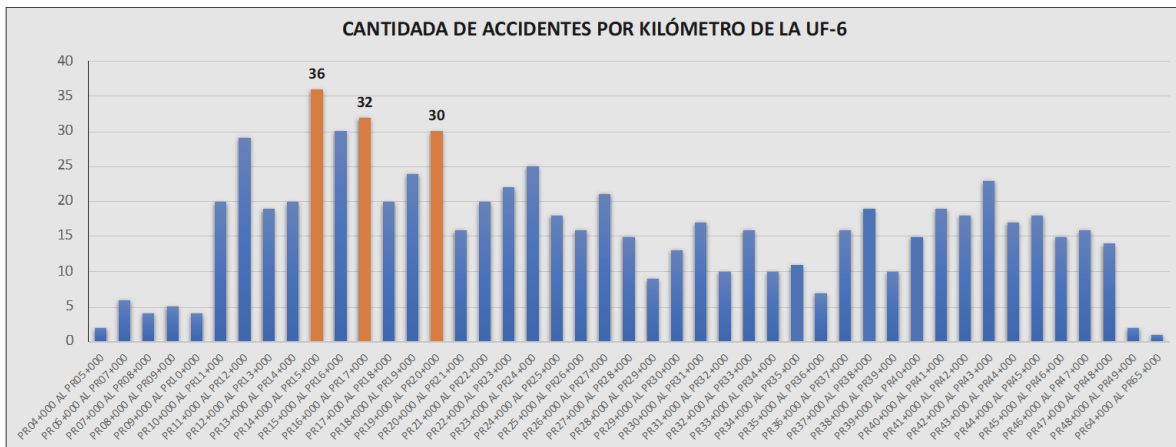
**Ilustración 13.** Localización general de la zona de estudio



**Fuente:** Concesión Ruta al Mar – CORUMAR S.A.S.

A continuación, en la Ilustración 14 se presenta el diagrama con la cantidad de accidentes registrados en cada kilómetro de la vía de la UF6.

**Ilustración 14.** Cantidad de accidentes por cada kilómetro en la Unidad Funcional 6 – Cereté - Loricá



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3 DATOS

Los métodos para la identificación, determinación y análisis de tramos de concentración de accidentes (TCA) viales implementados en el presente estudio fueron enfocados en la observación del comportamiento de la siniestralidad del corredor vial Cereté – Lórica, usando como base los registros de siniestralidad desde el año 2016 hasta el 2021, seis años de registros de siniestralidad vial. Esta Unidad Funcional (UF) tiene el registro más alto de siniestralidad dentro del marco del contrato de concesión del proyecto vial Antioquia – Bolívar, debido a las condiciones geométricas y características de diseño que permiten que los usuarios realicen maniobras que alteran el orden vial y aumentan los indicadores de accidentalidad a lo largo del corredor. Los datos producto del registro más de 700 bitácoras de accidentes en el periodo de tiempo considerado, en las cuales se incluyen datos de relevancia como la fecha, la unidad funcional, el subsector, la abscisa, el kilómetro, la clasificación del accidente, la causa y la categoría del vehículo.

Estos datos suministrados por la Concesionaria CORUMAR, fueron el insumo más importante de esta investigación, debido a que, con estos datos, se desarrolló y calibraron las diferentes metodologías de estimación de TCA mencionadas dentro del texto.

Dentro del ANEXO 1 se encuentran las autorizaciones de tratamiento de la información

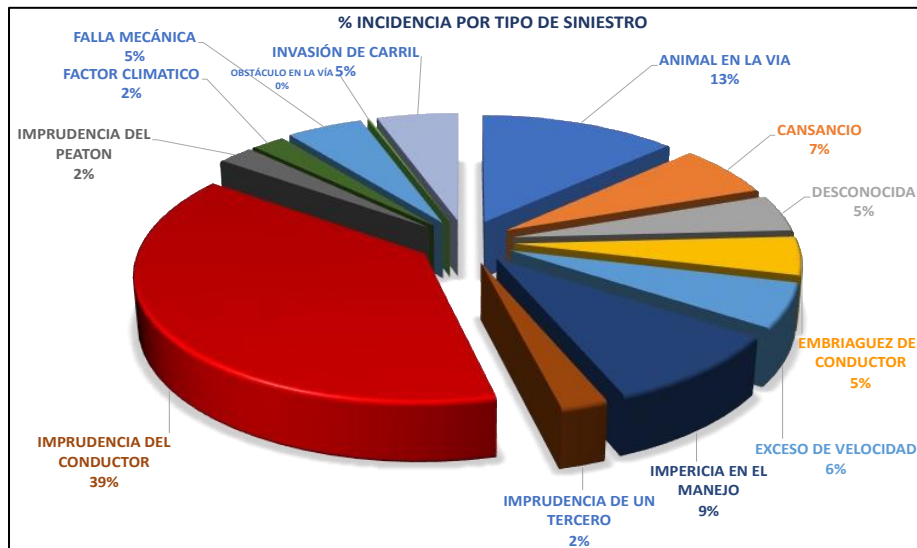
#### 4.3.1 Métodos Actuales de estimación de TCA en Otros Países

Basado en la revisión bibliográfica y estado del arte se establece la metodología técnica y normativa usada en los países pioneros en seguridad vial, determinando como aplican sus métodos, herramientas e índices de determinación de umbral.

## 5 APLICACIÓN METODOLOGÍA DEL CASO DE ESTUDIO

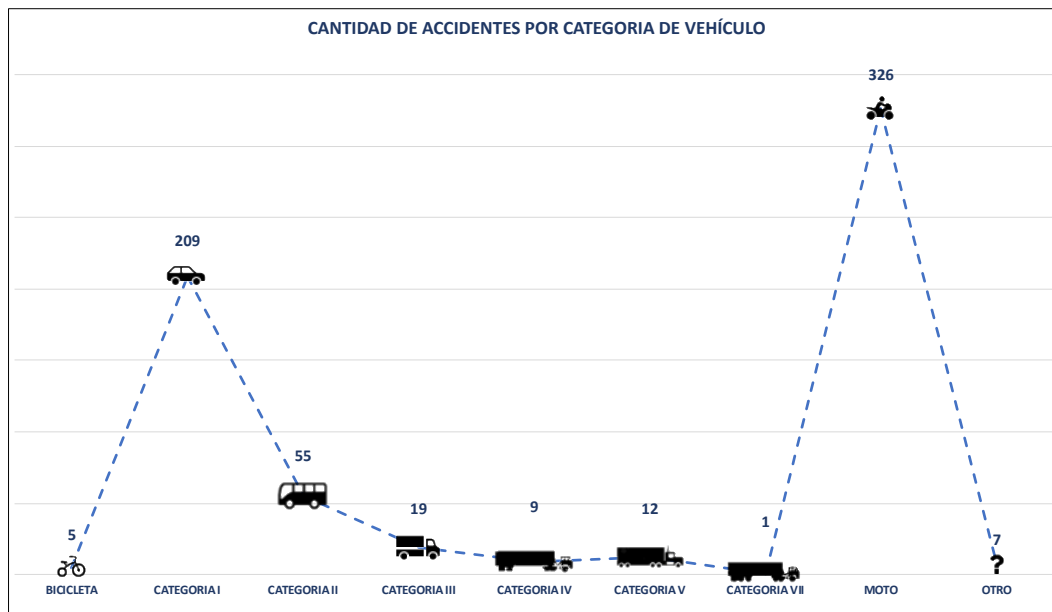
A continuación, se realiza un análisis de la siniestralidad basados en las estadísticas de accidentes históricos registrados dentro de la UF6, estableciendo que según los registros presentados entre los años 2016 al 2021 para la Unidad Funcional 6 – Cereté – Lórica, la incidencia de la siniestralidad tiene un mayor porcentaje por la imprudencia del conductor 39%, animales en la vía 13% e impericia en el manejo 9%. Lo que indica que los accidentes ocurren en su mayoría por causas humanas, en cuyo caso se deben generar acciones de mejora y reducir los índices de siniestralidad de acuerdo con el tipo de vehículos que circular por el sector, como lo presenta la **Ilustración 15**.

**Ilustración 15. Incidencia de la accidentalidad por el tipo de causa**



Fuente: *Elaboración propia*

**Ilustración 16. Accidentes por categoría de vehículos**



Fuente: *Elaboración propia*

La **Ilustración 16** se identifica que la mayoría de los siniestros han sido causados por las motocicletas, seguido de los vehículos de categoría I y los vehículos categoría II. Los porcentajes de incidencia se relacionan a continuación:

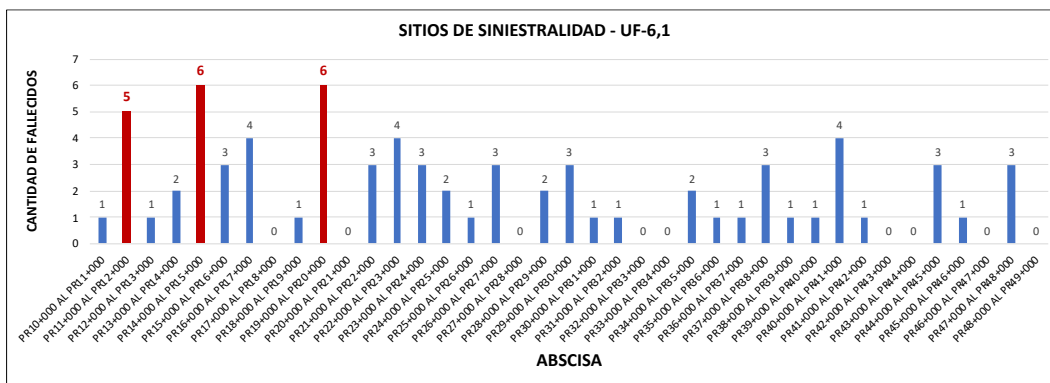
**Ilustración 17. Incidencia por categoría de vehículos**

CATEGORIA	% INCIDENCIA
BICICLETA	0,78%
CATEGORIA I	32,50%
CATEGORIA II	8,55%
CATEGORIA III	2,95%
CATEGORIA IV	1,40%
CATEGORIA V	1,87%
CATEGORIA VI	0%
CATEGORIA VII	0,16%
MOTO	50,70%

Fuente: *Elaboración propia*

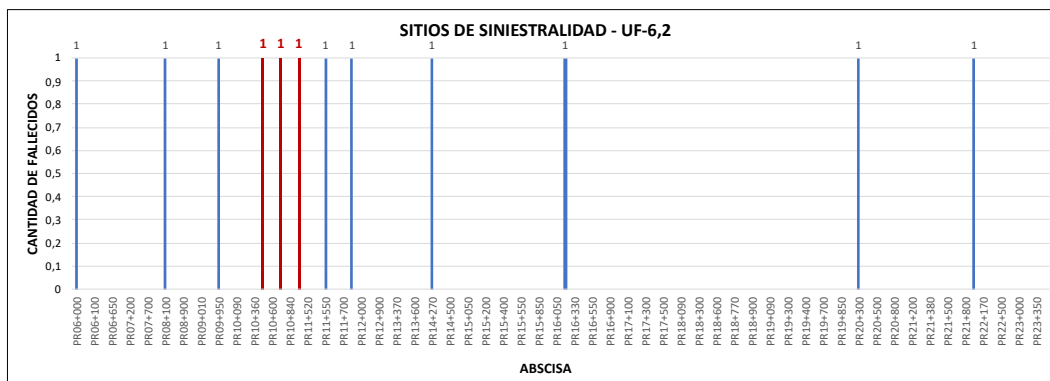
Los registros de siniestralidad con víctimas fatales muestran los sectores de mayor peligrosidad, ya sea por las condiciones del corredor vial donde ocurrieron o por el tipo de causa del siniestro presentado. Es por ello por lo que se detallan a continuación los tres (3) sectores que componen la unidad funcional 6 (UF-6):

**Ilustración 18. Siniestros viales con víctimas fatales presentados en la UF-6,1**



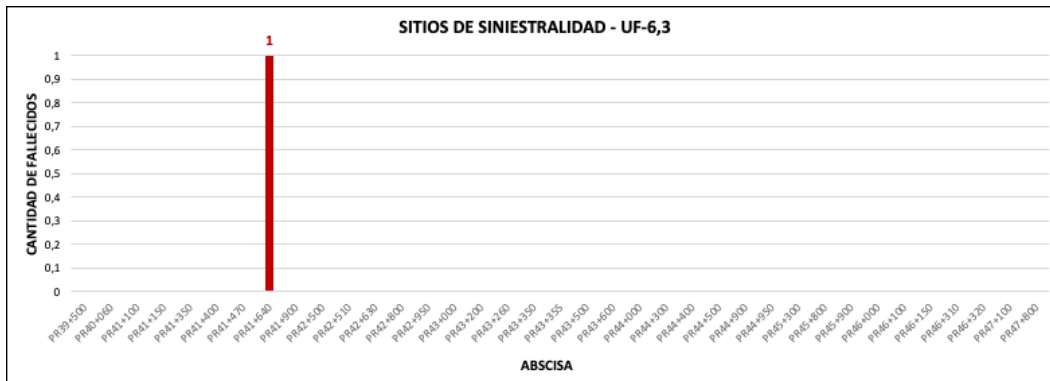
Fuente: *Elaboración propia*

**Ilustración 19. Siniestros viales con víctimas fatales presentados en la UF-6,2**



Fuente: *Elaboración propia*

**Ilustración 20.** Siniestros viales con víctimas fatales presentados en la UF-6,3



**Fuente:** Elaboración propia

## 5.1 ESTIMACIÓN DE TCA MEDIANTE LA METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS SECTORES DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Aplicando el método propuesto por los ingenieros Ary Bustamante y Sergio Carvajal, descrito en el documento técnico denominado “Metodología para la identificación, clasificación y estudio de los sectores de concentración de accidentes de tránsito”, publicado en 1998 por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS - se determinaron los segmentos de concentración de accidentes (SGA), sectores de concentración de accidentes (SCA), lugares de concentración de accidentes (LCA), el índice de peligrosidad (IP), índice de severidad (IS), la tasa de accidentes de tránsito, tasa de accidentes con víctimas y la tasa de víctimas por accidentes totales; con estos datos se identificaron los sitios de concentración de accidentes:

**Tabla 9. IP para la UF-6,1 de acuerdo con el método propuesto por los ingenieros Ary Bustamante y Sergio Carvajal**

IDENTIFICACIÓN DE SECTORES CRÍTICOS														
UNIDAD FUNCIONAL 6-1														
ABSCISA	SGA	IP	VALORES PARA IS			VALORES PARA Ta		VALORES PARA Tav		VALORES PARA Tvat		NIVEL DE ACCIDENTALIDAD		
			IS	Cis	TIPO	Cta	TIPO	Ctav	TIPO	Cvat	TIPO	Tvat	TIPO	
PR10+000 AL PR11+000	6	8	MEDIO	8	2	ALTO	3	BAJO	0	NULO	0		13	BAJO
PR11+000 AL PR12+000	6	3	BAJO	39	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR13+000 AL PR14+000	5	8	MEDIO	123	2	ALTO	3	BAJO	8	MEDIO	5	BAJO	26	MEDIO
PR14+000 AL PR15+000	12	18	ALTO	272	5	ALTO	7	MEDIO	10	ALTO	5	BAJO	45	ALTO
PR15+000 AL PR16+000	2	3	BAJO	42	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR18+000 AL PR19+000	5	8	MEDIO	47	2	ALTO	3	BAJO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	17	BAJO
PR19+000 AL PR20+000	2	5	BAJO	84	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR20+000 AL PR21+000	1	3	BAJO	42	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR21+000 AL PR22+000	3	5	BAJO	84	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR22+000 AL PR23+000	3	5	BAJO	84	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR23+000 AL PR24+000	4	3	BAJO	3	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	6	MUY BAJO
PR24+000 AL PR25+000	8	18	ALTO	282	5	ALTO	7	MEDIO	10	ALTO	5	BAJO	45	ALTO
PR25+000 AL PR26+000	6	8	MEDIO	86	2	ALTO	3	BAJO	5	BAJO	5	BAJO	23	BAJO
PR26+000 AL PR27+000	7	13	ALTO	204	5	ALTO	5	BAJO	10	ALTO	5	BAJO	38	MEDIO
PR28+000 AL PR29+000	2	3	BAJO	31	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR29+000 AL PR30+000	2	5	BAJO	42	2	ALTO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	13	BAJO
PR30+000 AL PR31+000	6	13	ALTO	209	5	ALTO	5	BAJO	10	ALTO	5	BAJO	38	MEDIO
PR31+000 AL PR32+000	3	3	BAJO	42	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR32+000 AL PR33+000	6	13	ALTO	207	5	ALTO	5	BAJO	10	ALTO	5	BAJO	38	MEDIO
PR33+000 AL PR34+000	3	5	BAJO	84	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR34+000 AL PR35+000	3	3	BAJO	42	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR35+000 AL PR36+000	1	3	BAJO	3	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	6	MUY BAJO
PR36+000 AL PR37+000	4	5	BAJO	42	2	ALTO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	13	BAJO
PR37+000 AL PR38+000	9	18	ALTO	170	2	ALTO	7	MEDIO	10	ALTO	5	BAJO	42	ALTO
PR38+000 AL PR39+000	1	3	BAJO	3	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	6	MUY BAJO
PR39+000 AL PR40+000	5	8	MEDIO	47	2	ALTO	3	BAJO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	17	BAJO
PR40+000 AL PR41+000	6	10	ALTO	50	2	ALTO	4	BAJO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	20	BAJO
PR41+000 AL PR42+000	5	5	BAJO	84	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR42+000 AL PR43+000	3	5	BAJO	84	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR44+000 AL PR45+000	4	3	BAJO	3	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	6	MUY BAJO
PR45+000 AL PR46+000	6	3	BAJO	39	2	ALTO	1	MUY BAJO	2	MUY BAJO	5	BAJO	13	BAJO
PR46+000 AL PR47+000	2	3	BAJO	3	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	6	MUY BAJO
PR47+000 AL PR48+000	4	5	BAJO	42	2	ALTO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	2	MUY BAJO	13	BAJO

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 10.** IP para la UF-6,2 de acuerdo con la metodología para la identificación, clasificación y estudio de los sectores de concentración de accidentes de tránsito

IDENTIFICACIÓN DE SECTORES CRÍTICOS														
UNIDAD FUNCIONAL 6-2														
ABSCISA	SGA	IP	VALORES PARA IS			VALORES PARA Ta		VALORES PARA Tav		VALORES PARA Tvat		NIVEL DE ACCIDENTALIDAD		
			IS	Cis	TIPO	Cta	TIPO	Ctav	TIPO	Cvat	TIPO	Tvat	TIPO	
PR08+000 AL PR09+000	3	6	MEDIO	68	2	ALTO	1	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR10+000 AL PR11+000	3	6	MEDIO	74	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	9	MUY BAJO
PR11+000 AL PR12+000	1	6	MEDIO	74	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	9	MUY BAJO
PR12+000 AL PR13+000	3	6	MEDIO	85	2	ALTO	1	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR13+000 AL PR14+000	2	6	MEDIO	91	2	ALTO	1	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR14+000 AL PR15+000	1	6	MEDIO	91	2	ALTO	1	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR15+000 AL PR16+000	4	11	ALTO	165	2	ALTO	2	MUY BAJO	5	BAJO	2	MUY BAJO	22	BAJO
PR16+000 AL PR17+000	3	6	MEDIO	91	2	ALTO	1	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	19	BAJO
PR17+000 AL PR18+000	1	6	MEDIO	74	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	9	MUY BAJO
PR18+000 AL PR19+000	3	11	ALTO	182	2	ALTO	2	MUY BAJO	10	ALTO	5	BAJO	30	MEDIO
PR19+000 AL PR20+000	7	28	ALTO	438	5	ALTO	5	BAJO	10	ALTO	5	BAJO	53	ALTO
PR21+000 AL PR22+000	3	11	ALTO	171	2	ALTO	2	MUY BAJO	10	ALTO	5	BAJO	30	MEDIO

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 11.** IP para la UF-6,3 de acuerdo con el método propuesto por los ingenieros Ary Bustamante y Sergio Carvajal

IDENTIFICACIÓN DE SECTORES CRÍTICOS														
UNIDAD FUNCIONAL 6-3														
ABSCISA	SGA	IP	VALORES PARA IS		VALORES PARA Ta		VALORES PARA Tav		VALORES PARA Tvat		NIVEL DE ACCIDENTALIDAD			
			Cis	TIPO	Cta	TIPO	Ctav	TIPO	Cvat	TIPO	Tvat	TIPO		
PR41+000 AL PR42+000	1	7	MEDIO	2	ALTO	1	MUY BAJO	5	BAJO	5	BAJO	20	BAJO	
PR42+000 AL PR43+000	1	7	MEDIO	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	10	MUY BAJO	
PR46+000 AL PR47+000	1	7	MEDIO	2	ALTO	1	MUY BAJO	0	NULO	0	NULO	10	MUY BAJO	

Fuente: *Elaboración propia*

MÉTODO ARY BUSTAMANTE Y SERGIO CARVAJAL	
UNIDAD FUNCIONAL	ABSCISA
	PR14+000 AL PR15+000
UF - 6,1	PR24+000 AL PR25+000
	PR37+000 AL PR38+000
UF - 6,2	PR19+000 AL PR20+000
UF - 6,3	PR41+000 AL PR42+000

Fuente: *Elaboración propia*



## 5.2 ESTIMACIÓN DE TCA MEDIANTE EL MÉTODO IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS – FONPREVIAL - INVIAS

Aplicando el método propuesto en el Manual de Identificación de Puntos Críticos por Accidentalidad en Carreteras (Instituto Nacional de Vías INVIAS y Fondo de Prevención Vial, 2001), se calcularon los indicadores de accidentalidad: Índice de Peligrosidad total de accidentes (Ipat), Índice de Peligrosidad para los accidentes con Víctimas (Ipav), Índice de Severidad (IS), Tasa de accidentes con víctimas (Tav), y la Tasa de Víctimas (Tv); para cada uno de los tramos de la Unidad Funcional de estudio.

Se preseleccionan como sectores de concentración de accidentes a los tramos en los cuales por lo menos uno de sus indicadores básicos igual o supera a la media más la desviación estándar de todos los datos, como mínimo en dos años del periodo analizado, aclarando que no es necesario que cumpla esta condición un mismo indicador para todos los años requeridos.

**Tabla 12.** IP para la UF-6,1 de acuerdo con el método propuesto por el Ingeniero Sergio Pabón adoptado por el Fondo de Prevención Vial.

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,1													
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS					INDICADORES ADICIONALES					
			Ipat	(xi-media) ^2	Ipav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2	
1	2017	PR10+000 AL PR11+000	1,13	1	1,13	0,28	2,27	27,24	1	1,81	1	0,28	
2	2017	PR11+000 AL PR12+000	3,4	1,61	2,27	0,37	5,67	3,31	3	0,43	2	0,22	
3	2017	PR12+000 AL PR13+000	4,54	5,8	4,54	8,29	27,22	389,31	5	7,06	4	6,11	
4	2017	PR13+000 AL PR14+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	1	1,81	1	0,28	
5	2017	PR14+000 AL PR15+000	4,54	5,8	2,27	0,37	6,8	0,47	2	0,12	2	0,22	
6	2017	PR15+000 AL PR16+000	4,54	5,8	3,4	3,02	26,08	345,62	4	2,74	3	2,17	
7	2017	PR16+000 AL PR17+000	5,67	12,52	5,67	16,07	29,48	483,6	7	21,68	5	12,05	
8	2017	PR17+000 AL PR18+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34	
9	2017	PR18+000 AL PR19+000	2,27	0,02	1,13	0,28	21,55	197,71	1	1,81	1	0,28	
10	2017	PR19+000 AL PR20+000	2,27	0,02	2,27	0,37	4,54	8,7	5	7,06	2	0,22	
11	2017	PR20+000 AL PR21+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34	
12	2017	PR21+000 AL PR22+000	2,27	0,02	2,27	0,37	40,82	1110,95	2	0,12	2	0,22	
13	2017	PR22+000 AL PR23+000	4,54	5,8	3,4	3,02	7,94	0,2	5	7,06	3	2,17	
14	2017	PR23+000 AL PR24+000	3,4	1,61	3,4	3,02	6,8	0,47	6	13,37	3	2,17	
15	2017	PR24+000 AL PR25+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34	
16	2017	PR25+000 AL PR26+000	2,27	0,02	2,27	0,37	4,54	8,7	4	2,74	2	0,22	
17	2017	PR26+000 AL PR27+000	2,27	0,02	2,27	0,37	4,54	8,7	3	0,43	2	0,22	
18	2017	PR27+000 AL PR28+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	3	0,43	1	0,28	
19	2017	PR28+000 AL PR29+000	2,27	0,02	2,27	0,37	4,54	8,7	2	0,12	2	0,22	

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,1												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
20	2017	PR29+000 AL PR30+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	1	1,81	1	0,28
21	2017	PR30+000 AL PR31+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	1	1,81	1	0,28
22	2017	PR31+000 AL PR32+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	1	1,81	1	0,28
23	2017	PR32+000 AL PR33+000	4,54	5,8	3,4	3,02	7,94	0,2	3	0,43	3	2,17
24	2017	PR33+000 AL PR34+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
25	2017	PR34+000 AL PR35+000	1,13	1	1,13	0,28	2,27	27,24	1	1,81	1	0,28
26	2017	PR35+000 AL PR36+000	2,27	0,02	2,27	0,37	4,54	8,7	4	2,74	2	0,22
27	2017	PR36+000 AL PR37+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	1	1,81	1	0,28
28	2017	PR37+000 AL PR38+000	1,13	1	1,13	0,28	20,41	166,95	1	1,81	1	0,28
29	2017	PR38+000 AL PR39+000	3,4	1,61	3,4	3,02	6,8	0,47	3	0,43	3	2,17
30	2017	PR39+000 AL PR40+000	2,27	0,02	1,13	0,28	3,4	16,72	1	1,81	1	0,28
31	2017	PR40+000 AL PR41+000	3,4	1,61	5,67	16,07	27,22	389,31	22	386,37	5	12,05
32	2017	PR41+000 AL PR42+000	3,4	1,61	2,27	0,37	5,67	3,31	2	0,12	2	0,22
33	2017	PR42+000 AL PR43+000	4,54	5,8	2,27	0,37	6,8	0,47	3	0,43	2	0,22
34	2017	PR43+000 AL PR44+000	4,54	5,8	3,4	3,02	7,94	0,2	4	2,74	3	2,17
35	2017	PR44+000 AL PR45+000	1,13	1	1,13	0,28	2,27	27,24	1	1,81	1	0,28
36	2017	PR45+000 AL PR46+000	1,13	1	1,13	0,28	2,27	27,24	1	1,81	1	0,28
37	2017	PR46+000 AL PR47+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
38	2017	PR47+000 AL PR48+000	3,4	1,61	2,27	0,37	41,96	1188,24	0	5,49	2	0,22
39	2017	PR48+000 AL PR49+000	1,13	1	0	2,76	1,13	40,44	1	1,81	0	2,34
40	2018	PR10+000 AL PR11+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	2	0,12	1	0,28
41	2018	PR11+000 AL PR12+000	3,37	1,53	3,37	2,92	44,95	1403,32	6	13,37	3	2,17
42	2018	PR12+000 AL PR13+000	2,25	0,01	2,25	0,35	4,5	8,93	3	0,43	2	0,22
43	2018	PR13+000 AL PR14+000	1,12	1,02	0	2,76	1,12	40,57	0	5,49	0	2,34
44	2018	PR14+000 AL PR15+000	3,37	1,53	3,37	2,92	29,22	472,23	27	607,94	3	2,17
45	2018	PR15+000 AL PR16+000	4,5	5,61	3,37	2,92	23,6	259,56	3	0,43	3	2,17
46	2018	PR16+000 AL PR17+000	2,25	0,01	1,12	0,29	3,37	16,97	2	0,12	1	0,28
47	2018	PR17+000 AL PR18+000	3,37	1,53	1,12	0,29	4,5	8,93	2	0,12	1	0,28
48	2018	PR18+000 AL PR19+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
49	2018	PR19+000 AL PR20+000	2,25	0,01	2,25	0,35	24,72	296,9	4	2,74	2	0,22
50	2018	PR20+000 AL PR21+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
51	2018	PR21+000 AL PR22+000	2,25	0,01	2,25	0,35	4,5	8,93	4	2,74	2	0,22
52	2018	PR22+000 AL PR23+000	2,25	0,01	1,12	0,29	25,85	337,12	4	2,74	1	0,28
<b>53</b>	<b>2018</b>	<b>PR23+000 AL PR24+000</b>	<b>10,11</b>	<b>63,66</b>	<b>8,99</b>	<b>53,71</b>	<b>55,06</b>	<b>2262,99</b>	<b>8</b>	<b>31,99</b>	<b>8</b>	<b>41,88</b>
54	2018	PR24+000 AL PR25+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	1	1,81	1	0,28
55	2018	PR25+000 AL PR26+000	3,37	1,53	3,37	2,92	24,72	296,9	3	0,43	3	2,17
56	2018	PR26+000 AL PR27+000	2,25	0,01	2,25	0,35	4,5	8,93	3	0,43	2	0,22
57	2018	PR27+000 AL PR28+000	1,12	1,02	0	2,76	1,12	40,57	0	5,49	0	2,34
58	2018	PR28+000 AL PR29+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,1												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
59	2018	PR29+000 AL PR30+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
60	2018	PR30+000 AL PR31+000	1,12	1,02	0	2,76	1,12	40,57	0	5,49	0	2,34
61	2018	PR31+000 AL PR32+000	2,25	0,01	2,25	0,35	4,5	8,93	2	0,12	2	0,22
62	2018	PR32+000 AL PR33+000	1,12	1,02	0	2,76	1,12	40,57	0	5,49	0	2,34
63	2018	PR33+000 AL PR34+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	3	0,43	1	0,28
64	2018	PR34+000 AL PR35+000	3,37	1,53	2,25	0,35	23,6	259,56	3	0,43	2	0,22
65	2018	PR35+000 AL PR36+000	2,25	0,01	1,12	0,29	3,37	16,97	1	1,81	1	0,28
66	2018	PR36+000 AL PR37+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	3	0,43	1	0,28
67	2018	PR37+000 AL PR38+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	1	1,81	1	0,28
68	2018	PR38+000 AL PR39+000	2,25	0,01	2,25	0,35	4,5	8,93	2	0,12	2	0,22
69	2018	PR39+000 AL PR40+000	4,5	5,61	1,12	0,29	23,6	259,56	1	1,81	1	0,28
70	2018	PR40+000 AL PR41+000	2,25	0,01	1,12	0,29	25,85	337,12	4	2,74	1	0,28
71	2018	PR41+000 AL PR42+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	1	1,81	1	0,28
72	2018	PR42+000 AL PR43+000	2,25	0,01	0	2,76	2,25	27,45	0	5,49	0	2,34
73	2018	PR43+000 AL PR44+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	1	1,81	1	0,28
74	2018	PR44+000 AL PR45+000	1,12	1,02	1,12	0,29	2,25	27,45	1	1,81	1	0,28
75	2018	PR45+000 AL PR46+000	2,25	0,01	2,25	0,35	26,97	379,51	4	2,74	2	0,22
76	2018	PR46+000 AL PR47+000	2,25	0,01	1,12	0,29	3,37	16,97	1	1,81	1	0,28
77	2018	PR47+000 AL PR48+000	1,12	1,02	0	2,76	1,12	40,57	0	5,49	0	2,34
78	2018	PR48+000 AL PR49+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
79	2019	PR10+000 AL PR11+000	2,2	0	2,2	0,29	24,16	277,92	2	0,12	2	0,22
80	2019	PR11+000 AL PR12+000	2,2	0	1,1	0,31	5,49	4	2	0,12	1	0,28
81	2019	PR12+000 AL PR13+000	2,2	0	2,2	0,29	4,39	9,6	2	0,12	2	0,22
82	2019	PR13+000 AL PR14+000	3,29	1,34	2,2	0,29	7,69	0,04	3	0,43	2	0,22
83	2019	PR14+000 AL PR15+000	4,39	5,1	4,39	7,45	28,55	443,56	4	2,74	4	6,11
84	2019	PR15+000 AL PR16+000	5,49	11,28	4,39	7,45	12,08	21,08	5	7,06	4	6,11
85	2019	PR16+000 AL PR17+000	4,39	5,1	1,1	0,31	12,08	21,08	4	2,74	1	0,28
86	2019	PR17+000 AL PR18+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
87	2019	PR18+000 AL PR19+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
88	2019	PR19+000 AL PR20+000	2,2	0	1,1	0,31	25,26	315,81	2	0,12	1	0,28
89	2019	PR20+000 AL PR21+000	2,2	0	2,2	0,29	4,39	9,6	2	0,12	2	0,22
90	2019	PR21+000 AL PR22+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
91	2019	PR22+000 AL PR23+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
92	2019	PR23+000 AL PR24+000	3,29	1,34	3,29	2,65	6,59	0,81	3	0,43	3	2,17
93	2019	PR24+000 AL PR25+000	6,59	19,88	6,59	24,29	32,94	647,75	6	13,37	6	20
94	2019	PR25+000 AL PR26+000	1,1	1,06	0	2,76	3,29	17,63	1	1,81	0	2,34
95	2019	PR26+000 AL PR27+000	1,1	1,06	1,1	0,31	21,96	209,41	1	1,81	1	0,28
96	2019	PR27+000 AL PR28+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
97	2019	PR28+000 AL PR29+000	4,39	5,1	4,39	7,45	28,55	443,56	4	2,74	4	6,11

## SECTORES CRÍTICOS - UF-6,1

No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
98	2019	PR29+000 AL PR30+000	3,29	1,34	3,29	2,65	6,59	0,81	3	0,43	3	2,17
99	2019	PR30+000 AL PR31+000	4,39	5,1	4,39	7,45	8,78	1,67	4	2,74	4	6,11
100	2019	PR31+000 AL PR32+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
101	2019	PR32+000 AL PR33+000	2,2	0	1,1	0,31	5,49	4	2	0,12	1	0,28
102	2019	PR33+000 AL PR34+000	2,2	0	1,1	0,31	5,49	4	2	0,12	1	0,28
103	2019	PR34+000 AL PR35+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
104	2019	PR35+000 AL PR36+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
105	2019	PR36+000 AL PR37+000	3,29	1,34	3,29	2,65	6,59	0,81	3	0,43	3	2,17
106	2019	PR37+000 AL PR38+000	3,29	1,34	3,29	2,65	6,59	0,81	3	0,43	3	2,17
107	2019	PR38+000 AL PR39+000	2,2	0	2,2	0,29	4,39	9,6	2	0,12	2	0,22
108	2019	PR39+000 AL PR40+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
109	2019	PR40+000 AL PR41+000	2,2	0	1,1	0,31	5,49	4	2	0,12	1	0,28
110	2019	PR41+000 AL PR42+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
111	2019	PR42+000 AL PR43+000	3,29	1,34	2,2	0,29	7,69	0,04	3	0,43	2	0,22
112	2019	PR43+000 AL PR44+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
113	2019	PR44+000 AL PR45+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
114	2019	PR45+000 AL PR46+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
115	2019	PR46+000 AL PR47+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
116	2019	PR47+000 AL PR48+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
117	2019	PR48+000 AL PR49+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
118	2020	PR10+000 AL PR11+000	4,48	5,52	4,48	7,95	5,98	2,28	6	13,37	3	2,17
119	2020	PR11+000 AL PR12+000	5,49	11,28	4,39	7,45	23,06	242,45	7	21,68	4	6,11
120	2020	PR12+000 AL PR13+000	2,2	0	2,2	0,29	4,39	9,6	4	2,74	2	0,22
121	2020	PR13+000 AL PR14+000	2,2	0	2,2	0,29	4,39	9,6	4	2,74	2	0,22
122	2020	PR14+000 AL PR15+000	5,49	11,28	5,49	14,66	19,77	150,82	5	7,06	5	12,05
123	2020	PR15+000 AL PR16+000	1,1	1,06	0	2,76	1,1	40,82	0	5,49	0	2,34
124	2020	PR16+000 AL PR17+000	3,29	1,34	2,2	0,29	23,06	242,45	3	0,43	2	0,22
125	2020	PR17+000 AL PR18+000	2,2	0	1,1	0,31	3,29	17,63	2	0,12	1	0,28
126	2020	PR18+000 AL PR19+000	2,2	0	2,2	0,29	0	56,09	2	0,12	2	0,22
127	2020	PR19+000 AL PR20+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
128	2020	PR20+000 AL PR21+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
129	2020	PR21+000 AL PR22+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	2	0,12	1	0,28
130	2020	PR22+000 AL PR23+000	1,1	1,06	1,1	0,31	0	56,09	1	1,81	1	0,28
131	2020	PR23+000 AL PR24+000	3,29	1,34	3,29	2,65	21,96	209,41	4	2,74	3	2,17
132	2020	PR24+000 AL PR25+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	2	0,12	1	0,28
133	2020	PR25+000 AL PR26+000	3,29	1,34	1,1	0,31	2,2	27,97	1	1,81	1	0,28
134	2020	PR26+000 AL PR27+000	2,2	0	2,2	0,29	0	56,09	2	0,12	2	0,22
135	2020	PR27+000 AL PR28+000	1,1	1,06	1,1	0,31	0	56,09	1	1,81	1	0,28
136	2020	PR28+000 AL PR29+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	4	2,74	1	0,28

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,1												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
137	2020	PR29+000 AL PR30+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
138	2020	PR30+000 AL PR31+000	1,1	1,06	1,1	0,31	0	56,09	1	1,81	1	0,28
139	2020	PR31+000 AL PR32+000	2,2	0	2,2	0,29	0	56,09	2	0,12	2	0,22
140	2020	PR32+000 AL PR33+000	1,1	1,06	1,1	0,31	2,2	27,97	2	0,12	1	0,28
141	2020	PR33+000 AL PR34+000	1,1	1,06	0	2,76	1,1	40,82	0	5,49	0	2,34
142	2020	PR34+000 AL PR35+000	2,2	0	2,2	0,29	2,2	27,97	3	0,43	2	0,22
143	2020	PR35+000 AL PR36+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
144	2020	PR36+000 AL PR37+000	2,2	0	2,2	0,29	21,96	209,41	3	0,43	2	0,22
145	2020	PR37+000 AL PR38+000	2,2	0	2,2	0,29	19,77	150,82	2	0,12	2	0,22
146	2020	PR38+000 AL PR39+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
147	2020	PR39+000 AL PR40+000	2,2	0	2,2	0,29	2,2	27,97	5	7,06	2	0,22
148	2020	PR40+000 AL PR41+000	2,2	0	1,1	0,31	3,29	17,63	2	0,12	1	0,28
149	2020	PR41+000 AL PR42+000	3,29	1,34	2,2	0,29	23,06	242,45	4	2,74	2	0,22
150	2020	PR42+000 AL PR43+000	1,1	1,06	0	2,76	1,1	40,82	0	5,49	0	2,34
151	2020	PR43+000 AL PR44+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
152	2020	PR44+000 AL PR45+000	3,29	1,34	2,2	0,29	3,29	17,63	3	0,43	2	0,22
153	2020	PR45+000 AL PR46+000	5,49	11,28	4,39	7,45	3,29	17,63	5	7,06	4	6,11
154	2020	PR46+000 AL PR47+000	1,1	1,06	1,1	0,31	0	56,09	1	1,81	1	0,28
155	2020	PR47+000 AL PR48+000	2,2	0	1,1	0,31	3,29	17,63	2	0,12	1	0,28
156	2020	PR48+000 AL PR49+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
157	2021	PR10+000 AL PR11+000	2,9	0,59	0	2,76	2,9	21,06	2	0,12	0	2,34
158	2021	PR11+000 AL PR12+000	0,97	1,35	0,97	0,48	17,41	98,42	2	0,12	1	0,28
159	2021	PR12+000 AL PR13+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
160	2021	PR13+000 AL PR14+000	2,9	0,59	2,9	1,53	21,28	190,19	9	44,31	3	2,17
161	2021	PR14+000 AL PR15+000	6,77	21,52	6,77	26,1	38,7	974,12	1	1,81	7	29,94
162	2021	PR15+000 AL PR16+000	0,97	1,35	0,97	0,48	0	56,09	1	1,81	1	0,28
163	2021	PR16+000 AL PR17+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
164	2021	PR17+000 AL PR18+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
165	2021	PR18+000 AL PR19+000	2,9	0,59	0,97	0,48	1,93	30,9	1	1,81	1	0,28
166	2021	PR19+000 AL PR20+000	1,93	0,04	1,93	0,07	0	56,09	2	0,12	2	0,22
167	2021	PR20+000 AL PR21+000	0,97	1,35	0,97	0,48	1,93	30,9	2	0,12	1	0,28
168	2021	PR21+000 AL PR22+000	1,93	0,04	1,93	0,07	1,93	30,9	3	0,43	2	0,22
169	2021	PR22+000 AL PR23+000	1,93	0,04	1,93	0,07	1,93	30,9	3	0,43	2	0,22
170	2021	PR23+000 AL PR24+000	0,97	1,35	0	2,76	0,97	42,5	0	5,49	0	2,34
171	2021	PR24+000 AL PR25+000	6,77	21,52	6,77	26,1	21,28	190,19	12	93,25	7	29,94
172	2021	PR25+000 AL PR26+000	2,9	0,59	1,93	0,07	0,97	42,5	2	0,12	2	0,22
173	2021	PR26+000 AL PR27+000	4,84	7,34	4,84	10,11	21,28	190,19	8	31,99	5	12,05
174	2021	PR27+000 AL PR28+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
175	2021	PR28+000 AL PR29+000	0,97	1,35	0,97	0,48	17,41	98,42	1	1,81	1	0,28

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,1												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
176	2021	PR29+000 AL PR30+000	1,93	0,04	0,97	0,48	18,38	118,61	2	0,12	1	0,28
177	2021	PR30+000 AL PR31+000	4,84	7,34	4,84	10,11	7,74	0,06	12	93,25	5	12,05
178	2021	PR31+000 AL PR32+000	0,97	1,35	0,97	0,48	0	56,09	1	1,81	1	0,28
179	2021	PR32+000 AL PR33+000	4,84	7,34	4,84	10,11	1,93	30,9	6	13,37	5	12,05
180	2021	PR33+000 AL PR34+000	1,93	0,04	1,93	0,07	1,93	30,9	3	0,43	2	0,22
181	2021	PR34+000 AL PR35+000	0,97	1,35	0,97	0,48	0	56,09	1	1,81	1	0,28
182	2021	PR35+000 AL PR36+000	0,97	1,35	0	2,76	0,97	42,5	0	5,49	0	2,34
183	2021	PR36+000 AL PR37+000	1,93	0,04	0,97	0,48	0,97	42,5	1	1,81	1	0,28
184	2021	PR37+000 AL PR38+000	6,77	21,52	3,87	4,88	22,25	217,88	6	13,37	4	6,11
185	2021	PR38+000 AL PR39+000	0,97	1,35	0	2,76	0,97	42,5	0	5,49	0	2,34
186	2021	PR39+000 AL PR40+000	2,9	0,59	0,97	0,48	1,93	30,9	1	1,81	1	0,28
187	2021	PR40+000 AL PR41+000	3,87	3,02	0,97	0,48	2,9	21,06	1	1,81	1	0,28
188	2021	PR41+000 AL PR42+000	1,93	0,04	1,93	0,07	1,93	30,9	3	0,43	2	0,22
189	2021	PR42+000 AL PR43+000	1,93	0,04	1,93	0,07	0	56,09	2	0,12	2	0,22
190	2021	PR43+000 AL PR44+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
191	2021	PR44+000 AL PR45+000	0,97	1,35	0	2,76	0,97	42,5	0	5,49	0	2,34
192	2021	PR45+000 AL PR46+000	0,97	1,35	0,97	0,48	1,93	30,9	3	0,43	1	0,28
193	2021	PR46+000 AL PR47+000	0,97	1,35	0	2,76	0,97	42,5	0	5,49	0	2,34
194	2021	PR47+000 AL PR48+000	1,93	0,04	0,97	0,48	2,9	21,06	2	0,12	1	0,28
195	2021	PR48+000 AL PR49+000	0	4,54	0	2,76	0	56,09	0	5,49	0	2,34
			2,13	5,72	1,66	5,4	7,49	246,36	2,34	52,099	1,53	4,85
			7,85		7,06		253,85		54,44		6,38	

	Media
	Desviación Estándar
	Media + Desviación Estándar
	Valor de un indicador básico para un sector y un año que supera a la media más la desviación estándar

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 13.** IP para la UF-6,2 de acuerdo con el método propuesto por el Ingeniero Sergio Pabón adoptado por el Fondo de Prevención Vial.

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,2												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
1	2017	PR5+000 AL PR6+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
2	2017	PR6+000 AL PR7+000	2,27	1,24	1,13	0,03	21,55	323,57	1	0,26	1	0,02
3	2017	PR7+000 AL PR8+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
4	2017	PR8+000 AL PR9+000	1,13	0	1,13	0,03	2,27	1,67	2	0,24	1	0,02
5	2017	PR9+000 AL PR10+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
6	2017	PR10+000 AL PR11+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
7	2017	PR11+000 AL PR12+000	1,13	0	1,13	0,03	0	12,69	1	0,26	1	0,02

## SECTORES CRÍTICOS - UF-6,2

No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
8	2017	PR12+000 AL PR13+000	1,13	0	1,13	0,03	0	12,69	1	0,26	1	0,02
9	2017	PR13+000 AL PR14+000	1,13	0	1,13	0,03	2,27	1,67	2	0,24	1	0,02
10	2017	PR14+000 AL PR15+000	1,13	0	1,13	0,03	2,27	1,67	2	0,24	1	0,02
11	2017	PR15+000 AL PR16+000	3,4	5,04	2,27	1,71	5,67	4,44	4	6,22	2	1,27
12	2017	PR16+000 AL PR17+000	2,27	1,24	1,13	0,03	23,81	409,98	4	6,22	1	0,02
13	2017	PR17+000 AL PR18+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
14	2017	PR18+000 AL PR19+000	3,4	5,04	3,4	5,94	4,54	0,96	5	12,21	3	4,52
15	2017	PR19+000 AL PR20+000	1,13	0	1,13	0,03	0	12,69	1	0,26	1	0,02
16	2017	PR20+000 AL PR21+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
17	2017	PR21+000 AL PR22+000	2,27	1,24	2,27	1,71	4,54	0,96	8	42,18	2	1,27
18	2017	PR22+000 AL PR23+000	1,13	0	1,13	0,03	2,27	1,67	2	0,24	1	0,02
19	2017	PR23+000 AL PR24+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
20	2018	PR5+000 AL PR6+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
21	2018	PR6+000 AL PR7+000	2,25	1,2	2,25	1,65	2,25	1,72	3	2,23	2	1,27
22	2018	PR7+000 AL PR8+000	1,12	0	0	0,93	1,12	5,96	0	2,27	0	0,76
23	2018	PR8+000 AL PR9+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
24	2018	PR9+000 AL PR10+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
25	2018	PR10+000 AL PR11+000	4,5	11,19	2,25	1,65	22,48	357,89	2	0,24	2	1,27
26	2018	PR11+000 AL PR12+000	2,25	1,2	2,25	1,65	42,7	1531,78	4	6,22	2	1,27
27	2018	PR12+000 AL PR13+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
28	2018	PR13+000 AL PR14+000	1,12	0	1,12	0,02	20,23	277,82	1	0,26	1	0,02
29	2018	PR14+000 AL PR15+000	1,12	0	1,12	0,02	0	12,69	3	2,23	1	0,02
30	2018	PR15+000 AL PR16+000	1,12	0	1,12	0,02	0	12,69	1	0,26	1	0,02
31	2018	PR16+000 AL PR17+000	1,12	0	1,12	0,02	2,25	1,72	2	0,24	1	0,02
32	2018	PR17+000 AL PR18+000	2,25	1,2	1,12	0,02	3,37	0,04	2	0,24	1	0,02
33	2018	PR18+000 AL PR19+000	6,74	31,19	6,74	33,36	0	12,69	6	20,2	6	26,28
34	2018	PR19+000 AL PR20+000	4,5	11,19	3,37	5,79	3,37	0,04	4	6,22	3	4,52
35	2018	PR20+000 AL PR21+000	3,37	4,91	3,37	5,79	22,48	357,89	5	12,21	3	4,52
36	2018	PR21+000 AL PR22+000	1,12	0	0	0,93	1,12	5,96	0	2,27	0	0,76
37	2018	PR22+000 AL PR23+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
38	2018	PR23+000 AL PR24+000	1,12	0	1,12	0,02	0	12,69	1	0,26	1	0,02
39	2019	PR5+000 AL PR6+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
40	2019	PR6+000 AL PR7+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
41	2019	PR7+000 AL PR8+000	1,1	0	0	0,93	3,29	0,07	0	2,27	0	0,76
42	2019	PR8+000 AL PR9+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
43	2019	PR9+000 AL PR10+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
44	2019	PR10+000 AL PR11+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
45	2019	PR11+000 AL PR12+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	2	0,24	2	1,27
46	2019	PR12+000 AL PR13+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
47	2019	PR13+000 AL PR14+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
48	2019	PR14+000 AL PR15+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	2	0,24	1	0,02
49	2019	PR15+000 AL PR16+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	4	6,22	1	0,02
50	2019	PR16+000 AL PR17+000	3,29	4,56	3,29	5,41	6,59	9,17	9	56,17	3	4,52
51	2019	PR17+000 AL PR18+000	3,29	4,56	2,2	1,53	7,69	17,04	4	6,22	2	1,27
52	2019	PR18+000 AL PR19+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
<b>53</b>	<b>2019</b>	<b>PR19+000 AL PR20+000</b>	<b>0</b>	<b>1,33</b>	<b>0</b>	<b>0,93</b>	<b>0</b>	<b>12,69</b>	<b>0</b>	<b>2,27</b>	<b>0</b>	<b>0,76</b>
54	2019	PR20+000 AL PR21+000	4,39	10,46	4,39	11,74	8,78	27,23	8	42,18	4	9,77
55	2019	PR21+000 AL PR22+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	2	0,24	1	0,02
56	2019	PR22+000 AL PR23+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
57	2019	PR23+000 AL PR24+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
58	2020	PR5+000 AL PR6+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
59	2020	PR6+000 AL PR7+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
60	2020	PR7+000 AL PR8+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	2	0,24	1	0,02
61	2020	PR8+000 AL PR9+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	0	2,27	2	1,27
62	2020	PR9+000 AL PR10+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	2	0,24	2	1,27
63	2020	PR10+000 AL PR11+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	1	0,26	2	1,27
64	2020	PR11+000 AL PR12+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
65	2020	PR12+000 AL PR13+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	3	2,23	2	1,27
66	2020	PR13+000 AL PR14+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
67	2020	PR14+000 AL PR15+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
68	2020	PR15+000 AL PR16+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	2	0,24	2	1,27
69	2020	PR16+000 AL PR17+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	2	0,24	2	1,27
70	2020	PR17+000 AL PR18+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
71	2020	PR18+000 AL PR19+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
72	2020	PR19+000 AL PR20+000	2,2	1,09	2,2	1,53	4,39	0,69	2	0,24	2	1,27
73	2020	PR20+000 AL PR21+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	1	0,26	1	0,02
74	2020	PR21+000 AL PR22+000	1,1	0	1,1	0,02	2,2	1,86	0	2,27	1	0,02

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,2												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			Ipat	(xi-media) ^2	Ipav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
75	2020	PR22+000 AL PR23+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
76	2020	PR23+000 AL PR24+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
77	2021	PR5+000 AL PR6+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
78	2021	PR6+000 AL PR7+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
79	2021	PR7+000 AL PR8+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
80	2021	PR8+000 AL PR9+000	0,97	0,03	0,97	0	19,35	249,26	1	0,26	1	0,02
81	2021	PR9+000 AL PR10+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
82	2021	PR10+000 AL PR11+000	0,97	0,03	0	0,93	2,9	0,44	0	2,27	0	0,76
83	2021	PR11+000 AL PR12+000	0,97	0,03	0	0,93	2,9	0,44	0	2,27	0	0,76
84	2021	PR12+000 AL PR13+000	0,97	0,03	0,97	0	1,93	2,66	3	2,23	1	0,02
85	2021	PR13+000 AL PR14+000	0,97	0,03	0,97	0	1,93	2,66	1	0,26	1	0,02
86	2021	PR14+000 AL PR15+000	0,97	0,03	0,97	0	1,93	2,66	4	6,22	1	0,02
87	2021	PR15+000 AL PR16+000	0,97	0,03	0,97	0	3,87	0,09	1	0,26	1	0,02
88	2021	PR16+000 AL PR17+000	0,97	0,03	0,97	0	1,93	2,66	3	2,23	1	0,02
89	2021	PR17+000 AL PR18+000	0,97	0,03	0	0,93	2,9	0,44	0	2,27	0	0,76
90	2021	PR18+000 AL PR19+000	0,97	0,03	0	0,93	4,84	1,63	2	0,24	0	0,76
91	2021	PR19+000 AL PR20+000	0,97	0,03	0	0,93	10,64	50,1	5	12,21	0	0,76
92	2021	PR20+000 AL PR21+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
93	2021	PR21+000 AL PR22+000	0,97	0,03	0	0,93	4,84	1,63	4	6,22	0	0,76
94	2021	PR22+000 AL PR23+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
95	2021	PR23+000 AL PR24+000	0	1,33	0	0,93	0	12,69	0	2,27	0	0,76
			<b>1,16</b>	<b>3,71</b>	<b>0,96</b>	<b>3,69</b>	<b>3,56</b>	<b>173,82</b>	<b>1,51</b>	<b>8,48</b>	<b>0,87</b>	<b>2,92</b>
			<b>4,86</b>		<b>4,65</b>		<b>177,38</b>		<b>9,98</b>		<b>3,79</b>	

<span style="background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Media
<span style="background-color: #FFFF00; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Desviación Estándar
<span style="background-color: #FFD700; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Media + Desviación Estándar
<span style="background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Valor de un indicador básico para un sector y un año que supera a la media más la desviación estándar

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 14. IP para la UF-6,3 de acuerdo con el método propuesto por el Ingeniero Sergio Pabón adoptado por el Fondo de Prevención Vial.

SECTORES CRÍTICOS - UF-6,3												
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES			
			Ipat	(xi-media) ^2	Ipav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2
1	2017	PR35+000 AL PR36+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
2	2017	PR36+000 AL PR37+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
3	2017	PR37+000 AL PR38+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
4	2017	PR38+000 AL PR39+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
5	2017	PR39+000 AL PR40+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
6	2017	PR40+000 AL PR41+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
7	2017	PR41+000 AL PR42+000	2,27	3,79	2,27	4	26,08	635,9	2	2,84	2	3,15
8	2017	PR42+000 AL PR43+000	3,4	9,46	3,4	9,8	6,8	35,25	3	7,21	3	7,7
9	2017	PR43+000 AL PR44+000	2,27	3,79	2,27	4	4,54	13,52	4	13,59	2	3,15
10	2017	PR44+000 AL PR45+000	3,4	9,46	3,4	9,8	6,8	35,25	4	13,59	3	7,7
11	2017	PR45+000 AL PR46+000	2,27	3,79	1,13	0,74	5,67	23,11	4	13,59	1	0,6
12	2017	PR46+000 AL PR47+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
13	2017	PR47+000 AL PR48+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
14	2017	PR48+000 AL PR49+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
15	2017	PR49+000 AL PR50+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
16	2018	PR35+000 AL PR36+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
17	2018	PR36+000 AL PR37+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
18	2018	PR37+000 AL PR38+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
19	2018	PR38+000 AL PR39+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
20	2018	PR39+000 AL PR40+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
21	2018	PR40+000 AL PR41+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
22	2018	PR41+000 AL PR42+000	1,13	0,65	1,13	0,74	2,27	1,98	1	0,47	1	0,6
23	2018	PR42+000 AL PR43+000	1,13	0,65	1,13	0,74	2,27	1,98	1	0,47	1	0,6
24	2018	PR43+000 AL PR44+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05
25	2018	PR44+000 AL PR45+000	1,13	0,65	1,13	0,74	2,27	1,98	0	0,1	1	0,6
26	2018	PR45+000 AL PR46+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05



SECTORES CRÍTICOS - UF-6,3													
No.	AÑO	PR	INDICADORES BÁSICOS						INDICADORES ADICIONALES				
			lpat	(xi-media) ^2	lpav	(xi-media) ^2	IS	(xi-media) ^2	Tv	(xi-media) ^2	Tav	(xi-media) ^2	
27	2018	PR46+000 AL PR47+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
28	2018	PR47+000 AL PR48+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
29	2018	PR48+000 AL PR49+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
30	2018	PR49+000 AL PR50+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
31	2019	PR35+000 AL PR36+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
32	2019	PR36+000 AL PR37+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
33	2019	PR37+000 AL PR38+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
34	2019	PR38+000 AL PR39+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
35	2019	PR39+000 AL PR40+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
36	2019	PR40+000 AL PR41+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
37	2019	PR41+000 AL PR42+000	1,13	0,65	1,13	0,74	2,27	1,98	1	0,47	1	0,6	
38	2019	PR42+000 AL PR43+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	1	0,6	
39	2019	PR43+000 AL PR44+000	2,27	3,79	2,27	4	4,54	13,52	2	2,84	0	0,05	
40	2019	PR44+000 AL PR45+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	1	0,6	
41	2019	PR45+000 AL PR46+000	1,13	0,65	1,13	0,74	0	0,74	1	0,47	0	0,05	
42	2019	PR46+000 AL PR47+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
43	2019	PR47+000 AL PR48+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
44	2019	PR48+000 AL PR49+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
45	2019	PR49+000 AL PR50+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
46	2020	PR35+000 AL PR36+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
47	2020	PR36+000 AL PR37+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
48	2020	PR37+000 AL PR38+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
49	2020	PR38+000 AL PR39+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
50	2020	PR39+000 AL PR40+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
51	2020	PR40+000 AL PR41+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
52	2020	PR41+000 AL PR42+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
53	2020	PR42+000 AL PR43+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
54	2020	PR43+000 AL PR44+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
55	2020	PR44+000 AL PR45+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
56	2020	PR45+000 AL PR46+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
57	2020	PR46+000 AL PR47+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
58	2020	PR47+000 AL PR48+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
59	2020	PR48+000 AL PR49+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
60	2020	PR49+000 AL PR50+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
61	2021	PR35+000 AL PR36+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
62	2021	PR36+000 AL PR37+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
63	2021	PR37+000 AL PR38+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
64	2021	PR38+000 AL PR39+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
65	2021	PR39+000 AL PR40+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
66	2021	PR40+000 AL PR41+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
67	2021	PR41+000 AL PR42+000	1,13	0,65	1,13	0,74	3,4	6,44	1	0,47	1	0,6	
68	2021	PR42+000 AL PR43+000	1,13	0,65	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
69	2021	PR43+000 AL PR44+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
70	2021	PR44+000 AL PR45+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
71	2021	PR45+000 AL PR46+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
72	2021	PR46+000 AL PR47+000	1,13	0,65	0	0,07	1,13	0,07	0	0,1	0	0,05	
73	2021	PR47+000 AL PR48+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
74	2021	PR48+000 AL PR49+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
75	2021	PR49+000 AL PR50+000	0	0,1	0	0,07	0	0,74	0	0,1	0	0,05	
			0,32	1,7	0,27	1,73	0,86	73,42	0,31	2,78	0,23	1,32	
			2,02		2		74,29		3,09		1,55		

Media
Desviación Estándar
Media + Desviación Estándar
Valor de un indicador básico para un sector y un año que supera a la media más la desviación estándar

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 15.** TCA de acuerdo con el método propuesto por el Ingeniero Sergio Pabón adoptado por el Fondo de Prevención Vial

UNIDAD FUNCIONAL	ABSCISA
UF - 6,1	PR14-000 – PR15+000
	PR23-000 – PR24+000
UF – 6,2	PR18+000 – PR19+000
	PR20+000 – PR21+000
UF – 6,3	PR41+000 - PR42+000
	PR42+000 - PR43+000
	PR43+000 - PR44+000
	PR44+000 - PR45+000
	PR45+000 - PR46+000
	PR41+000 - PR42+000

Fuente: *Elaboración propia*

### 5.3 ESTIMACIÓN DE TCA MÉTODO IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS – FONPREVIAL – INVIAS, MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE LA VENTANA DESLIZANTE

Una vez identificados los sectores donde se presentan de manera recurrente los siniestros viales con víctimas fatales, se procede a realiza el análisis de los tramos de concentración de accidentes mediante el procedimiento de la ventana deslizante. De acuerdo con las condiciones del sector de análisis se deben analizar los tres (3) tramos que componen la Unidad Funcional.

**Tabla 16.** Descripción de la UF-6 por subsectores

UNIDAD FUNCIONAL	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL
UF-6,1	PR10+764	PR48+200
UF-6,2	PR5+847	PR23+309
UF-6,3	PR35+000	PR49+300

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo con los registros presentados con víctimas fatales, como se observa en las gráficas (UF-6,1), 37 (UF-6,2) y (UF-6,3); los sectores con mayor accidentalidad son:

**Tabla 17. Siniestros viales por año según el subsector**

UNIDAD FUNCIONAL	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL DE VICTIMAS
UF-6,1	12	12	15	6	7	9	61
UF-6,2	2	2	5	0	0	1	10
UF-6,3	0	1	0	0	0	0	1

Fuente: *Elaboración propia*

Los registros de tránsito promedio diario (TPD) fueron tomados durante los años de análisis, para la Unidad Funcional 6, que son necesarios para el cálculo del Índice de Peligrosidad (IP). Los registros fueron tomados de acuerdo con el conteo en la base denominada Mata de Caña (peaje), los registros son los siguientes:

**Tabla 18. TPD de acuerdo con los registros de la base MATA DE CAÑA**

TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD) 2016 - 2021											
ESTACION	TPD	CONCEPTO	CAT I	CAT II	CAT III	CAT IV	CAT V	CAT VB	CAT VI	CAT VII	TOTAL
MATA DE CAÑA	365 Días	AÑO 2016	1.994	441	121	54	41	3	18	50	2.722
	365 Días	AÑO 2017	1.815	356	94	81	22	4	10	34	2.416
	365 Días	AÑO 2018	1.820	357	90	75	20	8	17	51	2.438
	365 Días	AÑO 2019	1.890	361	95	70	26	3	11	39	2.495
	366 Días	AÑO 2020	1.355	139	122	111	33	7	17	50	1.834
	365 Días	AÑO 2021	2.120	289	130	119	49	8	27	91	2.832

Fuente: *Elaboración propia*

El cálculo de índice de Peligrosidad (IP) expresado mediante la ecuación:

$$IP = \frac{\text{número de accidentes con víctimas}}{TPD * 365 * L} * 10^6 \quad (14)$$

Se calcula para cada uno de los tramos el índice de peligrosidad:

**Tabla 19. Cálculo del índice de peligrosidad**

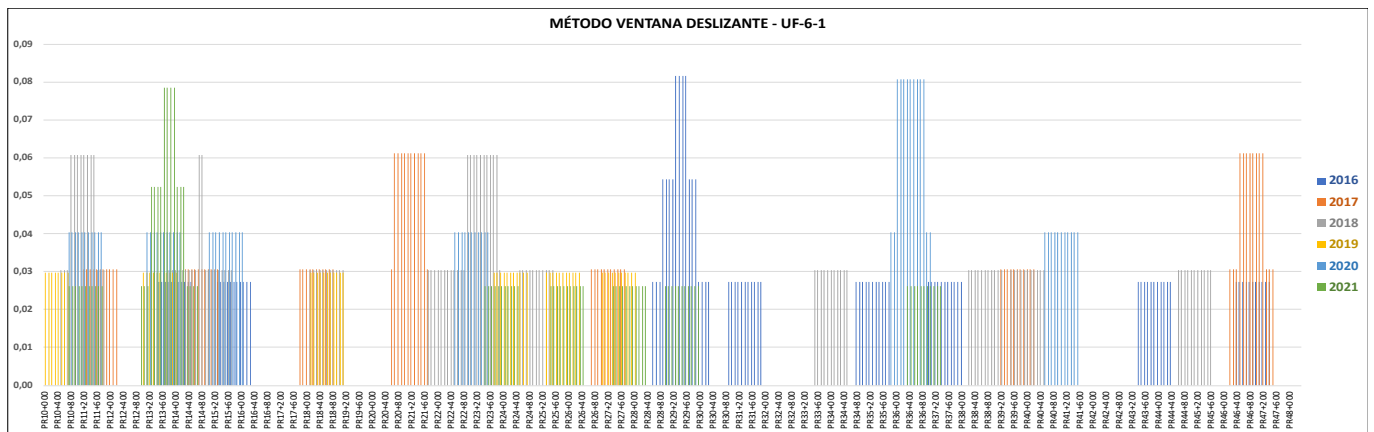
Año	No. Accidentes con víctimas fatales	IP 2016 al 2021 General				IP
		TPD	Periodo (días)	Longitud del Tramo	Exponente	
2016	12	2722	365	68	6	0,18
2017	12	2416	365	68		0,20
2018	15	2438	365	68		0,25
2019	6	2495	365	68		0,10
2020	7	1834	365	68		0,15
2021	9	2832	365	68		0,13

Fuente: *Elaboración propia*

El análisis por índice de peligrosidad a razón de la accidentalidad con víctimas por cada una de las Unidades Funcionales, se calculan los TCA por los procedimientos de “La ventana deslizante” y “Método aplicado por FONPREVIAL”, como se observa a continuación:

A continuación, se presentan el análisis y determinación de los TCA una vez aplicado el método de identificación de la ventana deslizante.

**Ilustración 21. Tramos de Concentración de Accidentes Negros en la UF-6,1**



Fuente: *Elaboración propia*

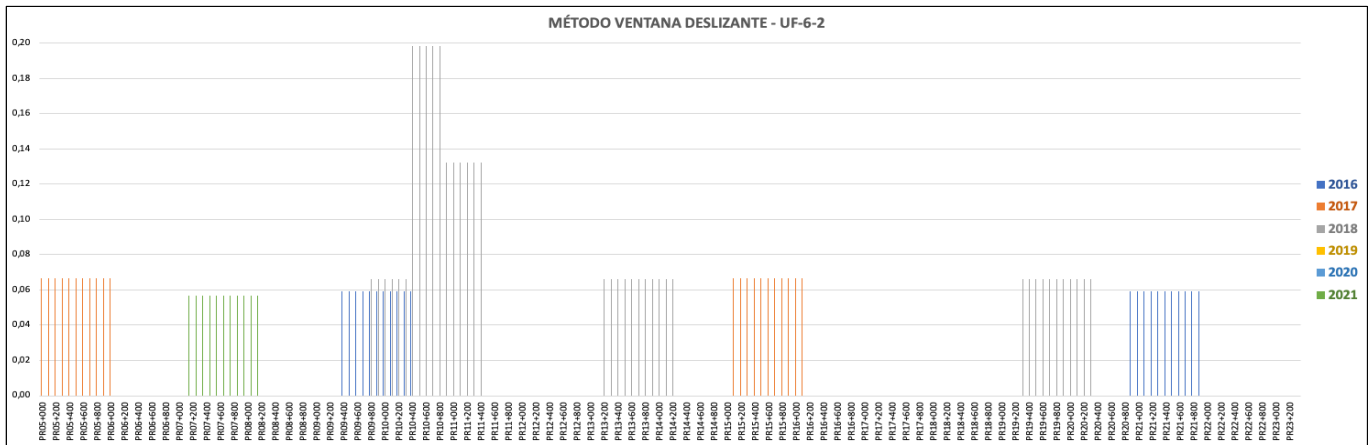
Los TCA para la UF-6,1 se encuentran en:

**Tabla 20.** IP para la UF-6,1 de acuerdo con el procedimiento de la ventana deslizante

ABSCISA	ÍNDICE DE PELIGROSIDAD (IP) EN LA UF-6,1					
	AÑO					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PR10-000 – PR11+700				0,03		
PR10+800 – PR12+500			0,06			
PR13+000 – PR15+000				0,03		
PR13+200 – PR15+200						0,08
PR14+700 – PR15+800			0,06			
PR18+100 – PR20+100			0,03			
PR20+700 – PR22+600		0,06				
PR22+900 – PR24+800			0,06			
PR23+700 – PR25+700				0,03		
PR25+300 – PR27+300				0,03		
PR27+000 – PR29+000				0,03		
PR28+900 – PR30+900	0,05					
PR36+000 – PR37+800					0,08	
PR46+500 – PR48+200		0,06				

Fuente: *Elaboración propia*

**Ilustración 22.** Tramos de Concentración de Accidentes en la UF-6,2



Fuente: *Elaboración propia*

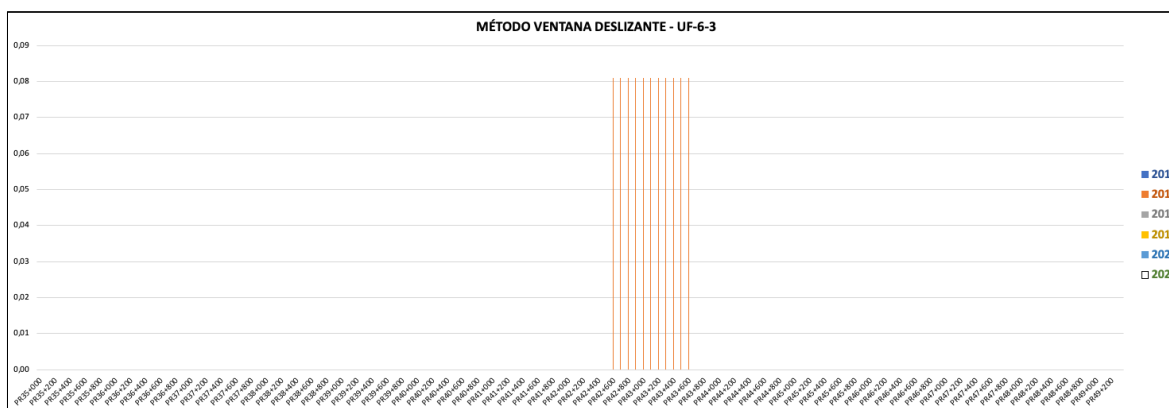
Los TCA negros para la UF-6,2 se encuentran en:

**Tabla 21.** IP para la UF-6,2 de acuerdo con el procedimiento de la ventana deslizante

ABSCISA	ÍNDICE DE PELIGROSIDAD (IP) EN LA UF-6,2					
	AÑO					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PR7+100 – PR9+100						0,06
PR9+400 – PR11+400	0,06					
PR10+400 – PR12+400			0,2			
PR16+100 – PR17+100		6,67				
PR20+900 – PR22+900	0,06					

Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 23.** Tramos de Concentración de Accidentes en la UF-6,3



Fuente: Elaboración propia

Los TCA para la UF-6,3 se encuentran en:

**Tabla 22.** IP para la UF-6,3 de acuerdo con el procedimiento de la ventana deslizante

ABSCISA	ÍNDICE DE PELIGROSIDAD (IP) EN LA UF-6,3					
	AÑO					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PR42+600 – PR44+600		0,08				0,06

Fuente: Elaboración propia

En resumen, los TCA calculados mediante el procedimiento de la ventana deslizante son los siguientes:

**Tabla 23.** TCA de acuerdo con el procedimiento de la ventana deslizante

<b>UNIDAD FUNCIONAL</b>	<b>ABSCISA</b>
<b>UF - 6,1</b>	PR10-000 – PR11+700
	PR11+800 – PR12+500
	PR13+000 – PR15+000
	PR13+200 – PR15+200
	PR14+700 – PR15+800
	PR18+100 – PR20+100
	PR20+700 – PR22+600
	PR22+900 – PR24+800
	PR23+700 – PR25+700
	PR25+300 – PR27+300
	PR27+000 – PR29+000
	PR28+900 – PR30+900
	PR36+000 – PR37+800
PR46+500 – PR48+200	
<b>UF - 6,2</b>	PR7+100 – PR9+100
	PR9+400 – PR11+400
	PR10+400 – PR12+400
	PR16+100 – PR17+100
	PR20+900 – PR22+900
<b>UF - 6,3</b>	PR42+600 – PR44+600

Fuente: *Elaboración propia*

#### 5.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE TCA

De acuerdo con los análisis de los métodos descritos anteriormente para la identificación de los tramos de concentración de accidentes (TCA), a continuación, se relaciona la tabla de resumen de los sitios identificados:

**Tabla 24.** Comparación de TCA mediante los procedimientos de la ventana deslizante y el método de Sergio Pabón

MÉTODO FONPREVIAL – INVIAS		PROCEDIMIENTO DGPT ESPAÑA, VENTANA DESLIZANTE		MÉTODO IDENTIFICACIÓN Y ESTUDIO DE SECTORES DE CONCENTRACIÓN	
UNIDAD FUNCIONAL	ABSCISA	UNIDAD FUNCIONAL	ABSCISA	UNIDAD FUNCIONAL	ABSCISA
UF - 6,1	PR14+000 – PR15+000		PR10+000 – PR11+700		PR14+000 AL PR15+000
	PR23+000 – PR24+000		PR10+800 – PR12+500	UF - 6,1	PR24+000 AL PR25+000
UF – 6,2	PR18+000 – PR19+000		PR13+000 – PR15+000		PR37+000 AL PR38+000
	PR20+000 – PR21+000		PR13+200 – PR15+200	UF - 6,2	PR19+000 AL PR20+000
UF – 6,3	PR41+000 - PR42+000		PR14+700 – PR15+800	UF - 6,3	PR41+000 AL PR42+000
	PR42+000 - PR43+000		PR18+100 – PR20+100		
	PR43+000 - PR44+000	UF - 6,1	PR20+700 – PR22+600		
	PR44+000 - PR45+000		PR22+900 – PR24+800		
	PR45+000 - PR46+000		PR23+700 – PR25+700		
	PR41+000 - PR42+000		PR25+300 – PR27+300		
			PR27+000 – PR29+000		
		PR28+900 – PR30+900			
		PR36+000 – PR37+800			
		PR46+500 – PR48+200			
		PR7+100 – PR9+100			
		PR9+400 – PR11+400			
		UF - 6,2	PR10+400 – PR12+400		
			PR16+100 – PR17+100		
			PR20+900 – PR22+900		
		UF – 6,3	PR42+600 – PR44+600		

Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo con la metodología utilizada para la estimación de tramos de concentración de accidentes (TCA), que corresponden al método propuesto por el Ingeniero Sergio Pabón para el Fondo de Prevención Vial (FONPREVIAL), el método propuesto por los Ingenieros Ary Bustamante y Mauricio Carvajal y el método de la determinación de TCA mediante el análisis de la ventana deslizante; se tiene:



- Los métodos de estimación de tramos de concentración de accidentes – TCA han sido desarrollados con el fin de estudiar las variables que inciden en la siniestralidad de un tramo de carretera, analizar las causas y determinar una idea de cómo reducir el impacto negativo que generan los accidentes viales.
- La estimación de los TCA en cada uno de los métodos propone el análisis de los registros de siniestralidad ocurridos en el corredor vial de interés, como mínimo de tres (3) años consecutivos, donde se refleje la cantidad de accidentes en un sector determinado de la carretera, el tipo de accidente discriminado en leve (solo vehículos), medio (con heridos) y grave (heridos y muertos), el cálculo del índice de peligrosidad (IP), el índice de severidad (IS) y las tasas de accidentalidad (para el método de los ingenieros Bustamante y Carvajal). Una vez analizadas las variables se concluye que un TCA corresponde a aquel sector donde el registro de accidentalidad sea mayor a tramos viales con características similares y que se encuentre por el encima del promedio de la siniestralidad.
- De acuerdo con cada uno de los métodos de estimación de TCA utilizados en el presente estudio, a continuación, se relaciona las características propias de cada uno de ellos:
  - **Método propuesto por los Ing. Bustamante y Carvajal:** este método relaciona los sectores donde se presentaron cinco o más accidentes viales en los dos (2) últimos años de estudio. Este método busca interrelacionar el nivel de peligrosidad, nivel de severidad y las tasas de siniestralidad, clasificar sus resultados y determinar su clasificación de acuerdo con los rangos establecidos. Los lugares de concentración de accidentes (LCA) corresponde a un lugar de la carretera comprendido en un sector de concentración de accidentes (SCA), de longitud variable hasta de 100m, que registra al menos cinco (5) accidentes de tránsito en los dos años de estudio. En el caso de lugares como intersecciones, curvas cerradas, puentes, túneles, accesos, etc. se pueden considerar longitudes mayores a los 100m, de acuerdo con las dimensiones de los elementos viales citados. Es de resaltar que un SGA hace referencia a un sector de carretera comprendido entre dos Tramos de referencia consecutivos, cuyos

accidentes de tránsito registrados totales en un periodo de 2 años es igual o superior a 5.

- **Método propuesto por el Ing. Pabón:** propone el análisis de los últimos cinco (5) años de registros de siniestralidad presentados en el corredor vial del análisis. Para el análisis de estos datos se requiere el uso del índice de peligrosidad, índice de peligrosidad, cantidad de accidentes leves (solo vehículos), medios (con heridos) y graves (heridos y muertos). Los análisis se realizan entre tramos de referencia, ejemplo PR10+00 al PR11+000.
- **Procedimiento DGT España, mediante de la ventana deslizante:** consiste en dividir el tramo vial en secciones de un (1) kilometro, donde se calcula la tasa de siniestralidad de acuerdo con los registros de los últimos cinco (5) años. Para este análisis se toman como base la cantidad de accidentes totales (leves, medios y graves). Se realiza la comparación del índice de peligrosidad para cada uno de los sectores. La determinación de los TCA corresponde a realizar el análisis en tramos de un (1) kilometro, avanzando en tramos de cien (100) metros, por lo que se genera un detalle a profundidad del comportamiento de la siniestralidad de cada uno de los sectores. Se considera un TCA el sitio que se encuentre por encima del umbral determinado. LA ventaja dada por este método es la implementación o interacción de ambos índices, siniestralidad y peligrosidad.

Para el análisis de los TCA del presente estudio se observó que los tres métodos se ajustan a las condiciones del sector, y se determinaron los sitios críticos según las metodologías propuestas. El procedimiento de la ventana deslizante da como resultado la consideración de veinte (20) TCA, en comparación con diez (10) TCA mediante el método propuesto por el ingeniero Pabón y cinco (5) TCA mediante el método propuesto por los ingenieros Bustamante y Carvajal.

Se realizó la inspección de cada uno de los sitios relacionado en cada método y se determinó que los sectores calculados mediante el procedimiento de la ventana deslizante generan una precisión

más alta, lo que genera un escenario más amplio para actuación en la fase del tratamiento de cada uno de los TCA.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Tras analizar estudios realizados en Colombia y otros países sobre la aplicación de indicadores de exposición al riesgo en la determinación de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA), se identificaron diversas metodologías y enfoques; estos presentan ventajas y desventajas en términos de complejidad, aplicabilidad y precisión, lo que destaca la importancia de adaptar y ajustar las metodologías al contexto local para obtener resultados más efectivos.

En el caso colombiano, los estudios que abordan la identificación de TCA utilizan indicadores de exposición al riesgo como criterio clave en la determinación de dichos tramos. Estos estudios consideran variables como el volumen de tráfico, el período de observación de los eventos en el tránsito y el uso de la infraestructura vial. La inclusión de estos indicadores busca mejorar la precisión y relevancia en la identificación de TCA y permitir una comparación más justa entre diferentes tramos de carretera, facilitando así la identificación de áreas con mayor riesgo de accidentes.

- Para calcular los indicadores de exposición al riesgo, es necesario recopilar primero una serie de indicadores de resultado, como el número total de accidentes ocurridos durante cada año de estudio, el número de accidentes con víctimas (fallecidos y/o heridos), sin víctimas, con fallecidos y con solo heridos, así como el número de fallecidos y heridos. Con estos datos, se pueden calcular distintos índices relacionados con la seguridad vial, como los índices de peligrosidad en accidentes totales, de peligrosidad en accidentes con víctimas, de severidad y de mortalidad.

La información obtenida de estos indicadores es de gran utilidad para los responsables de la toma de decisiones y los planificadores urbanos, ya que permite identificar y abordar los problemas de seguridad vial de manera más eficiente y efectiva. Al centrarse en áreas con mayor concentración de accidentes y mayor riesgo, es posible implementar medidas preventivas y correctivas, como mejoras en la infraestructura, cambios en las normativas de

tránsito y campañas de concientización, que contribuyan a reducir el número de accidentes y mejorar la seguridad en las carreteras.

- La integración de estos índices de exposición al riesgo en la gestión de la seguridad vial, en combinación con la adaptación de las metodologías al contexto local, permite identificar y abordar áreas de alto riesgo de manera más efectiva. Esto resulta en una reducción de accidentes y una mejora en la seguridad de las carreteras rurales, haciendo que la implementación de Sistemas de Gestión de la Seguridad Vial basados en ISO 39001 tenga un impacto significativo en la mejora de la seguridad vial.

Es fundamental adaptar y ajustar las metodologías empleadas en la determinación de TCA y en la aplicación de los índices de siniestralidad al contexto local. Esto garantiza que las intervenciones sean eficaces y relevantes para las condiciones específicas de cada región, lo que permite una mayor eficiencia en la asignación de recursos y la implementación de medidas de seguridad vial adaptadas a las necesidades locales.

- A nivel mundial, el uso de indicadores de exposición al riesgo, como el índice de severidad y mortalidad en el análisis de TCA, ha sido crucial para mejorar la seguridad vial. La información proporcionada por estos indicadores permite a los responsables de la toma de decisiones y planificadores implementar estrategias y medidas más efectivas, adaptadas a las condiciones locales, para reducir la cantidad y gravedad de los accidentes de tráfico. Este enfoque proactivo en la seguridad vial, utilizando indicadores como el índice de severidad y mortalidad para identificar áreas de mejora y priorizar intervenciones, ha llevado a la implementación de políticas de seguridad vial más efectivas y a la asignación de recursos para abordar los problemas identificados en las carreteras a nivel global.
- Se ha determinado que la aplicación del procedimiento de la ventana deslizante en combinación con un indicador de exposición al riesgo, como el índice de severidad en accidentes de tránsito, podría ofrecer una identificación más precisa de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA). Al utilizar un umbral predefinido basado en el índice de severidad y localizar los eventos a través de las abscisas del tramo vial en estudio, este

enfoque permite detectar áreas de alta concentración de accidentes que no necesariamente coinciden con tramos fijos predefinidos.

El procedimiento de la ventana deslizante, en combinación con un indicador de exposición al riesgo como el índice de severidad en accidentes de tránsito, puede ofrecer una identificación más precisa de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA). Al utilizar un umbral predefinido basado en el índice de severidad y localizar los eventos a través de las abscisas del tramo vial en estudio, este enfoque permite detectar áreas de alta concentración de accidentes que no necesariamente coinciden con tramos fijos predefinidos.

- El procedimiento de la ventana deslizante proporciona una identificación más precisa de TCA al permitir la detección de áreas de alta concentración de accidentes que podrían no alinearse exactamente con tramos fijos predefinidos. Sin embargo, este enfoque también puede ser más laborioso y computacionalmente intensivo, ya que requiere analizar un mayor número de posiciones de ventana a lo largo de la carretera, por lo que se recomienda el uso de alguna herramienta computacional.
- A lo largo del tiempo, el enfoque para identificar y analizar tramos de concentración de accidentes ha experimentado una evolución; con el aumento de información disponible sobre accidentes y el desarrollo de técnicas estadísticas y computacionales más avanzadas, se han empezado a emplear distintos indicadores de exposición al riesgo, como el índice de severidad, con el objetivo de evaluar de manera más precisa la seguridad vial en diferentes tramos de carretera.

El índice de severidad es un indicador crucial en la determinación de Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) en vías rurales de Colombia. Al tener en cuenta tanto la frecuencia como la gravedad de los accidentes, ofrece una medida más completa del riesgo en comparación con indicadores basados solamente en la frecuencia de accidentes. Además, estos indicadores permiten evaluar el nivel de riesgo y las consecuencias de los accidentes en términos de lesiones y muertes.

- La metodología más adecuada para la determinación de TCA, según el estado del arte, es el procedimiento de la ventana deslizante en combinación con un indicador de exposición al riesgo como el índice de severidad. Este enfoque permite detectar áreas de alta concentración de accidentes que no necesariamente coinciden con tramos fijos predefinidos, proporcionando una identificación más precisa de TCA.

La adaptación de indicadores de exposición al riesgo, como el índice de severidad, a las condiciones específicas de Colombia permite una identificación más precisa de los TCA en vías rurales y la priorización de intervenciones de seguridad vial. Al ajustar estos indicadores a las condiciones actuales de circulación vehicular y a la infraestructura en Colombia, se logra un enfoque más efectivo para mejorar la seguridad en las carreteras rurales del país.

- Los métodos de análisis de siniestralidad empleados en este estudio corresponden a modelaciones matemáticas y estadísticas que facilitaron la observación del comportamiento de las variables más recurrentes de siniestralidad, comparando sus resultados respecto a un patrón común entre los diversos métodos. El patrón transversal empleado para la comparación del nivel de precisión de los métodos de análisis de TCA involucra el número de accidentes con víctimas durante un periodo de tiempo a lo largo del corredor vial objeto de estudio, y el nivel de detalle y precisión de cada uno de los métodos incide directamente en el nivel de actuación que se debe realizar para mitigar los impactos causados por la siniestralidad.
- De acuerdo con el incremento de siniestros viales con víctimas fatales durante los años del periodo de análisis se deduce que este comportamiento se encuentra relacionado, de manera directa, con la variación del tránsito promedio diario (TPD), donde el registro del TPD al inicio del periodo de análisis (2016) respecto al año crítico (2020 por restricción de tránsito debido al COVID-19), decreció de manera gradual un 32,62%, pero al año siguiente (2021) el TPD aumentó en 154,41%, lo que se vio reflejado en la cantidad de siniestros viales. Adicional, según la categoría de los vehículos involucrados en los registros de siniestralidad, las motocicletas registraron el 50,70%, los vehículos de categoría I con 32,50%, y las demás categorías con 16,8%; lo que generó la necesidad de realizar un análisis detallado de los altos índices, los sectores más representativos y las causas probables de su origen.

- Se implementaron tres (3) métodos de estimación de TCA, en cuyo caso con la implementación del procedimiento de la ventana deslizante se determinó que en la Unidad Funcional 6 – Cereté – Loricá, se presentaron veinte (20) tramos de concentración de accidentes que superaron el umbral, lo que es consecuente con los registros históricos de la siniestralidad. Mediante el método de TCA propuesto para el fondo de Prevención Vial (Ingeniero Sergio Pabón) se determinaron diez (10) tramos de concentración de accidentes que superaron el umbral. Y con la implementación del método de estimación de TCA propuesto por los Ingenieros Ary Bustamante y Sergio Carvajal, se determinaron cinco (5) tramos de concentración de accidentes que superaron el umbral.
- El nivel de precisión de cada uno de los métodos se relaciona con la cantidad de tramos viales de alta siniestralidad, por lo que el método de determinación de TCA de la ventana deslizante genera un nivel superior de precisión debido a que este método involucra el análisis secuencial con secciones de tramo de un kilómetro, correlacionando la variación de Índice de estudio respecto al umbral propuesto. Mediante este método se logran identificar tramos de concentración de accidentes, así como tramos críticos de siniestralidad. Los otros métodos empleados para el presente análisis coinciden en gran parte con los tramos de preocupación, no obstante, su precisión no detalla de manera puntual la cantidad de tramos según los indicadores de siniestralidad.

Durante la realización del estudio de caso, la implementación de diferentes metodologías para la determinación de los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) arrojó resultados variados. Las discrepancias en la cantidad de TCA identificados con cada método pueden atribuirse a los diferentes índices de accidentalidad utilizados para estimar los TCA.

Es importante resaltar que el uso del índice de severidad ofrece una perspectiva más holística y precisa de los TCA en comparación con otros indicadores. Esta efectividad se debe a que el índice de severidad no solo considera el número total de víctimas, sino también la gravedad de los accidentes. Asimismo, este índice puede revelar patrones y tendencias ocultas, identificando tramos de carretera que, a pesar de tener un número relativamente bajo de accidentes, presentan alta severidad debido a factores como altas velocidades o

características peligrosas de la vía. Estos tramos podrían pasar desapercibidos si se utilizaran índices o tasas diferentes.

Por otro lado, los métodos propuestos por los ingenieros Ary Bustamante y Sergio Carvajal, y el método propuesto por el ingeniero Sergio Pabón, adoptado por el Fondo de Prevención Vial, utilizan el índice de peligrosidad, el índice de severidad y la tasa de víctimas. Estos métodos enfocan su atención en determinar TCA con mayor número de víctimas fatales, resultando en una menor cantidad de TCA identificados. Sin embargo, este enfoque puede generar una brecha en la comprensión de la gravedad de los accidentes.

Por lo tanto, el método Procedimiento DGT de España - Ventana deslizante, que utiliza el índice de severidad, tiende a identificar un mayor número de TCA. Esto se debe a que su enfoque de determinación captura de manera más eficaz los patrones de accidentes de alta severidad, lo cual es esencial para abordar de manera integral la problemática de la siniestralidad en las vías.

- Teniendo en cuenta lo anterior, una posible línea de investigación futura podría centrarse en la implementación de medidas preventivas y correctivas específicas en los Tramos de Concentración de Accidentes (TCA) identificados. Esto implica llevar a cabo estudios más detallados para comprender las causas subyacentes de los accidentes en cada tramo y diseñar soluciones adecuadas. Por ejemplo, se podrían realizar evaluaciones de la infraestructura vial en los tramos identificados y analizar los patrones de comportamiento de los conductores en esas áreas para determinar las intervenciones más efectivas para mejorar la seguridad vial.
- Además, sería útil explorar la aplicación de tecnologías avanzadas, como sistemas de alerta temprana y sensores instalados en la carretera, que puedan informar a los conductores en tiempo real a través de paneles de mensaje variable de ITS sobre los riesgos en la vía y, por lo tanto, prevenir accidentes. La implementación de medidas preventivas y correctivas específicas en los TCA identificados no solo mejoraría la seguridad vial en esos tramos, sino que también podría tener un impacto positivo en la seguridad de otras áreas de la carretera, y contribuir a la reducción de los costos asociados con los accidentes de tráfico.



- Otra línea de investigación potencial podría ser la aplicación de modelos de aprendizaje automático y análisis de big data para la identificación y análisis de tramos de concentración de siniestralidad vial. Estos modelos podrían ayudar a identificar patrones de comportamiento de los conductores y factores de riesgo en la carretera que pueden contribuir a los accidentes, y así permitir una toma de decisiones más informada y la implementación de soluciones preventivas efectivas. Además, la aplicación de modelos de aprendizaje automático podría contribuir a la identificación temprana de áreas con mayor riesgo de accidentes, lo que permitiría una respuesta más rápida y eficiente de las autoridades y profesionales de seguridad vial.

También, como una posible continuación de la investigación actual, se podría aplicar los lineamientos y metodologías utilizados en esta investigación para la identificación y análisis de tramos blancos de siniestralidad vial, que son aquellos tramos en la vía que no han sido considerados como Tramos de Concentración de Accidentes. De esta manera, se podría obtener información valiosa sobre la seguridad vial en áreas que anteriormente no se habían estudiado y así, diseñar soluciones preventivas y correctivas adecuadas para reducir la incidencia de accidentes en esos tramos.

## 7 REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2018). *GUÍA METODOLÓGICA EVALUACIÓN DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE MEDIOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE DETECCIÓN DE INFRACCIONES DE TRÁNSITO*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transporte.
- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (22 de Septiembre de 2022). Plan Nacional de Seguridad Vial 2022 - 2031. *Documento Técnico de Soporte*. Bogotá D.C, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Arnés Garcia, A. (2011). Análisis y Tratamiento de Tramos de Concentración de Accidentes. Revisión de Definiciones y Analisis Comparativo. *ESTT – OEP 2011: Movilidad segura*, Tema 27.
- ASSHTO. (2010). *Highway Safety Manual - HSM*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Baamonde, A., & Pérez, I. (s.f.). *Predicción de la seguridad vial en el Highway Safety Manual norteamericano*. Campus de Elviña.: Universidad da Coruña. E. T. S. I. Caminos, Canales y puentes.
- Berardo, M., Baruzzi, A., Vanoli, G., Friere, R., Tartabini, M., & Dapas, O. (2012). Identificación de Tramos con Concentración de Accidentes en Rutas de Providencia Córdoba - (República Argentina). *Cátedra Transporte II – FCEF*.
- Bustamante, A., & Carvajal, M. (1998). *Metodología para la Identificación, Clasificación y Estudio de los Sectores de Concentración de Accidentes de Tránsito*. Bogotá D.C.: Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías.
- Chen, F., Chen, S., & Ma, X. (2011). *An analysis of traffic accidents using the sliding-window-based spatial cluster detection method*. Washington D.C: Journal of Transportation Safety & Security.
- Deacon, J., Zegeer, C., & Deen, R. (1975). *identification of hazardous rural highway locations*. Kentucky: Bureau de Carreteras del Departamento de Transporte de Kentucky.
- Dirección General de Tráfico . (2014). *Escala Superior de Técnicos de Tráfico - ESTT*. Madrid: Ministerio del Interior de España.

- Federación Iberoamericana de Asociaciones de Víctimas Contra La Violencia Vial. (2019). Informe sobre la Década de Acción para la Seguridad Vial. *Avances y retos desde la vision de las asociaciones de victimas viales en Iberoamérica*. Buenos Aires, Argentina: Federación Iberoamericana de Asociaciones de Víctimas Contra La Violencia Vial.
- Gitelman, V., Vis, M., Weijermars, W., & Shalom, H. (2014). *Development of Road Safety Performance Indicators for the European Countries*. Bogotá D.C: INTRA - Universidad Nacional de Colombia.
- Haddon, J. (1996). *Implementing the 1966 Highway* . Washington, D. C.: National Highway Safety Agency.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS y Fondo de Prevención Vial. (Agosto de 2001). Manual de Identificación de Puntos Críticos por Accidentalidad en Carreteras. Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- J.T, S., M.H, C., & B.T, F. (1985). *dentification of hazardous road locations : procedural guidelines*. Office of Road Safety.
- LaScala, E., Gruenewald, P., & Johnson, F. (2004). *An ecological study of the locations of schools and child pedestrian injury collisions*. washington C.D.: Accident Analysis & Prevention.
- MAPFRE. (2004). *Identificación de Problemas de Seguridad Vial y Propuesta de Catálogo de Soluciones en Urbanizaciones Privadas*. Madrid: MAPFRE.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2019). *Transporte en Cifras Vigencia: Vigencia 2019*. Bogotá D.C. : Ministerio de Trnasporte.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2020). *Transporte en Cifras Vigencia: Vigencia 2020*. Bogotá D.C.: Ministerio de Trnasporte .
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción*. Obtenido de Repositorio Institucional para Compartir Información: [www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2009](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009)
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Global health estimates*. Ginebra: World Health Organization.

- Organización Panamericana de la Salud - OPS. (2019). *Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas*. Washington D.C.: World Health Organization.
- Pabón Lozano, S. (1986). *Accidentalidad en Carreteras. Identificación y solución de puntos críticos*. Bogotá D.C.: FASECOLDA.
- Pabón Lozano, S., & Carvajal, M. (2001). *Manual de Identificación de Puntos Críticos por Accidentalidad en Carretera*. Bogotá D.C: Fondo de Prevención Vial.
- Rune, E. (2007). *State of the art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks*. Oslo: The Institute of Transport Economics (TOI).
- Seguro Coche. (22 de Diciembre de 2015). 10 datos sobre la seguridad vial en el mundo. *Conducción Segura*. Madrid, España: Segurocoche.com.
- Sielski, M. C. (2022). *Implementing the 1966 Highway Safety Acts*. Washington, D. C.: National Highway Safety Agency.
- Structuralia. (21 de Marzo de 2018). *¿Cómo se calculan los Tramos de Concentración de Accidentes?* Obtenido de Structuralia: <https://blog.structuralia.com/como-se-calculan-los-tramos-de-concentracion-de-accidentes>
- Universidad Nacional de Colombia. (1980). *Metodología para el análisis de la accidentalidad vial en Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- World Economic Forum. (2022). *La seguridad vial afecta tu calidad de vida*. Ginebra: World Economic Forum.

## 8 ANEXOS

### 8.1 ANEXO 1



Bogotá D.C., 24 de noviembre de 2022

Señor  
**MANUEL RAIGOSO**  
Gerente  
Concesión Ruta al Mar S.A.S. – CORUMAR S.A.S.  
[manuel.raigoso@rutaalmar.com](mailto:manuel.raigoso@rutaalmar.com)

**Asunto:** Solicitud de autorización para el uso de datos de siniestralidad en el corredor concesionado a cargo de la Concesionaria Ruta al Mar S.A.S.

Respetado Dr. Raigoso

En la actualidad el señor **HENRY ALVARO VERGARA BARRETO**, identificado con cedula de ciudadanía número 14.322.044, adelanta estudios para obtener el título de Magister en Ingeniería Civil, con énfasis en Seguridad Vial y Prevención de Accidentes de Tránsito; en virtud de lo anterior desarrolla el trabajo de grado denominado: **“LINEAMIENTOS PARA DETERMINAR TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE INCIDENTES – TCI, A TRAVÉS DE INDICADORES DE EXPOSICIÓN AL RIESGO EN VÍAS RURALES. ESTUDIO DE CASO”**; es por eso por lo que, de manera atenta le solicitamos autorizar el uso de la información de los registros de siniestralidad correspondiente a los últimos cinco (5) años presentados en la Unidad Funcional UF-6 – Cereté – Loricá; cuyo fin será estrictamente académico.

Nuestro compromiso desde la academia es velar por el buen uso de la información, incentivando el desarrollo del conocimiento aplicado a las propuestas de solución en la dinámica de la cotidianidad empresarial en Colombia.

Agradezco su atención, quedando atento a su respuesta:

Cordialmente,



**GERMÁN SANTOS GRANADOS**  
Director de la Dirección de Posgrados  
Maestría en Ingeniería Civil  
Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Montería, 12 de diciembre de 2022

Señores

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO**  
**Atte. GERMÁN SANTOS GRANADOS**  
**Director de la Dirección de Posgrados**  
[german.santos@escuelaing.edu.co](mailto:german.santos@escuelaing.edu.co)  
Ak. 45 #205-59 Autopista Norte, Km 13  
Bogotá D.C.

CORRESPONDENCIA ENVIADA - RUTA  
AL MAR  
Radicado: 48-147-20221206026564  
Fecha: 06/12/2022 12:01:29 p. m.  
Usuario: kenny.hernandez  
CATEGORIA: EXTERNA

**REFERENCIA:** Contrato de Concesión bajo esquema de APP N° 016 del 14 de octubre de 2015 "Construcción, Mejoramiento, Operación y Mantenimiento y Reversión del sistema vial para la conexión de los Departamentos Antioquia – Bolívar".

**ASUNTO:** Respuesta a comunicación Rad. 20221125003999 de fecha 25/11/2022- Solicitud de autorización para el uso de datos de siniestrabilidad en el corredor concesionado a cargo de la Concesión Ruta al Mar S.A.S.

Cordial saludo:

En respuesta a su comunicación recibida con radicado CORUMAR 20221125003999 de fecha 25/11/2022, mediante la cual solicita autorización para el uso de información de los registros de siniestrabilidad correspondiente a los últimos cinco (5) años, presentados en la UFI 6 Subsector 1 Cereté – Lórica, nos permitimos informar que se autoriza el uso de dicha información teniendo en cuenta que será estrictamente para uso académico.

Cordialmente,

JUAN JOSE PATIÑO MUÑOZ  
Firmado digitalmente por JUAN JOSE PATIÑO MUÑOZ  
Fecha: 2022.12.13 15:14:19 -05'00'  
**JUAN JOSE PATIÑO MUÑOZ**  
**Primer Representante Legal Suplente**  
Anexo: N/A  
CC: Archivo.  
Elaboró: KPHM  
Revisó: GPGR