



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAMPUS I**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA METODOLOGÍA DE LA SICT Y LA  
ESTADÍSTICA ESPACIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE  
CONFLICTO. CASO: CARRETERA ARRIAGA – OCOZOCOAUTLA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL**

**PRESENTA:**

**LEOPOLDO EMMANUEL HERNÁNDEZ VÁZQUEZ PS2072**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. JOSÉ LUIS PÉREZ DÍAZ**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, ABRIL DE 2024**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
15 de abril del 2024  
Oficio No. F.I.01.653/2024

**C. LEOPOLDO EMMANUEL HERNÁNDEZ VÁZQUEZ**  
**EGRESADO**  
**DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL**  
**PRESENTE.**

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA METODOLOGÍA DE LA SICT Y LA ESTADÍSTICA ESPACIAL EN LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONFLICTO. CASO: CARRETERA ARRIAGA – OCOZOCOAUTLA”.**

**CERTIFICO el VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Doctor en Ingeniería Civil.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

  
**DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS**  
**DIRECTOR**



 Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.  
Archivo/minutario  
OACC/HMSG/lcpq\*





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Leopoldo Emmanuel Hernández Vázquez, Autor (a) de la tesis bajo el título de “Análisis comparativo entre la Metodología de la SICT Y LA Estadística Espacial en la identificación de puntos de conflicto. Caso: carretera Arriaga – Ocozocoautla” presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de Doctor en Ingeniería Civil, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 19 días del mes de abril del año 2024.

  
Leopoldo Emmanuel Hernández Vázquez

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
AGRADECIMIENTOS.....	10
DEDICATORIAS .....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
Antecedentes .....	14
Justificación.....	15
Planteamiento del Problema.....	16
Hipótesis .....	16
Objetivos .....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos específicos .....	17
Estructura de la tesis.....	18
1    MARCO TEÓRICO .....	20
1.1    Un acercamiento a la seguridad vial.....	20
1.1.1    Principales teorías propuestas en el análisis de la causalidad de siniestros viales	24
1.1.2    Enfoque Visión Cero de seguridad vial .....	24
1.1.3    Puntos negros (Crash <i>hot spots</i> o accident black spots).....	26
1.2    Estadística espacial.....	30
1.2.1    Estimación de la densidad de Kernel (KDE) .....	31
1.2.2    Índice de Moran (global). .....	32
1.2.3    Análisis de puntos calientes ( $G_i^*$ de Getis-Ord) .....	33
1.2.4    Estado del arte de la Estadística Espacial aplicada al análisis de siniestros viales	33
1.3    Fundamentos y generalidades de los SIG .....	34

1.3.1	Características principales de los SIG .....	35
1.3.2	Información georreferenciada .....	35
1.3.3	SIG y su aplicación en investigaciones de seguridad vial .....	36
1.3.4	Revisión del estado del arte de los SIG aplicados a investigaciones de seguridad vial	36
1.4	Relación de los siniestros viales con el cambio climático y condiciones meteorológicas.....	38
1.5	El Pavimento y su relación con los siniestros viales .....	38
2	METODOLOGÍA .....	40
2.1	Diseño metodológico .....	41
2.2	Aplicación metodológica .....	43
2.2.1	Zona de estudio .....	43
2.2.2	Datos de siniestros viales .....	45
2.2.3	Georreferenciación de los datos de siniestros viales .....	52
2.2.4	Aplicación de la Metodología de la SICT .....	64
2.2.5	Aplicación de la Estadística Espacial .....	73
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	76
3.1	Resultados obtenidos a partir de la metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto .....	76
3.2	Resultados obtenidos a partir de la Estadística Espacial para la identificación de puntos y tramos de conflicto .....	86
3.3	Discusión de resultados.....	95
	CONCLUSIONES .....	97
	REFERENCIAS .....	99
	ANEXOS.....	107
	Anexo 1. Ejemplo de reporte “Hechos de tránsito por kilómetro” .....	107
	Anexo 2. Ejemplo de reporte “Accidentes de tránsito” .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Ventajas y desventajas de los principios de identificación de puntos de conflicto.....	29
<b>Tabla 2.1</b> Resumen de datos de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas.....	46
<b>Tabla 2.2</b> Datos de referencia para la determinación del número de accidentes equivalentes..	47
<b>Tabla 2.3</b> Número de SE ocurridos del km 0+000 al 27+999 de 2013 a 2021.....	49
<b>Tabla 2.4</b> Número SE ocurridos del km 28+000 al 65+999 de 2013 a 2021.....	50
<b>Tabla 2.5</b> Número de SE ocurridos del km 66+000 al 93+300 de 2013 a 2021.....	51
<b>Tabla 2.6</b> Metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto.....	64
<b>Tabla 2.7</b> Número de siniestros por cada año del periodo, del km 0+000 al km 27+999.....	65
<b>Tabla 2.8</b> Número de siniestros por cada año del periodo, del km 28+000 al km 65+999.....	66
<b>Tabla 2.9</b> Número de siniestros por cada año del periodo, del km 66+000 al km 93+300.....	67
<b>Tabla 2.10</b> Número de fallecidos en siniestros viales, años de interés para el criterio II, km 0+000 al km 27+999.....	68
<b>Tabla 2.11</b> Número de fallecidos en siniestros viales, años de interés para el criterio II, km 28+000 al km 64+999.....	69
<b>Tabla 2.12</b> Número de fallecidos en siniestros viales, años de interés para el criterio II, km 65+000 al km 93+300.....	70
<b>Tabla 2.13</b> Número de heridos en siniestros viales en los años de interés para el criterio III, km 0+000 al km 27+999.....	71
<b>Tabla 2.14</b> Número de heridos en los años de interés para el criterio III, km 28+000 al km 62+999.....	72
<b>Tabla 2.15</b> Número de SE ocurridos en dos años consecutivos, km 0+000 al km 27+999.....	73
<b>Tabla 2.16</b> Número de SE ocurridos en dos años consecutivos, km 28+000 al km 65+999.....	74
<b>Tabla 2.17</b> Número de SE ocurridos en dos años consecutivos, km 66+000 al km 93+300.....	75
<b>Tabla 3.1</b> Detección de puntos y tramos de conflicto por el criterio I.....	76
<b>Tabla 3.2</b> Detección de puntos de conflicto por el criterio II.....	79
<b>Tabla 3.3</b> Detección de puntos de conflicto por el criterio III.....	85
<b>Tabla 3.4</b> Resumen de datos asociados a siniestros viales de los subperiodos analizados.....	85
<b>Tabla 3.5</b> Resultados obtenidos al aplicar el estadístico espacial I de Moran.....	86
<b>Tabla 3.6</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2013 - 2014.....	87

<b>Tabla 3.7</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2014-2015.....	88
<b>Tabla 3.8</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2015-2016.....	89
<b>Tabla 3.9</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2016-2017.....	90
<b>Tabla 3.10</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2017-2018.....	91
<b>Tabla 3.11</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2018-2019.....	92
<b>Tabla 3.12</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2019-2020.....	93
<b>Tabla 3.13</b> Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2020-2021.....	94
<b>Tabla 3.14</b> Resumen de datos de siniestros viales para años sin tramos o puntos de conflicto	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Principios de identificación de puntos de conflicto .....	27
<b>Figura 2.1</b> Esquema general del trabajo de investigación .....	41
<b>Figura 2.2</b> Esquema de la aplicación metodológica.....	42
<b>Figura 2.3</b> Clasificación de las carreteras de Chiapas por jurisdicción. ....	43
<b>Figura 2.4</b> Ubicación de la carretera Arriaga - Ocozocoautla.....	44
<b>Figura 2.5</b> Número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en México, 2014 a 2019.....	45
<b>Figura 2.6</b> Número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en Chiapas, 2010 a 2019.....	46
<b>Figura 2.7</b> Número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en Chiapas, 2011 a 2021.....	47
<b>Figura 2.8</b> Interfaz gráfica de la plataforma SCTclouds. ....	52
<b>Figura 2.9</b> Siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla durante el 2013.....	53
<b>Figura 2.10</b> Siniestros viales georreferenciados en un mapa base de vista del relieve.....	54
<b>Figura 2.11</b> Siniestros viales ocurridos en 2013 en el tramo del km 9+000 al km 13+000 de la carretera en estudio .....	54
<b>Figura 2.12</b> Siniestros viales ocurridos en 2014 en la carretera en estudio. ....	55
<b>Figura 2.13</b> Siniestros viales ocurridos en 2015 en la carretera en estudio. ....	56
<b>Figura 2.14</b> Siniestros viales ocurridos en 2015 en el tramo del Km 6+000 al km 17+540 de la carretera en estudio .....	57
<b>Figura 2.15</b> Siniestros viales georreferenciados ocurridos en 2016 en la carretera en estudio.....	58
<b>Figura 2.16</b> Siniestros viales ocurridos en 2017 en la carretera en estudio. ....	59
<b>Figura 2.17</b> Siniestros viales ocurridos en 2018 en la carretera en estudio. ....	60
<b>Figura 2.18</b> Siniestros viales ocurridos en 2019 en la carretera en estudio. ....	61
<b>Figura 2.19</b> Siniestros viales ocurridos en 2020 en la carretera en estudio .....	62
<b>Figura 2.20</b> Siniestros viales ocurridos en 2021 en la carretera en estudio. ....	63
<b>Figura 3.1</b> Tramo de conflicto (del km 0+000 al 14+999) para los subperiodos: 2015 – 2016 y 2016 – 2017.....	77
<b>Figura 3.2</b> Acercamiento al tramo de conflicto (del km 0+000 al 14+999) de los subperiodos: 2015 – 2016 y 2016 – 2017.....	78
<b>Figura 3.3</b> Tramo de conflicto (del km 75+000 al 89+999) para el subperiodo: 2017 -2018.....	79
<b>Figura 3.4</b> Puntos de conflicto para el subperiodo: 2018 -2019. ....	80

<b>Figura 3.5</b> Acercamiento a los Puntos de conflicto para el subperiodo: 2018 -2019. ....	81
<b>Figura 3.6</b> Acercamiento al punto de conflicto del km 11+000 al 11+999 del subperiodo: 2018 – 2019.....	82
<b>Figura 3.7</b> Vista en tercera dimensión del punto de conflicto del km 11+000 al 11+999.....	83
<b>Figura 3.8</b> Punto y tramo de conflicto para el subperiodo: 2020 -2021. ....	84
<b>Figura 3.9</b> Acercamiento al punto de conflicto del km 8+000 al 8+999 y al tramo de conflicto del km 0+000 al km 15+000.....	84
<b>Figura 3.10</b> Puntos de conflicto identificado mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2013 -2014.....	87
<b>Figura 3.11</b> Puntos de conflicto identificado mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2014 -2015.....	88
<b>Figura 3.12</b> Puntos de conflicto identificado mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2015 -2016.....	89
<b>Figura 3.13</b> Puntos de conflicto identificado mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2016 -2017.....	90
<b>Figura 3.14</b> Puntos de conflicto identificado mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2017 -2018.....	91
<b>Figura 3.15</b> Puntos de conflicto identificado mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2018 -2019.....	92
<b>Figura 3.16</b> Puntos de conflicto identificados mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2019 -2020.....	93
<b>Figura 3.17</b> Puntos de conflicto identificados mediante Gi* de Getis-Ord para el subperiodo: 2020 -2021.....	94

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chiapas, a cada uno de los que han sido mis docentes y amigos en mi entrañable *alma mater*, ya que me han permitido formarme inicialmente como Ingeniero Civil, posteriormente habilitarme como especialista en Didáctica de las Matemáticas y ahora como Doctor en Ingeniería Civil. Además de brindarme la oportunidad de ser parte del cuerpo docente.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, por confiar en mí y abrirme las puertas a la docencia universitaria, además de habilitarme en la Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

Al Dr. Jesús Francisco Escalante Eúan, por su invaluable y desinteresado apoyo en la estancia que realice en la UADY y en la elaboración de esta tesis.

Al Dr. José Luis Pérez Díaz, por su confianza, sugerencias y apoyo durante este proceso académico.

A la Dra. Beatriz Eugenia Arguelles León por su confianza, sugerencias y aportaciones en las revisiones de esta tesis.

Al M.I. Nabor Antonio Magdaleno Coutiño, por su gran disponibilidad y su apoyo técnico.

## DEDICATORIAS

A Dios, por el regalo de la vida, por su amor y por acompañarme en cada paso de mi vida, por poner en mi la ilusión de seguirme preparando y por darme los medios para que se materialicen mis sueños.

A mis padres, Leopoldo y Doris: Gracias por todo el amor y apoyo recibido de parte de ustedes, este logro también es de ustedes porque sus esfuerzos y luchas nos mantuvieron en el camino a mi hermana y a mí, pero, sobre todo nos acercaron a Dios. Sabiendo que mis alegrías las viven como propias, gracias.

A mi esposa Berenice Guadalupe, gracias por tu amor y comprensión. Mis esfuerzos son acompañados por los tuyos, además de haber abrazado mis sueños y proyectos como propios, te amo.

A mi hermana Doris Guadalupe, gracias por ser no solo mi hermana sino también mi amiga, por el cariño y alegría que has compartido conmigo.

## RESUMEN

Se han reportado algunas reducciones en la ocurrencia de siniestros viales con defunciones y/o heridos de gravedad en algunos países de ingresos altos, esto a partir de las determinaciones de la Asamblea General de la ONU de proclamar del 2011 al 2020 como el Decenio de Acción por la Seguridad Vial y posterior a ello al proclamar un segundo Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2021 al 2030. Sin embargo, a pesar de las acciones realizadas por las distintas instancias regulatorias de diferentes países, la siniestralidad vial se ha mantenido como un problema global de salud, ya que la ocurrencia de siniestros viales sigue generando una gran cantidad de defunciones y de lesiones severas.

Ante la situación planteada, se reconoce la necesidad de realizar investigaciones que aporten a la mejora de los indicadores de seguridad vial, por lo que, se consideró pertinente comparar dos metodologías para la detección de puntos y tramos de conflicto, dicha comparación fue entre la metodología vigente de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y utilizando herramientas de Estadística Espacial. Para lo que se determinó realizar la comparación de los resultados obtenidos al aplicar ambos procesos a la carretera Arriaga – Ocozocoautla, Chiapas, México.

La información de los siniestros viales se obtuvo de lo publicado por la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT, a partir de lo cual, se realizó el proceso de georreferenciación de los siniestros, para lo cual se empleó la herramienta de recorridos virtuales de la plataforma SCT *Clouds* además de *Google Earth*. En lo referente a la carretera digitalizada, se utilizó el archivo tipo *shape* de la Red Nacional de Caminos publicada por el Instituto Mexicano del Transporte, a partir del cual, se extrajo la carretera en estudio y posteriormente, se dividió en kilómetros para aplicar la Metodología de la SICT y los estadísticos espaciales.

Al aplicar la Metodología de la SICT, se observa que no en todos los subperiodos se logró identificar puntos y/o tramos de conflicto. Además, los identificados para diferentes lapsos de tiempo, no coinciden totalmente, por lo que esto fortalece la idea de que los análisis de siniestros viales deben de realizarse considerando que las causas que los provocan pueden ser muy distintas, inclusive tratándose de una misma carretera que ha sido evaluada con datos de diferentes subperiodos.

A partir de lo observado al comparar ambas metodologías, se puede indicar que las herramientas de Estadística Espacial son aplicables a la detección de puntos y tramos de

conflicto de las carreteras federales de México y que más que pensar en que se tenga que indicar cual es mejor, es pertinente señalar que se complementan entre sí. Además, dado lo complejo y lo multifactorial de las causas de los siniestros viales, resulta necesario destacar que siguen siendo primordial el papel de los recorridos en campo y los digitales. Los resultados muestran que la aplicación conjunta de ambos métodos, manifiestan ser de utilidad para el mejoramiento en las políticas de infraestructura carretera.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en verificar la aplicabilidad de la Estadística Espacial en el análisis de siniestralidad vial para carreteras, particularmente, se enfoca en la identificación de puntos y tramos de conflicto, para lo cual, en este trabajo se seleccionó como caso de estudio a la carretera Arriaga – Ocozocoautla en Chiapas, México y se aboca al análisis de los siniestros ocurridos en dicha carretera en el periodo del 2013 al 2021, los resultados que se obtienen al aplicar los estadísticos espaciales se comparan con los resultados que se generan al aplicar la Metodología de la (SICT) para la Identificación de Puntos y Tramos de Conflicto en carreteras federales de México.

### **Antecedentes**

El registro de los siniestros viales ocurridos en las carreteras corresponde a una buena práctica realizada en México y en una gran cantidad de países, ya que, a partir de esos datos, se pueden identificar los puntos o tramos en los que se han presentado una mayor cantidad de siniestros viales (*crash hot spots* o puntos de conflicto), para lo cual, en las carreteras que se encuentran bajo la jurisdicción federal de México, se implementa la metodología de la SICT. En este trabajo, se propone la utilización de la Estadística Espacial para la identificación de los puntos y tramos en conflicto, por lo que, para verificar la factibilidad, diferencias y bondades de la aplicación de estos estadísticos, se compara con la ya mencionada Metodología de la SICT.

En años recientes, en algunos países se ha optado por realizar la ubicación de estos sitios de interés considerando algunos criterios técnicos tradicionales, pero, incluyendo métodos o herramientas de análisis adicionales, en este sentido, se han hecho investigaciones en las que se emplea alguna distribución de probabilidad y en otros trabajos, se han implementado como herramienta de análisis a la Estadística Espacial, para esto último, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han posicionado como una opción muy versátil para el cálculo de los ya mencionados estadísticos espaciales, ya que permiten georreferenciar a los siniestros viales y agregarle atributos a la entidad geográfica que le corresponda, es decir a un punto o un subtramo se le puede agregar datos referentes al siniestro, tales como el número de heridos, defunciones, condiciones de clima al momento del percance, etcétera.

## **Justificación.**

En cuanto a la ocurrencia de un siniestro vial, no se pueden hacer generalizaciones, puesto que cada caso es muy particular, ya que en algunos sitios puede predominar más una causa, en otros pudiese haber diferentes causas casi equiprobables y en algunos otros sitios, podría tratarse de la mezcla de varios factores con diferentes grados de incidencia. Por lo que, se requiere evaluar cada situación para determinar la vulnerabilidad por siniestros viales de los tramos carreteros e identificar zonas propensas a que ocurran dichos eventos (puntos de conflicto).

Las carreteras deben de permitir que a través de ellas se traslade de forma segura personas, mercancías y alimentos. Además, dada la importancia de esta carretera y sus requerimientos de uso, es necesario que continuamente se analicen y evalúen el grado de seguridad vial con el que está funcionando dicha vialidad. Ante lo cual, resulta necesario que se implementen metodologías confiables para la evaluación de siniestralidad vial y para la identificación de puntos y tramos de conflicto.

En el caso particular de México, es prácticamente nula la implementación de la Estadística Espacial en la identificación de puntos y tramos de conflicto en carreteras federales, por lo que resulta de interés la realización de análisis de siniestralidad vial con estas herramientas en estas carreteras. La carretera seleccionada para esta investigación es de gran valía para la movilidad y el desarrollo de esta región del estado de Chiapas en México.

Dicha vialidad fue diseñada y construida con altos estándares técnicos, los correspondientes a las carreteras tipo A4, actualmente y con respecto a la normativa vigente se le considera carretera tipo ET4. Otra particularidad que tiene esta carretera es que es de cuota, todo esto pone de manifiesto la importancia de dicha vialidad.

## **Planteamiento del Problema**

Este trabajo se centra en los siniestros viales, los cuales han causado estragos en años recientes por el número de defunciones, heridos de gravedad y por las pérdidas materiales asociados a su ocurrencia, convirtiéndolo en un problema de salud a nivel global. Lo que ha provocado que incluso la Organización de la Naciones Unidas, haya establecido dos decenios de Acción para la Seguridad Vial (2011 – 2020 y 2021 – 2030), desde el primero de ellos se buscaba que el número de defunciones y de heridos de gravedad provocados por la ocurrencia de siniestros viales, se redujeran a la mitad a nivel mundial. Sin embargo, al no lograrse en el primer decenio, se estableció un segundo decenio, con la misma meta.

En este trabajo se busca abonar a la reducción de la cantidad de heridos y de defunciones a partir de la identificación de los puntos de conflicto de la carretera Arriaga – Ocozocoautla, Chiapas mediante la utilización de estadísticos espaciales en entorno de SIG.

## **Hipótesis**

Se puede verificar la aplicabilidad de los estadísticos espaciales en el análisis de siniestralidad vial para carreteras federales de México al comparar sus resultados con los que se generan al implementar la metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto de una carretera.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar la identificación de puntos de conflicto de la carretera Arriaga – Ocozocoautla en Chiapas obtenidos mediante el uso de Estadística Espacial y comparar dichos resultados con los obtenidos mediante la aplicación de la metodología de la SICT.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el estado del arte de la siniestralidad y seguridad vial para establecer el marco teórico de la investigación.
- Georreferenciar los siniestros viales e identificar los puntos de conflicto o puntos negros (*crash hot spots o accident black spots*) utilizando índices de Estadística Espacial para el análisis posterior de las causas.
- Identificar y localizar mediante la metodología de la SICT los puntos y tramos de conflicto de la carretera Arriaga – Ocozocoautla.

## Estructura de la tesis

El presente trabajo de tesis doctoral se estructura en tres capítulos, mediante los cuales se plantean las bases teóricas y metodológicas empleadas, su aplicación al caso de estudio, además de la presentación de los resultados obtenidos y la discusión de estos. A continuación, se presenta lo que se aborda en cada capítulo.

El primer capítulo corresponde al marco teórico de este trabajo y presenta un acercamiento a la seguridad y a la siniestralidad vial, además de abordar el enfoque de visión cero de seguridad vial, los principios de identificación de puntos de conflicto, los estadísticos espaciales y los SIG aplicados a análisis de siniestralidad vial.

En el segundo capítulo se presenta la metodología empleada, partiendo de la georreferenciación de los siniestros viales ocurridos durante el periodo previamente indicado, lo cual se realizó a partir de las coordenadas de los registros de la SICT y considerando la ponderación para la equivalencia de siniestros viales propuesta por esta misma dependencia. Con la información georreferenciada, se se aplicó la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto. Adicional a esto, se procedió a aplicar las herramientas de Estadística Espacial mediante SIG para la identificación de los *hot spots*.

Conforme a lo establecido en México para la identificación de puntos de conflicto la segmentación de la carretera se realizó en subtramos de 1 km de longitud y considerando los siniestros ocurridos durante dos años consecutivos. Por lo que ambos métodos fueron aplicados para los subperiodos: 2013 – 2014, 2014 – 2015, 2015 – 2016, 2016 – 2017, 2017 – 2018, 2018 – 2019, 2019 – 2020, 2020 – 2021.

El tercer capítulo, se refiere a los resultados obtenidos y la discusión de estos, en cuanto a los resultados, es pertinente aclarar que existe una pequeña variación en la manera en que se presentan los datos ya que como se ha mencionado previamente, se trabajó con dos metodologías. En el caso de la Metodología de la SICT, para la presentación de los resultados se hace de manera tabular y mediante mapas. Mientras que en el caso de los estadísticos espaciales los resultados se representan mediante tablas y gráficos. En la discusión de resultados se analiza lo obtenido por cada una de las metodologías empleadas y se compararon con lo señalado por las bases teóricas - conceptuales que fueron seleccionadas como referenciales en el análisis del estado del arte.

Con la realización de este trabajo, se puede concluir que las herramientas de Estadística Espacial son aplicables a la ubicación de puntos y tramos de conflicto en las carreteras que forman parte de la red federal de carreteras de México. Sin embargo, no se visualiza como un método que sustituya totalmente al utilizado y propuesto por la SICT, sino que se considera que se deben contemplar como complementarios entre sí, esto se puede entender desde el punto de vista de que los siniestros viales son multifactoriales en sus causas y en algunos casos pueden llegar a ser sumamente complejos, por lo que resulta de utilidad analizarlos desde diferentes perspectivas y en este caso en particular, desde distintas metodologías.

## **1 MARCO TEÓRICO**

El marco teórico de una investigación debe de ir más allá de la mención de las definiciones más destacadas a utilizar, por lo que no se le debe de reducir a la elaboración de un marco conceptual, sino que se debe de visualizar de una manera más completa. El marco teórico consiste en posicionarse desde una teoría que sirva de referencia al proceso de investigación, vinculando el problema con la metodología propuesta y empleada para buscarle una solución (Daros, 2002). El marco teórico posibilita ver los problemas desde una postura más objetiva, puesto que “un marco teórico es un punto de referencia que ubica, mediante conceptos teóricos (esto es, abstractos o de un creciente grado de abstracción), un problema” (Daros, 2002, p. 111), lo que puede permitir que se hagan aportes a la teoría a partir de la solución de tal problema, o en algunos casos, plantear nuevas hipótesis que ya de manera integrada podrían conformar una nueva teoría (Daros, 2002).

### **1.1 Un acercamiento a la seguridad vial**

Cuando se menciona seguridad vial, la mayoría de las personas tiene por lo menos una noción de lo que a esto se refiere, variando el grado de aproximación. Verbalizando esta noción, se puede indicar que es el uso de las vialidades de forma que se traslade a las personas y/o bienes de manera segura, es decir, sin que se presente un percance que ponga en riesgo la integridad de los usuarios y de los vehículos.

Lo previamente señalado, resulta ser mucho más complejo de lo que inicialmente se podría pensar, ya que el análisis de la causalidad de los siniestros viales no permite determinar claramente la influencia de una causa específica, por lo que, se les considera multifactoriales al ser el resultado de la interacción de varios aspectos. La mayoría de los sistemas de clasificación de causas de accidentes se han centrado en los errores y acciones del participante que inmediatamente llevaron al conflicto (por ejemplo, no ceder el paso) (Bucsuházy et al., 2020). Sin embargo, al ser multifactoriales, no se deberían centrar solo en estos aspectos, por el contrario, resulta de interés que se analice la injerencia de los demás factores en la ocurrencia de siniestros viales.

Por el mismo grado de complejidad de lo concerniente a siniestros viales, se ha buscado incrementar la seguridad vial de las carreteras a través de diferentes vertientes, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- a. La investigación realizada por universidades y centros de investigación.
- b. Las disposiciones y normativas establecidas por los organismos gestores de carreteras de las diferentes instancias de gobierno.
- c. la implementación e innovación tecnológica de la industria automotriz.
- d. Los programas preventivos y de atención de lesionados por parte de las instituciones de salud.

Las estrategias de intervención que se han realizado para el incremento de la seguridad vial están orientadas a controlar la exposición, la prevención de accidentes a través de la ingeniería (especialmente carretera y vehicular), la prevención de accidentes por modificación de la conducta, el control de lesiones y el manejo de lesionados. En este caso se centra la atención en los aspectos concernientes a la Ingeniería Carretera.

En lo referente a las investigaciones realizadas en seguridad vial, la gran mayoría de los conocimientos adquiridos han surgido de instituciones de países de ingresos altos (HIC). Teniendo en cuenta las diferencias significativas en la cultura de conducción, la legislación y la aplicación de las leyes de tránsito entre los países de ingresos bajos y medianos (LMIC) y los HIC, resulta necesario que la investigación sobre seguridad vial dentro de los LMIC se intensifique más allá de la tasa de producción existente, para construir el conocimiento local tan necesario y desarrollar iniciativas que satisfagan sus necesidades de seguridad (Haghani et al., 2022). Un correcto estudio de la accidentalidad detectada en infraestructuras existentes debe realizarse sobre la base del conocimiento de los siguientes aspectos relativos a la tipología y gravedad de los accidentes de tránsito:

- Tipo de accidente: colisión frontal, colisión lateral, colisión trasera, salidas del camino, atropellamientos;
- Gravedad del accidente: daños a las personas (número de ilesos, muertos y heridos) (Colagrande, 2022)

Los estudios de seguridad vial se clasifican principalmente en cuatro grupos, a los que se les refiere como “efectos de la psicología y el comportamiento de conducción en la seguridad vial”, “causalidad, análisis de la gravedad de las lesiones en los accidentes de tránsito”, “epidemiología, evaluación y prevención de las lesiones por accidentes de tránsito” y “efectos de los factores de riesgo del conductor en el desempeño del conductor y la seguridad vial”, respectivamente (X. Zou & Vu, 2019), cada aspecto abona a entender las situaciones que pueden provocar la ocurrencia de siniestros viales.

Algo que debería ser alarmante es que se estima que poco menos del 10 % de la investigación sobre seguridad vial se ha llevado a cabo en los contextos de los LMIC, lo cual es extremadamente desproporcionado considerando el hecho de que la mayoría de las muertes y lesiones por siniestros viales ocurren en los LMIC (Haghani et al., 2022), además, de que las condiciones socioeconómicas, ambientales, culturales y el grado de aplicación de las respectivas son tan distintos, que lo que podría representar una solución en un HIC no sea aplicable en un LMIC.

Los siniestros viales se pueden analizar desde la perspectiva del conductor, el entorno de la carretera y el vehículo, también se pueden analizar desde la perspectiva de las ecuaciones matemáticas y se pueden recopilar varios tipos de datos para analizar datos de accidentes. Incluyen accidentes, flujo de tránsito, características de la vía, ocupantes de vehículos, visitas al sitio, *Google Earth* y *Streetview* [SIG, percepción remota, etc.] (Lord et al., 2021), lo anterior, sin ser exhaustivo, manifiesta el gran abanico de posibilidades que existe en cuanto a las áreas y aspectos que se requieren investigar, sin embargo, el enfoque dominante de los investigadores de los LMIC en los últimos años parece haberse centrado en la investigación basada en cuestionarios sobre los aspectos sociopsicológicos de conducir, andar en bicicleta y caminar, así como el modelado estadístico de los datos de accidentes de tránsito (Haghani et al., 2022).

Con lo anterior, no se está indicando que no se requieran ese tipo de investigaciones, sino que además de esas, se deben de realizar investigaciones que aborden aspectos adicionales. Puntualizando, en lo referente al entorno de la carretera, se deben considerar las siguientes características técnicas de una infraestructura vial:

- Geometría: eje de la vía, sección transversal, pérdidas de trayecto;
- Pavimento: regularidad superficial, adherencia, seca o húmeda;
- Características funcionales: condiciones en los bordes, intersecciones, señalización;
- Circulación: cantidad de tránsito, tipo de flujo, porcentaje de vehículos pesados;
- Contexto ambiental: paisaje, exposición (Colgrande, 2022).

Desde el punto de vista del proyecto geométrico, “la seguridad se refiere a que los elementos de la carretera tengan condiciones que minimicen la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito. Es práctica común que se le considere a la carretera es segura cuando el número de accidentes es relativamente bajo” (DGST, 2018b, p. 82). Por lo que resulta necesario verificar las condiciones de las carreteras para evaluar que tan seguras son. En otras palabras,

se identifica que para que se tenga la certeza de que una carretera es segura, se le debe inspeccionar.

En teoría, las inspecciones de seguridad vial se deben de realizar a todas las carreteras en operación, pero, se debe de priorizar dichas “inspecciones en carreteras en las que se están realizando trabajos de refuerzo, renovación o acondicionamiento, así como en tramos de concentración de accidentes o donde se registra un número elevado de accidentes de forma aleatoria” (Dorado et al., 2018, p. 12). En cuanto al registro de siniestros viales, es algo a mejorar en México, ya que no todas las carreteras y vialidades cuentan con el mismo nivel de detalle y de sistematización, siendo las carreteras de jurisdicción federal las que cuentan con mayor cantidad de información y de procesos sistematizados, lo cual hace falta que se traslade a las carreteras de jurisdicción estatal, a las municipales y a las vialidades urbanas.

Para reforzar la idea, de lo prioritario que resulta la inspección de las carreteras en operación en México, se tiene que “el 13% de las causas de accidentes viales, son atribuibles a la vía, ocupando el segundo lugar de las causas de accidentes” (Casanova et al., 2021, p. xiii), esto ya es un indicativo de que en México, se requiere prestar atención a las condiciones de las vías, para que a partir de la evaluación del estado en el que operan, se puedan priorizar las obras de mantenimiento y de mejora.

Es importante señalar que se visualiza necesario modificar la manera en la que nos referimos a los hechos de tránsito que tienen como consecuencia muertes y lesiones en los involucrados, ya que por mucho tiempo se les refería como accidentes de tránsito, sin embargo, esta noción trae consecuencias perjudiciales, porque hace referencia a hechos fortuitos que se presentan por casualidad o azar, por lo que no se puede prevenir, teniendo causas poco controlables, enfocando la atención en las consecuencias de los hechos (BID, 2021).

Sin embargo, al referirnos a siniestros viales, la perspectiva se modifica puesto que hace referencia a un hecho causal que ocurre por la interacción entre diferentes factores identificables, por lo que se puede asumir como predecible y prevenible con lo que se modifica el paradigma, puesto que se enfoca la atención en la identificación de los factores que intervienen para que ocurra un hecho de tránsito y aquellos que contribuyen a disminuir la gravedad de las consecuencias (BID, 2021) Con lo modificación planteada entre el uso de siniestros viales en lugar de accidentes de tránsito, se posiciona un nuevo enfoque en el que se pueden realizar acciones que permitan la reducción de siniestros viales de gravedad.

### **1.1.1 Principales teorías propuestas en el análisis de la causalidad de siniestros viales**

El estudio científico de las causalidades de los siniestros viales inició en 1898 con la primera teoría reconocida que intento dar respuesta a la pregunta: ¿Por qué ocurren los accidentes?, indicando que los accidentes se trataban de eventos aleatorios, está propuesta fue planteada por Bortkiewicz publicó su libro titulado *The Law of Small Numbers* (Leipzig, 1898 citado en Elvik et al., 2009).

Cabe señalar que estas teorías fueron propuestas para la ocurrencia de accidentes en general, pero, han sido utilizadas en el análisis de siniestros viales. Las principales teorías aplicables a la ocurrencia de siniestros viales fueron descritas por Elvik et al. (2009), y son:

- La teoría de los accidentes como simples elementos aleatorios.
- La teoría estadística del accidente y la teoría de la predisposición al accidente.
- La teoría causal de los accidentes.
- La teoría de sistemas y la teoría epidemiológica del accidente.
- La teoría conductual del accidente.
- La teoría de la homeostasis del riesgo.
- La Teoría de la adaptación del comportamiento y de los factores que afectan a tales adaptaciones.

Cabe destacar que no existe una teoría general que satisfaga o que abarque completamente a la siniestralidad vial, ya que como se puede observar a lo largo de la historia han surgido teorías de maneras reactivas, tratando de dar solución a la problemática de siniestralidad vial, pero, sin dejar de abordarlo de manera parcial. Por lo que, en este trabajo, no se circunscribe en una única teoría y se optó por basarse en el enfoque de Visión Cero de seguridad vial.

### **1.1.2 Enfoque Visión Cero de seguridad vial**

El enfoque Visión Cero (VC) de seguridad vial fue propuesto por primera vez por el gobierno sueco en 1997. Ha sido reconocido mundialmente como la dirección necesaria para el trabajo de seguridad vial basado en un enfoque de sistema, con lo que se propone como objetivo a largo plazo que nadie muera o sufra lesiones graves como resultado de accidentes de tránsito en el sistema de transporte por carretera (Morimoto et al., 2021). Visión Cero se ha descrito como una innovación de políticas con un enfoque en la tolerancia del cuerpo humano a la energía

cinética y que la responsabilidad de la seguridad vial recae en los diseñadores del sistema (Kristianssen et al., 2018).

La VC redefine la seguridad vial, ya que sus principios y filosofía pueden ser aplicados a diseños modernos de vehículos y de caminos. Los usos de estos principios a la infraestructura de tránsito del mundo real son explorados para mostrar a responsables de formular la política los juegos de herramientas disponibles para aumentar la seguridad vial teniendo en cuenta los contextos locales (Kim et al., 2017).

En DGST (2018a) se presentan los siguientes datos estadísticos con respecto a los siniestros viales:

En México, la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) suscribieron la Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2011-2020, cuyo objetivo general es reducir en 50 % las muertes, así como disminuir al máximo posible las lesiones y discapacidades por siniestros viales en el territorio nacional, con la participación de los tres niveles de gobierno.

Los avances obtenidos en los últimos años [hasta el año 2017] no han sido suficientes, incluso el Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas ODS-ONU, de reducir 50% las muertes generadas en accidentes de tránsito, no se logrará. En México, entre 2011 y 2017, la cifra anual de muertes se redujo en 4.5% (Sección presentación, párrafos 4 y 5).

Este cambio de paradigma implica que se le considere que se debe realizar todo lo necesario (y desde los diferentes ámbitos) para que en el caso de que se presenten siniestros viales no provoquen muertes y lesiones graves.

El Método para un Sistema Seguro reconoce que las muertes y lesiones son inaceptables y evitables, por lo que tiene por objeto garantizar que ningún usuario de la vía pública se vea sometido a un intercambio de energía cinética en caso de accidente que pueda causar la muerte o lesiones graves que lo incapaciten a largo plazo. Aunque, existen enfoques ligeramente diferentes en los distintos países, el Manual de Seguridad Vial de la PIARC describe los elementos clave del método para un Sistema Seguro (PIARC, 2019a).

### 1.1.3 Puntos negros (*Crash hot spots* o *accident black spots*)

Los accidentes pueden ocurrir una carretera debido a varios factores, como fallas en el diseño de ingeniería, fallas en el cumplimiento de las normas de tránsito, conducción imprudente, e incluso un entorno vial ambiguo que no proporciona una orientación positiva a los usuarios de la vía. Para la rectificación de tales tramos de carretera, es importante identificar dichos lugares en función de la probabilidad de que ocurran accidentes de carretera y el historial de accidentes pasados (Aziz y Ram, 2022)

Las agencias responsables de identificar los problemas viales y subsanar las deficiencias de la infraestructura vial tradicionalmente identifican el problema de acuerdo con las estadísticas de los accidentes viales. Estas estadísticas se procesan y analizan, y posteriormente se emite un juicio sobre los puntos en los que se registró el mayor número de accidentes. Estos puntos se denominan comúnmente “puntos negros” (Gómez et al., 2017).

Un punto negro de accidente (*accident black spot*), también conocido como punto crítico de colisión (*crash hot spot*) es una sección de la carretera en la que la frecuencia de ocurrencia de varios tipos de accidentes de carretera o un tipo particular de accidente de carretera es comparativamente más alta que en otras secciones similares de la carretera (Aziz y Ram, 2022).

Aunque los registros de los accidentes que se presentan en intersecciones, distribuidores, rampas de acceso y de incorporación, etc. son los elementos principales para medir la seguridad vial de las carreteras y autopistas, existen razones por las cuales no es conveniente utilizar únicamente los accidentes ocurridos como medida para describir la condición de seguridad vial. Por mencionar un ejemplo, puede presentarse que el número de accidentes ocurrido en un sitio específico es usualmente bajo, éste no se identifica como un punto negro, pero puede representar un riesgo a considerar por el diseño de la infraestructura (Gómez et al., 2017).

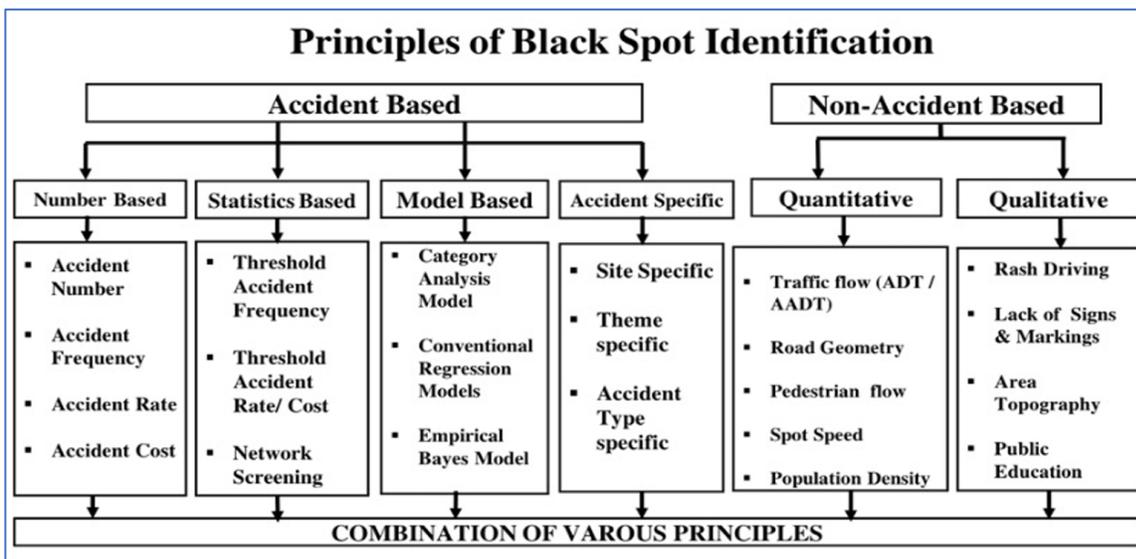
Para la Asociación Mundial de Carreteras, la identificación de los puntos negros permite visualizar tramos con potencial para mejorar la seguridad vial, a partir de la introducción de mejoras seleccionadas. Este método se basa en el análisis de los accidentes para identificar los problemas de seguridad vial antes de buscar una solución y a menudo se denomina reactivo porque busca una solución después de que los accidentes ocurran (PIARC, 2021). En la identificación de puntos negros es importante tomar en cuenta el número total de accidentes y no sólo en los accidentes graves; de hecho, un proceso de identificación basado en accidentes graves sólo puede dar resultados engañosos porque el número de usuarios

heridos puede ser el resultado de parámetros que no tienen nada que ver con los factores de riesgo derivados de deficiencias o fallos en el diseño de la carretera y en su entorno (PIARC, 2019b).

Aziz y Ram (2022) evalúan a diversas metodologías practicadas alrededor del mundo para la identificación de los puntos negros de los accidentes de tránsito y discute sus ventajas y desventajas. En el caso de México, el Manual de Procedimientos para el Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto, de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SICT establece las definiciones de los “puntos de conflicto” y los “tramos de conflicto”.

- Punto de conflicto es un punto donde han ocurrido por lo menos cuatro siniestros viales en cada uno de los dos últimos años analizados y podrá ser curva, entronque, puente, cruce con vías férreas, etc., cuya longitud para el análisis se le considerará de un kilómetro (DGST, 2018a)
- “Tramo de conflicto es una zona donde se concentran ocho o más accidentes [siniestros viales] en cada uno de los últimos años analizados, pudiendo ser, tramo en tangente, zona de curvas, etc., además de presentar características físicas y operativas similares, su longitud será de 1 km hasta 15 km”. (DGST, 2018a, p.117)

**Figura 1.1** Principios de identificación de puntos de conflicto



*Nota.* En la figura se observa la clasificación de los principios de identificación de puntos de conflicto. Tomado de Aziz y Ram (2022, p. 791)

Como se puede observar en la figura 1.1, la identificación de puntos de conflicto se puede realizar de manera general desde dos perspectivas, una es utilizando los datos de siniestros viales y la otra es no basándose en estos datos. En la tabla 1.1, se presentan las ventajas y desventajas de los diferentes principios de identificación de puntos de conflicto

En esta investigación se trabaja principalmente con los datos de siniestros viales, sin embargo, se esbozan algunas consideraciones para la perspectiva de identificación de puntos de conflicto sin datos de siniestros viales.

En el caso de Aziz y Ram (2022) realizaron un análisis de las definiciones y metodologías empleadas para la detección de puntos de conflicto en 34 países de diferentes continentes (América, Europa, Asia y Oceanía), en el cual se establece que no existe un consenso generalizado en cuanto al método a utilizar, la extensión a considerar, tipo de siniestros a considerar e inclusive se tienen diferencias en los periodos de observación considerados.

**Tabla 1.1** Ventajas y desventajas de los principios de identificación de puntos de conflicto

Principio	Ventajas	Desventajas
<b>Principios basados en números y estadísticas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fácil de interpretar y aplicar en todos los lugares.</li> <li>2. El análisis es posible sin datos detallados de la carretera y del tránsito, debido a que la metodología analítica no los exige.</li> <li>3. La atención se centra en los sitios peligrosos con más número de siniestros viales.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los resultados están sesgados en las carreteras con mayor flujo vehicular.</li> <li>2. No consideran el diseño de la carretera ni las características del tránsito</li> <li>3. No se presta atención a la variación aleatoria y sistemática de los datos.</li> <li>4. Dependen de datos de siniestros un tanto imprecisos y que se obtienen de fuentes secundarias.</li> <li>5. Los métodos no son proactivos, es decir, el enfoque es reactivo y retrospectivo.</li> </ol>
<b>Principio basado en modelos</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se considera el diseño de la carretera y el volumen de tránsito.</li> <li>2. El enfoque es proactivo y prospectivo.</li> <li>3. Se considera la variación sistemática de los datos de siniestros.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se requieren datos detallados sobre los siniestros, atributos de la geometría de la carretera y datos de tránsito.</li> <li>2. Desde el punto de vista teórico es el mejor método, sin embargo, su implementación en el terreno es difícil.</li> <li>3. No se presta atención a las fluctuaciones aleatorias de los datos.</li> </ol>
<b>Principio específico del siniestro</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Especial atención a los lugares de accidentes / subconjunto de tipo de siniestro / tema de siniestro.</li> <li>2. Se consideran los factores locales de riesgo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para dicho análisis, no siempre se dispone de datos detallados.</li> <li>2. El enfoque es reactivo y retrospectivo.</li> <li>3. Puesto que en cada lugar se tienen diferentes factores de riesgo locales, es necesario adoptar un nuevo método de identificación en cada lugar.</li> </ol>
<b>Principio no basado en siniestros</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enfoque proactivo y método de carácter prospectivo.</li> <li>2. Se consideran los factores locales de riesgo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Al utilizar indicadores indirectos existe el riesgo de una identificación sesgada.</li> <li>2. Para complementar la metodología de identificación es necesaria una recopilación detallada de datos secundarios</li> </ol>

*Nota.* Tabla traducida de Aziz & Ram (2022, p. 791)

## 1.2 Estadística espacial

La estadística espacial, surgió como una necesidad de poder realizar análisis de datos que se encuentran georreferenciados (cuentan con coordenadas), ya que la ubicación geográfica para ciertos eventos y/o fenómenos es de gran importancia y la estadística tradicional, no permite tomar en cuenta la ubicación de los datos en el globo terráqueo.

“El término estadística espacial se refiere a un conjunto de técnicas estadísticas que cuantifican aspectos relacionados con la estructura de las distribuciones espaciales” (Alegret Rodríguez et al., 2008, p. 3).

Con el uso de la Estadística Espacial, “se busca evitar las limitaciones que presenta la Estadística tradicional cuando se aplica a análisis territoriales” (Garrocho y Campos, 2013, 2016, citado en Navarrete et al., 2020, p. 377)

- i. El problema del tablero de ajedrez (White, 1983; Goodchild, 1987, citado en Navarrete et al., 2020, p. 377) ;
- ii. La ausencia de criterios de vecindad (Bailey y Gatrell, 1995, citado en Navarrete et al., 2020, p. 377);
- iii. El problema de la falta de confiabilidad estadística (Bailey y Gatrell, 1995, citado en Navarrete et al., 2020, p. 377);
- iv. La falsa consideración del espacio (Anselin, 1995, citado en Navarrete et al., 2020, p. 377);
- v. El supuesto insostenible de la independencia de las variables espaciales (Schabenberger y Gotway, 2017) citado en (Schabenberger y Gotway, 2017, citado en Navarrete et al., 2020)

La característica distintiva del análisis estadístico de datos espaciales es que el patrón espacial de las localizaciones (objetos espaciales), la asociación espacial entre los valores observados en diferentes localizaciones (dependencia espacial) y la variación sistemática del fenómeno en las distintas localizaciones (heterogeneidad espacial) se convierte en el mayor foco de investigación. Estas técnicas no son sólo relevantes en Geografía, sino aplicables además a un amplio rango de áreas científicas (Alegret Rodríguez et al., 2008), entre ellas la Ingeniería de Tránsito, en particular, los estudios de seguridad vial.

A continuación, se describen y define a los siguientes estadísticos espaciales:

- Densidad de Kernel

- Índice de Moran (global)
- Análisis de puntos calientes (Gi\* de Getis-Ord)

### 1.2.1 Estimación de la densidad de Kernel (KDE)

En los análisis geográficos al momento de considerar la densidad, se suponía que el valor de la variable se distribuía de manera homogénea. Con el fin de superar la idealización en la representación espacial, son propuestas las funciones de estimación de densidad kernel (Rosenblatt, 1956; Parzen, 1962) citado en (Buzai y Montes Galbán, 2021) como método de gran aptitud para estimar densidades continuas a partir de puntos localizados (x-y) con valores de atributos (v) de cualquier variable (Buzai y Montes Galbán, 2021).

La intensidad de los eventos se calcula dentro de un ancho de banda de investigación definido en las regiones de estudio para crear una superficie suavizada. Se utiliza una función Kernel para asignar un peso a la región que rodea los eventos que es proporcional a su distancia al evento puntual. A partir de ahí, el valor es más alto en el centro de eventos del punto y disminuye suavemente hasta un valor de cero en el radio del círculo de investigación (Le et al., 2020). La densidad de kernel se puede expresar como se indica:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

donde  $x$  es la localización donde se estima la densidad,  $x_i$  es el valor de la variable,  $k()$  es la función kernel centrada en  $x$  y  $h$  el ancho de banda, también considerado como parámetro de suavización (Buzai y Montes Galbán, 2021).

### 1.2.2 Índice de Moran (global).

La I de Moran es uno de los indicadores más antiguos de autocorrelación espacial global y continua en uso. A partir de un conjunto de características y un atributo asociado, este índice evalúa si el patrón expresado está agrupado, disperso o aleatorio (Prasannakumar et al., 2011). Este estadístico se utiliza para analizar la autocorrelación espacial, es decir, la dependencia espacial de la ubicación del siniestro (Satria & Castro, 2016). Las expresiones matemáticas, siguientes definen a la I de Moran y fueron tomados del artículo de Ouni & Belloumi (2019, p.189).

$$I_{Moran} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} Z_i Z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n Z_i^2}, \forall i \neq j$$

Donde  $Z_i$  es la desviación de un atributo para la característica  $i$  de su media ( $x_i - \bar{X}$ ),  $W_{i,j}$  es el peso espacial entre la característica  $i$  y  $j$ ,  $n$  es igual al número total de características, y  $S_0$  es el agregado de todos los pesos espaciales:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} Z_i Z_j$$

El puntaje  $z_I$  para el estadístico es calculado como:

$$z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

Donde:

$$E[I] = -1/(n - 1)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2$$

### 1.2.3 Análisis de puntos calientes (Gi\* de Getis-Ord)

El análisis de *hot spot* o puntos (enclaves) calientes de Getis y Ord que mide el grado clustering (conglomerado o agrupamientos) para valores altos o bajos.

La estadística G general de Getis – Ord para determinar la asociación espacial global se da como (ESRI, 2018):

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, \forall j \neq i$$

Donde  $x_i$  y  $x_j$  son valores de atributos para las características  $i$  y  $j$ , y  $w_{i,j}$  es el peso espacial entre la característica  $i$  y  $j$ ,  $n$  es el número de características en el conjunto de datos y  $\forall j \neq i$  indica que las características  $i$  y  $j$  no pueden ser la misma característica.

El puntaje  $z_G$  para el estadístico se calcula como:

$$z_G = \frac{G - E[G]}{\sqrt{V[G]}}$$

Donde:

$$E[G] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{n(n-1)}, \forall j \neq i$$

$$V[G] = E[G^2] - E[G]^2$$

Con los avances en la velocidad de procesamiento de las computadoras y con la generación de *softwares* con interfaces más amigables, los estadísticos espaciales, han adquirido relevancia en el análisis de datos georreferenciados, con lo que se puede analizar la relación (o ausencia de está) entre los eventos y/o características medidas.

### 1.2.4 Estado del arte de la Estadística Espacial aplicada al análisis de siniestros viales

Las ubicaciones de los siniestros viales y sus atributos se almacenan en Sistemas de Información Geográfica (SIG). El uso de datos espaciales juega un papel fundamental en el análisis de la seguridad del tránsito (Le et al., 2020).

El abordaje de las ubicaciones propensas a los accidentes, incluida la definición, identificación y priorización de modificaciones, ha llamado la atención como un enfoque para mejorar el nivel de seguridad de la red vial. Un método de análisis de accidentes viales es mediante el uso de SIG) y patrones espaciales y temporales en lugares propensos a accidentes (Aghajani et al., 2017)

Los análisis espaciales de los accidentes se han adoptado en la seguridad vial durante décadas para determinar cómo los accidentes se ven afectados por las ubicaciones vecinas, cómo varía espacialmente la influencia de los parámetros y qué ubicaciones requieren intervenciones más urgentes. (Zangeneh et al., 2018; Ziakopoulos y Yannis, 2020)

Para la identificación de los patrones temporales y la distribución de accidentes, así como analizar los puntos calientes o puntos negros, se han utilizado el método de autocorrelación espacial de I de Moran (Aghajani et al., 2017; Zangeneh et al., 2018), el índice Getis – Ord  $G_i^*$  (Aghajani et al., 2017; Crimmins et al., 2021) y densidad de kernel (Bassani et al., 2020; Chaparro et al., 2018; Le et al., 2020; Shafabakhsh et al., 2017, 2023).

La mayoría de las decisiones que se toman para mejorar la seguridad vial se basan en datos de accidentes, lo que los convierte en la columna vertebral del sistema de seguridad vial de cualquier país (Ahmed et al., 2019). El "análisis de modelado de frecuencia de choques" es el tema central de investigación en los estudios de seguridad vial, con la técnica de análisis estadístico espacial emergiendo como una frontera de este tema (X. Zou y Vu, 2019).

A partir de la revisión del estado del arte de la Estadística Espacial aplicada en el análisis de siniestros viales, se visualiza que, en años recientes, se ha hecho uso de sus estadísticos en diferentes partes del mundo, sin embargo, en México ha sido escasa su aplicación en análisis de siniestros viales en carreteras de jurisdicción federal.

### **1.3 Fundamentos y generalidades de los SIG**

En la actualidad los SIG, son vistos como sistemas complejos que han dado la posibilidad de gestionar, integrar, analizar y presentar información que cuenta con el componente de su ubicación geográfica, todo ello con el aprovechamiento de los avances en tecnología informática. Por lo que Olaya (2014, p.8), propone la siguiente definición:

“Es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados”.

Actualmente, se cuenta con la ventaja de que al igual que gran cantidad de tipos de *softwares*, se cuenta con las versiones de acceso libre (*software* libre) adicionales a las versiones comerciales. Lo cual ha generado que su uso y difusión se ha dado de manera exponencial, abordando temáticas de gran variedad de áreas del conocimiento.

### **1.3.1 Características principales de los SIG**

Al mencionar que un SIG es visto como un sistema complejo, eso trae consigo la noción de que está conformado por partes o elementos interrelacionados entre sí, y en este caso en particular, dicha integración se da entre subsistemas fundamentales identificados como (Olaya, 2014):

- Subsistema de datos
- Subsistema de visualización y creación cartográfica
- Subsistema de análisis.

Estos subsistemas interactúan entre sí, le dan la funcionalidad, operatividad y polivalencia a los SIG, permitiendo generar procesos, análisis y productos. En este trabajo se aprovecha la esta versatilidad, la cual permite la utilización de las herramientas de Estadística Espacial señaladas en la sección 1.2. Además de los subsistemas fundamentales, se distinguen cinco elementos básicos que conforman a los SIG, siendo: los datos, métodos, *software(s)*, hardware y personas

### **1.3.2 Información georreferenciada**

Al mencionar información georreferenciada, lo que se indica es que se tiene cierta información vinculada a su posición geográfica, es decir, se cuenta con las coordenadas asociadas a cierto evento, fenómeno, experimento, medición, etc. Lo que resulta de gran utilidad, porque el tener la ubicación exacta, permite visualizar su posición y su respectivo entorno en algún visor cartográfico o en un SIG. De manera formal se podría decir que:

Se entiende que una información está georreferenciada cuando se conocen las coordenadas geográficas, latitud y longitud, de un punto (o un conjunto de puntos) del espacio terrestre vinculados a esa información. En rigor deberíamos hacer la salvedad de que, en algunos casos, también es necesaria la altura y la época (GGSR, 2019, p.I-1).

### **1.3.3 SIG y su aplicación en investigaciones de seguridad vial**

Reducir los accidentes de tránsito (RTA) y sus costos socioeconómicos es una prioridad cada vez más importante en muchos países. En los últimos años, muchos autores han propuesto varios enfoques para analizar los datos históricos de RTA utilizando herramientas del SIG, de modo que las ubicaciones con alto riesgo de RTA, es decir, puntos críticos o puntos negros de RTA, puedan identificarse y clasificarse. Esto podría permitir que se prioricen los recursos limitados de ingeniería vial para remediar los puntos críticos de RTA más críticos y, por lo tanto, reducir las tasas de RTA (Zahran et al., 2021).

Debido a la naturaleza distribuida espacialmente de los datos asociados al transporte y la demanda de varios tipos de análisis a nivel de red, análisis estadístico y manejo espacial, la aplicación de SIG resulta relevante para el transporte. En las plataformas SIG, la base de datos de la red de transporte generalmente se amplía a través de su sistema de referencia lineal al integrar varios conjuntos de sus atributos y datos espaciales. Además, SIG facilitará la integración con la base de datos de la red de transporte de todos los demás datos socioeconómicos para las diversas funciones de planificación (Singh y Katiyar, 2021).

### **1.3.4 Revisión del estado del arte de los SIG aplicados a investigaciones de seguridad vial**

Al revisar la literatura especializada existente, se puede observar que existe una gran cantidad de investigaciones en seguridad vial en las que se aplicó los SIG para la localización espacial de los accidentes mediante geocodificación y análisis (Dereli y Erdogan, 2017; Iyanda, 2019; Pervaz et al., 2022; Shafabakhsh et al., 2017; Wang et al., 2021) los estudios previamente citados no son los únicos, pero, se mencionan dada la pertinencia de este tipo de trabajos, puesto que se realizaron en diferentes partes del mundo siendo China, Turquía, Irán, Nigeria y Bangladesh, respectivamente. Además de que en años previos se habían realizado estudios similares en países como España, Italia, Estados Unidos.

Además de lo previamente señalado, se han realizado otros estudios en los que se aplican los SIG y los análisis estadísticos espaciales a situaciones más particulares como es el caso de la evaluación de la calidad del diseño geométrico basado en un SIG para carreteras de montaña (Zhang et al., 2021), estudios enfocados al tránsito urbano (Ramírez y Valencia, 2021; Zhu et al., 2020).

AlKheder *et al.*, (2022), evaluaron la relación existente entre el diseño geométrico de la carretera y los accidentes (con y sin víctimas), para la obtención de los datos geométricos hicieron uso de las imágenes satelitales de *Google Earth* apoyándose en lo establecido en el manual de diseño geométrico estándar de las carreteras de Abu Dhabi. Los datos geométricos registrados consistieron en el número de carriles, anchos de carril, longitud media y ancho. Los datos de volumen de tránsito fueron proporcionados por el Centro de Transporte Integrado de Abu Dhabi, que luego se convirtió en Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) con fines analíticos (AlKheder *et al.*, 2022).

En el caso de Mathew *et al.*, (2022), exploraron el efecto de la red de carreteras, las características demográficas y de uso del suelo en la frecuencia de accidentes entre adolescentes mediante una regresión binomial negativa ponderada geográficamente. Se desarrollaron y compararon modelos lineales generalizados con distribución binomial negativa (modelo NB basado en GLM) y modelos de regresión binomial negativa ponderados geográficamente (GWNBR y GWNBRg). El tránsito diario promedio anual (TDPA), el uso comercial ligero de la tierra, el número de unidades familiares y el número de alumnos matriculados en escuelas secundarias públicas o privadas son variables explicativas significativas que influyen en la frecuencia de los accidentes entre adolescentes. (Mathew *et al.*, 2022).

La planificación y ubicación de los recursos para la gestión del tránsito urbano genera complejos problemas de decisión, dada la incertidumbre de las variables que explican el comportamiento del tránsito, la falta de datos y la gran cantidad de factores para tener en cuenta a la hora de crear políticas óptimas (Ramírez y Valencia, 2021).

Otro trabajo que se considera que servirá como referente, es la revisión y evaluación comparativa de los factores de riesgo de accidentes relacionados con la infraestructura, ya que el propósito explícito fue clasificarlos según su grado de perjuicio para la seguridad vial (es decir, el riesgo, la frecuencia y la gravedad de los accidentes). (Papadimitriou *et al.*, 2019).

En el caso de Ramírez y Valencia (2021), reportan que los resultados de su estudio se resumen en tres aportes principales: (i) identificación de los principales factores que aumentan el riesgo de accidentes de tránsito y fatalidades; (ii) identificación de zonas críticas de la ciudad que requieren mayor atención; y (iii) una herramienta predictiva para pronosticar accidentes en el futuro, incluidas las propiedades estocásticas que se pueden utilizar en un modelo prescriptivo.

Además, de los estudios mencionados previamente se considera importante tomar en cuenta las investigaciones recientes en las que se tiene como objetivo identificar los principales factores de riesgo asociados a la severidad o gravedad de los accidentes (Cantillo *et al.*, 2020;

Yu et al., 2019) y las que consideran además de datos técnicos de la carretera aspectos socioeconómicos (economía, población, específicamente aspectos como: propiedad de nuevos vehículos, nuevo kilometraje en carretera y nuevo aumento de la población),(Sun et al., 2019).

Finalmente, se tiene el trabajo realizado por Casanova et al. (2021) en el cual analizan la consistencia de curvas horizontales de carreteras tipo A2, de la Red Carretera Federal a través de la estimación de la velocidad de operación de los vehículos sobre las curvas, considerando el radio, grado de curvatura, la longitud de curvatura y el ángulo de deflexión (Casanova et al., 2021).

#### **1.4 Relación de los siniestros viales con el cambio climático y condiciones meteorológicas.**

Determinar y comprender los factores ambientales que contribuyen a la ocurrencia de accidentes de tránsito es de vital importancia en la investigación de la seguridad vial (Schlögl y Stütz, 2019), además de los factores ambientales convencionales, en años recientes se tiene el impacto del cambio climático y las condiciones meteorológicas extremas las cuales tienen un impacto negativo en la seguridad vial, lo que se traduce en graves accidentes de tránsito, para analizar estas situaciones, Y. Zou et al. (2021), proponen un modelo binomial negativo y un modelo de cambio logarítmico para analizar el impacto de diversos factores en los accidentes de tránsito mortales.

#### **1.5 El Pavimento y su relación con los siniestros viales**

Los siniestros viales están directamente relacionados con el estado físico del pavimento, así como el coeficiente de fricción de la superficie de éste. Independientemente del tipo de pavimento, si se encuentra deteriorado pueda desestabilizar a los vehículos que transitan sobre éste lo que puede provocar la ocurrencia de siniestros viales (Cadengo et al., 2020), por lo que se puede visualizar, que se requieren de trabajos de mantenimiento que permitan que las vialidades se encuentren en condiciones adecuadas para su uso.

Pasindu et al. (2022) proponen una metodología para incorporar el desempeño de la seguridad vial en caminos rurales en la planificación del mantenimiento utilizando un enfoque de optimización multiobjetivo. El desempeño de la seguridad vial se define en términos del Índice de seguridad acumulativo (CSI), calculado en función de la gravedad, la exposición y la frecuencia

de los problemas de seguridad identificados en las auditorías de seguridad vial. Índices relacionados con el desempeño de la seguridad y la condición del pavimento, como el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), número de baches, se incluyen en el análisis de optimización. Comprende dos objetivos: minimizar la red IRI y minimizar la red CSI.

Para asegurar un buen estado del pavimento Cadengo et al. (2020, p. 15) señalan que “es necesario realizar mantenimiento y evaluaciones periódicas, tomando muestras para analizarlas en laboratorio de ser necesario, con el fin de obtener parámetros como el coeficiente de fricción o el índice internacional de rugosidad (IRI, por sus siglas en inglés)”.

## 2 METODOLOGÍA

En este trabajo se optó por presentar la metodología en tres partes, la primera, corresponde a las generalidades, por lo que se trata de la parte introductoria. La segunda, corresponde al diseño metodológico y la última parte de este capítulo, se trata de la aplicación metodológica. En el diseño metodológico se emplearon esquemas con la intención de clarificar las partes constitutivas de la metodología empleada.

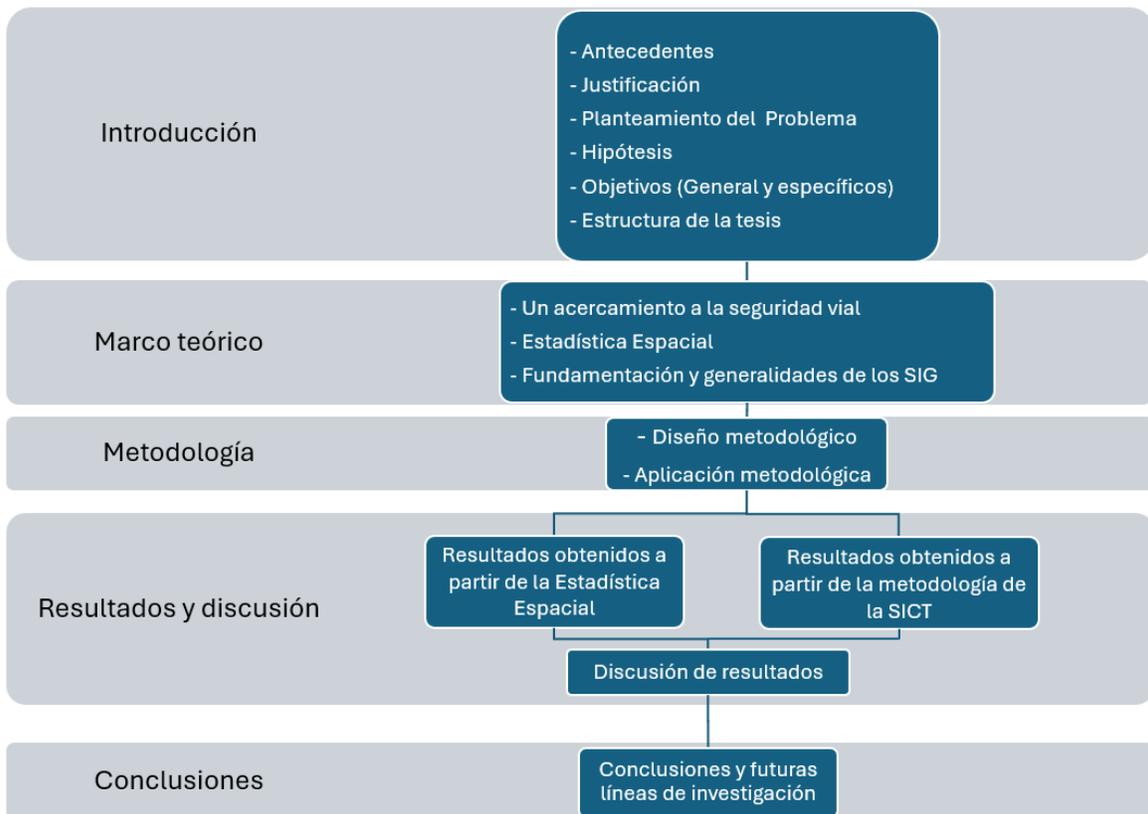
El presente estudio, se focaliza en un análisis comparativo entre los resultados obtenidos al aplicar herramientas de Estadística Espacial y los obtenidos al implementar la Metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto, para que dichos procedimientos se pudieran comparar, fue necesario definir la temporalidad del análisis y la ubicación de este. En ese sentido, se determinó que se contemplarían los siniestros viales ocurridos de 2013 a 2021 en la carretera Arriaga – Ocozocoautla; Chiapas, México. Pero, para que pudieran ser comparables los resultados obtenidos, se tenía que contemplar una misma escala temporal, por lo que se definió que se tenían que analizar los siniestros ocurridos en dos años consecutivos, ya que la metodología de la SICT establece esta limitante para este tipo de análisis y las herramientas de Estadística Espacial se pueden adecuar a este requerimiento porque no establecen limitaciones en este aspecto, en el sentido de que en la variable correspondiente se colocaría el valor correspondiente a los dos años consecutivos que se estén analizando.

En cuanto a la carretera seleccionada, se optó por ella a través de un proceso de delimitación progresiva, puesto que lo primero en considerar, es que la carretera en estudio debía ser parte de la red de carreteras de jurisdicción federal en Chiapas, ya que los procedimientos de recopilación y el tratamiento de la información de los siniestros viales se encuentran más sistematizados y con mayor disponibilidad de la información que los que ocurren en la red de carreteras de jurisdicción estatal. En esta primera consideración se tiene el caso de 36 carreteras o tramos carreteros que en conjunto tienen una longitud de 2 341.030 km (Cuevas Colunga et al., 2022). La segunda consideración, fue que, al seleccionar una carretera de cuota, se trabajaría con una vialidad de altas especificaciones técnicas y de gran importancia para el estado, con esta determinación se pasó de 36 a 3 opciones, de las cuales se optó por trabajar con la de mayor longitud, es decir, la carretera Arriaga – Ocozocoautla con 93.3 km de longitud.

## 2.1 Diseño metodológico

En este apartado, se presentan dos esquemas del diseño metodológico de la presente investigación, el primero de ellos, la figura 3.2, presenta de manera generalizada la estructura de este documento. En la introducción se presentan la fundamentación y motivación de este trabajo de investigación, además de contar con tres capítulos principales: 1. Marco Teórico, 2. Metodología y 3. Resultados y discusión. El apartado de conclusiones incluye adicionalmente el planteamiento de futuras de líneas de investigación.

**Figura 2.1** Esquema general del trabajo de investigación



La aplicación de la metodología o aplicación metodológica, se plasma mediante el esquema de la figura 2.2, en la que básicamente se trata de clarificar el proceso realizado para comparar los resultados obtenidos por los estadísticos espaciales y los que se presentaron al aplicar la metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto. Lo cual parte de los datos asociados a los siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga – Ocozocoautla en el periodo 2013 – 2021.

**Figura 2.2** Esquema de la aplicación metodológica



## 2.2 Aplicación metodológica

### 2.2.1 Zona de estudio

En México, dada la distribución político-administrativa, se tiene que la jurisdicción de la red carretera del país puede ser: Red Federal (libre o de cuota) o Red Estatal (libre o de cuota) y red municipal. A continuación, se presenta un mapa con la ubicación de red carretera del estado de Chiapas, en la que se indica la jurisdicción de cada tramo carretero.

**Figura 2.3** Clasificación de las carreteras de Chiapas por jurisdicción.



La carretera Arriaga – Ocozocoautla, es de gran importancia para la movilidad y el desarrollo de la región, por lo que fue diseñada y construida con los estándares técnicos para que en su momento fuera considerada carretera tipo A4, actualmente y con respecto a la normativa vigente se le considera carretera tipo ET4. Otra particularidad que tiene esta carretera es que es de cuota. En la figura siguiente se visualiza la ubicación y el trazo de la carretera Arriaga – Ocozocoautla, por la escala empleada para representar el trazo completo, no se pueden apreciar los detalles de la geometría de la carretera, sin embargo, si alcanza a visualizar que en el subtramo Arriaga – Tierra Libertad se tiene la presencia de curvas horizontales cercanas entre sí.

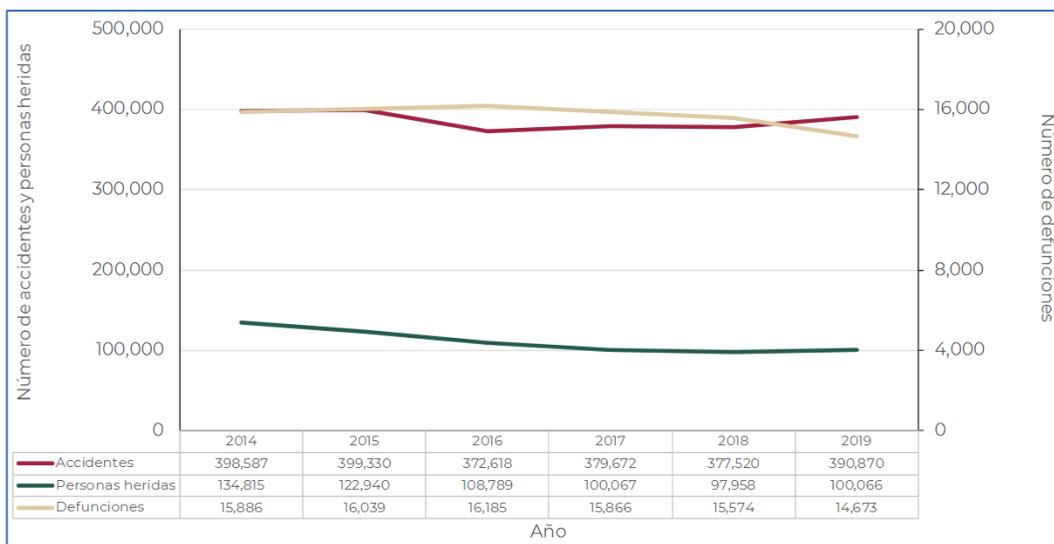
**Figura 2.4** Ubicación de la carretera Arriaga - Ocozocoautla



## 2.2.2 Datos de siniestros viales

En la figura 2.5, se puede observar los datos totales en cuanto a número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en México, se presentan los datos anuales correspondientes al periodo del 2014 al 2019. En cuanto al número de personas que presentaron lesiones se puede observar un decremento notorio entre el año 2014 y 2016. Sin embargo, del 2017 al 2019 las cifras han sido relativamente cercanas entre sí, generando una cierta estabilidad. En lo referente al número de siniestros viales, no se observa una tendencia marcada de incremento o decremento, con variaciones entre 372 618 y 399 330 siniestros viales.

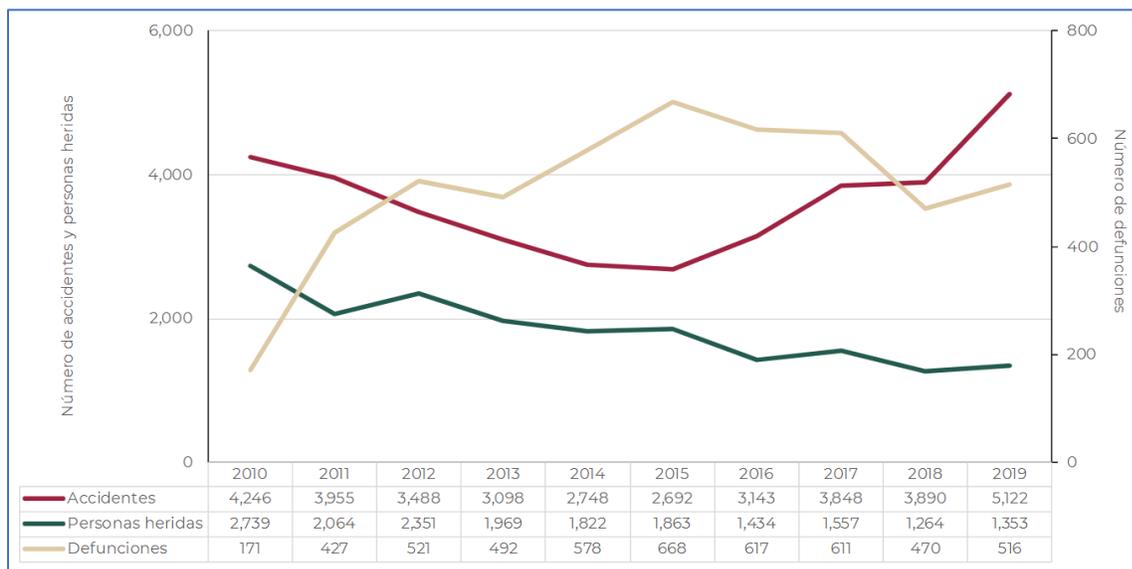
**Figura 2.5** Número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en México, 2014 a 2019



Nota: tomado de Secretaría de Salud y STCONAPRA, (2022, p. 9)

En la figura 2.6, se presentan los números de siniestros viales, personas heridas y defunciones en Chiapas, presentando los datos anuales correspondientes al periodo del 2010 al 2019. De manera visual se percibe tendencias más marcadas de las curvas a nivel nacional que lo que se percibe a nivel estatal, ya que en cuanto al número accidentes y defunciones se encuentran variaciones (incrementos y descensos), mientras que el número de personas heridas si presenta una cierta tendencia a la baja, que, sin ser completamente lineal, se alcanza a percibir.

**Figura 2.6** Número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en Chiapas, 2010 a 2019

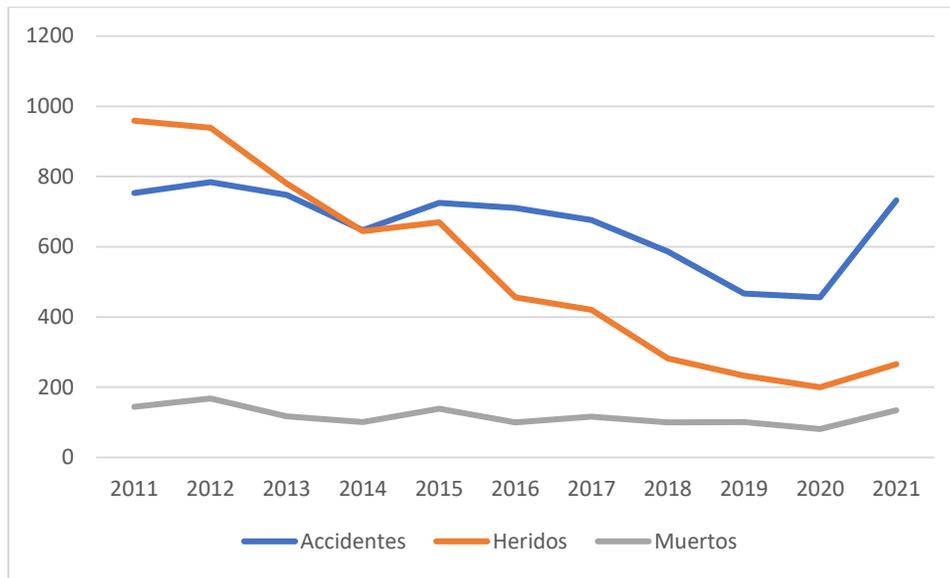


En la tabla 2.1, se presenta el resumen de los datos de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas y reportados por la SICT y en la figura 2.7 se tiene la gráfica asociada a la tabla 2.1, se puede visualizar que se tenía una cierta tendencia a la baja en el número de heridos, de accidentes y defunciones, pero, 2020 al 2021 se ve un repunto en los números, por lo que se requeriría comparar con lo ocurrido en 2022, 2023 y lo que está ocurriendo en 2024, para ver si efectivamente hay una tendencia a la baja y en 2021 solo fue un incremento atípico en los datos o que efectivamente no se ha logrado tener una reducción sostenida de los número de siniestros, heridos y muertos.

**Tabla 2.1** Resumen de datos de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas

	AÑO										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Accidentes</b>	753	784	748	647	725	711	676	586	467	456	732
<b>Heridos</b>	959	939	780	644	670	456	421	282	233	200	266
<b>Muertos</b>	144	168	117	101	139	100	116	100	101	81	134
<b>Daños materiales (en millones)</b>		40.6635	50.8943	54.0152	47.6086	40.6742	48.8681	42.3679	37	48.265	80.9048

**Figura 2.7** Número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en Chiapas, 2011 a 2021



Para efectos de este estudio, es importante señalar que la SICT, hace una consideración para la ponderación del impacto los siniestros viales que se presenten, ya que las consecuencias, no son solo de tipo económico, ya que se presentan casos en los que ocurren defunciones y algunas personas pueden sufrir heridas de consideración. Por lo que, les asigna un peso diferenciado, para poder tener un parámetro de análisis, evaluación y comparación a lo que han denominado “accidentes equivalentes”, ver tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Datos de referencia para la determinación del número de accidentes equivalentes

Tipo de siniestro	Número de siniestros equivalentes
Sin heridos	1
Con heridos	2 (por cada herido)
Con muertos	6 (por cada herido)

Los datos de siniestros viales se pueden obtener de las publicaciones que realiza la SICT con la información anual de los datos de siniestros viales ocurridos en las carreteras de la red federal. En estas publicaciones además del número de siniestros ocurridos por año en las carreteras federales del estado, también presentan el detallado por cada carretera o tramo carretero, incluyendo el número de siniestros viales ocurridos, de siniestros equivalentes, de heridos, de defunciones, etc.

Además, se presentan las cantidades de siniestros ocurridos en diferentes condiciones de luz (de día, crepúsculo y de noche), la cantidad de siniestros viales ocurridos por cada mes del año, también indica cuantos ocurrieron en cada uno de los días de la semana y los números de los siniestros ocurridos en periodos de días festivos.

En los anexos 1 y 2, se presentan ejemplos de la manera en que reportan los siniestros viales ocurridos durante cierto año, la representación es gráfica y está dividida por cada kilómetro que conforma a la carretera o tramo carretero en cuestión. Cabe señalar que en primera instancia la SICT difundía los datos de siniestros viales a través de la Dirección General de Servicios Técnicos, actualmente lo hace mediante el Instituto Mexicano del Transporte.

Una de las limitantes que se tiene en el registro de los datos asociados a los siniestros viales, es en el seguimiento de las personas que resultaron con lesiones, sobre todo, las que resultaron con lesiones de gravedad o del tipo que son propensas a que pueda presentarse alguna complicación. Ya que en el lugar del siniestro se registran las defunciones ocurridas casi al instante y las que ocurren en lo que se atienden a heridos, se les traslada a clínicas u hospitales y se hace el levantamiento de los datos del percance.

Por lo que se puede visualizar ante esta situación que puede estarse presentando una subestimación del número de personas fallecidas por la ocurrencia de siniestros viales, ya que dicho número puede seguir aumentando conforme pasa el tiempo y los heridos de gravedad no pueden sobrepasar las crisis sufridas por el siniestro vial.

En las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se tiene concentrado el número de siniestros equivalentes ocurridos por cada kilómetro de la carretera en estudio cada año desde 2013 al 2021. Tal como se mencionó previamente, en la tabla 2.2, se puede visualizar la ponderación que la SICT hace con respecto a los hechos de tránsito, considerando la ausencia o presencia de heridos y muertos. Dicha ponderación, se puede escribir de la siguiente manera:

$$\text{Accidentes equivalentes} = \text{núm. de hechos de tránsito} + (\text{núm. de heridos} \times 2) + (\text{núm. de muertos} \times 6)$$

**Tabla 2.3** Número de SE ocurridos del km 0+000 al 27+999 de 2013 a 2021

Subtramo	Número de siniestros equivalente por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
0+000 - 0+999	1	5	0	1	0	0	0	0	0	
1+000 - 1+999	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
2+000 - 2+999	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
3+000 - 3+999	0	0	1	1	0	1	0	1	0	
4+000 - 4+999	0	0	1	12	0	0	0	0	0	
5+000 - 5+999	7	0	0	3	0	12	0	0	0	
6+000 - 6+999	0	0	0	0	20	1	0	0	2	
7+000 - 7+999	0	0	29	1	1	1	1	38	0	
8+000 - 8+999	0	0	2	10	9	0	0	8	8	
9+000 - 9+999	1	0	0	0	0	0	0	5	1	
10+000 - 10+999	8	0	2	0	1	0	0	0	0	
11+000 - 11+999	6	1	0	0	2	7	7	0	8	
12+000 - 12+999	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
13+000 - 13+999	0	0	0	1	1	0	0	0	2	
14+000 - 14+999	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
15+000 - 15+999	1	1	6	0	0	0	1	0	0	
16+000 - 16+999	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
17+000 - 17+999	0	0	0	0	1	2	0	0	1	
18+000 - 18+999	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
19+000 - 19+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20+000 - 20+999	6	0	2	0	0	0	0	0	1	
21+000 - 21+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22+000 - 22+999	0	0	0	0	0	7	7	1	0	
23+ 000 - 23+999	3	0	0	0	0	0	0	0	1	
24+000 - 24+999	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
25+000 - 25+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26+000 - 26+999	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
27+000 - 27+999	1	0	0	0	0	0	1	0	1	

*Nota.* Datos obtenidos de lo reportado por la SICT y el IMT en Cuevas Colunga et al. (2020, 2021b, 2022); DGST (2014, 2015, 2016, 2017, 2018b).

**Tabla 2.4** Número SE ocurridos del km 28+000 al 65+999 de 2013 a 2021

Subtramo	Número de siniestros equivalente por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
28+000 - 28+999	0	0	0	0	1	1	0	0	7	
29+000 - 29+999	0	0	0	0	12	0	0	0	0	
30+000 - 30+999	0	0	0	7	0	0	0	0	0	
31+000 - 31+999	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
32+000 - 32+999	1	0	0	1	0	1	0	0	0	
33+000 - 33+999	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
34+000 - 34+999	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
35+000 - 35+999	0	0	0	1	0	0	0	0	4	
36+000 - 36+999	0	0	0	1	0	0	63	0	0	
37+000 - 37+999	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
38+000 - 38+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
39+000 - 39+999	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
40+000 - 40+999	0	0	1	0	0	7	0	0	0	
41+000 - 41+999	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
42+000 - 42+999	0	0	0	0	1	9	0	1	1	
43+000 - 43+999	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
44+000 - 44+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45+000 - 45+999	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
46+000 - 46+999	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
47+000 - 47+999	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
48+000 - 48+999	7	0	0	1	0	1	0	1	7	
49+000 - 49+999	1	0	0	0	2	1	0	0	0	
50+000 - 50+999	0	0	0	1	1	0	1	0	0	
51+000 - 51+999	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
52+000 - 52+999	0	0	0	0	0	0	19	1	1	
53+000 - 53+999	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
54+000 - 54+999	0	0	49	0	0	0	1	0	1	
55+000 - 55+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
56+000 - 56+999	0	0	0	1	0	0	7	0	0	
57+000 - 57+999	0	0	0	0	2	0	0	0	1	
58+000 - 58+999	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
59+000 - 59+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
60+000 - 60+999	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
61+000 - 61+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
62+000 - 62+999	0	0	0	0	0	0	3	0	7	
63+000 - 63+999	0	0	0	0	9	0	1	0	0	
64+000 - 64+999	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
65+000 - 65+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

*Nota.* Datos obtenidos de lo reportado por la SICT y el IMT en Cuevas Colunga et al. (2020, 2021b, 2022); DGST (2014, 2015, 2016, 2017, 2018b).

**Tabla 2.5** Número de SE ocurridos del km 66+000 al 93+300 de 2013 a 2021

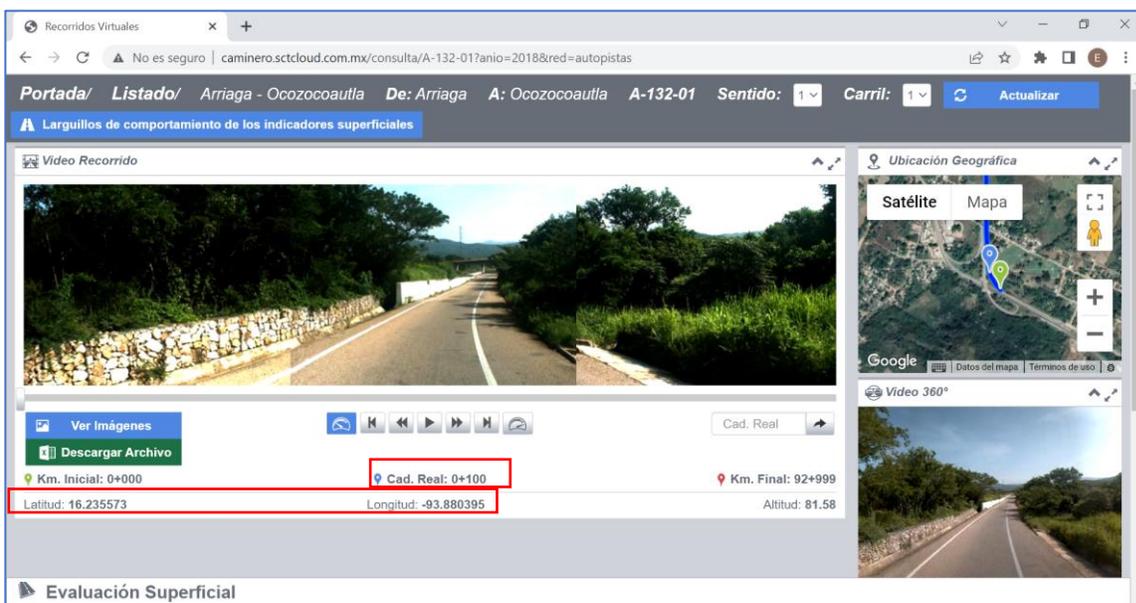
Subtramo	Número de siniestros equivalente por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
<b>66+000 - 66+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
<b>67+000 - 67+999</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<b>68+000 - 68+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	7	0	
<b>69+000 - 69+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>70+000 - 70+999</b>	0	0	0	2	2	0	1	0	0	
<b>71+000 - 71+999</b>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
<b>72+000 - 72+999</b>	0	0	0	0	2	3	1	0	0	
<b>73+000 - 73+999</b>	0	0	0	0	0	3	0	0	0	
<b>74+000 - 74+999</b>	0	0	1	0	15	0	0	1	0	
<b>75+000 - 75+999</b>	1	0	0	1	3	14	0	0	0	
<b>76+000 - 76+999</b>	0	0	0	13	0	2	0	0	0	
<b>77+000 - 77+999</b>	0	0	0	0	0	5	0	0	0	
<b>78+000 - 78+999</b>	0	0	0	0	11	0	1	0	1	
<b>79+000 - 79+999</b>	0	0	0	1	9	0	0	0	0	
<b>80+000 - 80+999</b>	0	0	0	0	0	5	0	1	1	
<b>81+000 - 81+999</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<b>82+000 - 82+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
<b>83+000 - 83+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	1	3	
<b>84+000 - 84+999</b>	0	0	0	0	3	1	0	0	1	
<b>85+000 - 85+999</b>	1	0	0	0	7	0	0	0	0	
<b>86+000 - 86+999</b>	0	0	0	1	4	0	0	0	1	
<b>87+000 - 87+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<b>88+000 - 88+999</b>	0	0	0	1	1	0	0	1	0	
<b>89+000 - 89+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
<b>90+000 - 90+999</b>	0	0	0	0	0	7	0	1	0	
<b>91+000 - 91+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>92+000 - 92+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	23	
<b>93+000 - 93+300</b>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	

*Nota.* Datos obtenidos de lo reportado por la SICT y el IMT en Cuevas Colunga et al. (2020, 2021b, 2022); DGST (2014, 2015, 2016, 2017, 2018b).

### 2.2.3 Georreferenciación de los datos de siniestros viales

Los datos de siniestros viales se georreferenciaron a partir de lo registrado en campo, ya que, en el entorno de las vías terrestres, se tiene la práctica de ubicar y referenciar los tramos carreteros a partir de los kilometrajes oficiales. Para lo cual, las coordenadas de los kilometrajes en los que se registraron siniestros se obtuvieron de la plataforma “sctclouds” en el apartado de recorridos virtuales, ya que en este apartado los tramos carreteros, tienen referencias a cada 20 metros, en las que se indican el cadenamamiento oficial y su coordenada correspondiente.

**Figura 2.8** Interfaz gráfica de la plataforma SCTclouds.



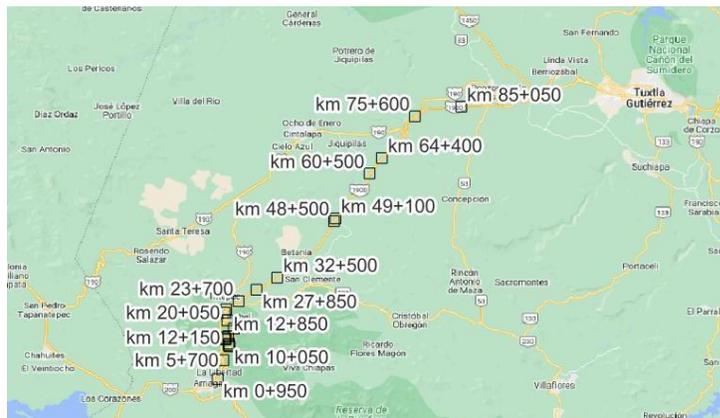
Teniendo las coordenadas de cada uno de los siniestros, se ubicaron mediante la aplicación Google earth y se guardaron los siniestros ocurridos por año en archivos tipo kml (*Keyhole Markup Language*), este tipo de archivos permite representar datos geográficos en un SIG o en un navegador terrestre.

Cada uno de los archivos kml que contienen los siniestros ocurridos en la carretera Arriaga – Ocozocoautla en los años de este estudio, sirven de base para la realización del análisis, pero, se necesita agregar atributos a los siniestros georreferenciados (número de heridos, número de muertos, etc.). Para lo cual se utilizó el *software* libre Qgis, ya que su interfaz gráfica y programación permite agregar atributos de manera sencilla. Para lo cual los archivos kml tienen que ser convertidos a tipo shp (shape), previó al agregar los atributos deseados.

### 2.2.3.1 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en el 2013

La carretera Arriaga – Ocozocoautla tiene una longitud de 93.3 km, iniciando el kilometraje (km 0+000) en Arriaga, Chiapas y finalizando en el km 93+300 (en Ocozocoautla, Chiapas). En la figura 2.6, el acercamiento digital (*zoom*) utilizado y las etiquetas del kilometraje en el que ocurrieron los siniestros en el 2013, obstaculizan la visibilidad por lo que se presenta la figura 2.7, en la que además se visualizan de manera generalizada las condiciones del relieve.

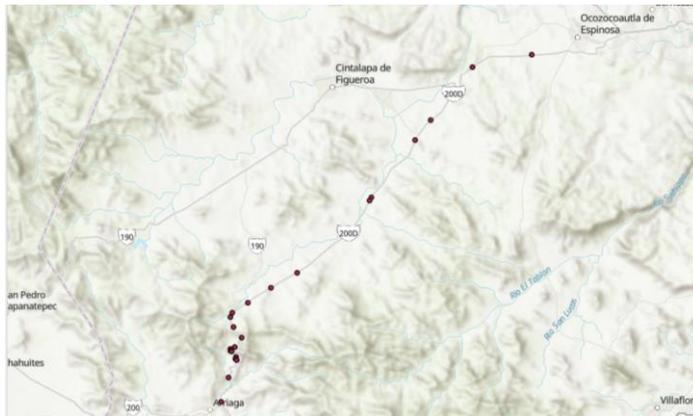
**Figura 2.9 Siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla durante el 2013**



En el 2013, en la carretera Arriaga – Ocozocoautla se presentaron 22 siniestros, de entre los cuales, en uno de ellos se presentó un deceso y en cinco siniestros se presentaron únicamente heridos, con un saldo al finalizar el año de 1 muerto y 11 heridos (DGST, 2014). En lo referente a la ocurrencia, se puede indicar que febrero y agosto, fueron los meses con mayor número de registros de siniestros, con 6 y 5 respectivamente. Con respecto a las condiciones de luz, 10 se presentaron de día, 1 en el crepúsculo y 11 de noche.

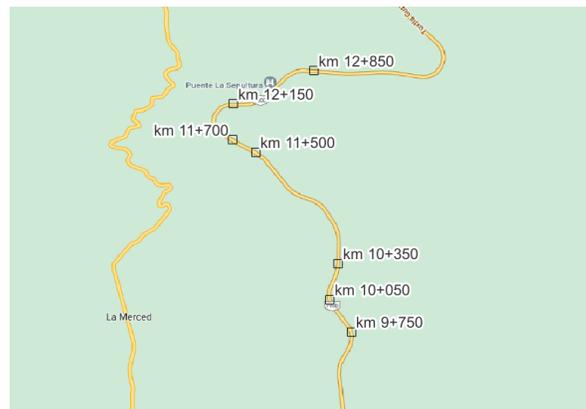
En la figura 2.7, se observa cierta concentración de siniestros viales, de lo que se puede indicar que, 14 de los 22 hechos de tránsito ocurridos en 2013 se presentaron en los primeros 23 km de los más de 93 km con lo que cuenta la carretera, es decir, que en lo que corresponde aproximadamente al primer cuarto de la carretera (24.73%), ocurrieron el 63.64% de los siniestros de ese año.

**Figura 2.10** Siniestros viales georreferenciados en un mapa base de vista del relieve



En la siguiente figura, en la 2.8, se puede observar que existen curvas próximas entre sí, lo que puede provocar que la maniobrabilidad de los conductores se pueda ver comprometida en los casos en los que los vehículos circulen a exceso de velocidad. En los reportes de los siniestros se registró que las condiciones del clima eran buenas.

**Figura 2.11** Siniestros viales ocurridos en 2013 en el tramo del km 9+000 al km 13+000 de la carretera en estudio

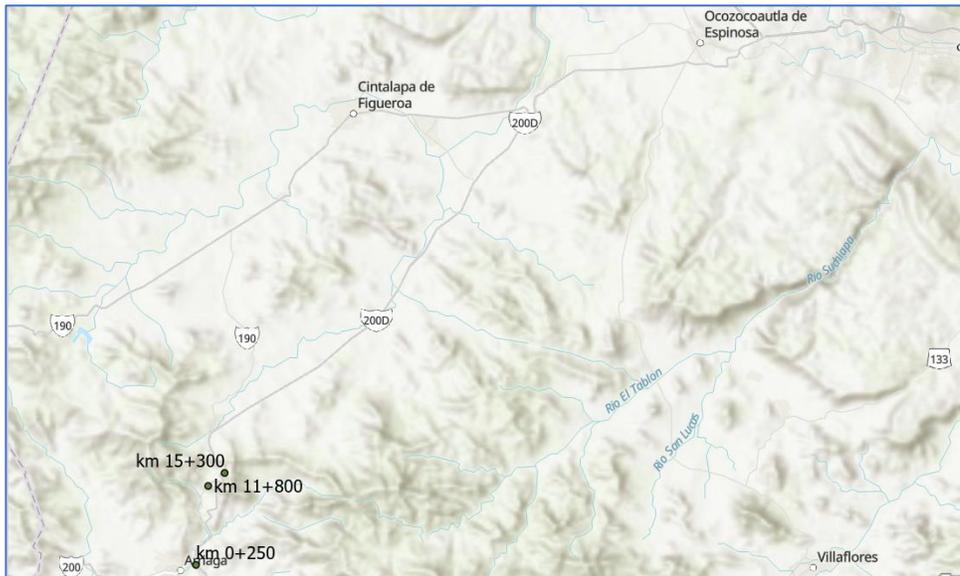


En lo referente a los días de la semana que ocurrieron los siniestros en el 2013 en la carretera en estudio, se puede mencionar que el día con menor registro de incidentes fue el domingo con 1, mientras que los días con mayores percances fueron los miércoles y viernes ambos con 5, seguidos por sábados con 4 siniestros viales. En cuanto a los hechos de tránsito ocurridos en periodos festivos, se suscitó uno al periodo festivo asociado al aniversario de la revolución.

### 2.2.3.2 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en el 2014

En 2014, los siniestros viales se presentaron en los primeros 16 kilómetros de la carretera Arriaga – Ocozocoautla. En este año, solamente se presentaron 3 siniestros, en los que no se presentaron decesos y se registraron únicamente 2 heridos (DGST, 2015). En lo referente a los meses en que se presentaron los siniestros, se tiene que ocurrió uno en febrero, uno en octubre y otro en junio. Dos de los siniestros se presentaron en lunes y uno en martes, resulta pertinente aclarar que no se presentaron en periodos de días festivos. Mientras que, con respecto a las condiciones de luz prevalecientes al momento de los percances, dos ocurrieron de día y uno de noche.

**Figura 2.12** Siniestros viales ocurridos en 2014 en la carretera en estudio.

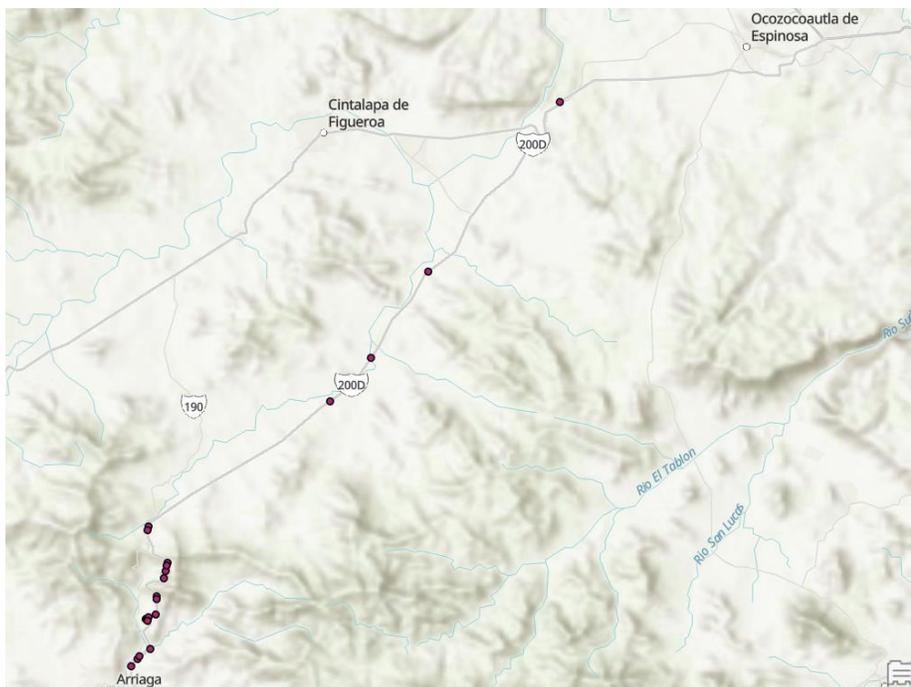


Ante esos registros, es de esperarse que, al aplicar la Metodología de la SICT o las herramientas de Estadística Espacial, no se logren identificar puntos ni tramos de conflicto, puesto que son cifras bajas de siniestralidad, incluso se les podía considerar cifras atípicas en comparación con los datos recabados en el año previo y durante los años sucesivos registrados en la carretera en estudio.

### 2.2.3.3 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en el 2015

Similar a lo ocurrido en el 2013, durante el 2015, se presentaron siniestros cercanos entre sí, en lo referente a la ubicación (en el tramo del Km 6+000 al km 17+540), ver figura 4.13. Inclusive en dos kilometrajes, se repitió la ocurrencia de siniestro vial, aunque en diferentes momentos del año (km 7+450 y el km 8+700).

**Figura 2.13** Siniestros viales ocurridos en 2015 en la carretera en estudio.

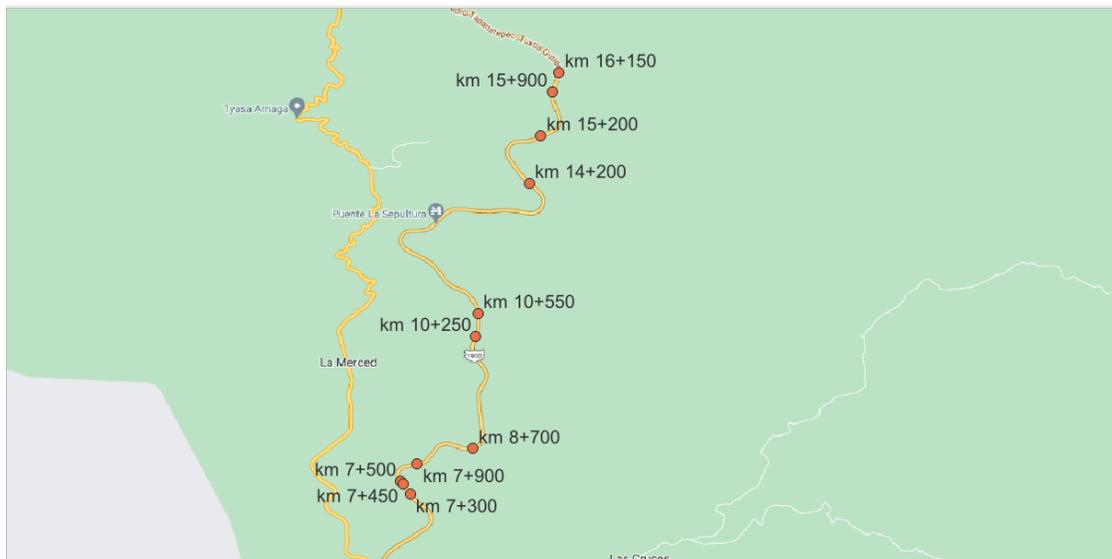


En 2015, se registró una cifra muy similar de siniestros viales que los ocurridos en el 2013, 23 hechos de tránsito registrados para el 2015 mientras que en el 2013 se contabilizaron 22. También se tienen cantidades similares en el número de siniestros con fallecidos y de siniestros solo con heridos, ya que en ambos años se registraron 5 siniestros viales en los que se presentaron solo lesionados, mientras que en los siniestros con defunciones para el 2013 fue solo uno y para el 2015 fueron dos. Sin embargo, hay una diferencia más marcada en cuanto a las defunciones y el número de heridos reportados. En 2015, se reportaron 4 defunciones, además de 26 heridos (DGST, 2016) y como se indicó en el apartado 2.1.3.1 en 2013 los registros fueron: 1 fallecido y 11 heridos.

Con respecto al mes de ocurrencia se los siniestros viales del 2015, octubre y diciembre son los dos meses con mayores registros, 4 para cada uno. En marzo, abril y septiembre se presentaron 3 hechos de tránsito en cada uno de ellos. Mientras que en febrero, mayo y agosto se registraron 2 siniestros viales en cada uno de esos meses. En lo referente a las condiciones de luz, se registró lo siguiente: 11 siniestros ocurrieron en el día, 1 en el crepúsculo y 11 de noche.

En lo referente a los días de la semana en los que se presentaron los hechos de tránsito, se tiene que los lunes se registraron un mayor número de siniestros viales con 5, seguidos por los sábados y domingos con 4, mientras que los días con menos ocurrencia fueron los martes y jueves ambos con 2 percances. En lo referente a la ocurrencia de hechos de tránsito en días festivos o de asueto, uno de los siniestros, se presentó en el periodo vacacional de semana santa

**Figura 2.14** Siniestros viales ocurridos en 2015 en el tramo del Km 6+000 al km 17+540 de la carretera en estudio



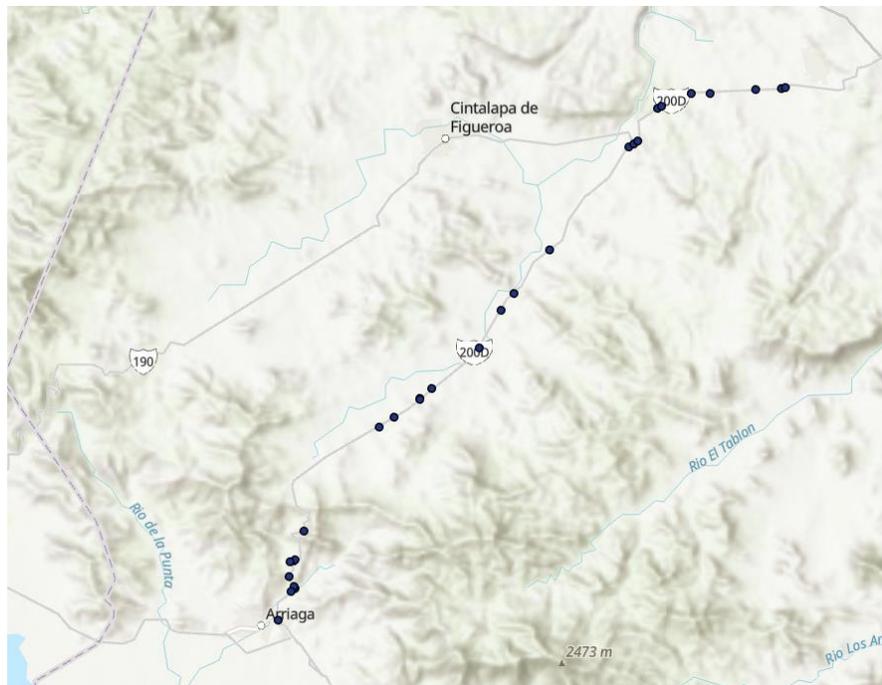
En uno de los dos siniestros que ocurrieron en el km 7+450 dejó un saldo de 7 heridos y forma parte del tramo identificado de manera visual con alta incidencia, sin embargo, el siniestro con mayores afectaciones se presentó en el km. 54+800 (en tangente) en el cual fallecieron 3 personas y 15 resultaron heridos.

### 2.2.3.4 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en el 2016

En el 2016, en la carretera Arriaga – Ocozocoautla se presentaron siniestros en tramos más diversos a lo que ocurrió en los años 2013, 2014 y 2015, como se puede observar en la figura 2.12. Para este año se registraron 29 siniestros viales en los que fallecieron 3 personas y 11 más sufrieron lesiones (DGST, 2017).

En este año, solo en los meses de enero y agosto no se presentaron hechos de tránsito. Mientras que los meses con más ocurrencia de siniestros viales fueron marzo, abril y mayo con 4 cada uno. En lo referente a las condiciones de luz al momento de la ocurrencia de los siniestros, se tiene que 14 ocurrieron de día, 3 en crepúsculo y 12 de noche.

**Figura 2.15** Siniestros viales georreferenciados ocurridos en 2016 en la carretera en estudio.



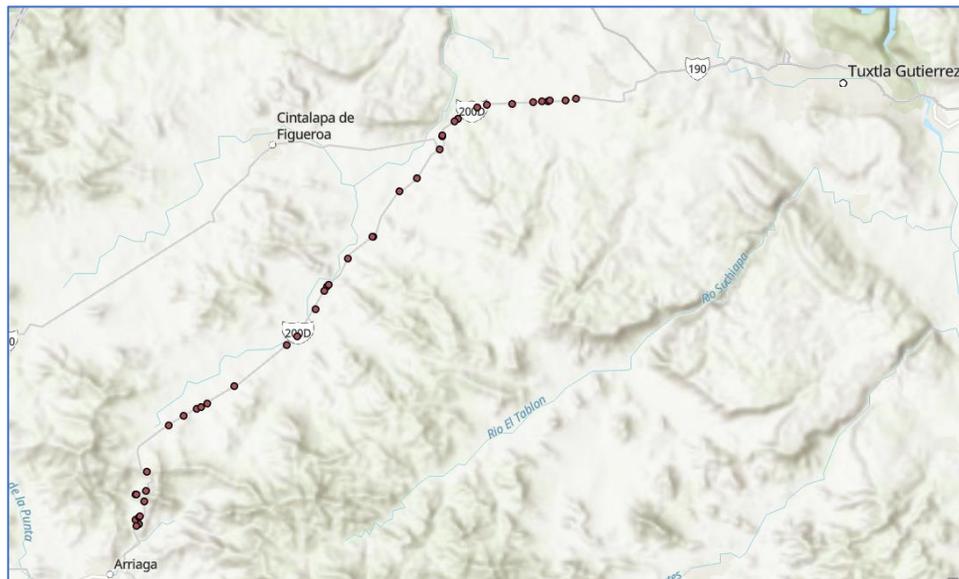
Los días en los que se presentaron mayor número de siniestros fueron los viernes con 8, miércoles con 7 y sábado con 6. Mientras que los días con menos registros de percances fueron los lunes y martes con 1, además de los domingos con 2. En lo referente a los días asociados a periodos festivos, se presentaron 2 siniestros, solo que, en periodos festivos distintos, uno fue en las fiestas patrias de independencia y otro en el periodo de día de muertos.

### 2.2.3.5 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en 2017 en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas.

Conforme a lo registrado por la SICT, se tiene que en la carretera Arriaga – Ocozocoautla, Chiapas en el 2017 se presentaron 43 siniestros viales, de los cuales en 5 se registraron defunciones, en 9 de ellos se presentaron solo heridos, para finalizar el registro de ese año con 7 personas fallecidas y 22 personas heridas (DGST, 2018b). En la figura 2.13, se pueden visualizar la ubicación de los percances viales que se presentaron a lo largo del 2017, comparando dicha ubicación con los años 2013, 2014 y 2015, se puede ver una mayor distribución a lo largo de la carretera.

Para este año, en todos los meses se presentó por lo menos un siniestro vial, el primer y segundo mes con mayor número de ocurrencia son marzo con 9 hechos de tránsito y enero con 7. Con respecto a las condiciones de luz que prevalecían al momento del siniestro, se tiene registrado que 22 fueron de día, 2 en el crepúsculo y 19 de noche.

**Figura 2.16** Siniestros viales ocurridos en 2017 en la carretera en estudio.



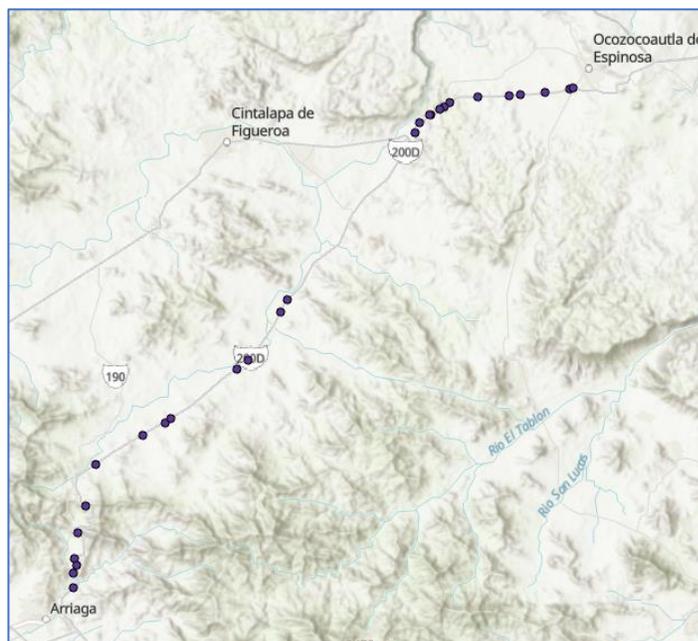
En lo referente al día de la semana con más siniestros viales durante el 2017, se tiene que los miércoles se presentaron 8, pero, también los martes, jueves, viernes y sábados registraron una cantidad alta de percances con 7 cada uno de estos días; mientras que los que presentaron menor registro fueron los domingos y lunes, con 3 y 4 siniestros respectivamente. Con respecto los periodos festivos en que se registraron siniestros se tienen que en semana santa se presentaron 4, en el del 21 de marzo 1 y en el de día de independencia 1 más.

### 2.2.3.6 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en 2018

En la carretera Arriaga – Ocozocoautla, Chiapas en el 2018 se registraron 28 hechos de tránsito de los que 7 presentaron decesos y 5 solo reportaron heridos. Con un registro final para este año de 7 personas fallecidas y 12 heridas (Cuevas Colunga et al., 2020). En la figura 2.14 se pueden visualizar georreferenciados los siniestros viales ocurridos en 2018.

Enero de ese año, fue el mes con el mayor número de siniestros viales con 5, mientras que por el contrario en agosto y noviembre no se presentaron incidentes. Con respecto a las condiciones de luz en el momento en que se presentaron los siniestros, se tiene registrado que 11 ocurrieron en el día, 3 en el crepúsculo y 14 de noche.

**Figura 2.17** Siniestros viales ocurridos en 2018 en la carretera en estudio.



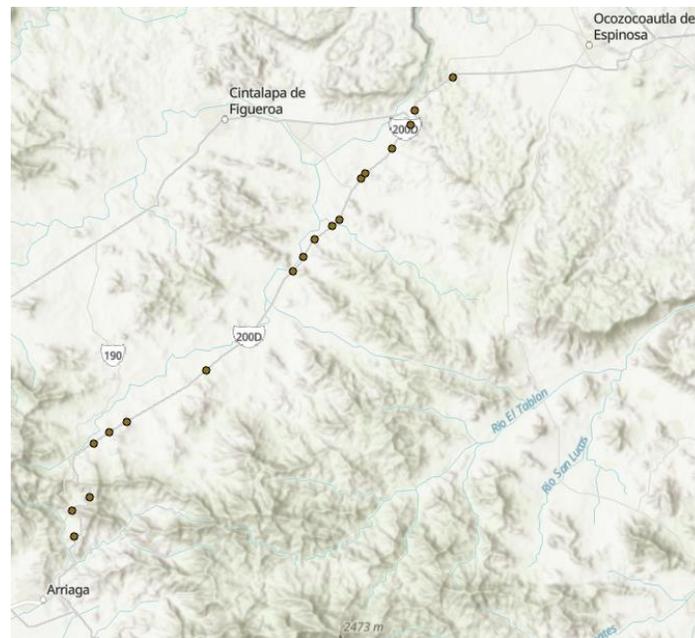
Al igual que en los años previos que se han analizado, los siniestros viales que ocurrieron en 2018 se presentaron de manera desigual, con los jueves y los sábados como los días con más registros, ambos con 6. Mientras que los días con menos percances fueron miércoles y viernes con 2. En lo que respecta a la ocurrencia de hechos de tránsito en los periodos de asueto o vacacionales, se tiene que el 1 de enero ocurrió un siniestro vial y se presentó 1 más en el periodo en el que se conmemoró el natalicio de Benito Juárez.

### 2.2.3.7 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en 2019

El 2019, fue el segundo año con menor número de siniestros viales del periodo en estudio al contabilizarse 18 hechos de tránsito, solo el 2016 registro una menor cantidad de hechos de tránsito. Sin embargo, fue el año en el que se registró la mayor cantidad de decesos, siendo 16 personas fallecidas y 2 personas lesionadas (Cuevas Colunga et al., 2021a). En la figura 2.15, se presentan los siniestros viales ocurridos en 2019.

En mayo y septiembre de 2019, no se presentaron siniestros viales, siendo marzo y diciembre los meses con mayor número de hechos de tránsito, registrándose 3 siniestros en cada uno de estos meses. Tomando en cuenta las condiciones de luz, se registraron 10 siniestros durante el día y 8 en la noche.

**Figura 2.18** Siniestros viales ocurridos en 2019 en la carretera en estudio.

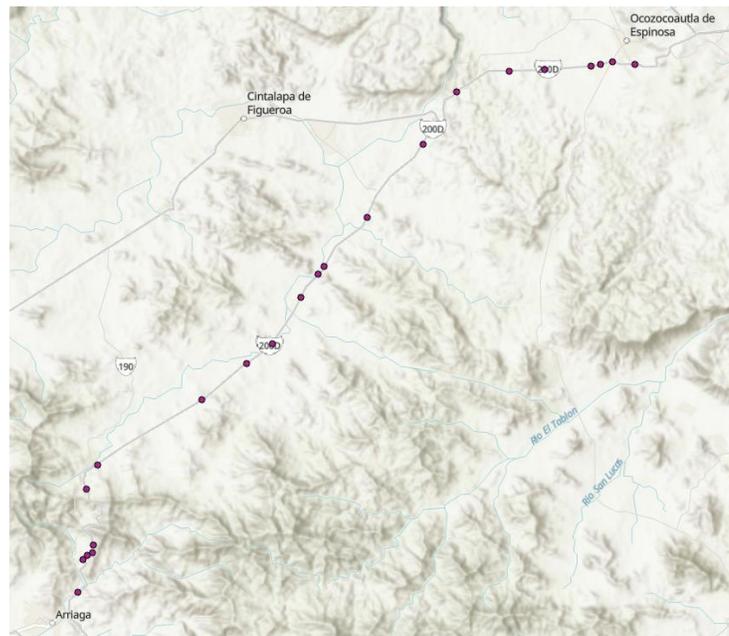


Los jueves y domingo de 2019, fueron los días de la semana en los que ocurrieron más siniestros viales con 4 en ambos casos, mientras los lunes y miércoles de este año fueron los que tuvieron menos hechos de tránsito, ya que solo en un lunes y un miércoles se registró la ocurrencia de un percance vial. Con respecto a los periodos de asueto por día festivo, solo se presentaron siniestros viales el 1 de enero y en el periodo del día de la promulgación de la Constitución.

### 2.2.3.8 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en 2020

En 2020, se presentaron 23 siniestros viales en la carretera en estudio y finalizó el año con 3 defunciones y 17 personas heridas (Cuevas Colunga et al., 2021b). Dichos siniestros fueron georreferenciados y se presentan en la figura 2.16. En febrero y junio no se registraron siniestros, mientras que noviembre fue el mes de este año con mayor número de hechos de tránsito, registrándose 5. En lo referente a las condiciones de luz que prevalecían al momento de los incidentes, se tiene que 12 ocurrieron durante el día y 11 durante la noche, pero, los 3 siniestros viales mortales que se presentaron en el año se presentaron durante el día.

*Figura 2.19 Siniestros viales ocurridos en 2020 en la carretera en estudio*



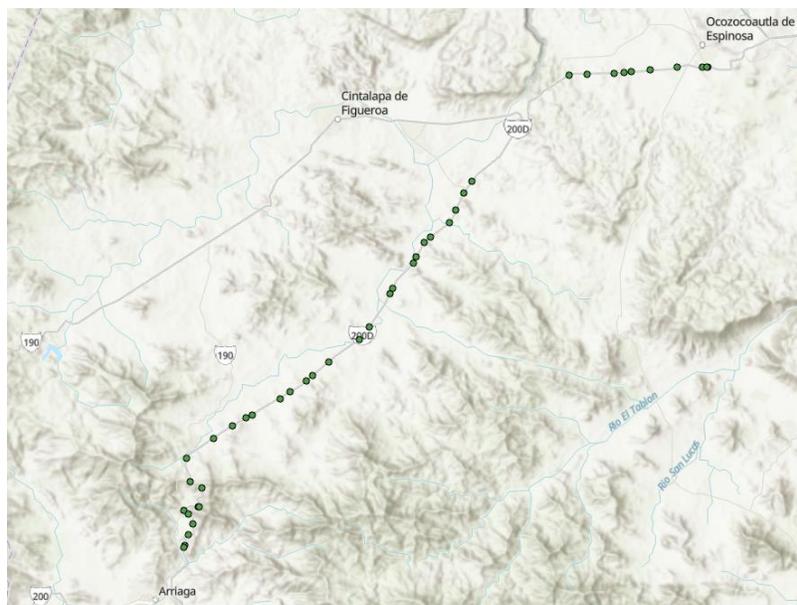
Con respecto a los días de la semana, los miércoles del 2020 se presentaron más siniestros viales que en cualquier otro día de la semana, ya que se presentaron 6, mientras que ninguno de los siniestros ocurridos en este año se presentó en viernes. En lo referente a periodos de asueto o relacionados a días festivos se presentaron dos siniestros viales, pero, en diferente periodo, el primero de ellos ocurrió en el periodo asociado a la conmemoración del natalicio de Benito Juárez y el segundo en el periodo del aniversario de la Revolución Mexicana.

### 2.2.3.9 Georreferenciación de siniestros viales ocurridos en la carretera Arriaga - Ocozocoautla, Chiapas en 2021.

En el 2021, se presentó el mayor número de siniestros viales anuales del periodo en estudio en la carretera Arriaga – Ocozocoautla y la segunda mayor cantidad en lo referente al número de defunciones. Dichos siniestros viales se georreferenciaron y se presentan en la figura 2.17. Se presentaron 45 siniestros viales, de los cuales 7 fueron con defunciones y 3 solo con heridos, al finalizar el año se contabilizaron 9 personas muertas y 10 heridas (Cuevas Colunga et al., 2022).

En todos los meses de 2021, ocurrió por lo menos un siniestro vial, en abril se presentó la mayor cantidad con 8 y en noviembre la menor cantidad con solo un hecho de tránsito registrado. Con respecto a las condiciones de iluminación al momento de presentarse el percance, se tiene registrado que 31 se presentaron de día, 1 durante el crepúsculo, 12 en la noche y 1 con alumbrado público.

**Figura 2.20** Siniestros viales ocurridos en 2021 en la carretera en estudio.



En sábados y domingos se presentaron más siniestros viales en el 2021, 8 ocurrieron en sábado, mientras que, 11 ocurrieron en domingo. Los jueves fueron los días en los que menos se presentaron percances viales con 4. Con respecto a los días festivos y sus períodos de asuetos, se puede mencionar que se presentaron 4, uno en semana santa, dos en el período de día de muertos y uno más en navidad.

## 2.2.4 Aplicación de la Metodología de la SICT

A partir de la información de siniestros viales mostrada en las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se aplicó la metodología de la SICT, la cual se definió en el marco teórico, específicamente en el apartado 1.1.3 Puntos negros (Crash hot spots o accident black spots), dicha metodología se presenta de manera condensada en la tabla 2.6, con la intención de que sea una herramienta que permita mayor practicidad.

**Tabla 2.6** Metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto

<b>Metodología de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes</b>					
	<b>Longitud por considerar</b>	<b>Años consecutivos analizados</b>	<b>Criterio I</b>	<b>Criterio II</b>	<b>Criterio III</b>
<b>Punto de conflicto</b>	1 km	2	Es un punto donde han ocurrido por lo menos cuatro siniestros viales en cada uno de los años analizados.	En caso de que no se haya identificado por lo menos un punto o un tramo de conflicto con el criterio I, se le considerará como punto de conflicto a los sitios donde se presentó un siniestro con muertos en cada uno de los años analizados.	En caso de que no se haya identificado por lo menos un punto o un tramo de conflicto con el criterio II, se le considerará como punto de conflicto a los sitios donde se presentó dos siniestros con heridos en cada uno de los años analizados.
<b>Tramo de conflicto</b>	Más de 1 km hasta 15 km	2	Es una zona donde se concentran ocho o más siniestros viales en cada uno de los últimos años analizados.	En caso de que no se haya identificado por lo menos un punto o tramo de conflicto con el criterio I, se le considerará como tramo de conflicto a los sitios donde se presentaron dos siniestros con muertos en cada uno de los años analizados.	En caso de que no se haya identificado por lo menos un punto o un tramo de conflicto con el criterio II, se le considerará como tramo de conflicto a los sitios donde se presentaron cuatro siniestros con heridos en cada uno de los años analizados.

Como se puede observar previamente en la tabla 2.6, el análisis se realiza con los datos de los siniestros viales ocurridos en dos años consecutivos, por lo que los subperiodos analizados mediante el criterio I de la Metodología de la SICT, son: 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017, 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.

**Tabla 2.7** Número de siniestros por cada año del periodo, del km 0+000 al km 27+999

Subtramo	Número de siniestros por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
<b>0+000 - 0+999</b>	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
<b>1+000 - 1+999</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
<b>2+000 - 2+999</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
<b>3+000 - 3+999</b>	0	0	1	1	0	1	0	1	0	
<b>4+000 - 4+999</b>	0	0	1	2	0	0	0	0	0	
<b>5+000 - 5+999</b>	1	0	0	1	0	2	0	0	0	
<b>6+000 - 6+999</b>	0	0	0	0	2	1	0	0	2	
<b>7+000 - 7+999</b>	0	0	5	1	1	1	1	2	0	
<b>8+000 - 8+999</b>	0	0	2	2	3	0	0	1	2	
<b>9+000 - 9+999</b>	1	0	0	0	0	0	0	2	0	
<b>10+000 - 10+999</b>	2	0	2	0	1	0	0	0	1	
<b>11+000 - 11+999</b>	2	1	0	0	2	1	1	0	2	
<b>12+000 - 12+999</b>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>13+000 - 13+999</b>	0	0	0	1	1	0	0	0	2	
<b>14+000 - 14+999</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
<b>15+000 - 15+999</b>	1	1	2	0	0	0	1	0	0	
<b>16+000 - 16+999</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
<b>17+000 - 17+999</b>	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
<b>18+000 - 18+999</b>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
<b>19+000 - 19+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>20+000 - 20+999</b>	2	0	2	0	0	0	0	0	1	
<b>21+000 - 21+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>22+000 - 22+999</b>	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
<b>23+ 000 - 23+999</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
<b>24+000 - 24+999</b>	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
<b>25+000 - 25+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>26+000 - 26+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
<b>27+000 - 27+999</b>	1	0	0	0	0	0	1	0	1	

**Tabla 2.8** Número de siniestros por cada año del periodo, del km 28+000 al km 65+999

Subtramo	Número de siniestros por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
28+000 - 28+999	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
29+000 - 29+999	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
30+000 - 30+999	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
31+000 - 31+999	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
32+000 - 32+999	1	0	0	1	0	1	0	0	0	
33+000 - 33+999	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
34+000 - 34+999	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
35+000 - 35+999	0	0	0	1	0	0	0	0	2	
36+000 - 36+999	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
37+000 - 37+999	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
38+000 - 38+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
39+000 - 39+999	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
40+000 - 40+999	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
41+000 - 41+999	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
42+000 - 42+999	0	0	0	0	1	1	0	1	1	
43+000 - 43+999	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
44+000 - 44+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45+000 - 45+999	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
46+000 - 46+999	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
47+000 - 47+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
48+000 - 48+999	1	0	0	1	0	1	0	1	1	
49+000 - 49+999	1	0	0	0	2	1	0	0	0	
50+000 - 50+999	0	0	0	1	1	0	1	0	0	
51+000 - 51+999	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
52+000 - 52+999	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
53+000 - 53+999	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
54+000 - 54+999	0	0	1	0	0	0	1	0	1	
55+000 - 55+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
56+000 - 56+999	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
57+000 - 57+999	0	0	0	0	2	0	0	0	1	
58+000 - 58+999	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
59+000 - 59+999	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
60+000 - 60+999	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
61+000 - 61+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
62+000 - 62+999	0	0	0	0	0	0	1	0	2	
63+000 - 63+999	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
64+000 - 64+999	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
65+000 - 65+999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

**Tabla 2.9** Número de siniestros por cada año del periodo, del km 66+000 al km 93+300

Subtramo	Número de siniestros por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
<b>66+000 - 66+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
<b>67+000 - 67+999</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<b>68+000 - 68+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
<b>69+000 - 69+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>70+000 - 70+999</b>	0	0	0	2	2	0	1	0	0	
<b>71+000 - 71+999</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<b>72+000 - 72+999</b>	0	0	0	0	2	1	1	0	0	
<b>73+000 - 73+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<b>74+000 - 74+999</b>	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
<b>75+000 - 75+999</b>	1	0	0	1	1	2	0	0	0	
<b>76+000 - 76+999</b>	0	0	0	1	0	2	0	0	0	
<b>77+000 - 77+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<b>78+000 - 78+999</b>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
<b>79+000 - 79+999</b>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
<b>80+000 - 80+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	1	1	
<b>81+000 - 81+999</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<b>82+000 - 82+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
<b>83+000 - 83+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
<b>84+000 - 84+999</b>	0	0	0	0	1	1	0	1	1	
<b>85+000 - 85+999</b>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	
<b>86+000 - 86+999</b>	0	0	0	1	2	0	0	0	1	
<b>87+000 - 87+999</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<b>88+000 - 88+999</b>	0	0	0	1	1	0	0	1	0	
<b>89+000 - 89+999</b>	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
<b>90+000 - 90+999</b>	0	0	0	0	0	2	0	1	0	
<b>91+000 - 91+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>92+000 - 92+999</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	5	
<b>93+000 - 93+300</b>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	

A partir de los datos de las tablas 2.7, 2.8 y 2.9 se aplicó el criterio I de la metodología de la SICT y se presentan los resultados mediante la tabla 3.1 y las figuras 3.1, 3.2 y 3.3. Los casos en los que no se identificaron por lo menos un punto o un tramo de conflicto con el criterio I, conforme lo indica la Metodología de la SICT, se aplicó el criterio II, ver tabla 2.6. Para lo cual se construyeron las tablas 2.10, 2.11 y 2.12 en las que se presentan los números de las personas fallecidas en los años que se requieren para la aplicación del criterio II.

En las tablas 2.10, 2.11 y 2.12 se destacan subrayados en color rosa, los subtramos de 1 km de longitud en los que por lo menos ocurrió un deceso a causa de un siniestro vial, con el objetivo de apoyarse visualmente al momento de aplicar el criterio II. Cabe recordar que el criterio se aplica en 2 años consecutivos, por lo que se analizan bajo el criterio mencionado los subperiodos: 2013-2014, 2014-2015, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021.

**Tabla 2.10** Número de fallecidos en siniestros viales, años de interés para el criterio II, km 0+000 al km 27+999

Subtramo	Número de fallecidos en años de interés						
	2013	2014	2015	2018	2019	2020	2021
0+000 - 0+999	0	0	0	0	0	0	0
1+000 - 1+999	0	0	0	0	0	0	0
2+000 - 2+999	0	0	0	0	0	0	0
3+000 - 3+999	0	0	0	0	0	0	0
4+000 - 4+999	0	0	0	1	0	0	0
5+000 - 5+999	0	0	0	0	0	0	0
6+000 - 6+999	0	0	1	0	0	1	0
7+000 - 7+999	0	0	0	0	0	1	1
8+000 - 8+999	0	0	0	0	0	0	0
9+000 - 9+999	1	0	0	0	0	0	0
10+000 - 10+999	0	0	0	1	1	0	1
11+000 - 11+999	0	0	0	0	0	0	0
12+000 - 12+999	0	0	0	0	0	0	0
13+000 - 13+999	0	0	0	0	0	0	0
14+000 - 14+999	0	0	0	0	0	0	0
15+000 - 15+999	0	0	0	0	0	0	0
16+000 - 16+999	0	0	0	0	0	0	0
17+000 - 17+999	0	0	0	0	0	0	0
18+000 - 18+999	0	0	0	0	0	0	0
19+000 - 19+999	0	0	0	0	0	0	0
20+000 - 20+999	0	0	0	0	0	0	0
21+000 - 21+999	0	0	0	1	1	0	0
22+000 - 22+999	0	0	0	0	0	0	0
23+ 000 - 23+999	0	0	0	0	0	0	0
24+000 - 24+999	0	0	0	0	0	0	0
25+000 - 25+999	0	0	0	0	0	0	0
26+000 - 26+999	0	0	0	0	0	0	0
27+000 - 27+999	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 2.11** Número de fallecidos en siniestros viales, años de interés para el criterio II, km 28+000 al km 64+999

Subtramo	Número de fallecidos en años de interés						
	2013	2014	2015	2018	2019	2020	2021
28+000 - 28+999	0	0	0	0	0	0	0
29+000 - 29+999	0	0	0	0	0	0	0
30+000 - 30+999	0	0	0	0	0	0	0
31+000 - 31+999	0	0	0	0	0	0	0
32+000 - 32+999	0	0	0	0	0	0	0
33+000 - 33+999	0	0	0	0	0	0	0
34+000 - 34+999	0	0	0	0	0	0	0
35+000 - 35+999	0	0	0	0	10	0	0
36+000 - 36+999	0	0	0	0	0	0	0
37+000 - 37+999	0	0	0	0	0	0	0
38+000 - 38+999	0	0	0	0	0	0	0
39+000 - 39+999	0	0	0	1	0	0	0
40+000 - 40+999	0	0	0	0	0	0	0
41+000 - 41+999	0	0	0	1	0	0	0
42+000 - 42+999	0	0	0	0	0	0	0
43+000 - 43+999	0	0	0	0	0	0	0
44+000 - 44+999	0	0	0	0	0	0	0
45+000 - 45+999	0	0	0	0	0	0	0
46+000 - 46+999	0	0	0	0	0	0	3
47+000 - 47+999	0	0	0	0	0	0	1
48+000 - 48+999	0	0	0	0	0	0	0
49+000 - 49+999	0	0	0	0	0	0	0
50+000 - 50+999	0	0	0	0	0	0	0
51+000 - 51+999	0	0	0	0	3	0	0
52+000 - 52+999	0	0	0	0	0	0	0
53+000 - 53+999	0	0	3	0	0	0	0
54+000 - 54+999	0	0	0	0	0	0	0
55+000 - 55+999	0	0	0	0	1	0	0
56+000 - 56+999	0	0	0	0	0	0	0
57+000 - 57+999	0	0	0	0	0	0	0
58+000 - 58+999	0	0	0	0	0	0	0
59+000 - 59+999	0	0	0	0	0	0	0
60+000 - 60+999	0	0	0	0	0	0	0
61+000 - 61+999	0	0	0	0	0	0	1
62+000 - 62+999	0	0	0	0	0	0	0
63+000 - 63+999	0	0	0	0	0	0	0
64+000 - 64+999	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 2.12** Número de fallecidos en siniestros viales, años de interés para el criterio II, km 65+000 al km 93+300

Subtramo	Número de fallecidos en años de interés						
	2013	2014	2015	2018	2019	2020	2021
65+000 - 65+999	0	0	0	0	0	0	0
66+000 - 66+999	0	0	0	0	0	0	0
67+000 - 67+999	0	0	0	0	0	1	0
68+000 - 68+999	0	0	0	0	0	0	0
69+000 - 69+999	0	0	0	0	0	0	0
70+000 - 70+999	0	0	0	0	0	0	0
71+000 - 71+999	0	0	0	0	0	0	0
72+000 - 72+999	0	0	0	0	0	0	0
73+000 - 73+999	0	0	0	0	0	0	0
74+000 - 74+999	0	0	0	1	0	0	0
75+000 - 75+999	0	0	0	0	0	0	0
76+000 - 76+999	0	0	0	0	0	0	0
77+000 - 77+999	0	0	0	0	0	0	0
78+000 - 78+999	0	0	0	0	0	0	0
79+000 - 79+999	0	0	0	0	0	0	0
80+000 - 80+999	0	0	0	0	0	0	0
81+000 - 81+999	0	0	0	0	0	0	0
82+000 - 82+999	0	0	0	0	0	0	0
83+000 - 83+999	0	0	0	0	0	0	0
84+000 - 84+999	0	0	0	0	0	0	0
85+000 - 85+999	0	0	0	0	0	0	0
86+000 - 86+999	0	0	0	0	0	0	0
87+000 - 87+999	0	0	0	0	0	0	0
88+000 - 88+999	0	0	0	0	0	0	0
89+000 - 89+999	0	0	0	1	0	0	0
90+000 - 90+999	0	0	0	0	0	0	0
91+000 - 91+999	0	0	0	0	0	0	2
92+000 - 92+999	0	0	0	0	0	0	0
93+000 - 93+300	0	0	0	0	0	0	0

Con los datos de las tablas 2.10, 2.11 y 2.12 se aplicó el criterio II de la metodología de la SICT y se presentan los resultados mediante la tabla 3.2 y las figuras del 3.4 al 3.9. Para los subperiodos de dos años consecutivos en los que no se identificaron por lo menos un punto o un tramo de conflicto con el criterio II, conforme lo indica la Metodología de la SICT, se aplicó el criterio III, ver tabla 2.6. Para lo cual se elaboraron las tablas 2.13 y 2.14, en ellas se presentan los números de heridos de los años que se requieren para la aplicación del criterio III.

En las tablas 2.13 y 2.14, se identifican subrayados en color *beige* (castaño claro), los subtramos de 1 km de longitud en los que por lo menos se registró una persona herida a causa de un siniestro vial. Cabe señalar que el criterio se aplica en 2 años consecutivos, por lo que se analizan bajo el criterio III los subperiodos: 2013-2014, 2014-2015 y 2019-2020.

**Tabla 2.13** Número de heridos en siniestros viales en los años de interés para el criterio III, km 0+000 al km 27+999

Subtramo	Número de heridos en años				
	2013	2014	2015	2019	2020
<b>0+000 - 0+999</b>	0	2	0	0	0
<b>1+000 - 1+999</b>	0	0	0	0	0
<b>2+000 - 2+999</b>	0	0	0	0	0
<b>3+000 - 3+999</b>	0	0	0	0	0
<b>4+000 - 4+999</b>	0	0	0	0	0
<b>5+000 - 5+999</b>	3	0	0	0	0
<b>6+000 - 6+999</b>	0	0	0	0	0
<b>7+000 - 7+999</b>	0	0	9	0	15
<b>8+000 - 8+999</b>	0	0	0	0	0
<b>9+000 - 9+999</b>	0	0	0	0	2
<b>10+000 - 10+999</b>	0	0	0	0	0
<b>11+000 - 11+999</b>	2	0	0	0	0
<b>12+000 - 12+999</b>	0	0	0	0	0
<b>13+000 - 13+999</b>	0	0	0	0	0
<b>14+000 - 14+999</b>	0	0	0	0	0
<b>15+000 - 15+999</b>	0	0	2	0	0
<b>16+000 - 16+999</b>	0	0	0	0	0
<b>17+000 - 17+999</b>	0	0	0	0	0
<b>18+000 - 18+999</b>	0	0	0	0	0
<b>19+000 - 19+999</b>	0	0	0	0	0
<b>20+000 - 20+999</b>	2	0	0	0	0
<b>21+000 - 21+999</b>	0	0	0	0	0
<b>22+000 - 22+999</b>	0	0	0	0	0
<b>23+ 000 - 23+999</b>	1	0	0	0	0
<b>24+000 - 24+999</b>	0	0	0	0	0
<b>25+000 - 25+999</b>	0	0	0	0	0
<b>26+000 - 26+999</b>	0	0	0	0	0
<b>27+000 - 27+999</b>	0	0	0	0	0

**Tabla 2.14** Número de heridos en los años de interés para el criterio III, km 28+000 al km 62+999

Subtramo	Número de heridos en años				
	2013	2014	2015	2019	2020
<b>28+000 - 28+999</b>	0	0	0	0	0
<b>29+000 - 29+999</b>	0	0	0	0	0
<b>30+000 - 30+999</b>	0	0	0	0	0
<b>31+000 - 31+999</b>	0	0	0	0	0
<b>32+000 - 32+999</b>	0	0	0	0	0
<b>33+000 - 33+999</b>	0	0	0	0	0
<b>34+000 - 34+999</b>	0	0	0	0	0
<b>35+000 - 35+999</b>	0	0	0	0	0
<b>36+000 - 36+999</b>	0	0	0	1	0
<b>37+000 - 37+999</b>	0	0	0	0	0
<b>38+000 - 38+999</b>	0	0	0	0	0
<b>39+000 - 39+999</b>	0	0	0	0	0
<b>40+000 - 40+999</b>	0	0	0	0	0
<b>41+000 - 41+999</b>	0	0	0	0	0
<b>42+000 - 42+999</b>	0	0	0	0	0
<b>43+000 - 43+999</b>	0	0	0	0	0
<b>44+000 - 44+999</b>	0	0	0	0	0
<b>45+000 - 45+999</b>	0	0	0	0	0
<b>46+000 - 46+999</b>	0	0	0	0	0
<b>47+000 - 47+999</b>	0	0	0	0	0
<b>48+000 - 48+999</b>	3	0	0	0	0
<b>49+000 - 49+999</b>	0	0	0	0	0
<b>50+000 - 50+999</b>	0	0	0	0	0
<b>51+000 - 51+999</b>	0	0	0	0	0
<b>52+000 - 52+999</b>	0	0	0	0	0
<b>53+000 - 53+999</b>	0	0	0	0	0
<b>54+000 - 54+999</b>	0	0	15	0	0
<b>55+000 - 55+999</b>	0	0	0	0	0
<b>56+000 - 56+999</b>	0	0	0	0	0
<b>57+000 - 57+999</b>	0	0	0	0	0
<b>58+000 - 58+999</b>	0	0	0	0	0
<b>59+000 - 59+999</b>	0	0	0	0	0
<b>60+000 - 60+999</b>	0	0	0	0	0
<b>61+000 - 61+999</b>	0	0	0	0	0
<b>62+000 - 62+999</b>	0	0	0	1	0

Del kilometraje 63+000 al 93+300, no se registraron heridos por lo que se optó por ya no tabularlo. Con los datos de las tablas 2.13 y 2.14 se aplicó el criterio III de la metodología de la SICT, obteniéndose los resultados presentados en la tabla 3.3.

## 2.2.5 Aplicación de la Estadística Espacial

A partir de la información mostrada en las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se construyeron las tablas 2.15, 2.16 y 2.17 en las que se muestran los números de siniestros equivalentes ocurridos en cada subtramo de un kilómetro de la carretera en subperiodos formados por dos años consecutivos, para lo cual se consideran el periodo en estudio (2013 – 2021), estos datos se agregaron como atributos al archivo tipo *shape* en el que la carretera está dividida por kilómetro.

**Tabla 2.15** Número de SE ocurridos en dos años consecutivos, km 0+000 al km 27+999

Subtramo	Número de siniestros equivalentes ocurridos en dos años consecutivos							
	2013-2014	2104-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
0+000 - 0+999	6	5	1	1	0	0	0	0
1+000 - 1+999	0	1	1	0	0	0	0	0
2+000 - 2+999	0	1	1	0	0	0	0	0
3+000 - 3+999	0	1	2	1	1	1	1	1
4+000 - 4+999	0	1	13	12	0	0	0	0
5+000 - 5+999	7	0	3	3	12	12	0	0
6+000 - 6+999	0	0	0	20	21	1	0	2
7+000 - 7+999	0	29	30	2	2	2	39	38
8+000 - 8+999	0	2	12	19	9	0	8	16
9+000 - 9+999	1	0	0	0	0	0	5	6
10+000 - 10+999	8	2	2	1	1	0	0	0
11+000 - 11+999	7	1	0	2	9	14	7	8
12+000 - 12+999	2	0	0	0	0	0	0	0
13+000 - 13+999	0	0	1	2	1	0	0	2
14+000 - 14+999	0	1	1	0	0	0	0	0
15+000 - 15+999	2	7	6	0	0	1	1	0
16+000 - 16+999	0	1	1	0	0	0	0	1
17+000 - 17+999	0	0	0	1	3	2	0	1
18+000 - 18+999	1	0	0	0	0	0	1	1
19+000 - 19+999	0	0	0	0	0	0	0	0
20+000 - 20+999	6	2	2	0	0	0	0	1
21+000 - 21+999	0	0	0	0	0	0	0	0
22+000 - 22+999	0	0	0	0	7	14	8	1
23+ 000 - 23+999	3	0	0	0	0	0	0	1
24+000 - 24+999	0	0	0	1	1	1	1	0
25+000 - 25+999	0	0	0	0	0	0	0	0
26+000 - 26+999	0	0	0	1	1	0	0	1
27+000 - 27+999	1	0	0	0	0	1	1	1

**Tabla 2.16** Número de SE ocurridos en dos años consecutivos, km 28+000 al km 65+999

Subtramo	Número de siniestros equivalentes ocurridos en dos años consecutivos							
	2013-2014	2104-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
28+000 - 28+999	0	0	0	1	2	1	0	7
29+000 - 29+999	0	0	0	12	12	0	0	0
30+000 - 30+999	0	0	7	7	0	0	0	0
31+000 - 31+999	0	0	0	0	1	1	0	1
32+000 - 32+999	1	0	1	1	1	1	0	0
33+000 - 33+999	0	0	0	1	1	0	0	1
34+000 - 34+999	0	0	0	0	0	0	1	1
35+000 - 35+999	0	0	1	1	0	0	0	4
36+000 - 36+999	0	0	1	1	0	63	63	0
37+000 - 37+999	0	0	1	1	0	0	0	0
38+000 - 38+999	0	0	0	0	0	0	0	1
39+000 - 39+999	0	0	0	0	0	0	1	1
40+000 - 40+999	0	1	1	0	7	7	0	0
41+000 - 41+999	0	0	0	1	1	0	0	0
42+000 - 42+999	0	0	0	1	10	9	1	2
43+000 - 43+999	0	0	1	1	0	0	0	1
44+000 - 44+999	0	0	0	0	0	0	0	0
45+000 - 45+999	0	1	1	0	0	0	0	0
46+000 - 46+999	0	0	0	1	1	0	0	0
47+000 - 47+999	0	0	0	0	0	0	0	23
48+000 - 48+999	7	0	1	1	1	1	1	8
49+000 - 49+999	1	0	0	2	3	1	0	0
50+000 - 50+999	0	0	1	2	1	1	1	0
51+000 - 51+999	0	0	0	0	0	0	1	2
52+000 - 52+999	0	0	0	0	0	19	20	2
53+000 - 53+999	0	0	0	1	1	0	0	0
54+000 - 54+999	0	49	49	0	0	1	1	1
55+000 - 55+999	0	0	0	0	0	0	0	1
56+000 - 56+999	0	0	1	1	0	7	7	0
57+000 - 57+999	0	0	0	2	2	0	0	1
58+000 - 58+999	0	0	0	0	0	1	2	1
59+000 - 59+999	0	0	0	0	0	0	0	1
60+000 - 60+999	1	0	0	0	0	0	0	0
61+000 - 61+999	0	0	0	0	0	0	0	1
62+000 - 62+999	0	0	0	0	0	3	3	7
63+000 - 63+999	0	0	0	9	9	1	1	0
64+000 - 64+999	1	0	0	0	0	0	0	0
65+000 - 65+999	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 2.17** Número de SE ocurridos en dos años consecutivos, km 66+000 al km 93+300

Subtramo	Número de siniestros equivalentes ocurridos en dos años consecutivos							
	2013-2014	2104-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
66+000 - 66+999	0	0	0	1	1	0	0	0
67+000 - 67+999	0	0	0	0	0	1	1	0
68+000 - 68+999	0	0	0	0	0	0	7	7
69+000 - 69+999	0	0	0	0	0	0	0	0
70+000 - 70+999	0	0	2	4	2	1	1	0
71+000 - 71+999	0	0	3	3	0	0	0	0
72+000 - 72+999	0	0	0	2	5	4	1	0
73+000 - 73+999	0	0	0	0	3	3	0	0
74+000 - 74+999	0	1	1	15	15	0	1	1
75+000 - 75+999	1	0	1	4	17	14	0	0
76+000 - 76+999	0	0	13	13	2	2	0	0
77+000 - 77+999	0	0	0	0	5	5	0	0
78+000 - 78+999	0	0	0	11	11	1	1	1
79+000 - 79+999	0	0	1	10	9	0	0	0
80+000 - 80+999	0	0	0	0	5	5	1	2
81+000 - 81+999	0	0	1	1	0	0	0	0
82+000 - 82+999	0	0	0	1	1	0	0	1
83+000 - 83+999	0	0	0	0	1	1	1	4
84+000 - 84+999	0	0	0	3	4	1	0	1
85+000 - 85+999	1	0	0	7	7	0	0	0
86+000 - 86+999	0	0	1	5	4	0	0	1
87+000 - 87+999	0	0	0	0	1	1	0	0
88+000 - 88+999	0	0	1	2	1	0	1	1
89+000 - 89+999	0	0	0	1	1	0	1	2
90+000 - 90+999	0	0	0	0	7	7	1	1
91+000 - 91+999	0	0	0	0	0	0	0	0
92+000 - 92+999	0	0	0	0	0	0	1	24
93+000 - 93+300	0	0	2	2	0	0	0	0

Cada una de las columnas 2.10, 2.11 y 2.12, fueron analizadas aplicándoles los estadísticos espaciales I de Moran Gi de Ordís, para lo que cada uno estas columnas fueron agregadas como atributo, asociando cada renglón con cada subtramo de 1 km de longitud del archivo tipo *shape* de la carretera en estudio.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se optó por presentar este capítulo por apartados, inicialmente se exponen los resultados que se generaron al aplicar la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto. Posteriormente, se presentan los valores obtenidos al aplicar los estadísticos espaciales y al final del capítulo se presenta la discusión de los resultados, comparando ambos métodos y lo reportado en las bases teóricas - conceptuales seleccionadas como referenciales en el análisis del estado del arte.

#### 3.1 Resultados obtenidos a partir de la metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto

Se aplicó la metodología de la SICT para la detección de puntos de conflicto conforme a lo indicado en el capítulo dos, y posteriormente, se aplicó el procedimiento para la detección de tramos de conflicto, en ambos casos, se hizo con los datos de siniestros viales ocurridos en subperiodos de 2 años, se analizó del 2013 al 2021. Para lo cual los resultados se presentan agrupados en la tabla 3.1, 3.2 y en la 3.3, además de que se representan mediante las figuras de este capítulo.

*Tabla 3.1 Detección de puntos y tramos de conflicto por el criterio I*

Periodo	Metodología SICT, criterio I	
	Puntos de conflicto	Tramos de conflicto
2013 - 2014	Ninguno	Ninguno
2014 - 2015	Ninguno	Ninguno
2015 - 2016	Ninguno	Km 0+000 – 14+999
2016 -2017	Ninguno	Km 0+000 – 14+999
2017 – 2018	Ninguno	Km 75+000 – 89+999
2018 – 2019	Ninguno	Ninguno
2019 – 2020	Ninguno	Ninguno
2020 – 2021	Ninguno	Ninguno

Como se puede observar en la tabla 3.1, mediante el criterio I de la Metodología de la SICT, no se identificaron puntos de conflicto, sin embargo, en lo referente a tramos de conflicto se ubicaron tres, pero, cada uno de ellos en diferentes subperiodos (2015 – 2016, 2016 – 2017 y 2017 – 2018), con la particularidad que se trata de tres subperiodos consecutivos y que, en dos de ellos, el tramo de conflicto establecidos es el mismo el Km 0+000 – 14+999. También se puede

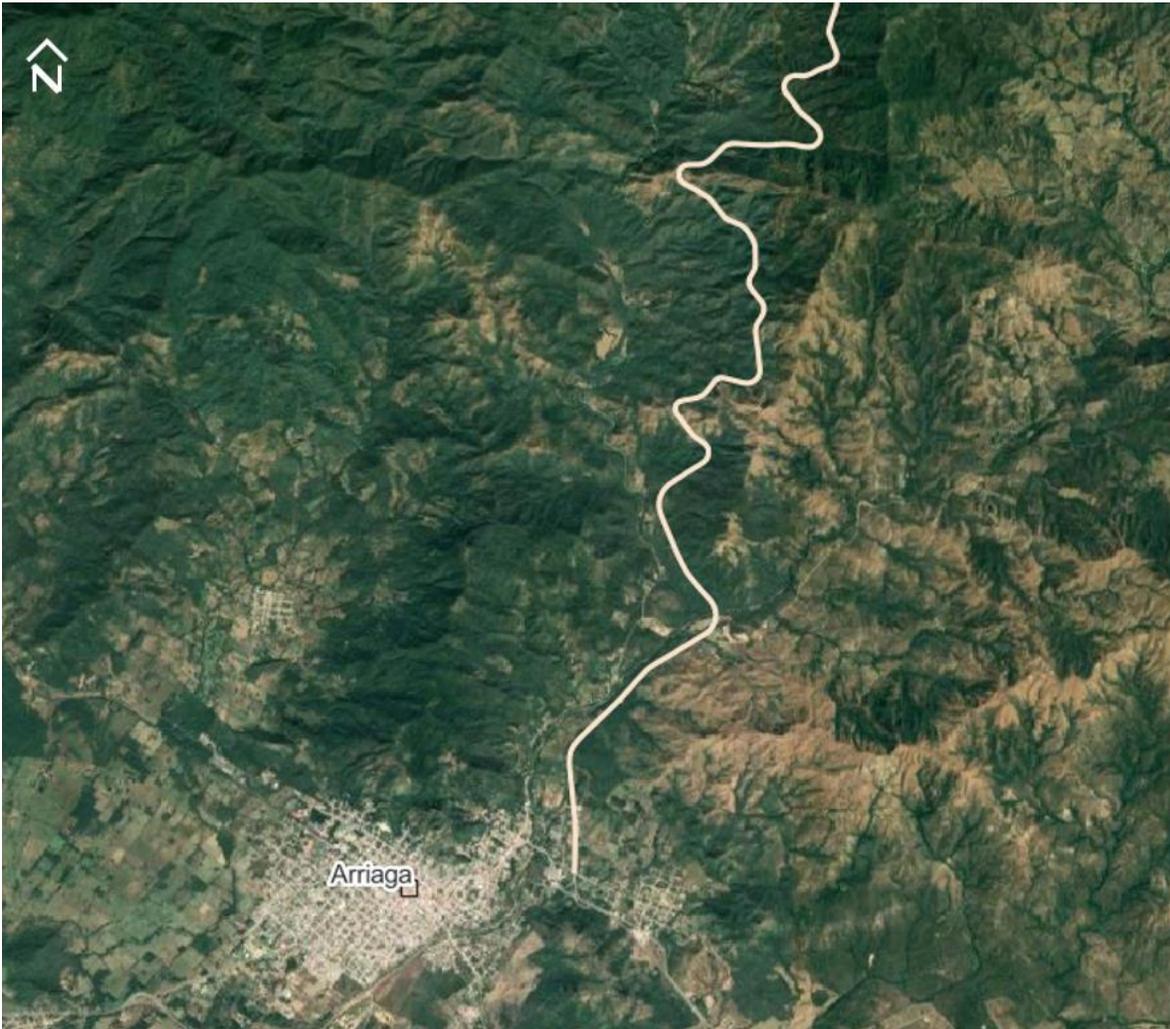
visualizar en la misma tabla, que, en cinco subperiodos, no se identificaron puntos ni tramos de conflicto. Por lo que se les contempló para que fueran revisados mediante el Criterio II de la Metodología de la SICT.

**Figura 3.1** Tramo de conflicto (del km 0+000 al 14+999) para los subperiodos: 2015 – 2016 y 2016 – 2017.



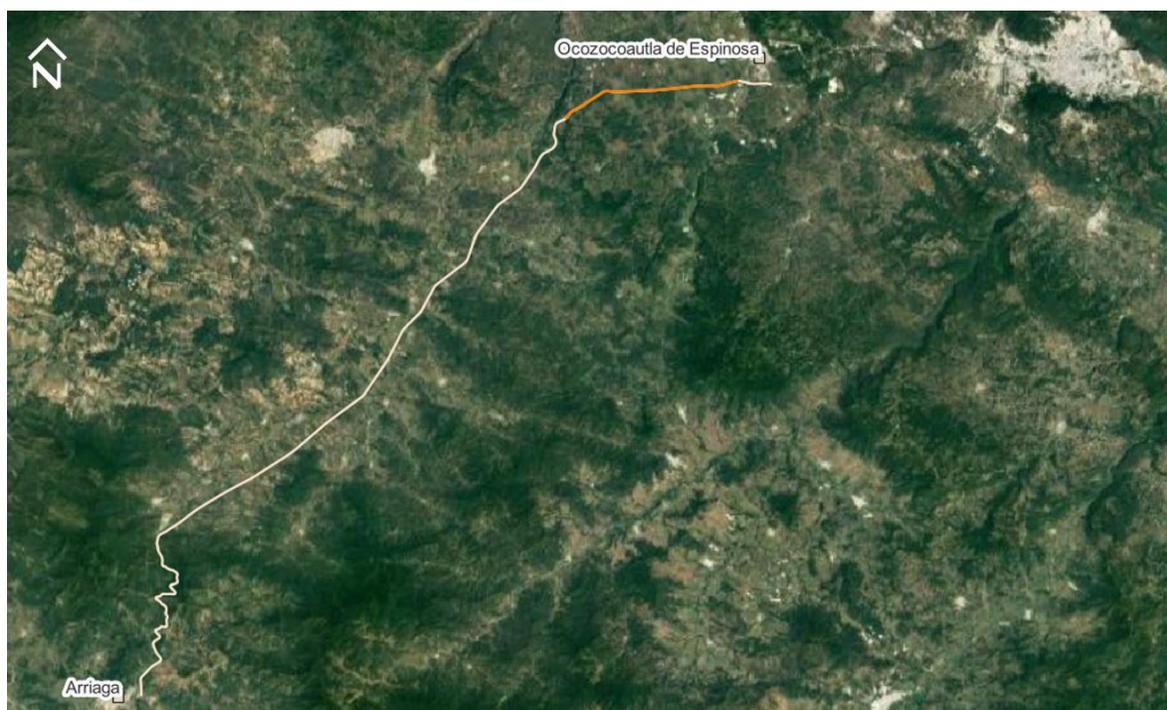
En la figura 3.1, se tiene identificado en color naranja el tramo de conflicto del km 0+000 al 14+999, dicho tramo fue identificado a partir del criterio I de la Metodología de la SICT y para los subperiodos 2015 – 2016 y el 2016 – 2017. En la figura se puede observar la cercanía de curvas horizontales, lo cual resulta notable puesto que esa figura fue obtenida con una escala mediana y, aun así, se logra percibir esta zona de curvas.

**Figura 3.2** Acercamiento al tramo de conflicto (del km 0+000 al 14+999) de los subperiodos: 2015 – 2016 y 2016 – 2017.



En la figura 3.2, se puede observar a más detalle, lo que ya se lograba visualizar en la figura 3.1 en cuanto a que se tienen curvas horizontales cercanas entre sí, esto se debe a que en esta zona se tiene un relieve accidentado y para que se pueda cumplir con la pendiente gobernadora, además de las máximas, se tiene que rodear las montañas mediante curvas horizontales y verticales.

**Figura 3.3** Tramo de conflicto (del km 75+000 al 89+999) para el subperiodo: 2017 -2018



Mediante la figura 3.3, se tiene representado en color naranja el tramo de conflicto del km 75+000 al 89+999, dicho tramo fue identificado a partir del criterio I de la Metodología de la SICT para el subperiodo el 2017 - 2018. A diferencia del tramo en conflicto previo, a esta escala, no se visualiza cercanía entre las curvas horizontales. A continuación, en la tabla 3.2, se presentan los resultados obtenidos al aplicar el criterio II de la Metodología de la SICT a los subperiodos en los que, mediante el primer criterio, no fue posible identificar puntos ni tramos de conflicto.

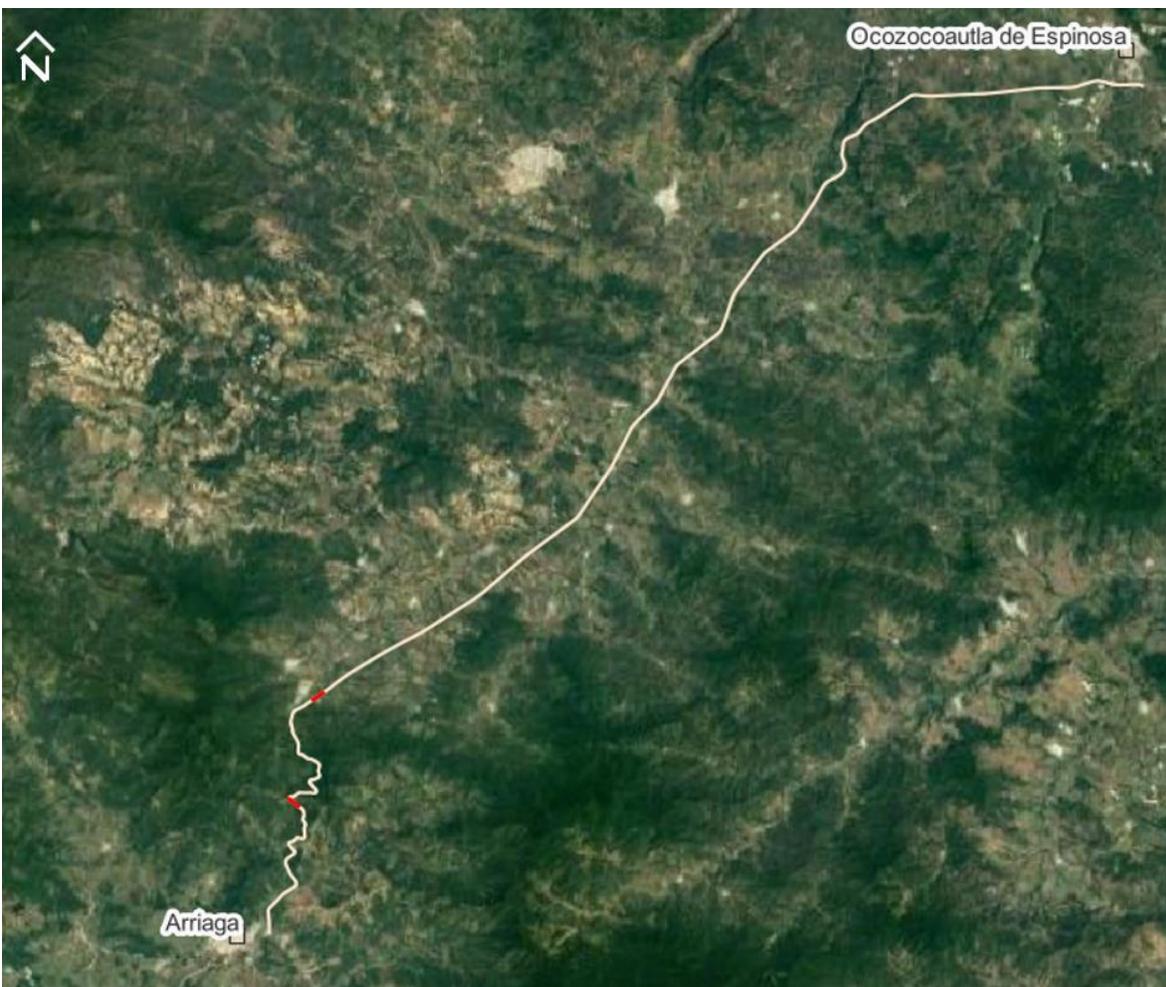
**Tabla 3.2** Detección de puntos de conflicto por el criterio II

Periodo	Metodología SICT, criterio II	
	Puntos de conflicto (considerando defunciones)	Tramos de conflicto (considerando defunciones)
2013 - 2014	Ninguno	Ninguno
2014 - 2015	Ninguno	Ninguno
2018 – 2019	Km 11+000 - 11+999 y Km 22+000 - 22+999	Ninguno
2019 – 2020	Ninguno	Ninguno
2020 – 2021	Km 8+000 - 8+999	0+000 – 14+999

En la tabla 3.2, se puede observar que, al realizar el proceso de identificación mediante el criterio II de la Metodología de la SICT, en tres subperiodos no se identificó puntos ni tramos de conflicto, tratándose de los subperiodos: 2013 – 2014, 2014 – 2015 y 2019 – 2020. Por lo que se les aplicará el tercer criterio de la metodología a estos subperiodos.

A continuación, en la figura 3.4, en color rojo se identificaron los puntos de conflicto del subperiodo 2018 – 2019, los cuales se observan en la parte inferior, cabe recordar que la carretera tiene una longitud de 93 km, y cada uno de los puntos de conflicto miden 1 km de longitud, lo que explica que apenas sea perceptible la ubicación de dichos puntos en la figura.

**Figura 3.4** Puntos de conflicto para el subperiodo: 2018 -2019.



Para efecto de que sea más apreciable la ubicación de los puntos de conflicto del subperiodo, se presenta en la figura 3.5 un acercamiento, se puede visualizar que el punto de conflicto comprendido del km 11+000 al 11+999 está ubicada en una zona en las que el

alineamiento horizontal de la carretera está conformado por curvas horizontales cercanas entre, mientras que el punto de conflicto comprendido del km 22+000 al 22+999 km se encuentra ubicado en una parte en la que el alineamiento horizontal está conformado mayormente por tangentes.

**Figura 3.5** Acercamiento a los Puntos de conflicto para el subperiodo: 2018 -2019.



Como se ha mencionado, previamente, el papel de la escala con la que se representa el trazo de una carretera, cobra una gran importancia, en cuanto a los detalles que se puedan apreciar, en casos como el que se está analizando, la escala utilizada para que se pueda observar la totalidad de la carretera genera que se pierdan detalles del trazo, es decir, no se alcanza a apreciar con suficiente nivel de detalle el alineamiento horizontal, por lo que se optó

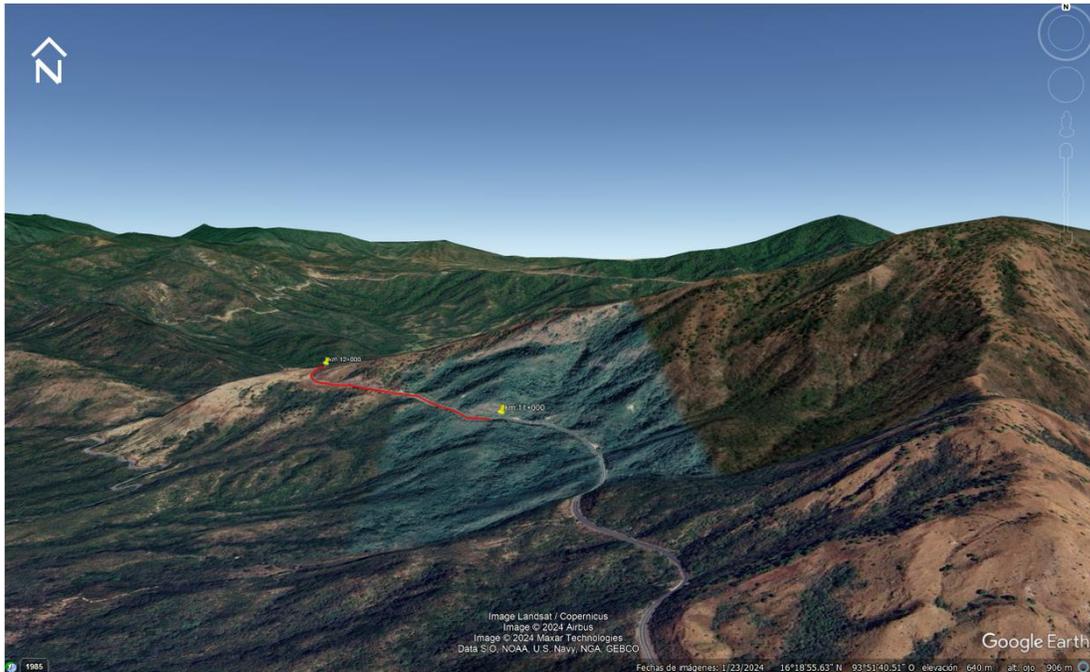
por presentar mediante la figuras 3.5 a los puntos del conflicto del subperiodo: 2018 – 2019. Además, de que uno de los puntos de conflicto, se encuentra en zona de curvas, se presentan dos figuras adicionales (figuras 3.6 y 3.7) para analizar y mencionar particularidades del caso.

**Figura 3.6** Acercamiento al punto de conflicto del km 11+000 al 11+999 del subperiodo: 2018 – 2019.



En la figura 3.6, se pueden percibir sombras en la zona, sobre todo en las áreas verdes, éstas sombras son generadas por la incidencia de los rayos solares sobre superficies elevadas (cerros y montañas), con lo que se puede indicar que el punto de conflicto del cadenamiento del km 11+000 (del km 11+000 al 11+999), se encuentra emplazado en una zona en la que el relieve es accidentado, lo cual se corrobora al utilizar la herramienta de vista en tres dimensiones de Google Earth, ver figura 3.7.

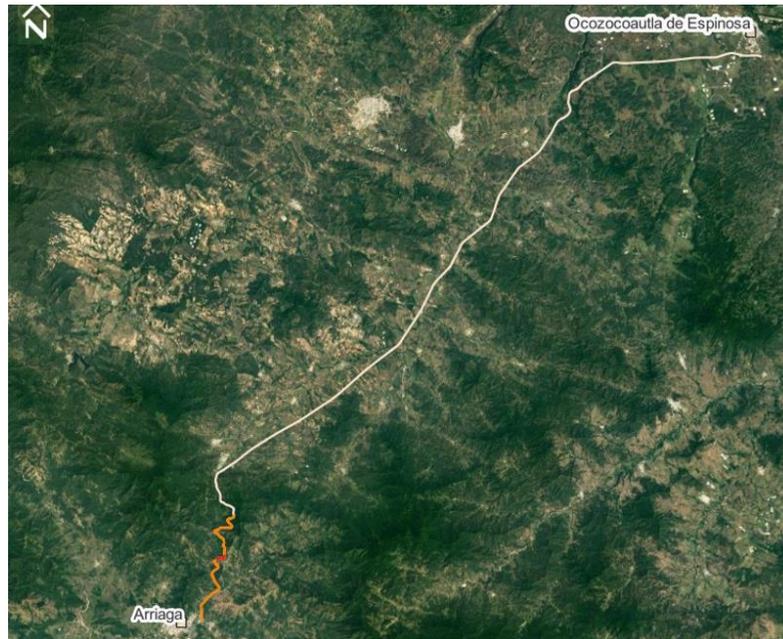
**Figura 3.7** Vista en tercera dimensión del punto de conflicto del km 11+000 al 11+999.



En la figura 3.7, no se alcanza a ver, pero, al realizar el recorrido de campo y el recorrido virtual, se puede observar que el señalamiento horizontal y vertical indican que en todo este subtramo (del punto de conflicto), se tienen prohibidas las maniobras de rebase. Esto es porque como se puede observar en esta misma figura, el alineamiento horizontal y vertical de la carretera en estos kilometrajes, no cuentan con longitudes en tangente y con suficiente visibilidad que sean mayores a las distancias de visibilidad de parada y de rebase.

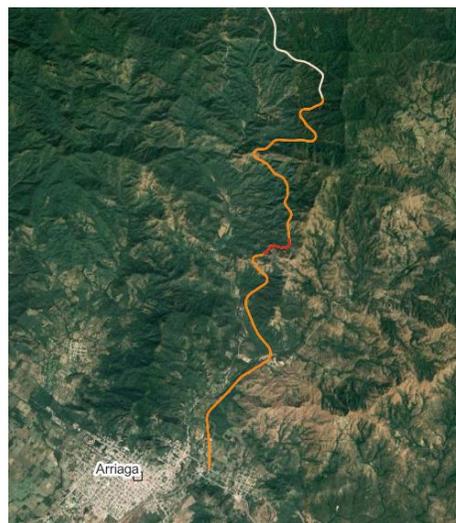
En la figura 3.8, se identifican el punto y el tramo de conflicto del subperiodo 2020 – 2021, los cuales fueron ubicados mediante el criterio II. El punto de conflicto ubicado corresponde al comprendido entre los kilometrajes km 8+000 al 8+999 (identificado con color rojo) y el tramo de conflicto está comprendido entre el km 0+000 al 14+999 (identificado con color naranja).

**Figura 3.8** Punto y tramo de conflicto para el subperiodo: 2020 -2021.



Al analizar los siniestros ocurridos en 2020 y 2021, se identificó al punto de conflicto como parte del tramo en conflicto, algo que no sucedió en los demás subperiodos analizados. Para efecto de que se pueda visualizar mejor, se presenta la figura 3.9, en la que se centra la atención en la zona de la carretera en la que se tiene el punto y tramo de conflicto.

**Figura 3.9** Acercamiento al punto de conflicto del km 8+000 al 8+999 y al tramo de conflicto del km 0+000 al km 15+000.



En la tabla 3.3, se presentan los resultados obtenidos al aplicar el criterio III, el cual fue aplicado únicamente a los subperiodos en los que mediante el criterio II, no se establecieron puntos ni tramos de conflicto. Por lo que los subperiodos analizados mediante este criterio fueron: 2013 – 2014, 2014 – 2015 y 2019 – 2020, ante lo que resultó que en ninguno de ellos se identificó puntos o tramos de conflicto, ver tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Detección de puntos de conflicto por el criterio III

Periodo	Metodología SICT, criterio III: considerando número de heridos	
	Puntos de conflicto	Tramos de conflicto
2013 - 2014	Ninguno	Ninguno
2014 - 2015	Ninguno	Ninguno
2019 – 2020	Ninguno	Ninguno

A continuación, en la tabla 3.4, se presentan los datos generales asociados a los siniestros viales ocurridos en cada uno de los subperiodos. Se remarcaron con color naranja los subperiodos en los que no se identificó puntos ni tramos de conflicto al aplicar la metodología de la SICT. Resulta interesante que los subperiodos 2014 – 2015 y el 2019 – 2020 tienen en su registro de número de siniestros equivalentes (SE) cantidades mayores a 100 y aun así, no fueron identificados puntos ni tramos de conflicto en ambos casos. Otro dato por destacar es que en el subperiodo 2019 – 2020, se contabilizaron 19 defunciones, con lo que ocupa el 2do puesto en este rubro y aun así, tampoco en este lapso de tiempo fueron identificados puntos o tramos de conflicto.

**Tabla 3.4** Resumen de datos asociados a siniestros viales de los subperiodos analizados

Subperiodos	Siniestros				Saldo	
	Total	Con muertos	Solo con heridos	Equivalentes	Muertos	Heridos
2013 - 2014	25	1	6	57	1	13
2014 - 2015	26	2	6	106	4	28
2015 - 2016	52	5	11	168	7	37
2016 - 2017	72	8	15	198	10	33
2017 - 2018	71	12	14	223	14	34
2018 - 2019	46	12	6	212	23	14
2019 - 2020	41	8	2	193	19	19
2020 - 2021	68	10	4	194	12	27

### 3.2 Resultados obtenidos a partir de la Estadística Espacial para la identificación de puntos y tramos de conflicto

En lo referente a la estadística espacial, en un primer momento, se aplicó el estadístico I de Moran, para lo cual se tiene que especificar como se define las relaciones espaciales entre entidades, en este caso se seleccionó *inverse distance* (distancia inversa) y también se tiene que indicar con que método se calcularan las distancias a partir de cada entidad hasta las entidades vecinas, se optó por el método euclidiano, en la tabla 3.5 se presentan los resultados obtenidos al aplicar la I de moran a cada uno de los subperiodos del estudio, como se puede observar en la mitad de los subperiodos se presentan *clustered* (agrupado) y en la mitad la distribución es de tipo *random* (aleatorio), cabe destacar que en este estadístico los niveles de agregación pueden ser de tipo: disperso, aleatorio y disperso.

**Tabla 3.5** Resultados obtenidos al aplicar el estadístico espacial I de moran

	$I_{\text{moran}}$	Z -score	p-value	level of agregation
<b>2013 - 2014</b>	0.210589	2.225314	0.02606	Clustered
<b>2014 - 2015</b>	-0.011479	-0.008784	0.992992	Random
<b>2015 - 2016</b>	0.045207	0.700509	0.483609	Random
<b>2016 - 2017</b>	0.114097	1.238452	0.215548	Clustered
<b>2017 - 2018</b>	0.286423	2.914803	0.003559	Clustered
<b>2018 - 2019</b>	-0.08172	-1.022616	0.306489	Random
<b>2019 - 2020</b>	-0.003117	0.100053	0.920302	Random
<b>2020 - 2021</b>	0.169628	1.987923	0.04682	Clustered

Posterior a la aplicación de la I de moran, se realizó el análisis de hot spots  $G_i^*$  de Getis-Ord, considerando los siniestros equivalentes ocurridos en cada uno de los subperiodos (conformados por dos años consecutivos, a partir de 2013 al 2021), considerando el método de distancia euclidiana y con respecto a la conceptualización de la relación espacial se optó por la opción banda de distancia fija. Los resultados de aplicar este estadístico espacial se presentan mediante figuras y tablas, en las tablas se presentan los datos del kilometraje correspondiente a los puntos de conflicto identificados, además del porcentaje de confianza correspondiente.

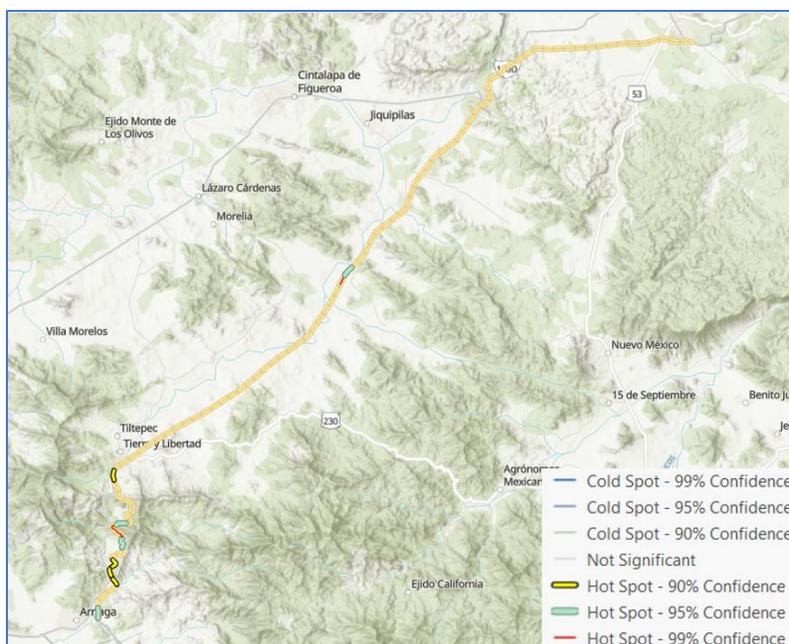
En la tabla 3.6 se presentan los *hot spot* identificados para el subperiodo 2013 – 2014, se puede observar que a partir de estos resultados se tienen dos puntos de conflicto, el identificado con kilometraje del 0+000 al 0+999 y el segundo ubicado entre el kilometraje 19+000 y el 19+999.

**Tabla 3.6** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2013 -2014

Puntos de conflicto	Hot Spot
0+000 - 0+999	95% Confidence
4+000 - 4+999	90% Confidence
5+000 - 5+999	90% Confidence
6+000 - 6+999	90% Confidence
9+000 - 9+999	95% Confidence
10+000 - 10+999	99% Confidence
11+000 - 11+999	99% Confidence
12+000 - 12+999	95% Confidence
19+000 - 19+999	90% Confidence
48+000 - 48+999	99% Confidence
49+000 - 49+999	95% Confidence

Aunque en el encabezado del lado izquierdo de la tabla 3.6 fue nombrado puntos de conflicto, resulta que, por la cercanía entre sí, se conforman 3 tramos de conflicto, el primero ubicado entre el kilometraje 4+000 y el 6+999, el segundo del km 9+000 al 12+999 y el tercero del km 48+000 al 49+900. En la figura 3.10 se visualizan los puntos y tramos de conflicto identificados mediante este estadístico, los cuales fueron ubicados principalmente en los primeros 13 kilómetros. También es importante mencionar que, para este periodo mediante la Metodología de la SICT, no fueron identificados puntos ni tramos de conflicto.

**Figura 3.10** Puntos de conflicto identificado mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2013 -2014.

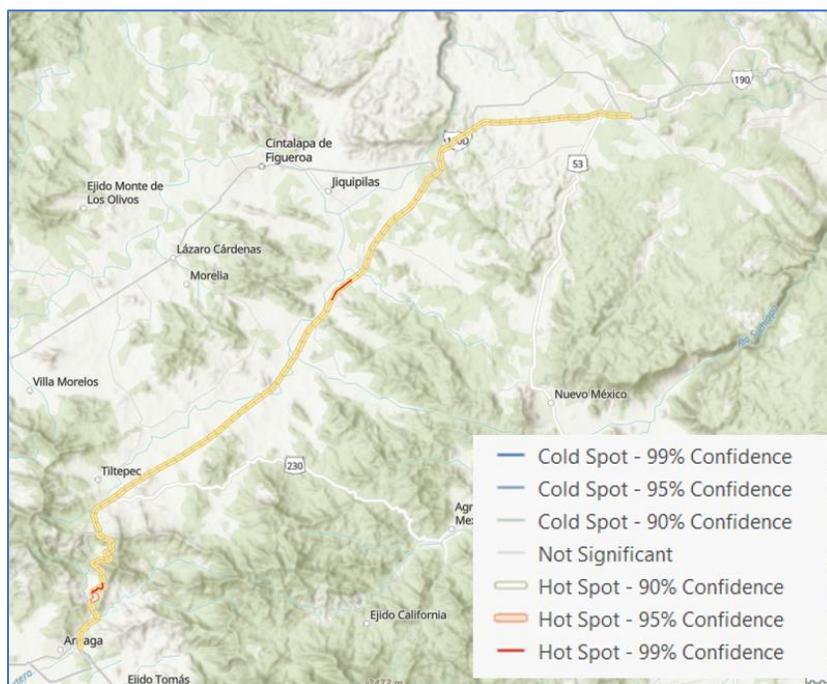


**Tabla 3.7** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2014-2015

Puntos de conflicto	Hot Spot
6+000 - 6+999	95% Confidence
7+000 - 7+999	99% Confidence
8+000 - 8+999	99% Confidence
53+000 - 53+999	99% Confidence
54+000 - 54+999	99% Confidence
55+000 - 55+999	99% Confidence

A partir de los resultados presentados en la tabla 3.7, se puede observar que por la contigüidad los puntos de conflicto detectados se convierten en dos tramos de conflicto, el primero abarca del km 6+000 al km 8+999, mientras que el segundo abarca del 53+000 al 55+999, es importante señalar que al aplicar la metodología de la SICT para este subperiodo (2014 – 2015) no se identificaron puntos ni tramos de conflicto.

**Figura 3.11** Puntos de conflicto identificado mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2014 -2015.

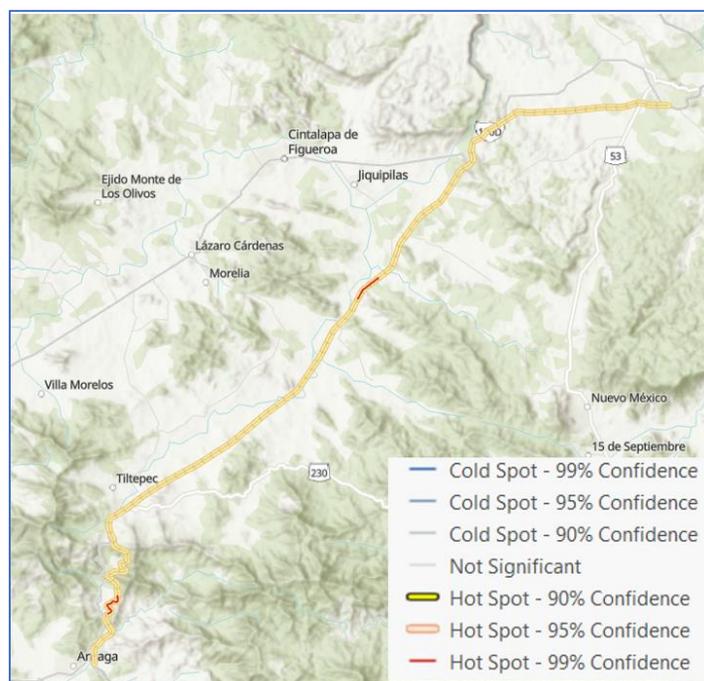


**Tabla 3.8** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2015-2016

Puntos de conflicto	Hot Spot
6+000 - 6+999	99% Confidence
7+000 - 7+999	99% Confidence
8+000 - 8+999	99% Confidence
53+000 - 53+999	99% Confidence
54+000 - 54+999	99% Confidence
55+000 - 55+999	99% Confidence

Para el subperiodo 2015 – 2016, se localizaron dos tramos de conflicto, que resultaron ser los mismos del subperiodo 2014 – 2015, es decir, el primero se localiza del km 6+000 al km 8+999 y el segundo fue identificado entre el km 53+000 y el km 55+999. Mientras que, al aplicar la metodología de la SICT, se identificó un tramo de conflicto ubicado del Km 0+000 al km 14+999. Por lo que coinciden parcialmente en 3 km identificados como parte de tramos de conflicto.

**Figura 3.12** Puntos de conflicto identificado mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2015 -2016.

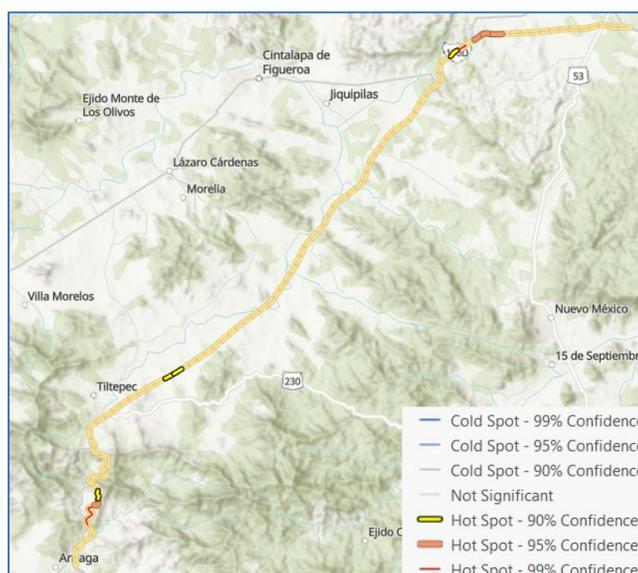


**Tabla 3.9** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2016-2017

Puntos de conflicto	Hot Spot
5+000 - 5+999	99% Confidence
6+000 - 6+999	99% Confidence
7+000 - 7+999	99% Confidence
8+000 - 8+999	95% Confidence
9+000 - 9+999	90% Confidence
29+000 -29+999	90% Confidence
30+000 -30+999	90% Confidence
74+000 - 74+999	90% Confidence
75+000 - 75+999	99% Confidence
77+000 - 77+999	95% Confidence
78+000 - 78+999	95% Confidence
79+000 - 79+999	95% Confidence

Tal como en los dos subperiodos previos, en el correspondiente al 2016 – 2017, no se identificaron puntos de conflictos aislados, por lo que se conformaron tres tramos de conflicto, el primero de 5 km de longitud con inicio en el km 5+000 y con su termino en el km 9+999, el segundo tramo de conflicto es de 2km abarca del km 29+000 al 30+999 y el tercero que es del km 74+000 al 79+999. Al aplicar la metodología de la SICT para este subperiodo, se identificó un tramo de conflicto ubicado del Km 0+000 al km 14+999, por lo que coinciden parcialmente en 5 km identificados como tramos de conflicto.

**Figura 3.13** Puntos de conflicto identificado mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2016 -2017.



**Tabla 3.10** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2017-2018

Puntos de conflicto	Hot spot
5+000 – 5+999	95 – 99 % confidence
6+000 – 6+999	95 – 99 % confidence
7+000 – 7+999	95 – 99 % confidence
73+000 – 73+999	90 % confidence
74+000 – 74+999	95 – 99 % confidence
75+000 – 75+999	95 – 99 % confidence
76+000 – 76+999	90 % confidence
78+000 – 78+999	90 % confidence
79+000 -79+999	90 % confidence

En la figura 3.10 se puede observar que, al aplicar las herramientas de estadística espacial, se identificaron los siguientes puntos de conflicto en los subtramos que se muestran en la tabla 3.4, se podría pensar en que se tiene un tramo de conflicto del km 73+000 al 76+999, sin embargo, el porcentaje de confianza no es el mismo, por lo que, teniendo esta consideración, se puede diferenciar como tramo de conflicto del km 74+000 al 75+999.

**Figura 3.14** Puntos de conflicto identificado mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2017 -2018.

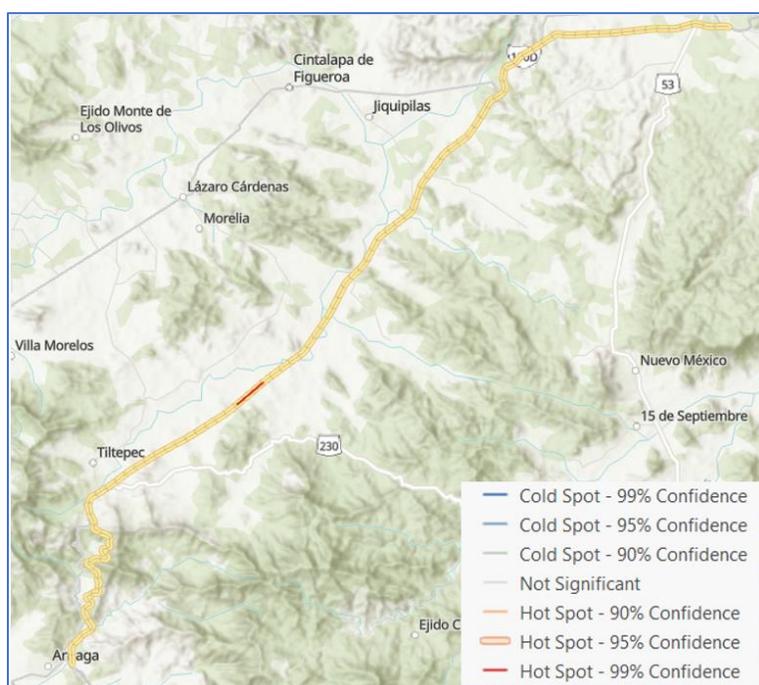


**Tabla 3.11** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2018-2019

Puntos de conflicto	Hot spot
35+000 - 35+999	99% Confidence
36+000 - 36+999	99% Confidence
37+000 - 37+999	99% Confidence

Como se puede observar en la tabla 3.11, se identificaron tres puntos de conflicto, pero, por contigüidad, se le considera tramo de conflicto, el cual tiene una longitud de 3 km con inicio en el km 35+000 y termino en el km 37+999. Con la metodología de la SICT aplicada para este subperiodo, se identificó dos puntos de conflicto, el primero ubicado entre el km 11+000 y el km 11+999, el segundo ubicado del km 22+000 al km 22+999.

**Figura 3.15** Puntos de conflicto identificado mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2018 -2019.

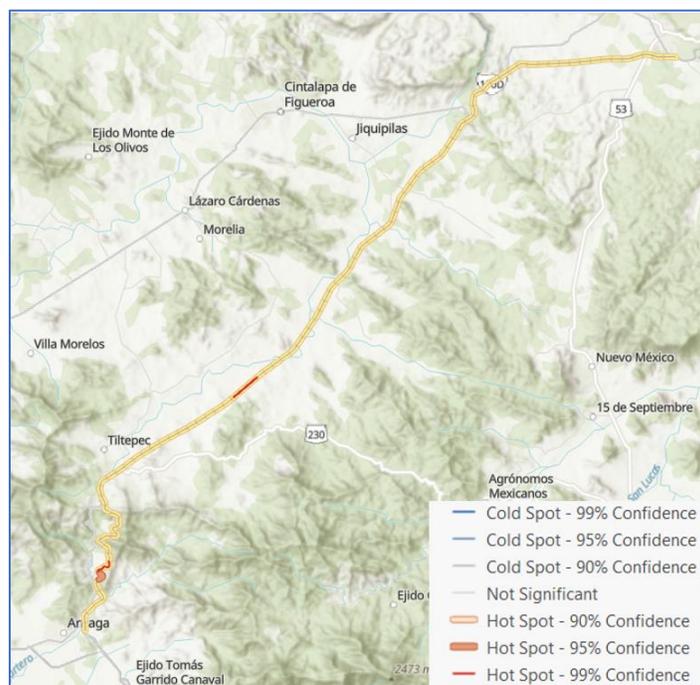


**Tabla 3.12** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2019-2020

Puntos de conflicto	Hot spot
6+000 - 6+999	95% Confidence
7+000 - 7+999	99% Confidence
8+000 - 8+999	99% Confidence
35+000 - 35+999	99% Confidence
36+000 - 36+999	99% Confidence
37+000 - 37+999	99% Confidence

En la tabla 3.12 se observa, que se tienen 2 tramos de conflicto, el primero de ellos es del km 6+000 al km 8+999, el segundo es del km 35+000 al km 37+999. Otra particularidad es que ambos tramos de conflicto tienen la misma longitud, 3 km. Al aplicar la Metodología de la SICT para este subperiodo, no se identificaron puntos ni tramos de conflicto.

**Figura 3.16** Puntos de conflicto identificados mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2019 -2020.

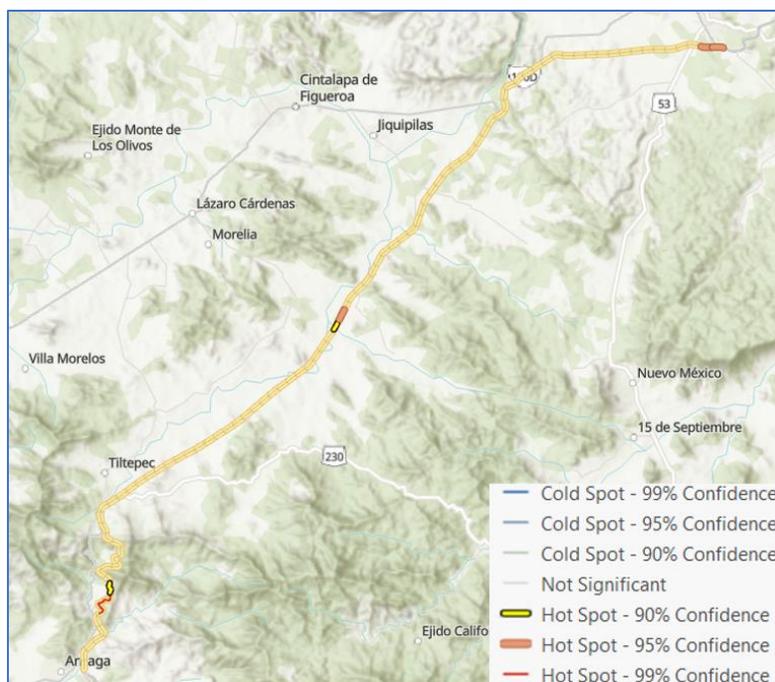


**Tabla 3.13** Detección de puntos de conflicto mediante estadística espacial, subperiodo 2020-2021

Puntos de conflicto	Hot spot
6+000 - 6+999	99% Confidence
7+000 - 7+999	99% Confidence
8+000 - 8+999	99% Confidence
9+000 - 9+999	90% Confidence
46+000 - 46+999	90% Confidence
47+000 - 47+999	95% Confidence
91+000 - 91+999	95% Confidence
92+000 - 92+999	95% Confidence

En el subperiodo de 2020 – 2021, no se identificaron puntos de conflicto aislados, por lo que se conformaron tres tramos de conflicto, el primero del km 6+000 al 9+999, el segundo del km 46+000 al km 47+999 y el tercero del km 91+000 al 92+999. Con lo que coinciden en el km 8+000 al 8+999 con la metodología de la SICT, además de que con esta metodología se identifico como tramo de conflicto del km 0+000 al km 14+999, por lo que coincidieron parcialmente en 4 km identificados como parte de un tramo de conflicto.

**Figura 3.17** Puntos de conflicto identificados mediante  $G_i^*$  de Getis-Ord para el subperiodo: 2020 -2021.



### 3.3 Discusión de resultados

El criterio I de la Metodología de la SICT, fue aplicado a ocho subperiodos, los cuales estaban constituidos cada uno por 2 años consecutivos, con lo que se abarcó el periodo considerado en este estudio (2013 – 2021). Entre los resultados obtenidos se puede observar que mediante el criterio I, solo en tres subperiodos se identificaron tramos en conflicto y en ninguno de los subperiodos se localizó algún punto en conflicto. Además de que de entre los subperiodos en los que se localizó un tramo de conflicto, en dos resultó tener la misma ubicación.

Ante la diversidad de resultados obtenidos al aplicar el primer criterio, se refuerza la idea señalada en el marco teórico de este trabajo, en cuanto a que los siniestros viales son multifactoriales en sus causas y que incluso al revisar a la misma carretera con la misma metodología, no se puede asegurar que la revisión mediante el criterio I de diferentes subperiodos arrojen resultados similares, esto habla de la gran cantidad de factores involucrados y de la variación del grado de incidencia de dichos factores en la ocurrencia de un siniestro.

En el subperiodo 2017 – 218, mediante la metodología de la SICT, se identificó únicamente un tramo de conflicto y ningún punto de conflicto. Sin embargo, al aplicar estadística espacial, se identificó un tramo de conflicto de solo 2 kilómetros de longitud, pero, se localizaron 7 puntos de conflicto, de los cuales 4 son cercanos al tramo de conflicto.

Se puede visualizar al comparar ambas metodologías, que lo señalado por Aghajani, Zangeneh, Crimmins, Bassani, Chaparro, Le, Shafabakhsh y otros autores en lo referente al uso de estadística espacial en el análisis de siniestros viales, tiene gran aplicabilidad en las carreteras federales de México, ya que se cuenta con el registro histórico de los siniestros viales ocurridos en de dicha red y se tiene definido el concepto de siniestro equivalente, que permite ponderar la ocurrencia de un siniestro al considerar si se presentaron decesos, heridos, ambos o solamente se registró el hecho de tránsito.

En la tabla 3.14, se presenta a manera de resumen datos de siniestros viales ocurridos en la carretera de estudio, para los años que cuando menos en el alguno de los dos subperiodos que fueron considerados, no se identificaron puntos ni tramos de conflicto. Con lo que se puede observar que únicamente en el año 2014, se presentaron pocos siniestros y en los demás años, se tienen números de siniestros equivalentes altos.

**Tabla 3.14** Resumen de datos de siniestros viales para años sin tramos o puntos de conflicto

Año	Siniestros				Saldos	
	Total	Con muertos	Solo con heridos	Equivalentes	Muertos	Heridos
2013	22	1	5	50	1	11
2014	3	0	1	7	0	2
2015	23	2	5	99	4	26
2019	18	5	1	118	16	2
2020	23	3	1	75	3	17

## CONCLUSIONES

La georreferenciación de datos y las herramientas disponibles han permitido análisis de información que antes resultaban imprácticos, la posibilidad de tener ubicado el lugar en el que ocurrió cierto evento o fenómeno, permite observarlo de manera más holística, puesto que no sucedió aislado, sino que se presentó en un lugar específico y con un entorno particular, lo que potencialmente permite vincularlo como parte de un todo y ya no visualizarlo como un suceso aislado.

Al revisar los datos de siniestros viales registrados en Chiapas del 2012 al 2021, se puede observar que el número de defunciones se mantuvo por arriba de 100 por cada año, exceptuando el año 2020 en el que se registraron 84 fallecidos, pero, podría ser atribuible a la reducción en el requerimiento de transporte, provocado por la crisis sanitaria por COVID 19, ya que a partir de marzo de ese año las clases de todos los niveles educativos se realizaron mediante la modalidad “a distancia” así como una gran cantidad de empleados laboraron mediante la modalidad *home office* (teletrabajo). Con lo previamente señalado, no se puede indicar que exista una tendencia de reducción sostenida en el número de defunciones, por el contrario, existe variabilidad entre cada año, por lo que se puede concluir que no se cumplió con los objetivos propuesto por la ONU mediante el Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2011 – 2020.

En el capítulo 3, particularmente en la tabla 3.4, se destacaba que, en uno de los subperiodos, la cantidad de defunciones era alta (la segunda más alta) y, aun así, no se identificaron puntos ni tramos de conflicto; también se señalaba que había dos subperiodos que habían registrados números de “siniestros equivalentes” mayores a 100 y que tampoco en ellos se logró identificar puntos ni tramos de conflicto al aplicar la metodología de la SICT. Por lo que se puede destacar, que el número de defunciones y el número de siniestros equivalentes, resultan ser importantes, pero, no definitivos, puesto que, con esto se pueden revalorizar la importancia que tiene la temporalidad y la distribución espacial, ya que podría presentarse un siniestro con una gran cantidad de muertos y heridos, pero, podría tratarse de alguna causa o mezcla de causas muy particulares del caso, sin embargo, el hecho de que se presenten siniestros en años consecutivos en un punto (subtramos hasta de 1 km) o un tramo de conflicto (subtramos mayores a 1 km y hasta de 15 km), se traduce en situación problemática que se tiene que atender.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que los estadísticos espaciales, son aplicables y recomendables para su utilización en la identificación de puntos y tramos de

conflicto de las carreteras de jurisdicción federal en México. Sin embargo, no se podría elegir cuál de los dos es mejor, en todo caso, ambos métodos se perciben como complementarios y requieren que se continúen realizando los recorridos en campo y en la medida de lo posible que se complementen con los recorridos virtuales.

Una diferenciación que se tiene entre la Metodología de la SICT y las herramientas de Estadística Espacial, particularmente con la aplicación de Estadística Espacial, particularmente con el análisis de *hot spots* de *Getis-Ord Gi\**, es que no solamente identifica los tramos o subtramos en conflicto como un *hot spots*, sino que, además, mediante variación de colores señala desde los puntos sin problemas de siniestralidad hasta los puntos y tramos de conflicto.

Para futuras investigaciones, se sugiere, evaluar la posibilidad de aplicar más estadísticos espaciales a los estudios de análisis espacial de siniestros viales. Además, se visualiza como un área de oportunidad con mucho potencial el hecho de realizar estudios estadísticos espaciales bivariados, en los cuáles se puede analizar la relación de los siniestros viales con factores socioeconómicos, físicos o de características geométricas de las carreteras, pero, para lo cual, se tendrían que identificar las variables que se quieren evaluar y la pertinencia.



Editorial.

[https://www.researchgate.net/publication/357001572\\_Estadistica\\_Espacial\\_Fundamentos\\_y\\_aplicacion\\_con\\_Sistemas\\_de\\_Informacion\\_Geografica](https://www.researchgate.net/publication/357001572_Estadistica_Espacial_Fundamentos_y_aplicacion_con_Sistemas_de_Informacion_Geografica)

Cadengo, M., Casanova, W. A., & Mendoza, A. (2020). *Clasificación de las carreteras según su riesgo de siniestralidad vial considerando la interacción de sus elementos físicos, geométricos y operacionales.*

<https://imt.mx/publicacion.html?LsPagina=1031,1023,1010,980,959,958,952,925,917,904,900,881,876,855,834&LiPagina=15&LsPalabra=&LbPalabra=0&LiAutor=4&LiCategoria=0&LiTipoPublicacion=0&LsRango=0&LdAnio=0&LiSecuencia=607>

Cantillo, V., Márquez, L., & Díaz, C. J. (2020). An exploratory analysis of factors associated with traffic crashes severity in Cartagena, Colombia. *Accident Analysis & Prevention*, 146, 105749. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105749>

Casanova, W. A., Galindo, D., Castellanos, I., Abarca, E., & Mendoza, A. (2021).

*Evaluación de la consistencia en curvas horizontales a través de la velocidad de operación, en carreteras tipo A2 de la red carretera federal.* <https://imt.mx/resumen-publicaciones.html?IdPublicacion=1074&IdTipo=Publicaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20No.645&LbPalabra=0>

Chaparro, M., Hernández Vásquez, A., & Parras, A. (2018). Análisis espacial y del entorno físico de accidentes de tránsito en la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina. *Salud Colectiva*, 14(1), 139–151. <https://doi.org/10.18294/sc.2018.1207>

Colagrande, S. (2022). A methodology for the characterization of urban road safety through accident data analysis. *Transportation Research Procedia*, 60, 504–511.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.065>

Crimmins, M., Park, S., Smith, V., & Kremer, P. (2021). A spatial assessment of high-resolution drainage characteristics and roadway safety during wet conditions. *Applied Geography*, 133, 102477. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2021.102477>

Cuevas Colunga, A. C., Silva Rivera, M. E., Cadengo Ramírez, M., Villegas Villegas, N., & Mendoza Díaz, A. (2020). *Estadística de Accidentes de Tránsito, Año 2018.*

[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/A%C3%B1o\\_2018/Estadistica\\_de\\_Acc\\_2018.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/A%C3%B1o_2018/Estadistica_de_Acc_2018.pdf)

- Cuevas Colunga, A. C., Silva Rivera, M. E., Cadengo Ramírez, M., Villegas Villegas, N., & Mendoza Díaz, A. (2021a). *Estadística de accidentes de tránsito, año 2019*.  
[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/A%C3%B1o\\_2019/dt82.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/A%C3%B1o_2019/dt82.pdf)
- Cuevas Colunga, A. C., Silva Rivera, M. E., Cadengo Ramírez, M., Villegas Villegas, N., & Mendoza Díaz, A. (2021b). *Estadística de accidentes de tránsito, año 2020*.  
[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/A%C3%B1o-2020/dt84-2020.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/A%C3%B1o-2020/dt84-2020.pdf)
- Cuevas Colunga, A. C., Silva Rivera, M. E., Cadengo Ramírez, M., Villegas Villegas, N., & Mendoza Díaz, A. (2022). *Estadística de accidentes de tránsito, año 2021*.  
[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/A%C3%B1o-2021/Estadistica\\_de\\_accidentes\\_2021.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/A%C3%B1o-2021/Estadistica_de_accidentes_2021.pdf)
- Daros, W. R. (2002). ¿Qué es un marco teórico? *Enfoques*, XIV(1), 73–112.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25914108>
- Dereli, M. A., & Erdogan, S. (2017). A new model for determining the traffic accident black spots using GIS-aided spatial statistical methods. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.031>
- DGST. (2018a). *Manual de Auditorías de Seguridad Vial*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  
[https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_Auditoria\\_Seguridad\\_Vial/Manual\\_ASV.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Auditoria_Seguridad_Vial/Manual_ASV.pdf)
- DGST, D. G. de S. T. (2014). *Estadística accidentes de tránsito 2013, Chiapas*.  
[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/Año\\_2013/07\\_CHIS\\_2013.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2013/07_CHIS_2013.pdf)
- DGST, D. G. de S. T. (2015). *Estadística accidentes de tránsito 2014, Chiapas*.  
[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/Año\\_2014/08\\_CHIS\\_2014.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2014/08_CHIS_2014.pdf)
- DGST, D. G. de S. T. (2016). *Estadística accidentes de tránsito 2015, Chiapas*.  
[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/Año\\_2015/05\\_CHIS\\_2015.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2015/05_CHIS_2015.pdf)

- DGST, D. G. de S. T. (2017). *Estadística accidentes de tránsito 2016, Chiapas*.  
[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/Año\\_2016/07\\_CHIS\\_2016.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2016/07_CHIS_2016.pdf)
- DGST, D. G. de S. T. (2018b). *Estadística accidentes de tránsito 2017, Chiapas*.  
[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica\\_de\\_accidentes/Año\\_2017/05\\_CHIS\\_2017.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2017/05_CHIS_2017.pdf)
- Dorado Pineda, M., Casanova Zavala, W. A., Cadengo Ramírez, M., & Mendoza Díaz, A. (2018). Recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes. In *Publicaciones Técnicas del IMT*. Instituto Mexicano del Transporte.
- ESRI. (2018). *Cómo funciona Clustering alto/bajo (G general de Getis-Ord)—Ayuda | ArcGIS Desktop*. ArcGIS Pro ArcMap. <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-high-low-clustering-getis-ord-general-g-spat.htm>
- GGSR, G. de G. S. de R. (2019). *Georreferenciación*.  
[https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/cursos/Georreferenciacion\\_2019.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/cursos/Georreferenciacion_2019.pdf)
- Gómez, N., Dorado, M. L., Abarca, E., & Mendoza, A. (2017). *Recomendaciones para mejorar la seguridad vial en sitios de conflicto a partir de microsimulación de tránsito*.  
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt489.pdf>
- Haghani, M., Behnood, A., Dixit, V., & Oviedo-Trespalacios, O. (2022). Road safety research in the context of low- and middle-income countries: Macro-scale literature analyses, trends, knowledge gaps and challenges. *Safety Science*, 146.  
<https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2021.105513>
- Iyanda, A. E. (2019). Geographic analysis of road accident severity index in Nigeria. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 26(1), 72–81.  
<https://doi.org/10.1080/17457300.2018.1476387>
- Kim, E., Muennig, P., & Rosen, Z. (2017). Vision zero: a toolkit for road safety in the modern era. *Injury Epidemiology*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40621-016-0098-z>
- Kristianssen, A.-C., Andersson, R., Belin, M.-Å., & Nilssen, P. (2018). Swedish Vision Zero policies for safety – A comparative policy content analysis. *Safety Science*, 103, 260–269.  
<https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2017.11.005>

- Le, K. G., Liu, P., & Lin, L. T. (2020). Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam. *Geo-Spatial Information Science*, 23(2), 153–164. <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1683437>
- Lord, D., Qin, X., & Geedipally, S. R. (2021). Fundamentals and data collection. In *Highway Safety Analytics and Modeling* (pp. 17–57). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816818-9.00010-X>
- Mathew, S., Pulugurtha, S. S., & Duvvuri, S. (2022). Exploring the effect of road network, demographic, and land use characteristics on teen crash frequency using geographically weighted negative binomial regression. *Accident Analysis & Prevention*, 168, 106615. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2022.106615>
- Morimoto, A., Wang, A., & Kitano, N. (2021). A conceptual framework for road traffic safety considering differences in traffic culture through international comparison. *IATSS Research*. <https://doi.org/10.1016/J.IATSSR.2021.11.012>
- Navarrete, E. L., Trujillo, A., Garrocho, C., & Cadena, E. (2020). Un enfoque de estadística espacial para explorar la geodemografía de los niños en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 35(2), 369–403. <https://doi.org/10.24201/EDU.V35I2.1862>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- Ouni, F., & Belloumi, M. (2019). Pattern of road traffic crash hot zones versus probable hot zones in Tunisia: A geospatial analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 128, 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.008>
- Papadimitriou, E., Filtness, A., Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Quigley, C., & Yannis, G. (2019). Review and ranking of crash risk factors related to the road infrastructure. *Accident Analysis & Prevention*, 125, 85–97. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2019.01.002>
- Pasindu, H. R., Ranawaka, R. K. T. K., Sandamal, R. M. K., & Dias, T. W. K. I. M. (2022). Incorporating road safety into rural road network pavement management. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(12), 4306–4319. <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1942469>

- Pervaz, S., Mahmud, S. M. S., Raihan, M. A., & Uddin, M. I. (2022). Road Crash in Bangladesh: Where We Were, Where We Are, and Where We Will Be. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 184, 301–312. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5547-0\\_29/COVER](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5547-0_29/COVER)
- PIARC. (2019a). La aplicación de políticas nacionales sobre el sistema seguro: un reto. In *Comité Técnico C.1 Políticas y programas nacionales de seguridad vial*. Asociación Mundial de Carreteras. <http://www.piarc.org>
- PIARC. (2019b). Método de evaluación de la seguridad vial basado en factores humanos. In *Comité técnico C.2 Diseño y operación de una infraestructura carretera más segura*. Asociación Mundial de Carreteras. <http://www.piarc.org>
- PIARC. (2021). *Manual de Seguridad Vial - A guide for practitioners*. Asociación Mundial de Carreteras. <https://roadsafety.piarc.org/es>
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Analysis and Assessment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21, 317–325. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2011.07.020>
- Ramírez, A. F., & Valencia, C. (2021). Spatiotemporal correlation study of traffic accidents with fatalities and injuries in Bogota (Colombia). *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105848. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105848>
- Satria, R., & Castro, M. (2016). GIS Tools for Analyzing Accidents and Road Design: A Review. *Transportation Research Procedia*, 18(June), 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.033>
- Schlögl, M., & Stütz, R. (2019). Methodological considerations with data uncertainty in road safety analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 130, 136–150. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2017.02.001>
- Shafabakhsh, G. A., Famili, A., & Akbari, M. (2023). Spatial analysis of data frequency and severity of rural accidents. *Transportation Letters*, 15(10), 1243–1250. <https://doi.org/10.1080/19427867.2016.1138605>
- Shafabakhsh, G. A., Famili, A., & Bahadori, M. S. (2017). GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 4(3), 290–299. <https://doi.org/10.1016/J.JTTE.2017.05.005>

- Singh, N., & Katiyar, S. K. (2021). Application of geographical information system (GIS) in reducing accident blackspots and in planning of a safer urban road network: A review. *Ecological Informatics*, 66, 101436. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2021.101436>
- SSA, & STCONAPRA. (2022). *Informe sobre la Situación de la Seguridad Vial México 2020*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/741479/Informe\\_SV\\_2020\\_Autorizado.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/741479/Informe_SV_2020_Autorizado.pdf)
- Sun, L.-L., Liu, D., Chen, T., & He, M.-T. (2019). *Road traffic safety: An analysis of the cross-effects of economic, road and population factors*. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2019.07.004>
- Wang, M., Yi, J., Chen, X., Zhang, W., & Qiang, T. (2021). Spatial and Temporal Distribution Analysis of Traffic Accidents Using GIS-Based Data in Harbin. *Journal of Advanced Transportation*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9207500>
- Yu, S., Jia, Y., & Sun, D. (2019). Identifying factors that influence the patterns of road crashes using association rules: A case study from Wisconsin, United States. *Sustainability (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/su11071925>
- Zahran, E. S. M. M., Tan, S. J., Tan, E. H. A., Mohamad 'Asri Putra, N. A. A. B., Yap, Y. H., & Abdul Rahman, E. K. (2021). Spatial analysis of road traffic accident hotspots: evaluation and validation of recent approaches using road safety audit. *Journal of Transportation Safety & Security*, 13(6), 575–604. <https://doi.org/10.1080/19439962.2019.1658673>
- Zangeneh, A., Najafi, F., Karimi, S., Saeidi, S., & Izadi, N. (2018). Spatial-temporal cluster analysis of mortality from road traffic injuries using geographic information systems in West of Iran during 2009–2014. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 55, 15–22. <https://doi.org/10.1016/J.JFLM.2018.02.009>
- Zhang, H., Zhang, M., Zhang, C., & Hou, L. (2021). Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for Mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*, 157, 106172. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2021.106172>
- Zhu, H., Zhou, Y., & Chen, Y. (2020). Identification of potential traffic accident hot spots based on accident data and GIS. *MATEC Web of Conferences*, 325, 01005. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202032501005>
- Ziakopoulos, A., & Yannis, G. (2020). A review of spatial approaches in road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 135, 105323. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2019.105323>

Zou, X., & Vu, H. L. (2019). Mapping the knowledge domain of road safety studies: A scientometric analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 132.  
<https://doi.org/10.1016/J.AAP.2019.07.019>

Zou, Y., Zhang, Y., & Cheng, K. (2021). Exploring the Impact of Climate and Extreme Weather on Fatal Traffic Accidents. *Sustainability 2021*, Vol. 13, Page 390, 13(1), 390.  
<https://doi.org/10.3390/SU13010390>

# ANEXOS

## Anexo 1. Ejemplo de reporte “Hechos de tránsito por kilómetro”

A partir del 2018, estos reportes son difundidos anualmente por el Instituto Mexicano del Transporte en su reporte “Estadística de accidentes de tránsito”, mediante el formato siguiente:

**Figura A. 1** Hechos de tránsito ocurridos en 2018 por kilómetro, del cadenamiento 0+000 al 44+000.

