

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE
RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Tesis:

**“Vulnerabilidad ante siniestros viales de la autopista Tuxtla
Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México”**

PRESENTA:

Ing. Leopoldo Emmanuel Hernández Vázquez

DIRECTOR:

Dr. Marcelino García Benítez

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, noviembre de 2024.





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS AUTÓNOMA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 07 de noviembre de 2024

Oficio No. SA/DIP/0781/2024

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Leopoldo Emmanuel Hernández Vázquez

CVU: 1082557

Candidato al Grado de Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático

Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático

UNICACH

Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Vulnerabilidad ante siniestros viales de la autopista Tuxtla Gutiérrez - San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México** cuyo Director de tesis es el Dr. Marcelino García Benítez (CVU: 285884) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"

Dra. Carolina Orantes García
Directora



C.c.p. Dra. Sandra Urania Moreno Andrade, Directora del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento.
Mtra. Ana Lucía López Pimentel, Coordinadora del Posgrado, Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento
Archivo/minutario.

RJAG/COG/hvb/igp/gtr

2024 Año de Felipe Carrillo Puerto
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB.



Secretaría Académica

Dirección de Investigación y Posgrado

Libramiento Norte Poniente No. 1150

Colonia Lajas Maciel C.P. 29039

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Tel:(961)6170440 EXT.4360

investigacionyposgrado@unicach.mx

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida. Gracias por brindarme la oportunidad y las ganas de seguirme preparando.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada por los estudios de la Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (MGRYCC)

Al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, gracias por permitirme ser parte de la 4ª generación de la MGRYCC y por coincidir con docentes, amigos y compañeros de gran calidad profesional y humana.

A mi director de tesis, el Dr. Dr. Marcelino García Benítez, por todo el apoyo recibido y la confianza que me brindó desde el proceso de selección para ingresar a la MGRYCC, gracias por cada comentario y observación que permitieron enriquecer este trabajo.

Al Dr. Emmanuel Diaz Nigenda, por el tiempo dedicado a la revisión de mi trabajo, gracias por los comentarios y observaciones realizadas.

Al Mtro. Mauricio José Ríos, por los comentarios y el apoyo recibido en lo referente a los SIG para la elaboración de este trabajo.

Al M.I. Nabor Antonio Magdaleno Coutiño, por su gran disponibilidad de servicio y por su apoyo técnico en lo referente a seguridad vial.

DEDICATORIAS

A Dios, por su amor y ternura, las cuales me han ayudado a lo largo de mi vida. Gracias a Dios porque en momentos complicados me ha sostenido y me ha permitido vivir grandes alegrías e ilusiones.

A mi esposa Berenice Guadalupe Pérez Solís, a quien ha sabido ser mi amiga, mi compañera de vida y que, además, ha abrazado mis sueños como propios sin dejar de vivir los suyos. Su amor y comprensión me impulsa a seguir adelante.

A mi hija Paula María Hernández Pérez, que ha iluminado nuestras vidas desde el momento que supimos que venía en camino y que con esa misma alegría estamos a la espera de tenerla entre nuestros brazos.

A mis papás, Dora de Jesús Vázquez Álvarez y Leopoldo Hernández Valencia, por todo el amor y apoyo que he recibido de parte de ellos, este logro también es de ellos.

A mi hermana, Doris Guadalupe Hernández Vázquez, por todo lo compartido a lo largo de nuestras vidas, gracias por saber ser mi amiga además de mi hermana.

Contenido

Resumen	13
Introducción	14
Capítulo 1. Marco teórico-conceptual.....	17
1.1 Riesgo y vulnerabilidad.....	18
1.1.1 Riesgo	19
1.1.2 Vulnerabilidad	26
1.2 Componente peligrosidad.....	28
1.3 Seguridad vial.....	28
1.3.1 Principales teorías aplicadas al estudio de siniestros viales	29
1.3.2 Accidente de tránsito o siniestro vial	30
1.3.3 Enfoque Visión Cero de Seguridad Vial	32
1.3.4 Expectativas del Conductor	32
1.3.5 Principios básicos para el diseño de carreteras seguras.....	33
1.4 Estado del arte	42
1.4.1 Estudios realizados con respecto al análisis de accidentes utilizando SIG	42
1.4.2 Puntos negros (Crash hot spots o accident black spots).....	44
Capítulo 2. Aplicación metodológica	48
2.1 Zona de estudio.....	48
2.1.1 Localización geográfica	51
2.1.2 Clima	51
2.1.3 Geología.....	52
2.1.4 Hidrografía.....	53
2.1.5 Descripción de la población	54
2.1.6 Datos de siniestros viales	55
2.2 Metodología.....	60
2.2.1 Estrategia metodológica	60

2.3	Georreferenciación de los siniestros viales.....	61
2.4	Detección de puntos de conflicto con la metodología de la SICT.....	63
Capítulo 3. Resultados.....		67
3.1	Siniestros viales georreferenciados	67
3.1.1	Siniestros viales ocurridos en el 2013.....	67
3.1.2	Siniestros viales ocurridos en el 2014.....	73
3.1.3	Siniestros viales ocurridos en el 2015.....	76
3.1.4	Siniestros viales ocurridos en el 2016.....	80
3.1.5	Siniestros viales ocurridos en el 2017	84
3.1.6	Siniestros viales ocurridos en el 2018.....	88
3.1.7	Siniestros viales ocurridos en el 2019.....	91
3.1.8	Siniestros viales ocurridos en el 2020.....	96
3.1.9	Siniestros viales ocurridos en el 2021	99
3.2	Aplicación de la Metodología de la SICT para detección de puntos y tramos de conflicto 103	
3.3	Condiciones existentes en los puntos de conflicto identificados con la metodología de la SICT.	105
Conclusiones		109
Bibliografía.....		111
A.	Anexos.....	120
A.1	Ejemplo de reporte “Hechos de tránsito por kilómetros”	120
A.2	Ejemplo de reporte “Accidentes de tránsito”	122
A.3	Ejemplos de trayectoria de giro de algunos vehículos de proyecto.....	123

Figuras

Figura 1. Tercera dimensión de matriz de Haddon.....	22
Figura 2. Enfoques de estudio del riesgo como construcción social.....	26
Figura 3. Elementos incidentes en la seguridad.....	29
Figura 4. Esquemas de pérdida del trazo.....	37
Figura 5. Esquemas de pérdida de orientación donde “∞” indica tramo tangente, “A” curva de transición y “R” curva circular.....	38
Figura 6. Esquemas de pérdida dinámica donde “A” indica curva de transición y “R” curva.....	38
Figura 7. Catálogo de señalamiento y dispositivos para protección en zonas de obras viales. .	41
Figura 8. Principios de identificación de puntos de conflicto.....	46
Figura 9. Clasificación por jurisdicción de las carreteras existentes en Chiapas.	49
Figura 10. Ubicación carretera Tuxtla Gutiérrez - San Cristóbal de las Casas.	51
Figura 11. Condiciones del clima en las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.	52
Figura 12. Tipos de rocas en las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.	53
Figura 13. Ríos y escurrimientos de las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.	54
Figura 14. Incidencia en ocurrencia de siniestros viales.....	56
Figura 15. Número de accidentes, personas heridas y defunciones en México, 2014 a 2019. ..	57
Figura 16. Número de accidentes, personas heridas y defunciones en Chiapas, 2010 a 2019. 58	
Figura 17. Número de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas (2012-2017).	59
Figura 18. Número de defunciones (2012-2017).	59
Figura 19. Esquema de la aplicación metodológica	61
Figura 20. Interfaz gráfica de la plataforma SCTclouds.....	62
Figura 21. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2013 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	68
Figura 22. Tramo del 26+800 al km 27+800 de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	69
Figura 23. Fotografía tomada con sentido hacia San Cristóbal de las Casas en el Km 26+800.	70
Figura 24. Vista en planta del alineamiento horizontal en las inmediaciones del km 26+800. ...	70

Figura 25. Fotografía tomada con sentido hacia San Cristóbal de las Casas en el Km 27+800.	70
Figura 26. Vista en planta, en el que se aprecia el alineamiento horizontal en las inmediaciones del km 27+800	70
Figura 27. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2013.....	71
Figura 28. Distribución porcentual de los heridos por siniestros viales en el 2013.	71
Figura 29. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2013.....	72
Figura 30. Distribución de los siniestros viales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2013.	72
Figura 31. Distribución de los siniestros mortales ante diferentes condiciones de luz,2013.	72
Figura 32. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2013.	73
Figura 33. Distribución porcentual de los siniestros viales mortales ocurridos en los días de la semana de 2013.	73
Figura 34. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2014 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	74
Figura 35. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2014.....	75
Figura 36. Distribución de los siniestros ocurridos con diferentes condiciones de luz, 2014.....	75
Figura 37. Distribución porcentual de los heridos por siniestros viales en el 2014	76
Figura 38. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2014	76
Figura 39. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2015 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	77
Figura 40. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2015.....	78
Figura 41. Distribución porcentual de los heridos por siniestros viales por cada mes en el 2015.	78
Figura 42. Distribución porcentual de personas fallecidas por siniestros viales por mes, 2015.	79
Figura 43. Distribución porcentual de siniestros ante diferentes condiciones de luz, 2015.....	79
Figura 44. Distribución de siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2015.	79
Figura 45. Distribución porcentual de los siniestros ocurridos en los días de la semana, 2015.	80
Figura 46. Distribución de los siniestros viales mortales en los días de la semana, 2015	80
Figura 47. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2016 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	81
Figura 48. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes, 2016.	82

Figura 49. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2016.	82
Figura 50. Distribución porcentual de siniestros ante diferentes condiciones de luz, 2016.	83
Figura 51. Distribución de siniestros mortales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2016.	83
Figura 52. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2016.	83
Figura 53. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2016.	84
Figura 54. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2017 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	84
Figura 55. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes, 2017.	85
Figura 56. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2017.	85
Figura 57. Distribución de personas fallecidas a causa de siniestros viales por mes, 2017.	86
Figura 58. Distribución de los siniestros viales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2017.	86
Figura 59. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2017.	87
Figura 60. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2017.	87
Figura 61. Distribución de los siniestros viales mortales ocurridos en los días de la semana, 2017.	87
Figura 62. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2018 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.....	88
Figura 63. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2018.	89
Figura 64. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2018.	89
Figura 65. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2018.....	90
Figura 66. Distribución de los siniestros viales ante diferentes condiciones de luz, 2018.	90
Figura 67. Distribución de los siniestros mortales ante diferentes condiciones de luz, 2018.	90
Figura 68. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2018.	91
Figura 69. Distribución de los siniestros mortales ocurridos en los días de la semana de 2018.	91

Figura 70. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2019 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas	92
Figura 71. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2019.....	93
Figura 72. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2019.	93
Figura 73. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2019.....	94
Figura 74. Distribución de los siniestros viales ante diferentes condiciones de luz, 2019.....	94
Figura 75. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2019.	95
Figura 76. Distribución porcentual de los siniestros viales en los días de la semana, 2019.	95
Figura 77. Distribución de los siniestros viales mortales en los días de la semana, 2019.	95
Figura 78. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2020 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas	96
Figura 79. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2020.....	97
Figura 80. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2020.	97
Figura 81. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2020.....	98
Figura 82. Distribución de los siniestros viales ante diferentes condiciones de luz, 2020.....	98
Figura 83. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2020.	98
Figura 84. Distribución de los siniestros viales en los días de la semana, 2020.	99
Figura 85. Distribución de los siniestros viales mortales en los días de la semana, 2020.	99
Figura 86. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2021 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas	100
Figura 87. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes, 2021.	101
Figura 88. Distribución de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2021.	101
Figura 89. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2021.....	102
Figura 90. Distribución de los siniestros viales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2021.	102
Figura 91. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2021.	102

Figura 92. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2021.	103
Figura 93. Distribución de los siniestros viales mortales ocurridos en los días de la semana, 2021.	103
Figura 94. Punto de conflicto del km 40+000 al 40+999 de los subperiodos: 2019 -2020 y 2020 - 2021.....	105
Figura 95. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por mes en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2019-2020	105
Figura 96. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por mes en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2020-2021	106
Figura 97. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por día en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2019-2020	106
Figura 98. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por día en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2020-2021	107
Figura 99. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos en diferentes condiciones de luz en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2019-2020	107
Figura 100. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos en diferentes condiciones de luz en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2020-2021.....	108
Figura 101. Hechos de tránsito ocurridos en 2021 por kilómetro, del cadenamiento km 0+000 al km 44+000	120
Figura 102. Hechos de tránsito ocurridos en 2021 por kilómetro, del cadenamiento km 45+000 al 89+000.....	121
Figura 103. Hechos de tránsito ocurridos en 2017 por kilómetro, del cadenamiento 0+000 al 46+200.....	122
Figura 104. Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-2970.	123
Figura 105. Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-2545	124

Tablas

Tabla 1. Matriz de factores de influencia sobre los siniestros de tránsito propuesta por Haddon.	21
Tabla 2. Posibles factores que contribuyen a los diferentes tipos de siniestros viales.....	23
Tabla 3. Principales factores que afectan la seguridad vial.	25
Tabla 4. Elementos por considerar para la evaluación de la vulnerabilidad.....	27
Tabla 5. Clasificación cronológica de las principales teorías de accidentes viales.	30
Tabla 6. Comparación de los paradigmas asociados a los conceptos “accidente” y “siniestro”. 31	
Tabla 7. Distancias de visibilidad para diferentes velocidades de proyecto.....	37
Tabla 8. Estudios realizados con respecto al análisis de siniestros viales utilizando SIG previo al 2016.....	43
Tabla 9. Ventajas y desventajas de los principios de identificación de puntos de conflicto.....	47
Tabla 10. Carreteras y tramos de jurisdicción federal ubicados en Chiapas.....	49
Tabla 11. Datos de población total de México y Chiapas.	54
Tabla 12. Datos de población de la Región I Metropolitana y la Región V Altos Tsotsil Tseltal de Chiapas.....	55
Tabla 13. Resumen de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas.	58
Tabla 14. Datos de referencia para la determinación del número de accidentes equivalentes. .63	
Tabla 15. Metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto.	64
Tabla 16. Número de siniestros ocurridos del km 0+000 al 25+999 de 2013 a 2021.....	65
Tabla 17. Número de siniestros ocurridos del km 26+000 al 46+200 de 2017 a 2021.....	66
Tabla 18. Puntos y tramos de conflicto identificados mediante el criterio I de la metodología de la SICT.	104

Resumen

A los siniestros viales se les considera como riesgos antropogénicos, al ser el resultado de actividades humanas. Las cifras de defunciones y de personas con lesiones severas provocadas por la ocurrencia de este tipo de eventos son alarmantes y aunque en algunos países se han logrado avances en la atención de esta problemática, los resultados no han sido los que esperaban al implementar el Decenio de Acción por la Seguridad vial 2011 – 2020 establecido por la ONU.

El objetivo de esta investigación es evaluar la vulnerabilidad por siniestralidad vial de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, en el estado de Chiapas, en el periodo 2013 – 2021. Para lo cual se identificaron puntos y tramos de conflicto mediante la aplicación de la Metodología de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT).

Al analizar los subperiodos 2019 – 2020 y 2020 – 2021 se identificó como punto de conflicto al subtramo km 40+000 al 40+999. Mientras que para esos mismos periodos coincidieron como tramos de conflicto el comprendido entre el km 21+000 y el 25+999 y el subtramo del punto 36+000 al 46+200. Cabe mencionar que en todos los subperiodos analizados se identificaron tramos de conflicto.

Palabras clave: Siniestralidad vial, seguridad vial, Puntos de conflicto, Tramos de conflicto.

Introducción

Los hechos de tránsito han causado estragos en años recientes por el número de defunciones, de heridos de gravedad y por las pérdidas materiales asociadas, convirtiéndolo en un problema de salud mundial, a tal punto que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció el Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2011 – 2020, con el objetivo de reducir el 50% del número de muertes y lesiones severas provocadas por siniestros viales, pero, al no lograr los resultados esperados, instauró un segundo Decenio de 2021 – 2030.

A nivel nacional, tampoco se pudo lograr la meta establecida por la ONU, ya que, en el caso de México, de 2011 a 2017, se presentó una reducción del 4.5 % de la cifra anual de muertes provocadas por la ocurrencia de siniestros viales (de 16,615 a 15,866) (Dirección General de Servicios Técnicos [DGST], 2018a).

Con el presente trabajo, se busca aportar en el entendimiento de la problemática previamente señalada, de manera particular en el entorno de las carreteras de jurisdicción federal en Chiapas. Para lo cual, se realiza la evaluación de la vulnerabilidad ante siniestros viales de carreteras considerando el caso de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas en Chiapas, México.

El periodo de análisis comprendido es del 2013 al 2021. Para lo que se aplicó la metodología de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) y para la detección de puntos y tramos de conflicto, a partir de los cuales, se analizarán los factores más recurrentes asociados a la ocurrencia de siniestros viales.

Recientemente se han realizado algunos trabajos en los que se identifican puntos y tramos de conflicto considerando criterios técnicos convencionales, pero, adicionando alguna o algunas herramientas de análisis. Se han desarrollado investigaciones en las que se aplican distribuciones de probabilidad (Mathew et al., 2022; Zou et al., 2021) y en otros casos, se han llevado a cabo con la utilización de la Estadística Espacial como herramienta de análisis (Aghajani et al., 2017; Bassani et al., 2020; Chaparro et al., 2018; Crimmins et al., 2021; Le et al., 2020; Shafabakhsh et al., 2017, 2023; Zangeneh et al., 2018).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una opción muy acorde para la aplicación de los estadísticos espaciales, ya que permiten que los siniestros viales sean georreferenciados y se les asignen atributos. Para el caso de los siniestros viales se le puede asignar a una entidad geográfica información referente al hecho de tránsito, tal como el número

de defunciones, de heridos, condiciones de clima al momento del percance, etcétera. Cabe destacar que los siniestros pueden ocurrir en 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 (Aziz y Ram, 2022).

Cada caso es particular, puesto que en algunos sitios puede predominar más una causal, en otros pudiese haber diferentes causas casi equiprobables y en algunos otros sitios, podría tratarse de la mezcla de factores lo que genere puntos de conflicto, por lo que se requiere evaluar cada situación para determinar la vulnerabilidad por siniestros viales de tramos carreteros.

Para poder afrontar la problemática de la siniestralidad vial, es necesario abordar el problema involucrando múltiples acciones de los diversos sectores involucrados. Desde las universidades y los institutos de investigación se debe incrementar el número de estudios acerca de la seguridad y la siniestralidad vial, lo que se debe traducir, en la implementación de nuevas tecnologías, de nuevos criterios de diseño de carreteras y la adecuación a la legislación vigente, que en conjunto reduzcan el número de siniestros viales y de víctimas mortales.

La presente tesis de maestría se estructura en tres capítulos, el primero corresponde al marco teórico, en él se presenta un acercamiento a las nociones de peligrosidad, riesgo y vulnerabilidad. Además, se abordan aspectos asociados a la seguridad y siniestralidad vial desde el enfoque de visión cero de seguridad vial, los principios básicos para el diseño de carreteras seguras y los aplicables a la identificación de puntos de conflicto. El último apartado del primer capítulo corresponde al análisis del estado del arte.

En el segundo capítulo se presentan las características y particularidades de la zona de estudio, posterior a ello se presenta la estrategia metodológica y su aplicación, la cual inicia con el proceso de georreferenciación de los siniestros viales ocurridos durante el periodo previamente indicado, esto a partir de las coordenadas de los registros de la Dirección General de Servicios Técnicos y del Instituto Mexicano del Transporte y considerando la ponderación propuesta por la SICT para la equivalencia de siniestros viales.

Se aplicó la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto. Para la identificación de puntos de conflicto la carretera fue segmentada en subtramos de 1 km y se consideraron los hechos de tránsito ocurridos durante dos años consecutivos, es decir: 2013 - 2014, 2014 - 2015, 2015-2016, 2016 -2017, 2017 – 2018, 2018 – 2019, 2019 – 2020, 2020 – 2021.

El capítulo número tres corresponde a los resultados, los cuales se presentan clasificados en tres apartados. El primero corresponde a los siniestros viales georreferenciados. El segundo presenta los resultados de la aplicación de la Metodología de la SICT para detección de puntos y tramos de conflicto y el tercero corresponde a las distribuciones porcentuales de las condiciones existentes en los puntos y tramos de conflicto.

Capítulo 1. Marco teórico-conceptual

Los primeros caminos construidos fueron hechos mucho antes de la aparición del automóvil, ya que llegó un punto en que resultó necesario que se construyeran caminos con ciertas mejoras que permitieran el transporte de personas, mercancías y que ayudasen con objetivos bélicos (de expansión o defensa) por lo que civilizaciones de la antigüedad como la maya y la romana idearon procesos con los que mejoraban el terreno natural y crearon las antecesoras a las calles y vialidades modernas. Sin embargo, “antes de la aparición del automóvil las carreteras tenían efectos de pequeña escala” (Coronado Tordesillas y Garmendia Antín, 2017, p. 33).

En la actualidad, las carreteras y vialidades ocupan grandes porcentajes de las superficies de las ciudades, incluso en muchas de estas, se podría pensar que se destina a este uso más superficie de lo deseable, lo que ha traído problemas ambientales, de reducción en la recaudación de impuestos por uso de la tierra y de movilidad.

En ciudades en las que se ha sustituido el terreno natural y su vegetación por vialidades y construcciones, se han generado situaciones de vulnerabilidades, al reducir la infiltración de agua y por ende la recarga de agua subterránea por la pavimentación de grandes extensiones, lo cual provoca el incremento de escurrimientos superficiales, los cuales pueden ser de magnitudes considerables en lugares donde coinciden grandes tazas de precipitación y pendientes pronunciadas del terreno, generando daños materiales e incluso pérdidas de vidas humanas.

Existen otras situaciones problema asociadas a la disminución de la recarga de los mantos acuíferos, como lo es el descenso del nivel freático, que además de hacer más complicado y costoso el aprovechamiento del recurso hídrico, puede generar procesos de subsidencia (asentamientos paulatinos del suelo, como los ocurridos en algunas zonas de la Ciudad de México). Como se puede observar, el modelo de crecimiento que siguieron muchas de las ciudades, trae consigo una serie de problemas complejos.

Además de los problemas de congestionamiento vial, el desarrollo y construcción de las calles y carreteras, trajo consigo problemas de siniestralidad vial, puesto que cada vez se movilizan más personas y mercancías por estos medios, con lo que ya podría esperarse el aumento del número de siniestros viales, de defunciones y de lesionados, aunado a este crecimiento esperado, se tienen factores adicionales, que han convertido a los siniestros viales como una de las principales causas de defunciones alrededor del mundo.

Los siniestros viales son multifactoriales al ser el resultado de la interacción de varios aspectos. La mayoría de los sistemas de clasificación de causas de los hechos de tránsito se han centrado en los errores y acciones de los usuarios que inmediatamente llevaron al conflicto (por ejemplo, no ceder el paso) (Bucsuházy et al., 2020).

Desde hace varios años el estudio de la movilidad constituye una preocupación compartida por un vasto conjunto de profesionales (economistas, urbanistas, sociólogos, geógrafos, planificadores, ingenieros, médicos, entre otros), quienes han elaborado un importante cúmulo de saberes interdisciplinarios, tanto en su plano teórico-conceptual como en el práctico-operativo, tratando de explicar entre otras cuestiones, su dinámica espacial y temporal (Cardozo, 2004a, citado en Rey y Cardozo, 2009, p. 399).

El análisis territorial, frecuentemente es omitido o relegado, de tal forma que se subestima el rol fundamental en el soporte físico de los desplazamientos, así como el temporal, el cual es de carácter transversal y sin la cual no sería posible relacionar los sucesos que nos permiten comprender la situación actual y su evolución (Rey y Cardozo, 2009). Por lo que en este trabajo son considerados ambos aspectos con los cuales, se visualiza de manera más integral el tema a investigar, ya que se realiza el análisis territorial contemplando la temporalidad.

Se establece inicialmente el marco referencial de los conceptos de peligrosidad, riesgo y vulnerabilidad, posteriormente se realiza un acercamiento a la seguridad vial, abordándola desde la diferenciación de los conceptos accidentes de tránsito y siniestros viales, además de presentar las bases del enfoque de Visión Cero de Seguridad Vial y de los principios de diseño de carreteras seguras.

En la parte final del marco teórico, se realiza una revisión del estado del arte de los estudios que se han realizado enfocados al análisis espacial de siniestros viales y detección de puntos de conflicto.

1.1 Riesgo y vulnerabilidad

En cuanto a las definiciones de vulnerabilidad, riesgo y desastre, Cardona (2001, p.1) señala que no habían sido clarificadas y denotadas, pero, con el paso del tiempo y por los trabajos que se han realizado, dichas definiciones se han ido formalizando, un ejemplo de esto es que se logró identificar que en los grupos sociales el término vulnerabilidad es entendido como “la reducida capacidad para ‘adaptarse’ o ajustarse a determinadas circunstancias”.

En el ámbito de la gestión de riesgos se hace uso de su propia terminología para definir la peligrosidad, el riesgo y la vulnerabilidad.

Si bien el término “riesgo” frecuentemente se emplea para referirse a cualquier proceso más o menos violento o catastrófico que pueda afectar a las personas o bienes, y se aplica como sinónimo de peligrosidad, ambos conceptos son diferentes. La peligrosidad se refiere al [evento], el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños (González de Vallejo et al., 2002, p. 609).

Los términos de riesgo y vulnerabilidad son términos que están íntimamente relacionados, pero, que como se mencionó previamente, ambos tienen diversas acepciones, las cuales se han construido a partir de diferentes perspectivas, por lo que, es importante establecer desde qué concepción se parte.

El riesgo se mide asumiendo una determinada vulnerabilidad frente a cada tipo de peligro. Debe distinguirse adecuadamente entre peligrosidad (probabilidad de ocurrencia de un peligro), vulnerabilidad (probabilidad de ocurrencia de daños dado que se ha presentado un peligro) y riesgo (propriadamente dicho) (Escalante Euán, 2019, p. XII).

Se puede definir como peligro a una fuente de riesgo donde las consecuencias potenciales se relacionan con herir. Los peligros podrían, por ejemplo, estar asociados con energía (por ejemplo, explosión, fuego), material (tóxico o eco-tóxico), biota (patógenos) e información (comunicación de pánico) (Aven et al., 2018).

1.1.1 Riesgo

El término riesgo actualmente es de uso coloquial, pero, ha tenido variadas definiciones en el tiempo y también desde la perspectiva disciplinar (Cardona, 2001), lo que ha provocado una discrepancia que va más allá de lo sintáctico, es decir, que no solo tiene que ver en cómo se expresan las diferentes acepciones, puesto que además de eso, ha tenido implicaciones en cómo se abordan, estudian y evalúan los riesgos, generando que en muchos de los casos se haga de forma parcial.

Las visiones parciales, no permiten dimensionar la realidad compleja que encierra la ocurrencia de un fenómeno natural de grandes dimensiones en zonas en las que puede provocar pérdidas de vidas humanas, económicas, materiales, culturales y/o ambientales. Al no percatarse de todas las implicaciones que tiene la ocurrencia de estos fenómenos, lógicamente esto genera que en muchos de los casos no se realice una gestión efectiva de los riesgos.

La formulación del riesgo como producto de la exposición por la probabilidad de que ocurra un determinado evento se debe a Bernoulli en 1738. Desde entonces y hasta ahora, esta formulación continúa siendo válida, a pesar de que los contenidos de los parámetros han evolucionado (Azparren Calvo, 2003, p.13).

Sin embargo, la formulación del riesgo de Bernoulli no es la única expresión, ya que, con el paso del tiempo, se han propuesto otras expresiones, que, aunque en algunos casos se mantiene cierta similitud, se ha tratado de visualizar de manera más amplia a los riesgos. El riesgo está referido, a un periodo de tiempo determinado y se puede evaluar de forma determinista o probabilista. El riesgo puede calcularse a partir de la expresión:

$$R = P \times V \times C$$

Donde: P es la peligrosidad del proceso considerado, V es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la acción del proceso y C es el coste o valor de los mismos...el riesgo se expresa en pérdidas (económicas, humanas); en la expresión anterior, éstas 'unidades' corresponden a C , mientras que P es una probabilidad y V un parámetro adimensional... El valor de C puede expresarse en términos deterministas o probabilistas (González de Vallejo et al., 2002, p. 611).

La expresión matemática del riesgo previamente señalada, nos indica que para que exista un riesgo debe de existir una población vulnerable, ya que puede existir alguna zona de alta peligrosidad por la ocurrencia de un evento o proceso en particular, pero, que al no existir elementos expuestos se considera que no existe riesgo, ya que al no existir elementos expuestos no se tiene vulnerabilidad, lo que redundaría en no tener riesgo.

Entre los modelos propuestos para sistematizar y analizar los factores de influencia sobre los siniestros de tránsito, se encuentra el de Haddon, quien concretó el proceso de los siniestros viales en tres fases. La matriz de Haddon (Tabla 1) consta de nueve campos que permiten el análisis de los accidentes de tránsito por medio de las interacciones de uno o más factores asociados a las componentes anteriores, en las diferentes etapas del proceso de ocurrencia del accidente.

Tabla 1. Matriz de factores de influencia sobre los siniestros de tránsito propuesta por Haddon.

Fases		Factores		
		Ser humano	Vehículo y equipamiento	Vías y entorno
Antes del [siniestro]	Prevencción de [siniestros]	- Información - Capacitación - Normativa - Fiscalización y control - Control de salud preventivo permanente	- Condiciones mecánicas - Luces - Frenos - Maniobrabilidad - Control de velocidad	- Diseño y trazado de la vía pública - Limitación de la velocidad - Vías peatonales
En él [siniestro]	Prevencción de traumatismo durante el [siniestro]	- Utilización de dispositivos de retención - Discapacidad - Primeros auxilios	- Dispositivo de retención de los ocupantes - Otros dispositivos de seguridad - Diseño protector contra accidentes	- Objetos protectores contra choques y colisiones
Después del [siniestro]	Conservación de la vida	- Acceso a atención médica	- Facilidad de acceso - Riesgo de incendio	- Servicios de socorro - Congestión - Diseño vial

Nota. De “Decálogo de seguridad vial para la disminución de riesgos en usuarios viales conductores de motocicleta, pertenecientes a una empresa colombiana” E. J. Rozo Verjel y B.J. Pérez Fernández, 2021, *Aibi revista de investigación administración e ingeniería* 9(2). p. 42 (10.15649/2346030X.779). CC BY-ND

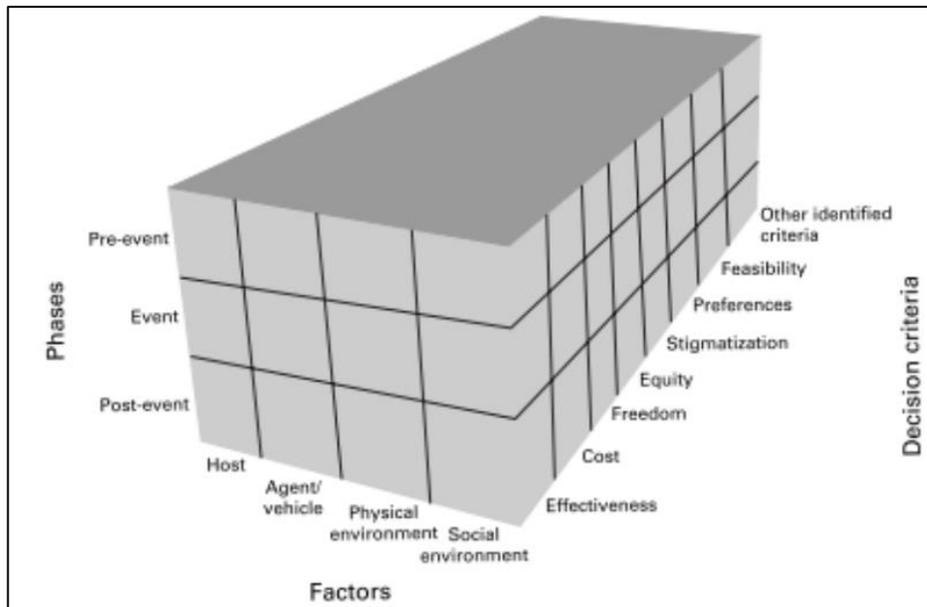
4.0

A partir de la propuesta original de la matriz de Haddon, se tiene que Higuera Castro y Pantevez Sanmiguel (2018) proponen una tercera dimensión denominada criterios de decisión. “Dentro de estos criterios se encuentran la evaluación de factibilidad, preferencias, estigmatización, equidad, libertad, costo y eficiencia de cada una las situaciones evaluadas en las tres fases y los tres factores” (Higuera Castro y Pantevez Sanmiguel, 2018, p.5) (ver figura 1).

Al incluir los criterios de decisión en la tercera dimensión de la matriz de Haddon, se trata visibilizar a los factores involucrados en la ocurrencia de un siniestro vial, sin embargo, resulta

complejo poder evaluar los criterios de decisión, lo que abre la puerta a la posibilidad de ampliar las líneas de investigación de los aspectos psicológicos relacionados con los siniestros viales.

Figura 1. Tercera dimensión de matriz de Haddon.



Nota. De "Desarrollo del sistema de gestión de seguridad vial basado en los lineamientos de la NTC ISO 39001:2014, en el Centro de Enseñanza Automovilístico LA CUMBRE." E. M. Higuera Castro y H.S. Pantevez Sanmiguel, 2018.

En la tabla 2 se incluyen los posibles factores que pueden contribuir a la ocurrencia de siniestros viales, los cuales fueron reportados por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC, 2021), como se puede visualizar las condiciones del flujo de tránsito, la presencia de usuarios vulnerables en la vía, las condiciones de la carretera y su señalamiento son algunos de los factores que inciden en la ocurrencia de siniestros viales, además del tipo de estos y la magnitud de daños.

Tabla 2. Posibles factores que contribuyen a los diferentes tipos de siniestros viales.

Accidentes fronto-laterales (cruces)	Accidentes en giros con tránsito en sentido contrario
<ul style="list-style-type: none"> • Visibilidad restringida • Altas velocidades en la aproximación • Efecto de «exceso de perspectiva» en un acceso secundario • Señales, semáforos o sistemas de control del tránsito tapados o cubiertos • Presencia de un cruce no obvio (a ciertas horas del día) • Intensidades de tráfico demasiado elevadas para una intersección con señal de prioridad o STOP (insuficientes oportunidades entre vehículos sucesivos) 	<ul style="list-style-type: none"> • Visibilidad restringida • Altas velocidades en la aproximación • Falta de visibilidad debido a la fila de los vehículos en el sentido contrario que quieren girar • Insuficientes oportunidades entre vehículos sucesivos en dirección contraria • Demasiados carriles para atravesar en el sentido contrario • Configuración compleja del cruce
Accidentes por salida de la vía	Choques frontales
<ul style="list-style-type: none"> • Carril o arcén estrechos • Radio de curvatura difícil de prever • Borde de calzada confuso • Arcén y berma insuficientes para recuperar el control del vehículo • Trazado de la carretera engañoso • Mal estado de la superficie de la carretera 	<ul style="list-style-type: none"> • Carriles demasiado estrechos (para la composición del tránsito, la velocidad, el radio de la curva o el ángulo de los carriles) • Mala visibilidad de la línea central • Mala delineación de la carretera (marcas viales y balizamiento) • Radio de curvatura difícil de prever • Puntos altos o bajos difíciles de ver • Insuficientes oportunidades de adelantamiento • Insuficiente resistencia al deslizamiento o mal drenaje de la superficie • Presencia de un escalón entre el borde de carril y el arcén o la berma que obliga al conductor a maniobrar bruscamente
Colisiones con objetos fijos	Accidentes en los pasos a nivel ferroviarios
<ul style="list-style-type: none"> • Isletas de refugio no visibles • Configuración compleja • Las mismas razones que las de los accidentes por salida de la vía 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación del paso no obvia • Presencia inminente del tren no obvia • Dispositivo de control no identificado claramente (o no coherente) • Conductor distraído por un cruce u otro elemento • Dispositivos de control tapados u ocultos

Nota. De “Riesgo e identificación de problemas. En *Manual de seguridad vial - A guide for practitioners*”, PIARC, 2021, p. 19 – 20.

Tabla 2. Continuación. Factores que contribuyen a los diferentes tipos de siniestros viales

Accidentes con peatones	Colisiones traseras en tramos rectos
<ul style="list-style-type: none"> • Pasos peatonales inadecuados. • Demasiado tráfico para encontrar suficiente tiempo de paso entre vehículos. • Excesivo número de carriles a cruzar • Tránsito a velocidad excesiva, carriles múltiples y tránsito en ambos sentidos • Movimientos del tránsito complejos o inesperados • Tránsito oculto tras vehículos estacionados, otros objetos o excesiva vegetación • Paso de peatones no obvio para los conductores • Ciclos de los semáforos demasiado largos, que llevan a los peatones a incumplirlos • Dispositivos inapropiados o falta de dispositivos para el uso de peatones heterogéneos (por ejemplo, para los usuarios discapacitados) • Inadecuada iluminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Filas de vehículos esperando para girar • Semáforos ocultos por una curva o un cambio de rasante • Otra causa inesperada de retención adelante • Insuficiente resistencia al deslizamiento o mal drenaje de la superficie • Incorrecta sincronización entre semáforos • Efecto de “exceso de perspectiva” en un tramo con varios semáforos consecutivos • Fases inadecuadas entre luces verdes • Presencia de vehículos parados • Tránsito inestable en una carretera de alta velocidad • Interrupción del tránsito por movimientos frecuentes de los peatones o por maniobras de estacionamiento • Giros de vehículos en lugares inesperados (como justo antes o justo después de los semáforos)
Colisiones con un vehículo parado	Colisiones con vehículos que efectúan un cambio de sentido
<ul style="list-style-type: none"> • Vehículo parado de manera inesperada en el carril • Carriles demasiado estrechos • Línea del borde de carril no visible 	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado cambio de sentido • Insuficientes oportunidades entre vehículos sucesivos en dirección contraria • Mala visibilidad
Cambio de carril y maniobras	
<ul style="list-style-type: none"> • Carriles demasiado estrechos (para la composición del tránsito, la velocidad, el radio de la curva o el ángulo del carril) • Líneas de los carriles o del borde no visibles • Escalón lateral entre la calzada y el arcén o la berma • Vehículos parados u otras obstrucciones • Pérdida de carril o incorporación inesperadas • Mala información direccional • Desarrollo de actividades en las márgenes 	

Nota. De “Riesgo e identificación de problemas. En Manual de seguridad vial - A guide for practitioners”,

PIARC, 2021, p. 21.

En la tabla 3 se presentan y describen de manera general los factores asociados a la ocurrencia de siniestros viales, los cuales están relacionados a alguno de los elementos que inciden en la seguridad vial (usuario, vehículo, carretera y su entorno). Aunque se abordan aspectos relacionados con los usuarios y vehículos, en este trabajo se abordan a más detalle lo inherente a la carretera y su entorno, incluso se tiene un apartado (el 1.2.4) dedicado a los principios básicos para el diseño de carreteras seguras.

Tabla 3. Principales factores que afectan la seguridad vial.

FACTORES	DESCRIPCIÓN
Comportamiento de los usuarios de la vialidad	Velocidad; fatiga; maniobras de adelantamiento; alcohol; recorridos nocturnos; edad de los conductores; uso de cinturones de seguridad.
Condiciones del camino	Superficie del camino; visibilidad del camino; alineamiento de la carretera o vialidad; Defectos en el diseño de la vialidad; intersecciones de carreteras; sobreelevación; defectos en el mantenimiento de carreteras; accesos privados; Consistencia.
Factores del vehículo	Defectos del vehículo, tamaño del vehículo; condiciones técnicas.
Instalaciones de tráfico	Tasa perfecta de señal de tránsito; Tasa de capacidad de servicio de las marcas de tránsito; Rescate de emergencia en accidentes de tránsito;
Factores socioeconómicos	Producto nacional bruto; Desempleo; Población urbana; Analfabetismo.

Nota. Traducido de “Road Safety Performance Assessment: A New Road Network Risk Index for Info Mobility” (p. 626) por Vaiana et al., 2014, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111.

En lo que corresponde a los usuarios, es importante destacar que, en todas las personas, existe un proceso denominado compensación del riesgo, el cual está asociado a la adaptación del comportamiento para optimizar la correspondencia entre la satisfacción de los deseos y los riesgos que involucra complacerlos. Ya que, si se modifica el nivel de riesgo percibido, en consecuencia, se modificará el comportamiento con la intención de alcanzar nuevamente una posición óptima (Casado Sanz, 2020), sin embargo, esta posición óptima es totalmente subjetiva porque dependerá de la percepción de la persona.

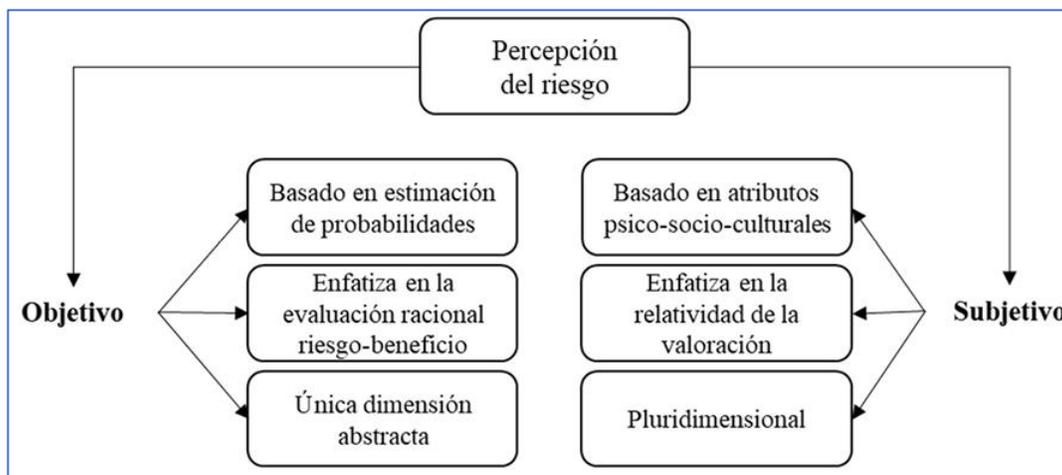
En el caso de la conducción esta compensación del riesgo, se ve afectada cuando el conductor hace uso de dispositivos móviles o ingiere bebidas embriagantes y/o estupefacientes. Por lo que resulta prohibitivo, sin embargo, en la práctica se presentan casos, en los que no se respetan estas restricciones, lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de un siniestro vial.

La compensación del riesgo previamente señalada forma parte de la construcción social del riesgo ya que se asocia a las prácticas y representaciones de la sociedad (Ruiz Guadalajara, 2005). Cabe señalar que la construcción social del riesgo fue considerada por investigadores sociales franceses como sinónimo de percepción del riesgo (Jerez Ramírez, 2015), la cual ya es considerada como una subdisciplina que aborda o considera aspectos antropológicos, históricos, sociológicos y psicológicos.

“Los marcos teóricos y metodológicos de los estudios sobre desastres no tardaron en adaptarse a estas propuestas de análisis [social], razón por la cual el enfoque de percepción social es uno de los conceptos más utilizados en investigaciones de este corte.” (Jerez Ramírez, 2015, p.10).

En la figura 2, se presente de manera esquemática la manera en que se ha abordado la percepción del riesgo, del lado izquierdo se observa que el enfoque objetivo se sustenta en la estimación de probabilidades, mientras que del lado derecho se presenta el enfoque subjetivo cimentado en aspectos psico – socio – culturales.

Figura 2. Enfoques de estudio del riesgo como construcción social.



Nota. De “*Construcción Social del Riesgo de Desastres: La Teoría de Representaciones Sociales y el enfoque social en el estudio de problemáticas socio - ambientales.*” (p. 9), por Jerez Ramírez, 2015.

1.1.2 Vulnerabilidad

La ocurrencia de un evento natural peligroso, puede generar magnitudes de daño diferentes dada la situación de vulnerabilidad, esto se puede visualizar considerando que los huracanes y los sismos (por ejemplo), cuentan con escalas para su medición y se ha observado cómo los daños provocados por estos fenómenos de igual magnitud (o similar) pueden provocar daños más severos y cantidades de defunciones mucho mayores en algunos lugares en las que

sus condiciones socioeconómicas, de infraestructura y capacidad de respuesta por parte de las instituciones los vuelven vulnerables.

De entre las investigaciones sobre vulnerabilidad los métodos más empleados incluyen los aspectos ambientales, sociales y económicos, como parte esencial para evaluar los niveles de fragilidad de un territorio. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 4, “cada estudio presenta distintas variables que, al ser agrupadas, han alcanzado a ampliar las dimensiones de los problemas planteados” (García Benítez, 2018, p.98).

Tabla 4. Elementos por considerar para la evaluación de la vulnerabilidad.

Vulnerabilidad	Daños o pérdidas	
Social	<ul style="list-style-type: none"> - Muertos y desaparecidos. -Heridos y discapacitados. -Personas sin hogar. Personas sin trabajo. -Epidemias y enfermedades. 	La vulnerabilidad social depende de: <ul style="list-style-type: none"> -La intensidad y velocidad del fenómeno. -La densidad de población. -La vulnerabilidad estructural. -El tiempo de aviso. -Los sistemas de emergencia y respuesta.
Estructural	<ul style="list-style-type: none"> -Daños sobre edificios y estructuras. -Daños sobre el contenido de los mismos. -Pérdida de beneficios. -Efectos sobre las personas. 	La vulnerabilidad estructural depende de: <ul style="list-style-type: none"> -La intensidad y velocidad del fenómeno. -El tipo y características de las construcciones. -La concentración en áreas de población.
Económica	Daños directos: <ul style="list-style-type: none"> -Costes de reposición, reparación o mantenimiento de estructuras, instalaciones o propiedades, sistemas de comunicación, electricidad, etc. Daños indirectos: <ul style="list-style-type: none"> -Reducción del valor de los bienes. -Interrupción de los sistemas de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pérdidas de productividad de suelo agrícola o industrial. -Pérdidas en la productividad humana. Pérdidas en beneficios comerciales. -Pérdidas en la recaudación de impuestos. -Costes de medidas preventivas o de mitigación. -Pérdida de calidad del agua y contaminación. -Pérdida de ingresos por impuestos.

Nota. De “Ingeniería Geológica” (p. 613) por González de Vallejo et al., 2002.

En el caso de los siniestros viales, de manera general, se identifica como usuarios vulnerables de las vialidades a los peatones, ciclistas y motociclistas, algunos autores hacen la distinción no únicamente tomando en cuenta la forma de movilizarse, sino que, además, consideran los rangos de edad.

1.2 Componente peligrosidad

El concepto de peligrosidad (*Hazard*), hace referencia a la frecuencia en la que ocurre un evento en cierto lugar. “Se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica” (Varnes, 1984; Barbat, 1998 citado en González de Vallejo et al., 2002, p. 609).

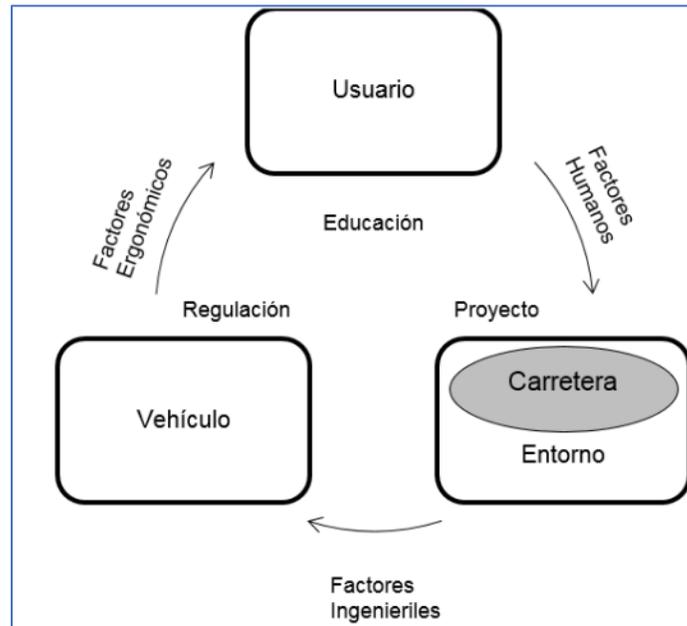
La peligrosidad también puede ser expresada a partir del periodo de retorno (González de Vallejo et al., 2002), el cual se puede definir como “el número de años en que, en promedio, se presenta un evento [o proceso de semejantes características], se llama periodo de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia y se acostumbra a denotarlo con T ” (Aparicio Mijares, 1992).

1.3 Seguridad vial

Si se quiere verbalizar la noción de seguridad vial, 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. “En el marco del proyecto geométrico, la seguridad se refiere a que los elementos de la carretera tengan características tales que minimicen la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito”. (DGST, 2018d, p. 82). Lo cual resulta ser mucho más complejo de lo que inicialmente se podría pensar, ya que el análisis de la causalidad de los accidentes no permite determinar claramente la influencia de una causa específica.

Los siniestros viales se pueden analizar desde la perspectiva del conductor, el entorno de la carretera y el vehículo (ver figura 3). También se pueden analizar desde la perspectiva de las ecuaciones matemáticas. Se pueden recopilar diferentes tipos de datos para analizar información de accidentes, entre estos datos, se pueden incluir: Número de accidentes, flujo de tránsito, características de la vía, ocupantes de vehículos, visitas al sitio, *Google Earth* y *Streetview* (Lord et al., 2021).

Figura 3. Elementos incidentes en la seguridad.



Nota. De “Manual de proyecto geométrico carretera 2018” (p. 83), por DGST, 2018d.

Lo previamente señalado, 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).

1.3.1 Principales teorías aplicadas al estudio de siniestros viales

En la tabla 5, se presenta la clasificación cronológica propuesta por Elvik et al. (2009) en lo referente a las teorías con las que se ha abordado el estudio de los siniestros viales, siendo una de las clasificaciones más difundidas y en esta propuesta se puede observar la evolución que se ha presentado en la manera de abordar el estudio de los siniestros viales.

Tabla 5. Clasificación cronológica de las principales teorías de accidentes viales.

Nombre de la Teoría	Propuesta o aportes	Autor
De los accidentes como sucesos aleatorios	Publicado en 1898 en el libro “La Ley de los pequeños números”, en el que se planteaba que los accidentes viales eran fenómenos aleatorios inevitables y cuyo control no estaba al alcance del ser humano.	Ladislao von Bortkiewicz
Estadística y de la predisposición a los accidentes	Propone que existen personas más propensas que otras a tener accidentes viales. A estas personas se las identificada mediante pruebas psicológicas. El principal aporte de esta teoría es involucrar el factor humano, pero, dada la complejidad de los siniestros viales no logra abarcar toda la problemática. Esta teoría tuvo su auge entre 1920 y 1950.	Greenwood y Yule
Causal de los accidentes	Se ubica sus inicios alrededor de los años 50 y se apoyaba en que era imprescindible conocer las causas de los siniestros viales para prevenirlos. Enfatizando que los accidentes constituían eventos multicausales. Con lo que se reconoce la importancia del factor humano, pero, que no es el único.	No identificado
Teoría de sistemas y teoría epidemiológica	Surgieron en los años 50 y tuvieron mayor auge entre las décadas de los 60 y 70. La teoría de sistemas aplicada a los accidentes establece que estos, se producen como consecuencia de desajustes en la interacción entre componentes de un sistema complejo. La teoría epidemiológica, se originó paralelamente a la de sistemas, estableciendo una analogía con las enfermedades infecciosas y consideraba: al vehículo como agente transmisor, el usuario de la vía como el huésped de la enfermedad y la vía como el ambiente de la enfermedad. Ambas teorías alcanzaron mayor eficacia en la reducción del número de víctimas por accidentes de tránsito.	No identificado
Conductual de los accidentes	Se desarrolló en la década de los años 80 y se centraba en el análisis del comportamiento individual de los usuarios de la vía como factor crítico determinante en la ocurrencia de los accidentes de tránsito.	No identificado

Nota. Elaboración propia a partir de la información de Elvik et al. (2009).

1.3.2 Accidente de tránsito o siniestro vial

En el cotidiano, al referirse a un evento catastrófico en el que están involucrados vehículos y personas (conductores, peatones y/o usuarios) y se presentan defunciones o lesiones de consideración, se le denomina accidente de tránsito, lo cual ha sido una acepción común y casi generalizada, pero, que se ha ido modificando paulatinamente (quizás más lento de lo que se necesita), y se está optando por la acepción siniestro vial.

El cambio de paradigma resulta necesario, puesto que, con esta modificación, cambia la perspectiva de ser acontecimientos fortuitos (en los que poco tienen que ver los seres humanos y suceden como una mezcla de factores desafortunados, pero, un tanto inevitables) a una

construcción social del riesgo (en la que una serie de decisiones personales y comunitarias, van generando vulnerabilidades). En la tabla 6, se manifiestan las características radicalmente opuestas entre los términos accidente y siniestro.

Tabla 6. Comparación de los paradigmas asociados a los conceptos “accidente” y “siniestro”.

ACCIDENTE	SINIESTRO
Hecho fortuito que ocurre por casualidad o azar	Hecho causal que ocurre por la interacción entre diferentes factores identificables
Ocurre de manera inesperada por lo que no se puede prevenir	Es predecible y prevenible
Sus causas son poco controlables	Sus causas son controlables
Enfoca la atención en las consecuencias o resultados de un hecho	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.
Impide que las personas se hagan responsables de esos resultados.	Permite que tomemos consciencia y acciones para prevenirlos

Nota: Elaborada a partir de información vertida en el mooc del Banco Interamericano de Desarrollo, denominado: Seguridad vial en América Latina y el Caribe, de la teoría a la acción (BID, 2021).

En 1898, se inicia la investigación de [los siniestros viales] con la publicación del libro La ley de los pequeños números (Bortkiewicz, 1898 citado en Gallo Álvaro, 2014), claro está que al inicio estos sucesos, no se les visualizaba como siniestros y precisamente este primer estudio tuvo una gran influencia para que se les visualizara como accidentes de tránsito o viales, ya que el estudio que realizó “arrojó que la distribución real de los mismos se ajustaba perfectamente a la distribución de Poisson, que modelaba procesos aleatorios” (Gallo Álvaro, 2014, p. 39).

El estudio de los accidentes de tránsito [siniestros viales], dada la gran cantidad de factores de todo tipo que influyen en ellos, requiere un examen detallado para cada caso de estudio, y sus resultados no pueden extrapolarse a otro lugar sin un análisis comparativo previo de las condiciones físicas y factores de cada uno de los casos (población, red vial, parque vehicular, educación, [condiciones ambientales], etc.) (Tobaruela Delgado, 2022, p. 41).

Los [siniestros viales] son sucesos complejos que involucran una variedad de respuestas humanas a estímulos externos, así como interacciones complejas entre el vehículo, las

características / condiciones de la vía, los factores relacionados con el tránsito y las condiciones ambientales. La ausencia de datos importantes puede presentar problemas serios de especificación para los análisis estadísticos tradicionales que pueden llevar a estimaciones de parámetros sesgadas e inconsistentes, inferencias y predicciones erróneas de accidentes (Mannering et al., 2016).

1.3.3 Enfoque Visión Cero de Seguridad Vial

Visión Cero 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. Visión Cero propuso 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 de responsabilidad de la seguridad vial recae en los diseñadores del sistema (Kristianssen et al., 2018).

La Visión Cero (VC) redefine la seguridad vial, los principios VC 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).

El Método para un Sistema Seguro reconoce que las muertes y lesiones son inaceptables y evitables, este método 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. Las Naciones Unidas han reconocido que este método es un elemento esencial para mejorar la seguridad vial (informe de las Naciones Unidas A/72/359) (PIARC, 2019b, p. 5).

1.3.4 Expectativas del Conductor

La expectativa del conductor es la predisposición para dar respuesta a situaciones, eventos e informaciones de manera predecible y exitosa; ya que, al presentarse situaciones nuevas o inesperadas, la probabilidad de ocurrencia de siniestros aumenta. Por lo que, las características de la vialidad deben responder a la expectativa del conductor, la cual está asociada a la experiencia del conductor, la cual puede ser de largo alcance, de corto alcance, o eventual (DGST, 2018d).

“La uniformidad y consistencia del proyecto geométrico [son algunas] de las condiciones necesarias para satisfacer la expectativa del conductor, otras condiciones importantes de las carreteras son: ...señalamiento de tránsito adecuado y superficies de rodadura regulares, con antideslizantes y sin baches” (DGST, 2018d, p. 5).

La homogeneidad de las características geométricas de una carretera y su consistencia están íntimamente ligadas: si las características geométricas se mantienen dentro de un cierto rango a lo largo de un tramo, las maniobras que debe realizar el conductor para recorrerlo serán de forma constantes y mantendrá una velocidad uniforme lo que incrementará las condiciones de seguridad (González, 2015, p. 136).

1.3.5 Principios básicos para el diseño de carreteras seguras

Los elementos del diseño y construcción de una carretera relacionados con la seguridad vial de los usuarios son: la velocidad de proyecto, las características geométricas, las expectativas del conductor, las distancias de visibilidad, el señalamiento, seguridad en las márgenes, el control de accesos, las zonas de obra y mantenimiento, las intersecciones y los enlaces (Mayoral et al., 2001).

El planteamiento de seguridad en infraestructuras ha tenido una doble aproximación: preventivo y paliativo. El primero tratará de detectar los problemas que puedan producirse en una carretera antes de que se generen accidentes, mientras que el paliativo tratará de dar solución a las situaciones que se han presentado en una red.

Son ejemplos de atención paliativa la identificación y gestión de los puntos o tramos de concentración de siniestros viales, mientras que, como ejemplos de herramientas preventivas, se tiene a las auditorías e inspecciones de seguridad vial (González, 2015).

Se han realizado estudios sobre gestión de seguridad vial, tratando de identificar factores de éxito y ejemplos de prácticas ejecutadas, pero la complejidad del sujeto y la dificultad de colección de datos cuantitativos hacen difícil una comprensión clara (Alfonsi et al., 2016).

El nivel general de seguridad que ofrece un tramo de carreteras no se debe a un parámetro individual como el trazado, o el estado de conservación del pavimento o la señalización, sino que viene determinado, en líneas generales, por un conjunto de factores combinados entre sí, entre los que intervienen no sólo la infraestructura y su

entorno, sino también las condiciones de circulación, la aptitud del usuario, vehículos, etc. (González, 2015, p. 123).

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 (Colagrande, 2022).

Con respecto a la Geometría (proyecto geométrico), “la seguridad se refiere a que los elementos de la carretera tengan características tales que minimicen la probabilidad de ocurrencia de [siniestros viales]. Suele decirse que una carretera es segura cuando el número de accidentes es relativamente bajo” (DGST, 2018d, p. 82).

Se debe inspeccionar... carreteras existentes en operación, incluso sin problemas aparentes. Sin embargo, es especialmente recomendable practicar 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 Pineda et al., 2018, p. 12).

“En México aproximadamente el 13% de las causas de accidentes viales, son atribuibles a la vía, ocupando el segundo lugar de las causas de accidentes, resulta necesario contar con carreteras con un diseño de calidad” (Casanova Zavala et al., 2021, p. xiii), que aporte a la seguridad vial de la infraestructura.

1.3.5.1 Velocidad de proyecto

Al referirse a la velocidad de proyecto, se debe de entender que se refiere a aquella velocidad que es la utilizada para la determinación de elementos geométricos de la carretera, entre los que se pueden mencionar: grados de curvatura, longitudes críticas de las pendientes longitudinales, distancias de visibilidad (ya sea de parada, rebasamiento o de encuentro), sobreelevaciones en curva, entre otros (DGST, 2018d). Como es de esperarse existirá un rango de velocidades a los que se pueden transitar los elementos geométricos señalados, pero la

velocidad de proyecto se refiere al límite superior al cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre una carretera.

Su selección depende del tipo de camino a proyectar y de los niveles de servicio que se proporcionarán, entre otros muchos elementos. La velocidad de proyecto debe armonizar la seguridad, los alineamientos vertical y horizontal, la sobreelevación y las distancias de visibilidad, sin menospreciar el tránsito y su composición vehicular y su incidencia en los niveles de servicio, y los costos de operación vehicular (DGST, 2018d, p. 17).

“Dentro de las variables básicas del proyecto geométrico, el concepto de velocidad de proyecto es uno de los que ha sido objeto de una mayor revisión en los últimos años. Este concepto nace en Estados Unidos” (Mayoral et al., 2001, p. 27).

El concepto de velocidad de proyecto se creó buscando la homogeneidad o consistencia de un camino. Con la idea inicial de que esto permitiría que los conductores circularan en las carreteras y vialidades de forma segura a la velocidad que ellos desearan. Por otro lado, la inconsistencia de los trazos genera variaciones de velocidad, lo que provocaría en algunos casos altos gradientes de velocidad para circular con seguridad en determinados elementos de la carretera o en subtramos específicos.

“La velocidad de proyecto se fija en función de la categoría funcional de la carretera y de las características del terreno y del entorno, pero no toma en cuenta expresamente las velocidades reales que los vehículos actuales pueden [alcanzar]” (Mayoral et al., 2001, p. 28). Lo que actualmente genera que exista cierta incongruencia entre las velocidades máximas establecidas y las velocidades operacionales reales, además, de que en varias de las carreteras que fueron diseñadas y construidas tiempo atrás a la normativa vigente, se establecían parámetros de velocidades de diseño para curvas con valores inferiores a las velocidades que se podrían esperar en la actualidad, dada las capacidades de los vehículos actuales.

1.3.5.2 Características Geométricas

En lo referente a las características geométricas de las carreteras, cada país determina la normativa aplicable en su territorio nacional y en algunos casos existe normativa estatal, la normativa establece los parámetros permitidos para cada uno de los elementos, los cuales varían ya que, para algunos casos, se considera que rige el volumen de tráfico esperado y las velocidades de diseño. Pero, en algunos otros es definido por la clasificación y/o importancia de la carretera a diseñar y construir.

La influencia de elementos del trazado horizontal y vertical como el radio de las curvas o las pendientes han sido analizadas con frecuencia, en la mayor parte de los casos junto con variables de exposición o velocidad, que generalmente han demostrado ser más influyente que las variables de trazado (González, 2015, p. 185).

Karlaftis y Tarko (1998) realizaron un análisis en el que demostraron que los modelos de predicción de accidentes mejoran si se consideran grupos independientes clasificados según la sección transversal de la vía. Para cada grupo homogéneo de sección transversal realizaron un análisis de regresión binomial negativa, demostrando que se obtienen mejores resultados que si se analiza todo el conjunto de datos en un único modelo.

Abdel-Aty y Radwan (2000) realizaron un modelo binominal negativo con los datos de accidentes de tres años en Florida; utilizaron numerosos parámetros de tránsito y diseño vial, así como características de los conductores como el género y la edad; concluyeron que, a mayor tránsito pesado, mayor velocidad, más número de carriles, entornos urbanos y carriles y arcenes estrechos, se producían accidentes con más frecuencia.

Karlaftis y Golias (2002) analizó la relación característica de diseño de la vía (número de carriles, ancho de carril y arcén, ancho de mediana, tipo de pavimento, tipo de mediana, estado del pavimento, etc.) y *las ratios* de accidentalidad, desarrollando un modelo para predecir accidentes en carreteras interurbanas. La investigación concluyó que las variables de diseño geométrico y el estado del pavimento son los factores más importantes en el número de accidentes.

1.3.5.3 Distancias de visibilidad

“La distancia de visibilidad es la longitud de la carretera que el conductor puede ver frente a él continuamente bajo condiciones atmosféricas, del tránsito favorables y que le permiten realizar las maniobras asociadas con el proceso de conducción segura” (DGST, 2018d, p.20). En este sentido, con respecto a la distancia de visibilidad, se debe de considerar los siguientes aspectos: la distancia “necesaria para detener el vehículo, la necesaria para rebasar a vehículos más lentos, las necesarias para tomar decisiones y el criterio para medir las distancias de visibilidad en el proyecto” (DGST, 2018d, p.20), ver tabla 7.

Tabla 7. Distancias de visibilidad para diferentes velocidades de proyecto.

Velocidad de proyecto, en km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Coefficiente de fricción longitudinal	0.346	0.346	0.324	0.308	0.295	0.285	0.276	0.269	0.261
Distancia de reacción, en m	20.83	27.78	34.72	41.67	48.61	55.56	62.5	69.44	76.39
Distancia de frenado, en m	10.24	18.21	30.36	46.05	65.39	88.48	115.39	146.16	182.85
Distancia de visibilidad de parada, en m	31	46	63	83	104	128	155	183	214

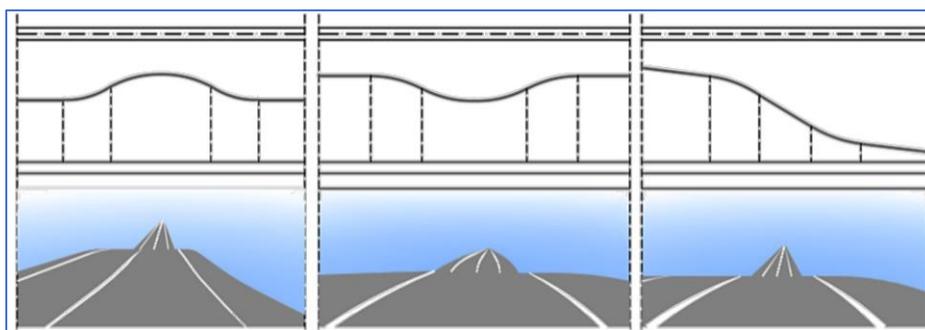
Nota. De “Manual de proyecto geométrico carretera 2018” (p. 22), por DGST, 2018d.

La visibilidad disponible varía continuamente a lo largo de la carretera en función de la combinación del alineamiento horizontal y vertical, de la sección transversal y de las restricciones al campo de visión del conductor impuestas por la configuración del entorno de la carretera (Mayoral et al., 2001, p. 31).

Para ejemplificar esta situación, a continuación, se presentan situaciones en las que se pueden evidenciar afectaciones en la percepción del conductor por combinaciones inadecuadas entre el alineamiento horizontal y el vertical:

- Pérdida de trazo. La combinación del alineamiento horizontal y vertical provocan que el conductor perciba la desaparición en su campo visual de un tramo de la corona, en una alineación tangente. Tal como se muestra en la figura 4, la pérdida podría ser múltiple en los casos que desaparecen varios tramos (DGST, 2018a).

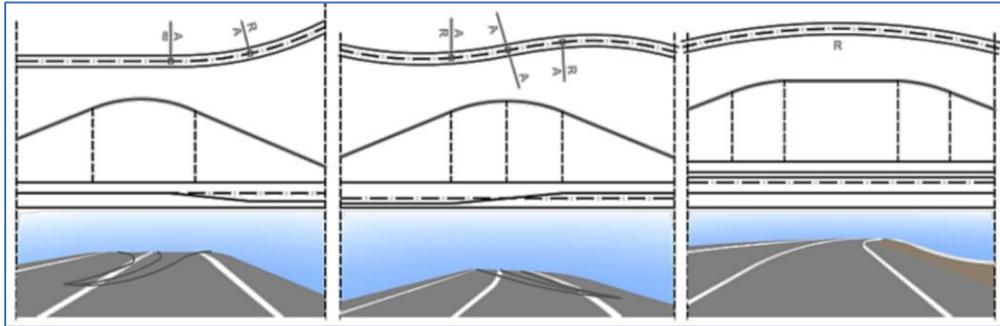
Figura 4. Esquemas de pérdida del trazo.



Nota. De “Manual de Auditorías de Seguridad Vial” (p. 34), por DGST, 2018a.

- “Pérdida de orientación. Consiste en la desaparición total de la corona del campo visual del conductor con incertidumbre sobre la posible trayectoria a seguir” (DGST, 2018a, p. 34), ver figura 5.

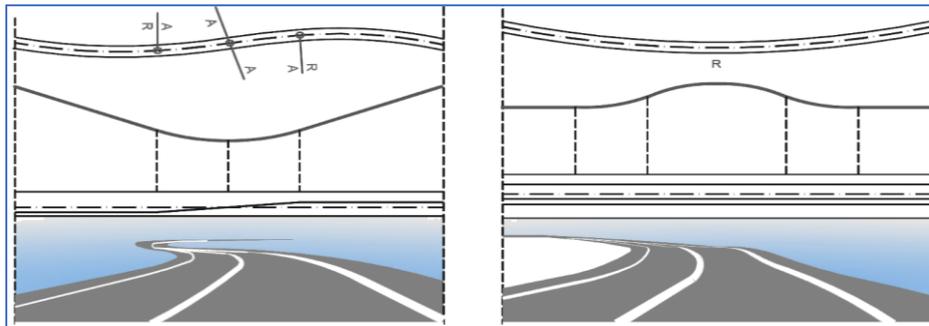
Figura 5. Esquemas de pérdida de orientación donde “∞” indica tramo tangente, “A” curva de transición y “R” curva circular.



Nota. De “Manual de Auditorías de Seguridad Vial” (p. 34), por DGST, 2018a.

- “Pérdida dinámica. Consiste en la desaparición parcial de la corona y en particular de alguna de sus características que permiten el guiado del vehículo (sobreelevación, longitud de elementos, entre otros)” (DGST, 2018a, p. 35), ver figura 6.

Figura 6. Esquemas de pérdida dinámica donde “A” indica curva de transición y “R” curva.



Nota. De “Manual de Auditorías de Seguridad Vial” (p. 35), por DGST, 2018a.

1.3.5.4 Señalamiento

Desde el enfoque de Visión Cero de seguridad vial, se espera que las indicaciones que se les dan a los usuarios a través del señalamiento (horizontal y vertical), sean claras y entendibles, es decir, que las vías sean autoexplicativas y no generen confusiones (Dorado Pineda et al., 2016).

1.3.5.5 Seguridad en las márgenes

“La seguridad en las márgenes empezó a tomar importancia hasta finales de los 60’s y sólo a partir de los 70’s se incorpora con regularidad a los proyectos” (Mayoral et al., 2001, p. 34).

Los acotamientos, son las fajas contiguas a la calzada libres de obstáculos que se utilizan para uno o más de los siguientes fines:

- Dar espacio para paradas y maniobras de emergencia.
- Acotar la calzada haciéndola más visible.
- Evitar accidentes o reducir su severidad.
- Dar holgura a obstáculos laterales.
- Mejorar distancia de visibilidad y seguridad, sobre todo en cortes.
- Contribuir a mejorar la estética.
- Incrementar la capacidad.
- Proporcionar espacio para trabajos de mantenimiento.
- Contribuir a drenar el agua y reducir filtración a la sección estructural.
- Confinar el pavimento para darle resistencia estructural
- Eventualmente dar espacio para paradas de autobuses. (DGST, 2018d, p. 60).

1.3.5.6 Control de accesos

“El control de acceso se refiere al ingreso del tránsito a una carretera, proveniente de otras, incluyendo intersecciones, vías públicas, privadas y retornos. En una carretera, éste puede ser total, parcial o inexistente” (Mendoza Díaz et al., 2004, p. XI). Es uno de los factores que influye en la seguridad de una carretera. Un aumento en la densidad de los accesos incrementa rápidamente el índice de accidentes

En el control total de acceso se da preferencia al tránsito de paso sobre el local, las conexiones para el acceso vehicular se realizan por medio de enlaces o rampas y sólo desde algunas vías seleccionadas, evitando cruces a nivel y conexiones directas con vías de acceso a propiedades colindantes. En el control parcial de acceso, aunque también se

da preferencia al tránsito de paso, se permiten intersecciones a nivel en algunos sitios y conexiones directas con vías seleccionadas. También se proporciona cierto acceso a propiedades colindantes (DGST, 2018d, p.19).

1.3.5.7 Zonas de obra y mantenimiento

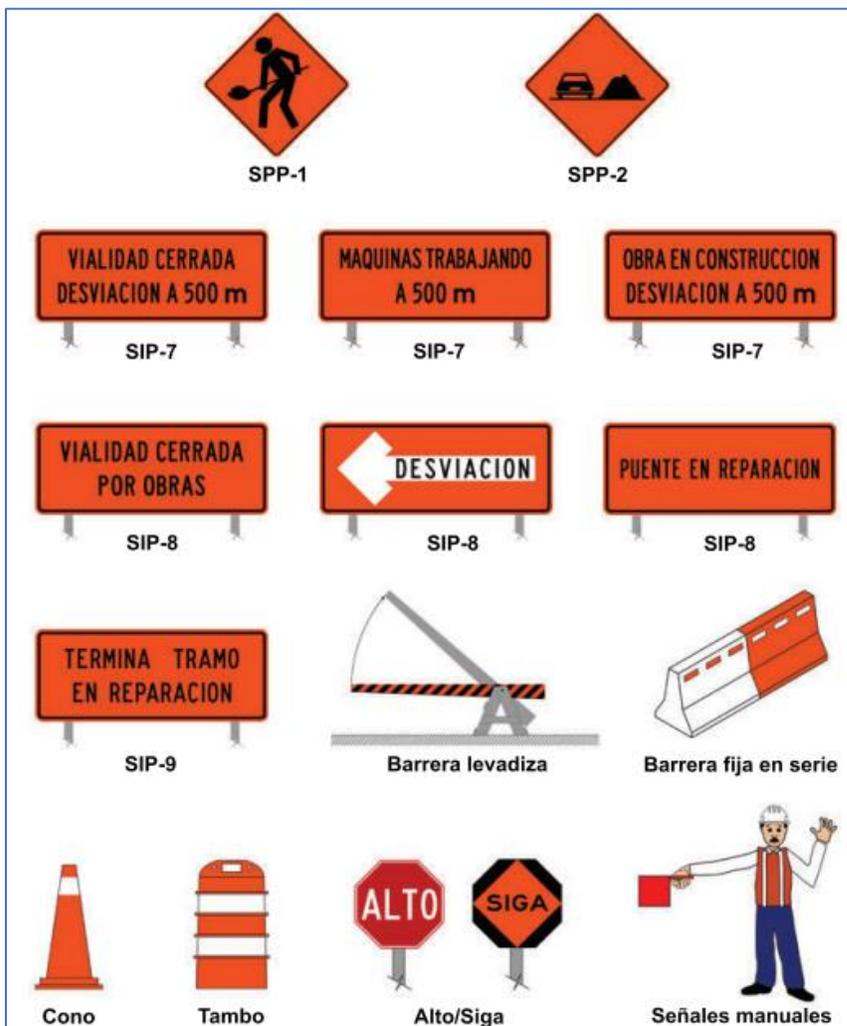
Por los requerimientos de movilización de materiales, equipo, personal y los propios a los procedimientos constructivos, se requiere que en las zonas de obra de construcción y conservación de vialidades los usuarios se comporten con mayor precaución de la que normalmente se espera; por lo que, “se debe observar una estricta adherencia a las especificaciones para la colocación y selección de los tipos de señales y los elementos de control del tránsito. Las zonas de obra requieren un constante monitoreo, incluyendo observaciones *in situ*” (Mayoral et al., 2001, p. 42).

Es importante señalar que los sistemas seleccionados para el control del tránsito deben de tener características tales que permitan realizar modificaciones y/o adecuaciones sin mayores complicaciones y que se puedan realizar de manera segura.

Para los casos en los que se estén realizando labores de mantenimiento, reparación o modernización de algún tramo o punto de una carretera, “la canalización del tránsito debe realizarse mediante la utilización de señalamiento, marcas en el pavimento y barreras, de tal modo, que quede perfectamente delimitada la canalización y tenga buena visibilidad.” (Mayoral et al., 2001, p.42). Para tal efecto en la figura 7, se puede observar los señalamientos y dispositivos más utilizados, los cuales deben de seguir las especificaciones y requerimientos señalados en el *manual de señalización vial y dispositivos de seguridad*.

Para llevar a cabo las obras de construcción y conservación en las vialidades, se debe elaborar un proyecto de señalamiento y dispositivos de protección en zonas de obras viales, en el cual se considere el estudio de las características del tránsito vehicular y peatonal, área afectada de la vialidad, así como de las etapas de construcción y duración de la obra (DGST, 2014, p. 39).

Figura 7. Catálogo de señalamiento y dispositivos para protección en zonas de obras viales.



Nota. De “Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad” (p. 510), por DGST, 2014.

1.3.5.8 Intersecciones y enlaces

En el caso de las intersecciones, debe minimizarse la posibilidad de colisión aplicando principios del diseño de intersecciones seguras, tales como las mencionadas por Dorado Pineda et al., (2016), siendo:

- (I) Limitar la velocidad del tránsito a través de las intersecciones a 50 km/h
- (II) Evitar ángulos de impacto de 90°
- (III) Limitar los puntos de conflicto

- (IV) Separar a los usuarios vulnerables o limitar la velocidad a 30 km/h en la intersección
- (V) Promover a través del diseño la responsabilidad mutua activa en las intersecciones (Dorado et al., 2016, p. 52).

1.4 Estado del arte

1.4.1 Estudios realizados con respecto al análisis de accidentes utilizando SIG

En los últimos años, muchos autores han propuesto varios enfoques para analizar los datos históricos de siniestros viales utilizando herramientas SIG, de modo que las ubicaciones con alto riesgo de ocurrencia de siniestros, es decir, puntos críticos o puntos negros de siniestros, 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, GIS 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).

Los métodos de Estadística Espacial más utilizados para el análisis de accidentes de tránsito utilizando SIG, son la I de Moran y el de la G general de Getis-Ord (Satria y Castro, 2016), utilizados principalmente para la identificación de puntos de conflicto. En la tabla 8, se presentan los estudios realizados con respecto al análisis de accidentes de tránsito utilizando SIG.

Tabla 8. Estudios realizados con respecto al análisis de siniestros viales utilizando SIG previo al 2016.

Autor y año de publicación	Área	Metodología
Kim y Nitz (1995)	Mezclada	Herramientas espaciales describen el grado de concentración espacial y analizan los patrones espaciales de diferentes tipos de accidentes.
Steenberghen et al. (2004)	Urbana	Ubicación de accidentes, agrupaciones espaciales de accidentes aplicando análisis de densidad de Kernel.
Aguero-Valverde y Jovanis (2006)	Mezclada	Modelo jerárquico completo de Bayes con efectos espaciales y temporales comparado con un método binomial negativo para estimar la frecuencia anual de accidentes a nivel de condado.
Erdogan et al. (2008)	Mezclada	Determinación de <i>hot spot</i> con análisis estadístico (Análisis de densidad de Kernel y Poisson).
Erdogan (2009)	Urbana	Estadísticos I de Moran's y Getis-Ord
Gundogdu (2011)	Urbana	Método <i>hot pieces</i> para determinar tramos críticos de accidentes viales y los <i>hotspots</i> probables para prever los puntos críticos.
Truong y Somenahalli (2011)	Mezclada	Índice de severidad, patrones espaciales de datos de atropellamiento de peatones por vehículos y mapas de <i>hotspots</i> de atropellamiento de peatones por vehículos.
Budiharto y Saido (2012)	Urbana	Puntos negros de accidentes: tres métodos (estimación de densidad de Kernel, análisis de agrupamiento y valores atípicos)
Çela et al. (2013)	Urbana	Patrones espaciales de accidentes usando la función K de la red y estimación de densidad de kernel de red (EDK) para encontrar agrupamientos e identificar las ubicaciones reales de los agrupamientos.
Rankavat y Tiwari (2013)	Mezclada	Investigación del potencial de la utilización de SIG en la identificación de zonas propensas a accidentes de peatones.
Effati et al. (2014)	Urban	Enfoque neuro difuso geoespacial para la identificación de zonas peligrosas.
Ma et al. (2014)	Urban	Modelo cuasi-Poisson
Tortum y Atalay (2015)	Mixed	Estadísticos I de Moran's y Getis-Ord
Yalcin y Duzgun (2015)	Urban	3 métodos de análisis de patrones espaciales en una red: densidad de Kernel, distancia al vecino más cercano, función K.

Nota. Traducido de “GIS Tools for Analyzing Accidents and Road Design: A Review” (p.244) por Satria y Castro, 2016, *Transportation Research Procedia*, 18.

Al revisar la literatura especializada, 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 geoestadísticos (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 para carreteras de montaña (Zhang et al., 2021) y estudios enfocados al tránsito urbano (Zhu et al., 2020; Ramírez y Valencia, 2021).

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).

1.4.2 Puntos negros (Crash hot spots o accident black spots)

Los accidentes pueden ocurrir en 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 [siniestros] 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 González et al., 2017, p. 39).

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).

Los registros de los [siniestros viales]... son los elementos principales para medir la seguridad vial de las carreteras y autopistas, [pero], existen razones por las cuales no es conveniente utilizar únicamente los [siniestros] ocurridos como medida para describir la... seguridad vial (Gómez González et al., 2017, p. 39).

Para la Asociación Mundial de Carreteras, la identificación y tratamiento de los puntos negros es un “método [que] 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, p.8).

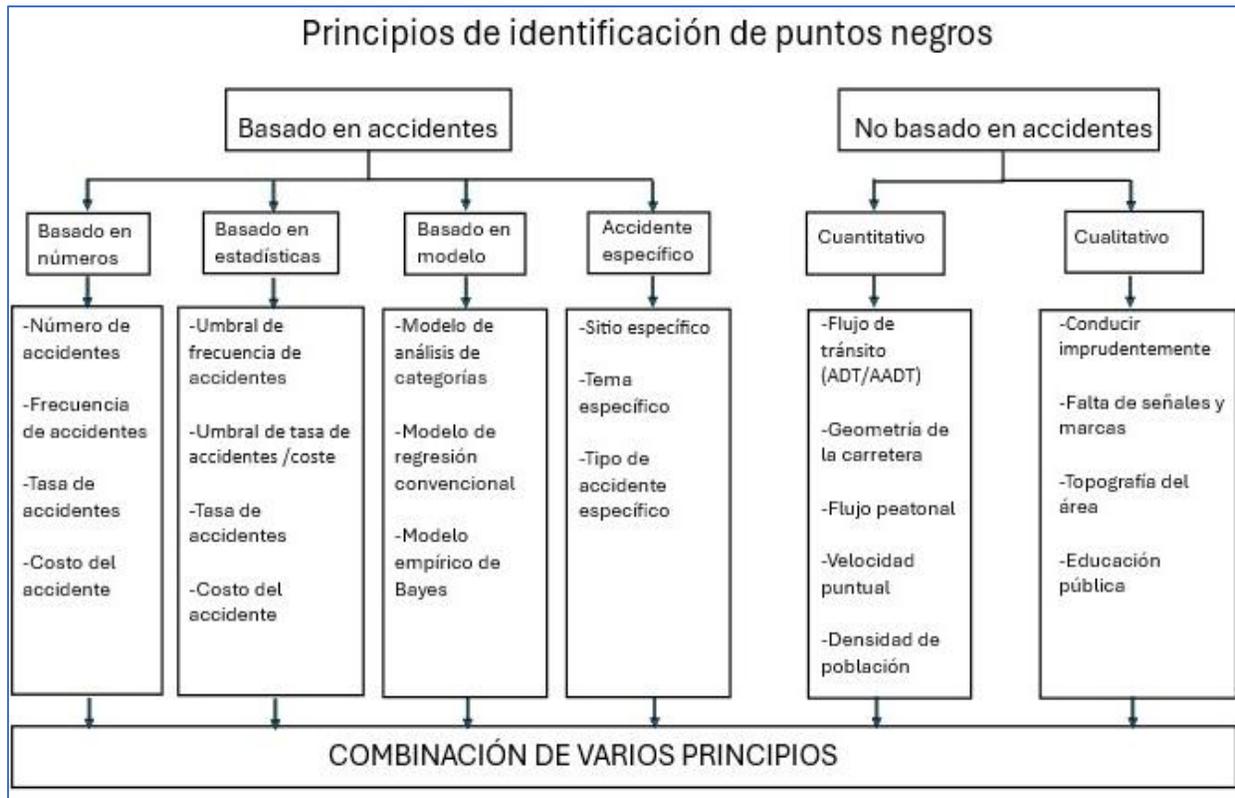
En la identificación de puntos de conflicto o tramo de conflicto es importante tomar en cuenta el número total de siniestros viales y no sólo en los siniestros graves; ya que, un proceso de identificación basado en siniestros graves presentaría resultados dudosos porque el número de usuarios heridos puede ser el resultado de aspectos que no estén relacionados con los factores de riesgo asociados a las deficiencias o fallos en el diseño de la carretera y en su entorno (PIARC, 2019a).

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, por lo que resulta de gran importancia la revisión y análisis de los resultados para seleccionar la metodología pertinente para la detección de puntos negros.

Los agentes de la [Policía Federal] PF se ven rebasados cuando atienden un siniestro, ya que deben desempeñar varias actividades en un periodo corto de tiempo y, evidentemente, dan prioridad a la preservación de la vida y evitar más colisiones, de tal forma que su labor de registro queda en segundo término. En relación con el seguimiento al lesionado han manifestado que algunas instituciones hospitalarias niegan el acceso a la información y al parecer no tienen los instrumentos jurídicos para exigirla (Mayoral et al., 2019).

Como se puede observar en la figura 8, 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 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.

Figura 8. Principios de identificación de puntos de conflicto.



Nota. Traducido de “A Meta-analysis of the methodologies practiced worldwide for the identification of Road Accident Black Spots” (p. 791) por Aziz y Ram, 2022, *Transportatio Research Procedia*, 62.

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. En la tabla 9 se analizan los principios de identificación de puntos de conflicto considerando los factores a favor y las desventajas de la aplicación de cada uno de ellos.

Tabla 9. Ventajas y desventajas de los principios de identificación de puntos de conflicto.

Principio	Ventajas	Desventajas
Principios basados en números y estadísticas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil de interpretar y aplicar en todos los lugares. 2. El análisis es posible sin datos detallados de carreteras y tránsito, por lo que la metodología analítica no es exigente. 3. La atención se centra en los lugares peligrosos con mayor número de accidentes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los resultados se sesgan hacia carreteras con alto flujo de tránsito. 2. No son tomados en cuenta el diseño de la carretera ni las características del tránsito. 3. No se presta atención a las fluctuaciones aleatorias y sistemáticas de los datos de accidentes. 4. Depende de datos imprecisos sobre accidentes de fuentes secundarias. 5. Los métodos no son proactivos, es decir, el enfoque es reactivo y retrospectivo.
Principios basados en modelos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se tienen en cuenta el diseño de la carretera y el volumen del tránsito. 2. El enfoque es proactivo y prospectivo. 3. Se tiene en cuenta las variaciones sistemáticas de los datos de accidentes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se necesitan datos detallados sobre accidentes, atributos de la geometría de la carretera y datos de tránsito. 2. El mejor método desde el punto de vista teórico, su implementación en el terreno es difícil. 3. No se presta atención a las fluctuaciones aleatorias de los datos.
Principio específico del accidente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Especial atención en sitios de accidentes/ subconjunto o tipo de accidente/ tema del accidente. 2. Son considerados los factores de riesgo locales. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No siempre se dispone datos detallados para su análisis. 2. El enfoque es reactivo y retrospectivo. 3. Es necesario adoptar un nuevo método de identificación en cada lugar debido a los diferentes factores de riesgo locales.
Principio no basado en accidentes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enfoque proactivo y método de carácter prospectivo. 2. El método es independiente de los datos detallados sobre accidentes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe un riesgo de identificación sesgada debido al uso de indicadores indirectos. 2. Es necesaria una recopilación detallada de datos secundarios para complementar la metodología de identificación.

Nota. Traducido de “A Meta-analysis of the methodologies practiced worldwide for the identification of Road Accident Black Spots” (p. 791) por Aziz y Ram, 2022, *Transportation Research Procedia*, 62.

Capítulo 2. Aplicación metodológica

El trabajo se enfoca en realizar un acercamiento a la siniestralidad de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, ya que es una autopista de gran importancia en el estado, ya que conecta a las regiones socioeconómicas I y V, las cuales tienen una gran interacción social, cultural y económica entre sí, además de una intensa movilización de personas y de mercancías por carretera.

2.1 Zona de estudio

En México, dada la distribución político-administrativa, la jurisdicción de la red carretera del país es variable: Red Federal (libre o de cuota) o Red Estatal (libre o de cuota). En la Figura 9 se muestra la ubicación de la red carretera del estado de Chiapas, en la que se indica la jurisdicción de cada tramo carretero.

La autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, es una vialidad de gran importancia para el estado, su trascendencia y área de influencia traspasa lo regional, por su ubicación geográfica se puede indicar que conecta a las regiones socioeconómicas I y V, pero, no solo se utiliza para conectar a ambas zonas, ya que además de la interacción local y regional, moviliza personas y mercancías que se dirigen hacia otros estados.

La región I Metropolitana, se integra por “cuatro municipios: Berriozábal, Chiapa de Corzo, Suchiapa y Tuxtla Gutiérrez” (SHGCh, s/f-a, p.4) en el caso de la región V Altos Tsotsil-Tseltal, “está conformado por 17 municipios: Aldama, Amatenango del Valle, Chalchihuitán, Chamula, Chanal, Chenalhó, Huixtán, Larráinzar, Mitontic, Oxchuc, Pantelhó, San Cristóbal de las Casas, San Juan Cancuc, Santiago El Pinar, Tenejapa, Teopisca y Zinacantán” (SHGCh, s/f-b, p.4).

Figura 9. Clasificación por jurisdicción de las carreteras existentes en Chiapas.



Nota. De “Estadística de accidentes de tránsito, año 2021” (p. 350), por (Cuevas Colunga et al., 2022).

Tabla 10. Carreteras y tramos de jurisdicción federal ubicados en Chiapas

Carretera y tramo
1 Arriaga - Ocozocoautla (Cuota)
2 Benemérito de Las Américas - Lagunas de Montebello
3 Catazajá - T.C. (Tuxtla Gtz. - Cd. Cuauhtémoc)
4 El Suspiro - Tenosique T.C.(Villahermosa-Escárcega)-Lím. Edos. Chis. /Tab
5 Ent. Jaritas - Ciudad Hidalgo
6 Huixtla - El Jocote
7 La Trinitaria - Lagunas de Montebello
8 Las Choapas - Ocozocoautla (Cuota) Lím. Edos. Tab. /Chis. - T. C. (Tapanatepec - T. Gtz.)

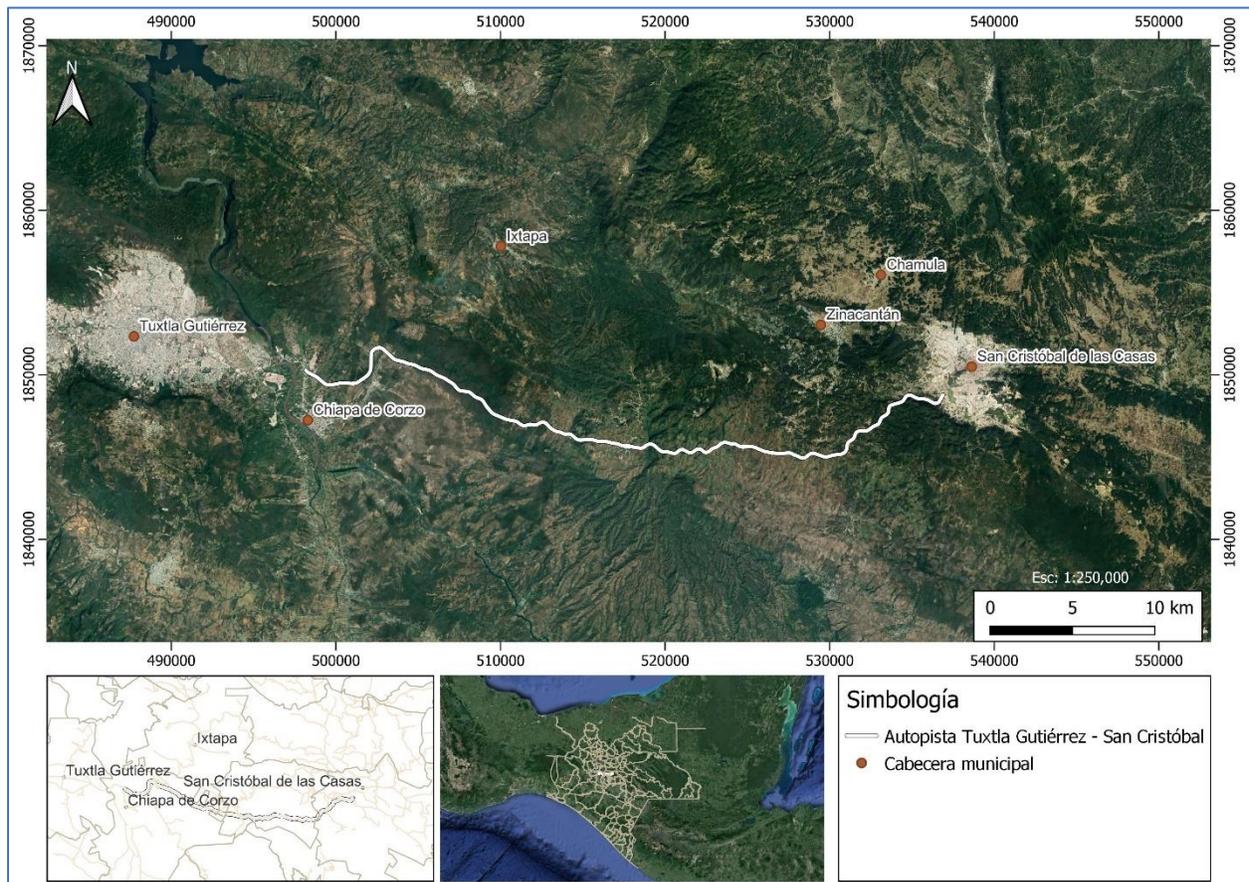
Tabla 10. Continuación. Carreteras y tramos de jurisdicción federal ubicados en Chiapas

Carretera y tramo	
9	Las Cruces - Arriaga
10	Libramiento de Arriaga
11	Libramiento de Ocozocoautla
12	Malpaso - El Bellote Presa Malpaso - Lím. Edos. Chis. /Tab.
13	Ocozocoautla - Ent. El Sabino
14	Palenque - Benemérito de Las Américas
15	Ramal a Aeropuerto de Tapachula
16	Ramal a Aeropuerto de Tuxtla Gutiérrez
17	Ramal a Base Naval
18	Ramal a Cañón del Sumidero
19	Ramal a Cascadas de Agua Azul
20	Ramal a Cascadas de Misol-Há
21	Ramal a Cd. Hidalgo
22	Ramal a Escolleras de Puerto Madero
23	Ramal a Paredón
24	Ramal a Puerto Arista
25	Ramal a Tres Picos T.C. (Tapanatepec - Talismán) - Tres Picos
26	Ramal a Unión Juárez
27	Ramal Zona Arqueológica Palenque
28	Tapachula - Puerto Madero
29	Tapanatepec – Talismán Lím. Edos. Oax. /Chis. - Talismán
30	Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez Lím. Edos. Oax./Chis. - T.C. (Lib. Nte. Tuxtla Gtz.)
31	Terán - Chicoasén
32	Tuxtla Gutiérrez - Angostura Tuxtla Gtz. - T.C. (Ramal Apto. Ángel A. Corzo)
33	Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc
34	Tuxtla Gutiérrez - San Cristóbal de Las Casas (Cuota)
35	Villahermosa - Escopetazo Lím. Edos. Tab. /Chis. - Escopetazo
36	Villahermosa - Francisco Escárcega Lím. Edos. Tab. /Chis - Lím. Edos. Chis. /Tab.

2.1.1 Localización geográfica

La autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas tiene una longitud de 46.075 km, con coordenadas de inicio 16.737842° de la latitud y -93.018731° de longitud, mientras que las coordenadas del final de la autopista es 16.721886° de latitud y -92.651677° de longitud, ver figura 10. En lo referente a las elevaciones, se tiene que en el km 0+000 tiene una altura de 415.43 m.s.n.m. y en el km 46+152 tienen una altura de 2077.07 m.s.n.m.

Figura 10. Ubicación carretera Tuxtla Gutiérrez - San Cristóbal de las Casas.



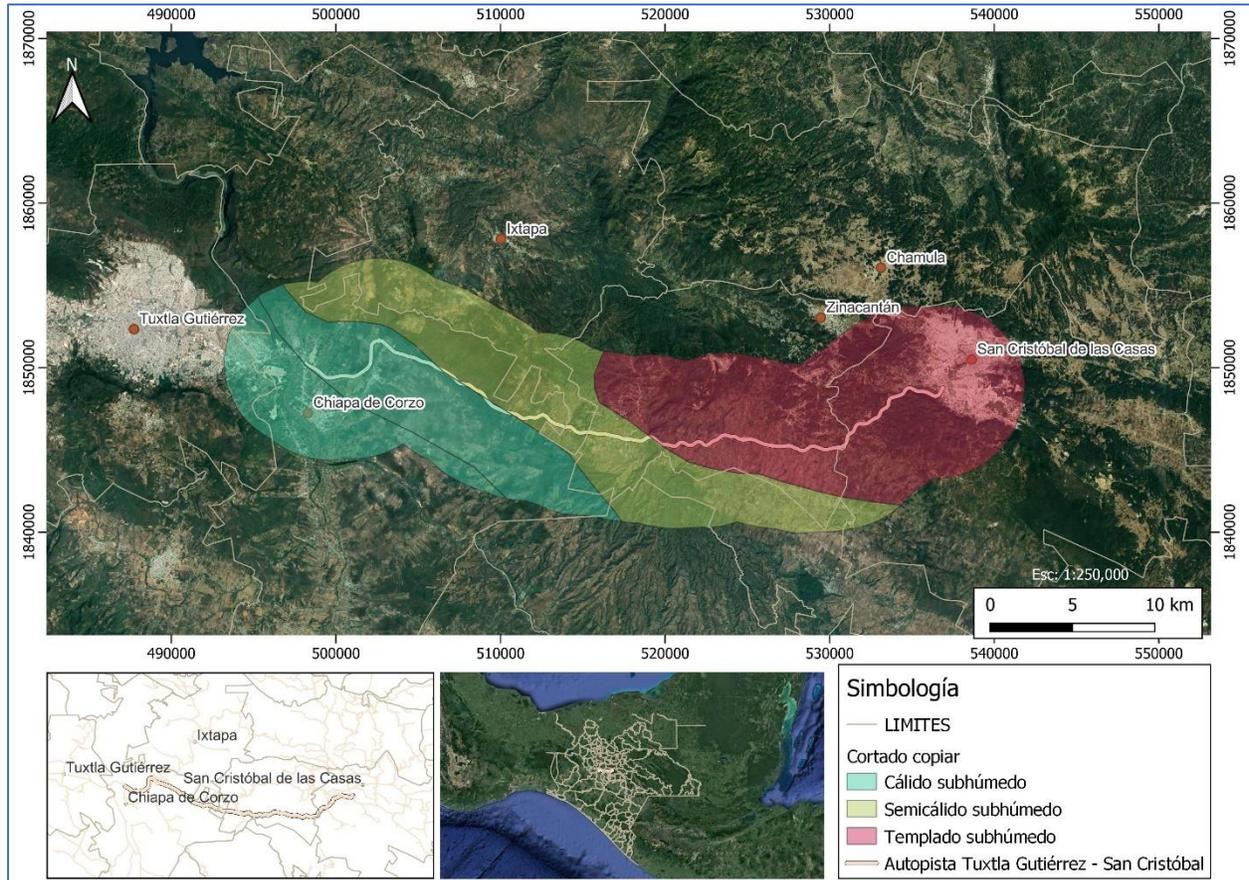
Nota. Elaboración propia a partir de información obtenida del Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica (CEIEG, s/f).

2.1.2 Clima

En las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez- San Cristóbal de las Casas se tienen identificados tres tipos de clima el cálido subhúmedo, el semicálido subhúmedo y el templado subhúmedo (figura 11), en los tres casos con lluvias en verano. Como es de esperarse en la zona en la que se tiene el clima templado húmedo, existe posibilidad de presencia de

neblina. La precipitación pluvial entre mayo y octubre oscila entre 900 y 1400 mm. Con respecto a la temperatura máxima de mayo a octubre se tienen variaciones que van a partir de los 18°C hasta los 34.5 °C

Figura 11. Condiciones del clima en las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.

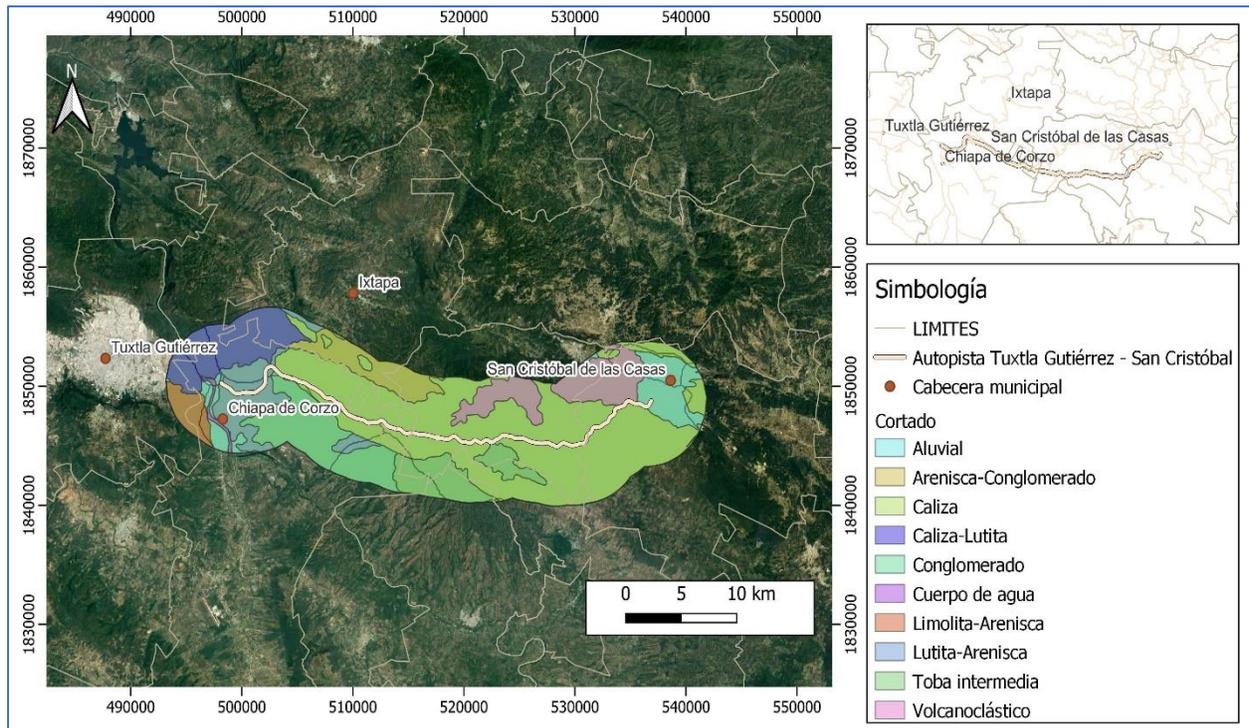


Nota. Elaboración propia a partir de información obtenida de CEIEG (s/f).

2.1.3 Geología

Como se puede observar en la figura 12, la roca caliza es la de mayor presencia en las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez- San Cristóbal de las Casas. Adicional a la roca caliza, se tiene presencia de los siguientes ocho tipos de roca: aluvial, arenisca-conglomerado, caliza-lutita, conglomerado, limolita-arenisca, lutita-arenisca, toba intermedia y volcanoclástico.

Figura 12. Tipos de rocas en las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.

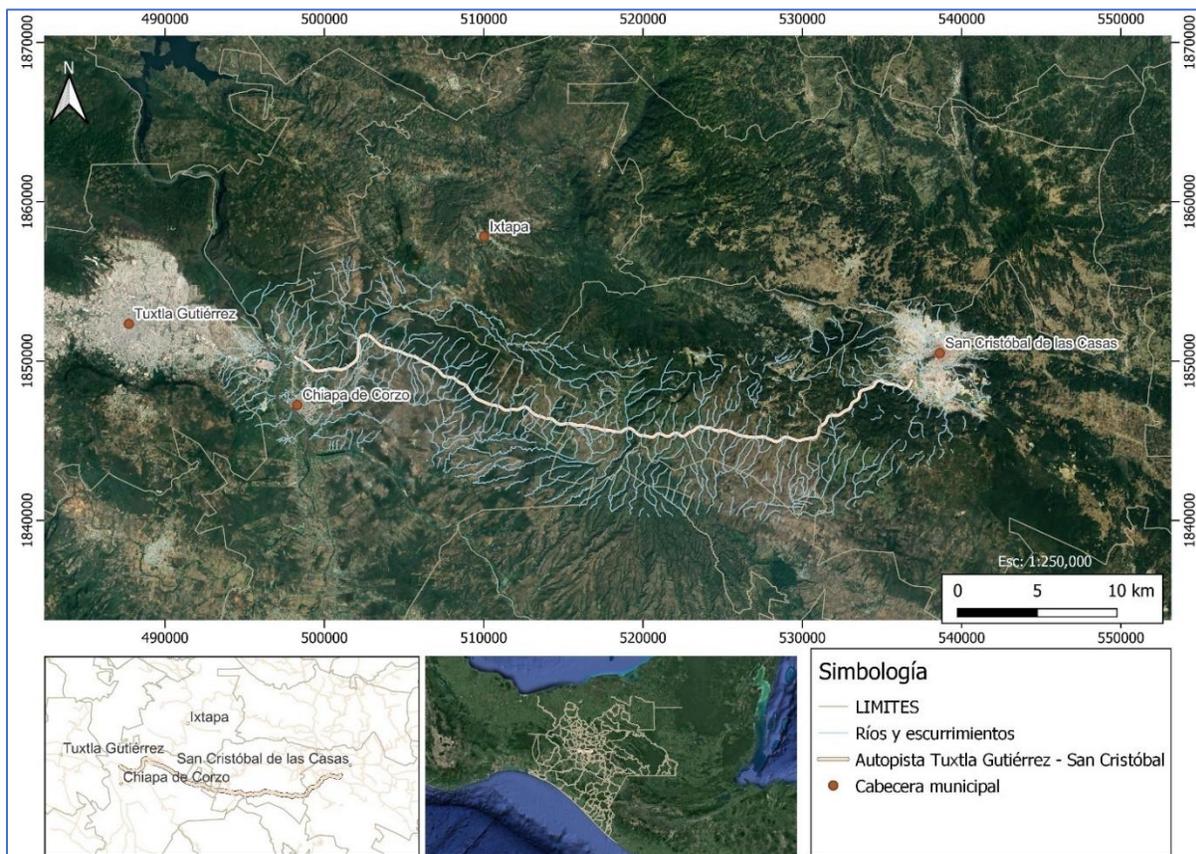


Nota. Elaboración propia a partir de información obtenida de CEIEG (s/f).

2.1.4 Hidrografía

Con respecto al coeficiente de escurrimiento, se tienen valores del 5 al 10 % la mayor parte de la zona aledaña a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas. La zona mencionada pertenece a la cuenca hidrográfica Río Grijalva–Tuxtla Gutiérrez, y abarca a las subcuencas Chicoasen, Soyalo, Huistan, Chamula, La Chacona y La Angostura. Con respecto a las microcuencas en las proximidades a la autopista en estudio, se tiene a: Gabriel Esquinca, Ixtapa, Yaltem, Chamula, Tuxtla Gutiérrez, Aztlan (Rancho Nuevo), Zinacantan, Playa Vista, San Cristóbal de las Casas, Juan del Grijalva, Navenchauc, Paste, San Lucas, Chiquinivalvo, Chiapa de Corzo, Lázaro Cardenas y Acala (figura 13).

Figura 13. Ríos y escurrimientos de las zonas aledañas a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Nota. Elaboración propia a partir de información obtenida de CEIEG (s/f).

2.1.5 Descripción de la población

En la tabla 11, se observa en los datos censales de 1980 a la fecha, que el porcentaje que representa la población de Chiapas con respecto a la de México tiene una tendencia de crecimiento, ya que en 1980 era el 3.1%, mientras que para el 2020 y representa 4.4%.

Tabla 11. Datos de población total de México y Chiapas.

AÑO	NACIONAL	CHIAPAS	Porcentaje con respecto a la población Nacional
1980	66,846,833	2,084,717	3.1%
1990	81,249,645	3,210,496	4.0%
2000	97,483,412	3,920,892	4.0%
2010	112,336,538	4,796,580	4.3%
2020	126,014,024	5,543,828	4.4%

2.1.5.1 Población de las regiones I y V del 2000 al 2020

Considerando la población de ambas regiones socioeconómicas, se tiene que en el año 2000 correspondía al 25.45% de la población estatal, en 2010 se trataba del 27.23% y ya para el año de 2020 representaba el 28.18%, lo que se puede visualizar con un indicativo de la importancia que tienen ambas regiones socioeconómicas en el estado y que aparentemente conforme pasa el tiempo aumenta dicho porcentaje. En la tabla 12, se puede observar los porcentajes de las regiones I y V con respecto a la población estatal.

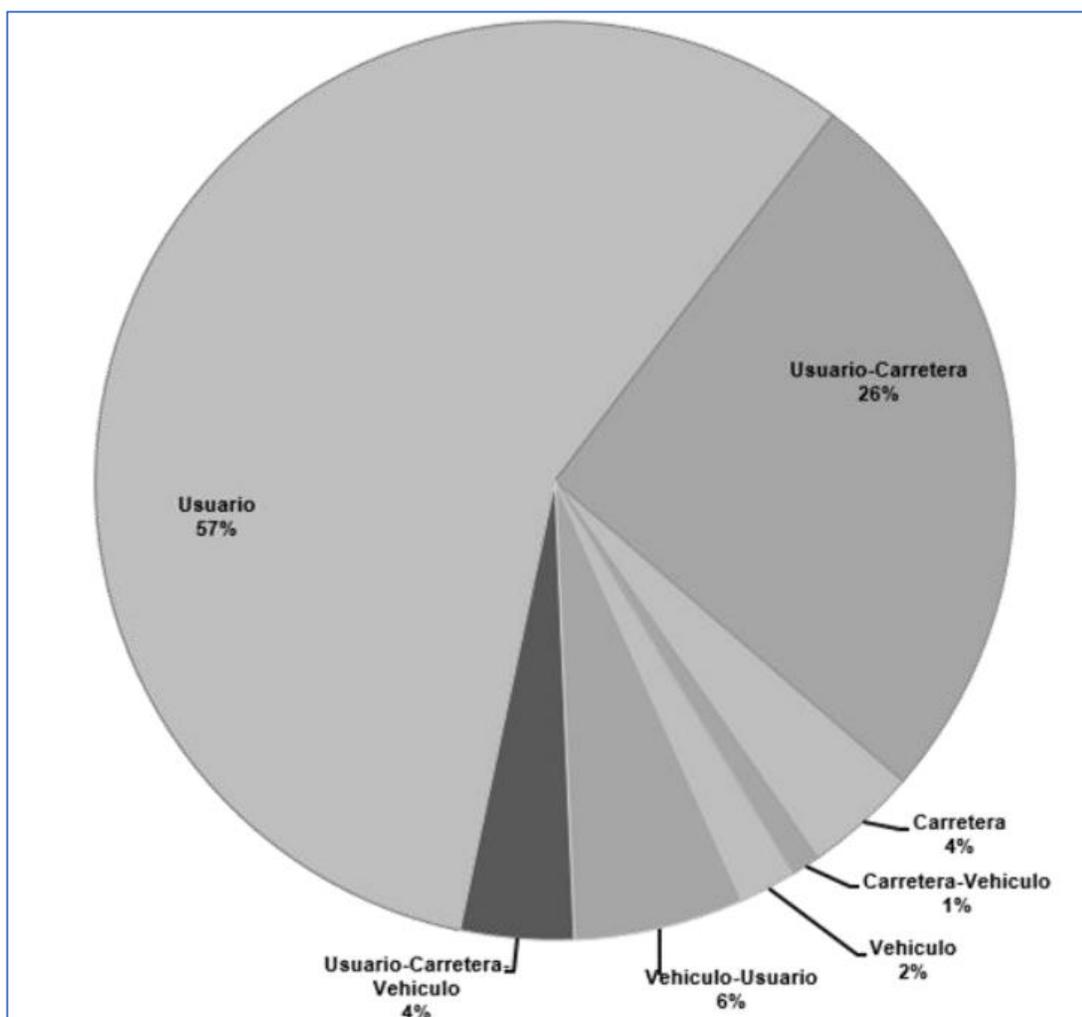
Tabla 12. Datos de población de la Región I Metropolitana y la Región V Altos Tsotsil Tseltal de Chiapas.

AÑO	Región I, Metropolitana	Porcentaje con respecto a la población estatal	Región V, Altos Tsotsil Tseltal	Porcentaje con respecto a la población estatal
2000	539,372	13.76%	458,467	11.69%
2010	705,201	14.70%	601,190	12.53%
2020	806,481	14.55%	755,821	13.63%

2.1.6 Datos de siniestros viales

En la figura 14, se presenta una estimación de la incidencia en la ocurrencia de siniestros viales realizada por la PIARC en el 2003, con la aclaración de que fue hecho para el contexto internacional. Se puede identificar que en la mayor parte de los casos se consideró que eran causados por los usuarios (con el 57% de los casos) y aunque en una primera instancia se podría pensar que el porcentaje de incidencia de la carretera es bajo (representa el 4%), el porcentaje obtenido a partir de la combinación de la carretera con los otros factores alcanza el 35%, con lo que se puede observar la gran relevancia que tiene el diseño geométrico de las carreteras.

Figura 14. Incidencia en ocurrencia de siniestros viales.

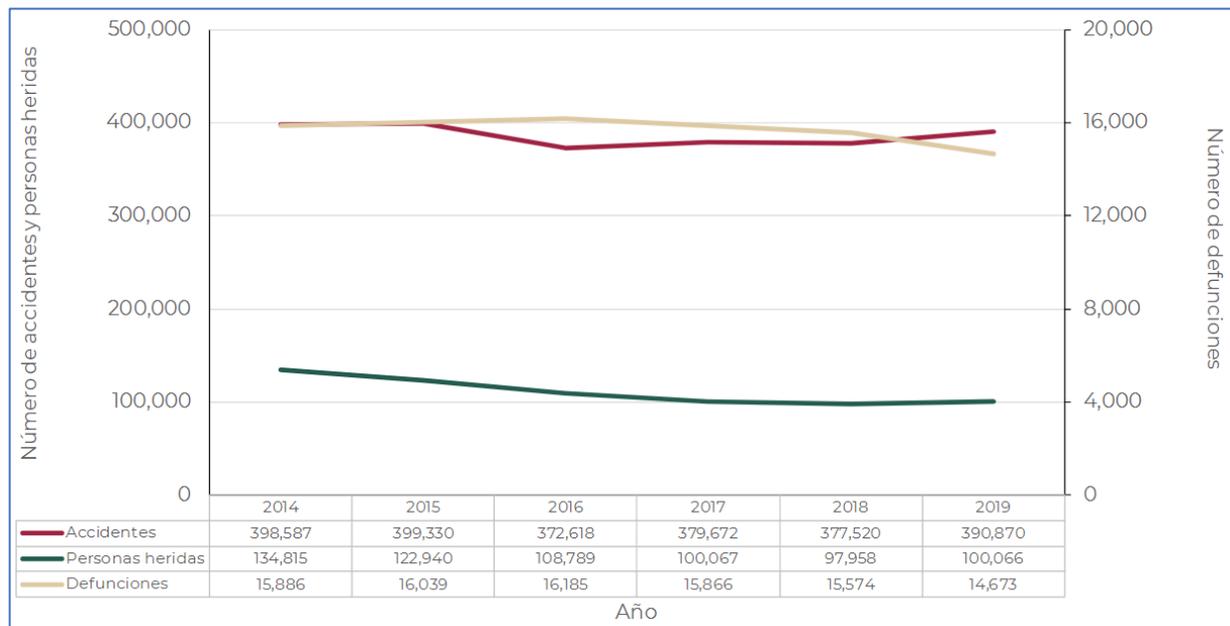


Nota. De "Manual de proyecto geométrico carretera 2018" (p. 84), por DGST, 2018d.

En la figura 15, se puede observar los datos totales en cuanto a número de siniestros viales, personas heridas y defunciones en México, presentando los datos anuales correspondientes al periodo del 2014 al 2019.

En cuanto al número de personas heridas se puede observar un decremento notorio entre el año 2014 y 2016, sin embargo, del 2017 al 2019 las cifras han sido similares. 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.

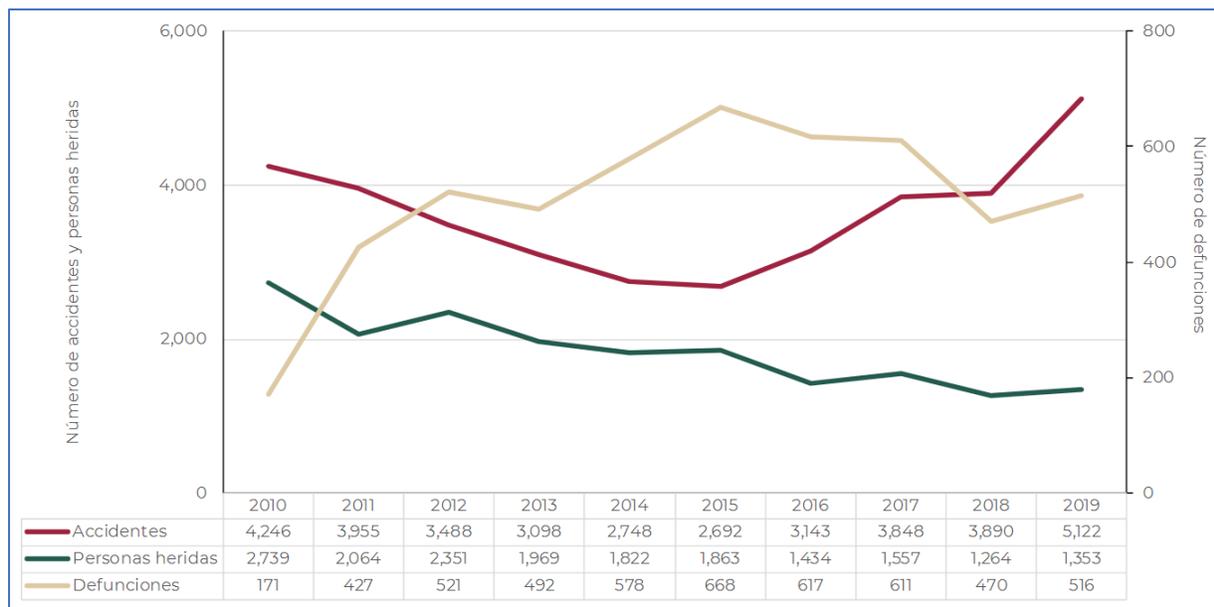
Figura 15. Número de accidentes, personas heridas y defunciones en México, 2014 a 2019.



Fuente: Con datos de Secretaría de Salud y Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes SS y STCONAPRA (2022)

En la figura 16, se presentan los números de siniestros viales, personas heridas y defunciones en Chiapas, presentando los datos anuales correspondientes al periodo del 2010 al 2019. En el caso del número de heridos se tiene una cierta tendencia a la baja, aunque no se tiene un comportamiento totalmente lineal, pero si se percibe la tendencia. En lo referente al número de siniestros viales y al de defunciones no se percibe tendencias claras, puesto que con respecto al tiempo se tiene amplia variabilidad, es decir, existen incrementos y decrementos sin observarse claramente una tendencia.

Figura 16. Número de accidentes, personas heridas y defunciones en Chiapas, 2010 a 2019.



Fuente: Con datos de SS y STCONAPRA (2022).

En la tabla 13, se presenta el resumen de los datos de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas y reportados por la SICT. Se puede visualizar que se tenía una cierta tendencia a la baja en el número de heridos, de siniestros viales y de defunciones, pero, 2020 al 2021 se ve un repunte en los números.

Tabla 13. Resumen de siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de Chiapas.

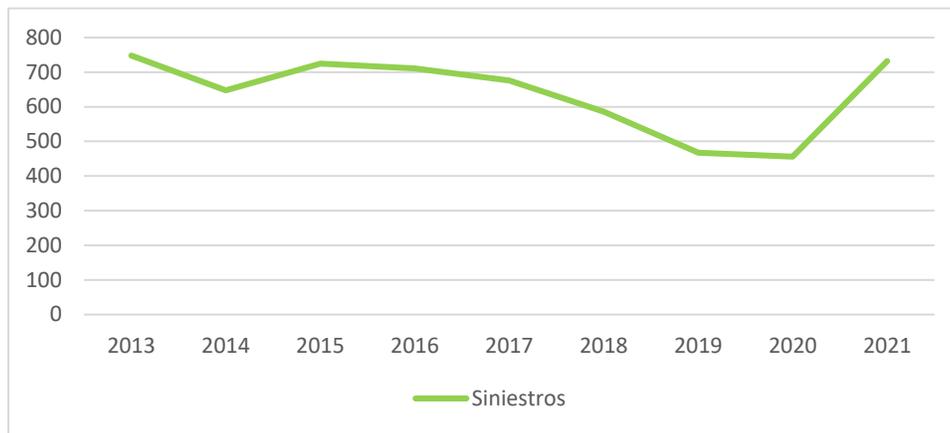
	AÑO									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Accidentes	784	748	647	725	711	676	586	467	456	732
Heridos	939	780	644	670	456	421	282	233	200	266
Muertos	168	117	101	139	100	116	100	101	81	134
Daños materiales (en millones)	40.6635	50.8943	54.0152	47.6086	40.6742	48.8681	42.3679	37	48.265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

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2013, 2014b, 2015, 2016, 2017, 2018b)

En la figura 17 se observa una tendencia a la baja del número de siniestros viales, sobre todo contemplando el periodo de 2014 al 2020. Sin embargo, de manera gráfica se hace muy notorio el incremento de siniestros viales de 2020 a 2021, esto puede deberse a que en 2020 la

movilidad en general se redujo en gran medida como consecuencia a la contingencia sanitaria provocada por Covid 19.

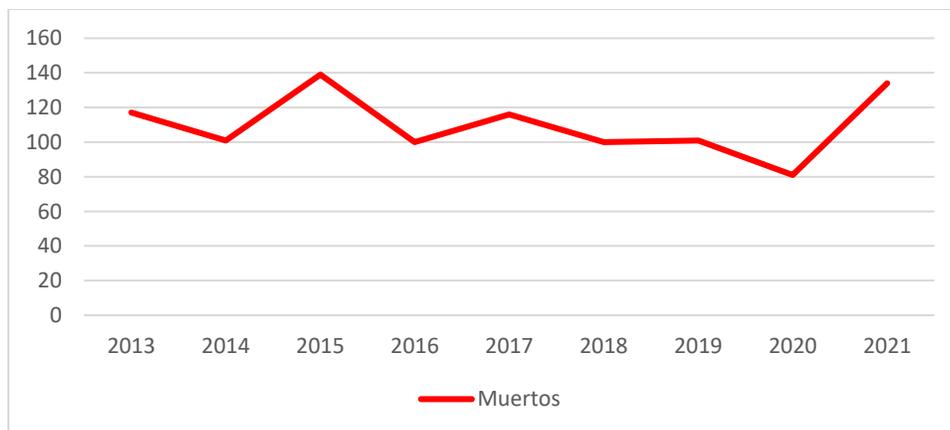
Figura 17. Número de siniestros viales en las carreteras federales de Chiapas (2012-2017).



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos DGST (2014b, 2015, 2016, 2017, 2018b) y de Cuevas Colunga et al. (2020, 2021a, 2021b, 2022).

En la figura 18 se observa una tendencia a la baja en el número de defunciones, sobre todo del periodo de 2015 al 2020, sin embargo, la tendencia no se mantiene, ya que hay un incremento muy marcado en la cifra de decesos, ya que paso de 81 en 2020 a 134 personas fallecidas en 2021.

Figura 18. Número de defunciones (2012-2017).



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos DGST (2014b, 2015, 2016, 2017, 2018b) y de Cuevas Colunga et al. (2020, 2021a, 2021b, 2022).

Para ambos casos, se requiere tener los datos de lo ocurrido en 2022, 2023 y lo que está ocurriendo en 2024, para verificar si existe o no una tendencia a la baja. Si ese fuera el caso,

podría darse el caso que en el 2021 solo se presentó un incremento atípico de los datos o que efectivamente no se ha logrado tener una reducción sostenida de los números de siniestros, heridos y muertos.

2.2 Metodología

En la estrategia metodológica se emplearon esquemas con la intención de simplificar la metodología empleada e indicar las partes constitutivas de la misma (figura 19). Se determinó que se contemplarían los siniestros viales ocurridos de 2013 a 2021 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. Para la aplicación de la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto, se analizaron los hechos de tránsito ocurridos en dos años consecutivos, ya que esta metodología establece esta limitante para el respectivo análisis.

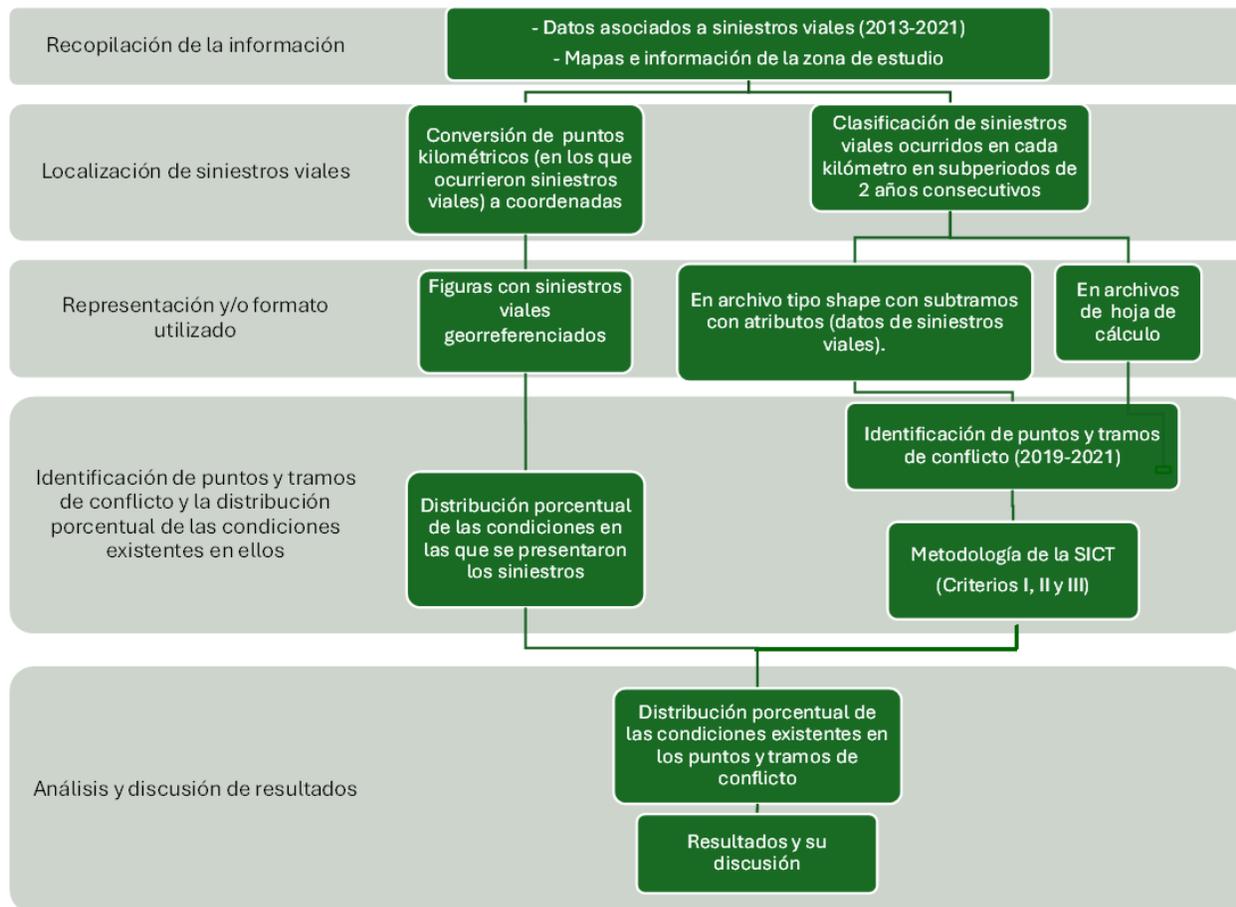
La carretera estudiada, se eligió a través de un proceso de delimitación progresivo, debido a que el primer aspecto a considerar es que la carretera en estudio debería ser de la red federal de carreteras, dado a que se tiene mayor disponibilidad de la información que la red de carreteras de jurisdicción estatal, esto debido a que los procesos de recopilación y el tratamiento de la información de los siniestros viales se encuentran más sistematizados.

Con la primera consideración, las opciones se redujeron a 36 tramos carreteros (Cuevas Colunga et al., 2022). La segunda, fue seleccionar una carretera de cuota, ya que son vialidades de altas especificaciones técnicas, con lo que se redujo a 3 opciones, finalmente se optó por trabajar con la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas, ya que conecta a dos regiones socioeconómicas (la I y la V) de una gran interacción social, cultural y económica, además de una intensa movilidad de personas y de mercancías por carretera.

2.2.1 Estrategia metodológica

La estrategia metodológica, se plasma mediante el esquema de la figura 19, en la que se clarifica el proceso realizado para evaluar la vulnerabilidad ante siniestralidad vial de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas en el periodo 2013 – 2021.

Figura 19. Esquema de la aplicación metodológica



Fuente. Elaboración propia

Al evaluar la siniestralidad de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, con base a la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto, se detectan las zonas y tramos con mayor siniestralidad, a partir de lo cual se focaliza el análisis desde la perspectiva del enfoque de visión cero, a partir de la distribución porcentual de las condiciones existentes al momento de presentarse los siniestros viales.

2.3 Georreferenciación de los siniestros viales

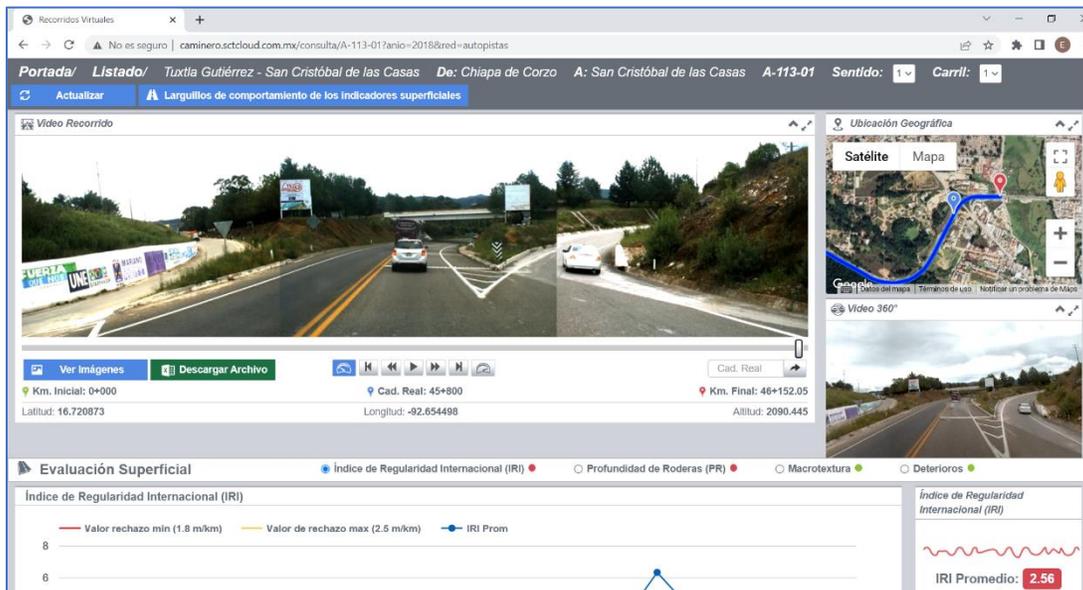
El registro y difusión de los datos asociados a los siniestros viales ocurridos en las carreteras federales de México está a cargo de la SICT, con la particularidad de que dichos siniestros se ubican mediante los kilometrajes asociados a cada carretera, ya que, en el ámbito

de las vías terrestres, se tiene el hábito de referenciar mediante kilometrajes oficiales lo que ocurre en los tramos carreteros.

Para poder georreferenciar los siniestros viales, se tiene que asignar las coordenadas correspondientes a los kilometrajes registrados, lo cual se puede obtener de la plataforma “SCTclouds” (SICT, s/f) en su sección denominada recorridos virtuales, en el cual se tienen tomas a cada 20 m, en las que se muestran las coordenadas asociadas al cadenamamiento (kilometraje) oficial (figura 20).

Sin embargo, como se puede advertir, no se cuenta con la totalidad de las coordenadas de los puntos de las carreteras, por lo que para obtener las faltantes se realizaron las mediciones necesarias en Google earth y las conversiones en el conversor de coordenadas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Figura 20. Interfaz gráfica de la plataforma SCTclouds.



Nota. De la plataforma SCTclouds de SCT (2018)

Al contar con las coordenadas de los sitios en los que se presentaron siniestros viales, se visualizaron en la aplicación *Google earth* y se guardó el registro en archivos kml (*Keyhole Markup Language*), ya que a este tipo de archivos se le permite representar datos geográficos en un navegador terrestre o en un SIG.

Para la realización del análisis sirven de base los siniestros georreferenciados ocurridos en los años que abarcan este estudio, pero, resulta necesario añadirles sus atributos, es decir, información asociada a dichos siniestros, tales como número de heridos, número de muertos, etc. Para tal efecto, se utilizó el software libre Qgis, ya que su interfaz gráfica y la manera en que está programado permite incorporar atributos fácilmente.

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. (Hernández Vázquez, 2024, p. 48).

Es importante señalar que la SICT, hace una consideración para la ponderación del impacto de los siniestros viales que se presenten, ya que las consecuencias, no son solo de tipo económico, ya que existe la posibilidad de que se presenten casos con defunciones y/o personas con 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 “número de siniestros equivalentes”. Para el cálculo del número de siniestros equivalentes, se toman en cuenta los datos de referencia de la tabla 14, lo cual se puede escribir mediante la expresión:

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

Ecuación (1)

Tabla 14. 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)

Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

2.4 Detección de puntos de conflicto con la metodología de la SICT

En el Manual de Procedimientos para el Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto, de la DGST de la SICT se establecen las definiciones de los “puntos de conflicto” y los

“tramos de conflicto” aplicables (DGST, 2018a). En la tabla 15, se presentan dichas definiciones y la Metodología de la SICT condensada por Hernández Vázquez (2024).

Tabla 15. Metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto.

Metodología de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes					
	Longitud por considerar	Años consecutivos analizados	Criterio I	Criterio II	Criterio III
Punto de conflicto	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.
Tramo de conflicto	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.

Nota. De “Análisis comparativo entre la Metodología de la SICT y la Estadística Espacial en la identificación de puntos de conflicto. Caso: Carretera Arriaga – Ocozocoautla” (p. 65) por Hernández Vázquez, 2024, quien elaboró la tabla a partir de lo establecido en (DGST, 2018a).

Conforme a lo establecido en la tabla 15, se realizó el análisis 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, fueron: 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021. A partir de los datos de las tablas 16 y 17 se aplicó el criterio I de la metodología de la SICT, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 18 y la figura 94.

Tabla 16. Número de siniestros ocurridos del km 0+000 al 25+999 de 2013 a 2021

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

Fuente. Elaboración propia con datos reportados por la SICT y el IMT en (Cuevas Colunga et al., 2020, 2021a, 2021b, 2022; DGST, 2018c).

Tabla 17. Número de siniestros ocurridos del km 26+000 al 46+200 de 2017 a 2021

Subtramo	Número de siniestros por cada año del periodo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
26+000 - 26+999	2	0	0	0	0	1	2	1	2	
27+000 - 27+999	2	0	3	0	0	2	2	6	1	
28+000 - 28+999	1	0	0	1	0	0	2	0	3	
29+000 -29+999	1	2	0	0	3	0	4	2	1	
30+000 -30+999	1	2	0	1	0	0	2	3	0	
31+000 - 31+999	1	0	1	0	0	0	1	0	2	
32+000 - 32+999	0	0	0	0	1	0	1	2	1	
33+000 - 33+999	2	2	0	0	1	2	3	1	1	
34+000 - 34+999	0	0	1	1	2	2	0	2	1	
35+000 - 35+999	2	2	1	0	0	2	0	1	3	
36+000 - 36+999	0	0	0	1	0	3	2	2	2	
37+000 - 37+999	1	0	0	0	0	1	0	1	1	
38+000 - 38+999	0	1	1	0	0	0	0	2	0	
39+000 - 39+999	0	1	0	0	0	0	2	1	0	
40+000 - 40+999	3	1	3	1	2	1	5	4	7	
41+000 - 41+999	0	1	1	0	2	2	0	1	2	
42+000 - 42+999	1	0	0	0	0	1	2	0	2	
43+000 - 43+999	0	0	0	0	1	0	1	1	0	
44+000 - 44+999	0	1	0	0	0	0	0	1	1	
45+000 - 45+999	0	1	3	0	0	0	1	2	2	
46+000 - 46+200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente. Elaboración propia con datos reportados por la SICT y el IMT en Cuevas Colunga et al. (2020, 2021a, 2021b, 2022); DGST (2018c).

Capítulo 3. Resultados

Este capítulo cuenta con subapartados, en el primero, se presentan los siniestros viales ocurridos del 2013 al 2021, en el segundo se plasman los resultados de aplicar la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto. En el tercero, se presentan las condiciones existentes en los puntos de conflicto al momento en el que se presentaron los siniestros. Al final del capítulo se presenta la discusión de resultados.

3.1 Siniestros viales georreferenciados

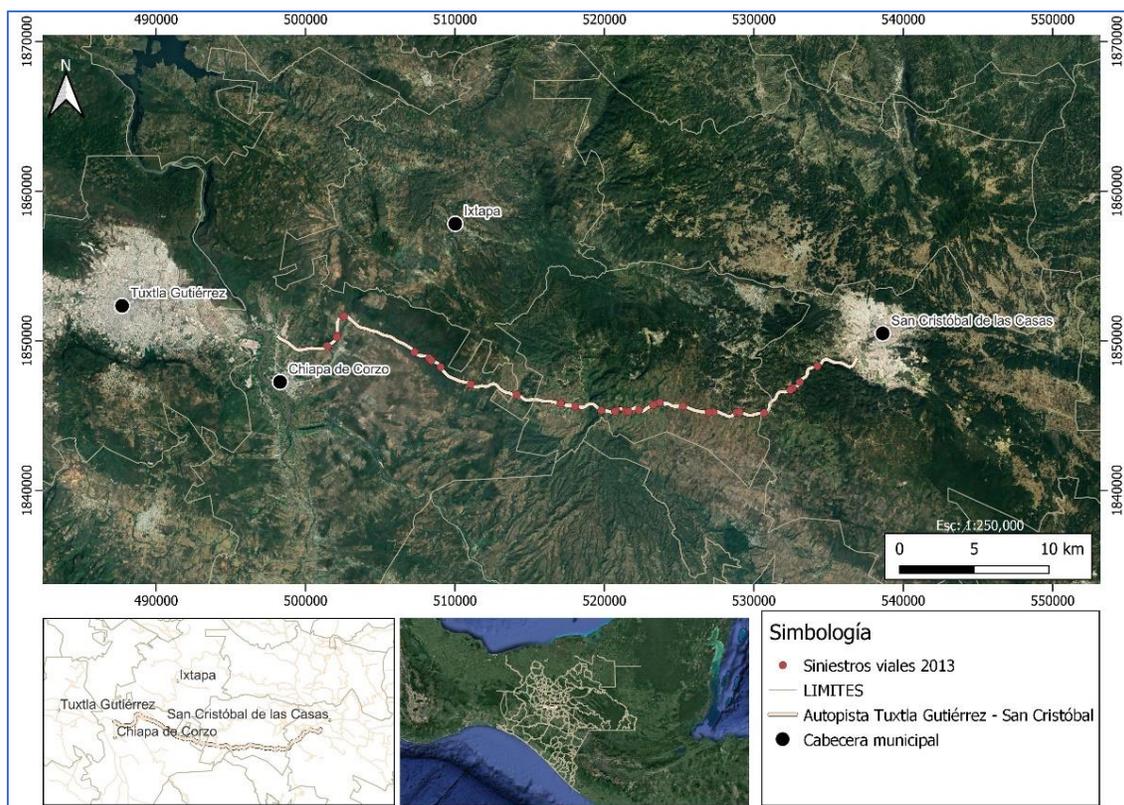
A partir de los datos publicados por la SICT, se georreferenciaron los siniestros viales ocurridos de 2013 a 2021, y se presentan de manera anual en este apartado. Además, se indica las condiciones de luz al momento en que se presentó el siniestro, la distribución de la ocurrencia de los siniestros por días de la semana y por meses del año. De manera similar se presenta la distribución del número de heridos y de defunciones por días de la semana y por mes.

3.1.1 Siniestros viales ocurridos en el 2013

En 2013 se presentaron 34 siniestros viales, provocando la muerte de cinco personas y 30 heridos, de dichos siniestros cinco se presentaron con la superficie de rodamiento mojada, es decir, el 14.71% de siniestros se presentaron sobre pavimento mojado.

De los siniestros ocurridos con superficie de rodamiento mojado, tres se presentaron en un tramo de 1 km y con presencia de precipitación, esto fue entre los km 26+800 y el km 27+800, además de que en el km 26+900 se presentó un siniestro con condiciones climática buenas y pavimento seco. Los otros dos que se presentaron con superficie de rodamiento mojado ocurrieron en kilometrajes distantes y con presencia de niebla o humo.

Figura 21. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2013 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.

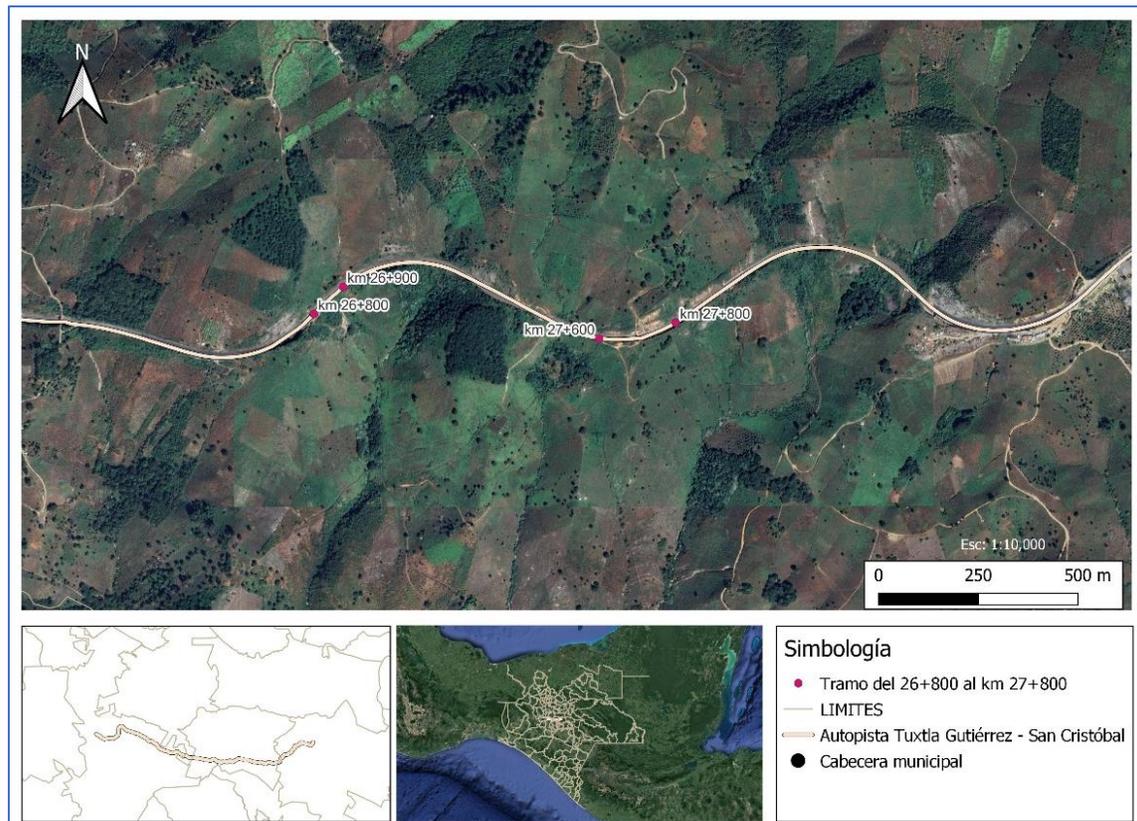


Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

Por lo que en el tramo del km 26+800 al 27+800, durante el 2013, se presentaron cuatro siniestros viales. Los cuales se representan en la figura 22, con cercanía entre ellos y asociados a curvas horizontales.

Al calcular la pendiente del km 26+800 al 27+800 por subtramos de 20 m cada uno (cadenamientos), se obtuvo una pendiente promedio de 5.27%, sin embargo, el 44.23 % de los cadenamientos excedió dicho valor promedio de la pendiente.

Figura 22. Tramo del 26+800 al km 27+800 de la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En la figura 23 y 24 se puede observar mediante el recorrido virtual, que en este tramo el señalamiento horizontal (las marcas sobre el pavimento) indica la prohibición de rebases. Esto se debe a que se tiene una secuencia de curvas en horizontal que, aunada a la pendiente y al terreno natural, no permite que se tenga la distancia adecuada para los rebases.

Figura 23. Fotografía tomada con sentido hacia San Cristóbal de las Casas en el Km 26+800.



Figura 24. Vista en planta del alineamiento horizontal en las inmediaciones del km 26+800.



Cabe recalcar que al momento en que se suscitaron los siniestros viales en el tramo del km 26+800 al 27+800, no se reportó presencia de niebla, contrario a lo que se visualiza en las fotografías de las figuras 23 y 25, en las cuales se puede observar la presencia de niebla.

Figura 25. Fotografía tomada con sentido hacia San Cristóbal de las Casas en el Km 27+800.



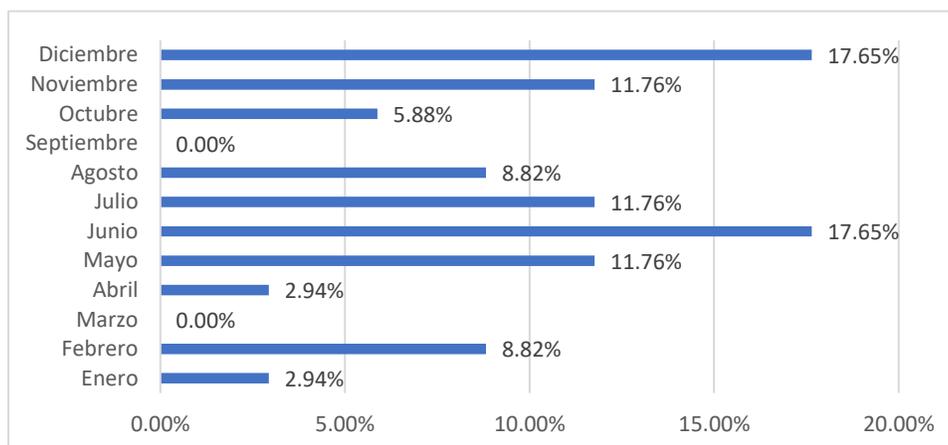
Figura 26. Vista en planta, en el que se aprecia el alineamiento horizontal en las inmediaciones del km 27+800



En el 2013, diciembre y junio fueron los meses en que se presentó el mayor porcentaje de siniestros viales, en contraparte en marzo y septiembre no se presentaron siniestros viales. Esto podría estar asociado a que en diciembre y junio se tienen periodos vacacionales en algunos niveles educativos.

En este año, se observa en las figuras 27, 28 y 29 que la ocurrencia de los siniestros, se presentaron en diferentes niveles de severidad ya que, en los meses de junio y diciembre, ocurrieron el mayor número de hechos de tránsito; en junio se presentaron el mayor número de heridos, mientras que se tienen más defunciones en los meses de junio y agosto (figura 29).

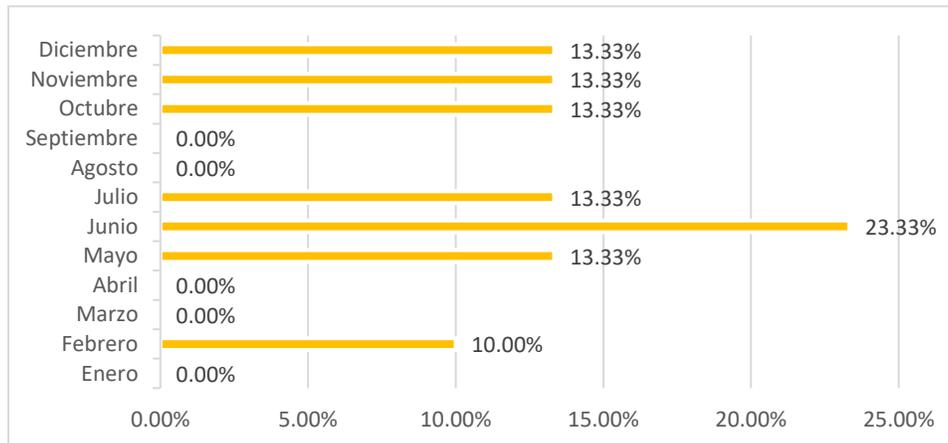
Figura 27. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b).

En junio se presentaron siete heridos por siniestros viales, mientras que en mayo, julio, octubre, noviembre y diciembre se presentaron cuatro en cada uno de estos meses, en febrero se presentaron tres heridos y en el resto de los meses no se registraron heridos por hechos de tránsito, esto es más del 40% (figura 28).

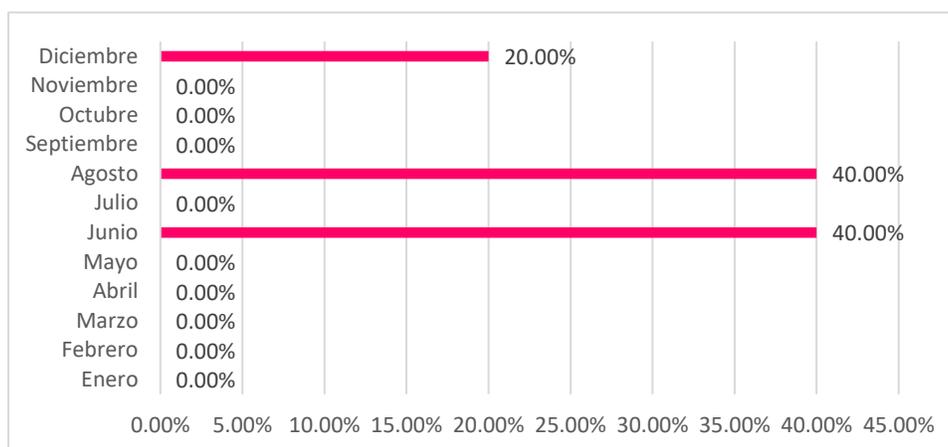
Figura 28. Distribución porcentual de los heridos por siniestros viales en el 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b).

En el 2013, solo en dos meses no se presentaron hechos de tránsito, sin embargo, en siete de los diez meses se tuvieron heridos por siniestros viales y solamente en tres se presentaron defunciones. En junio y agosto se tuvo el mayor número de defunciones con dos en cada uno de estos dos meses y en diciembre se registró una defunción.

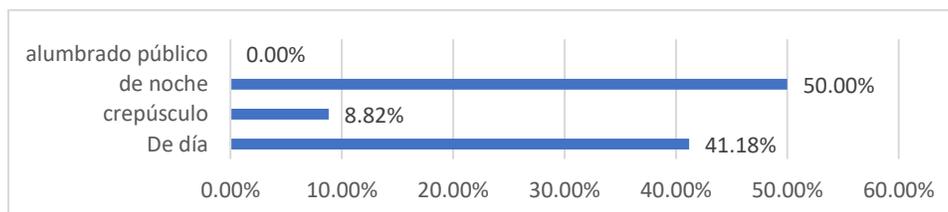
Figura 29. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b)

En cuanto a las condiciones de luz al momento de presentarse un siniestro vial, en el 2013 no se observa una incidencia tan marcada, aunque si se presentaron un poco más por la noche, seguido de los ocurridos en el día, mientras que tres se presentaron durante el crepúsculo.

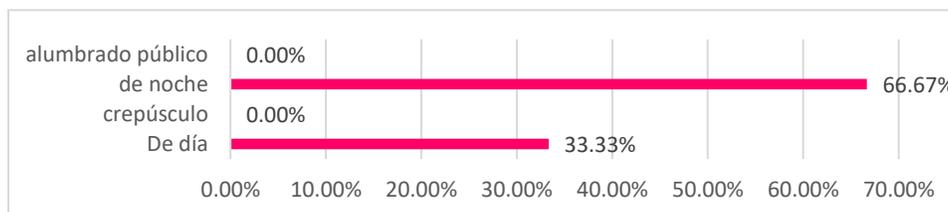
Figura 30. Distribución de los siniestros viales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b).

Aunque se mencionó que no se observa una tendencia muy marcada en cuanto a la relación de las condiciones de luz con la ocurrencia de siniestros, en la figura 31, se observa cierta incidencia en cuanto a la severidad, ya que en la noche se presentaron dos siniestros (con reporte de personas fallecidas) y uno durante el día. Mientras que durante el crepúsculo y en la noche con alumbrado público no se presentaron defunciones.

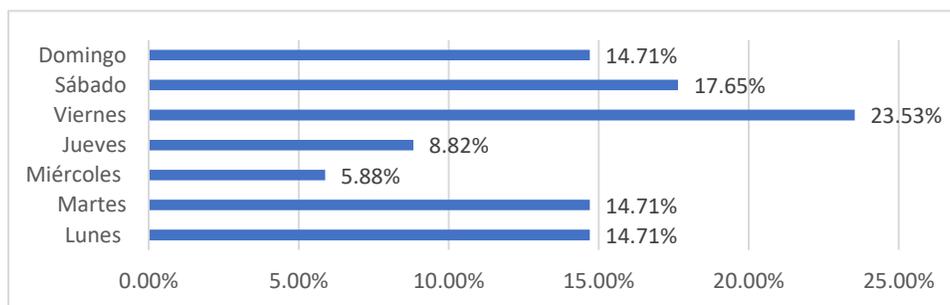
Figura 31. Distribución de los siniestros mortales ante diferentes condiciones de luz, 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b).

Los viernes del 2013, fueron los días en que se presentaron un mayor número de siniestros, seguidos por los sábados, mientras que los miércoles fueron los días de la semana con un menor registro de estos. Mientras que los lunes, martes y domingo coincidieron con cinco (Figura 32).

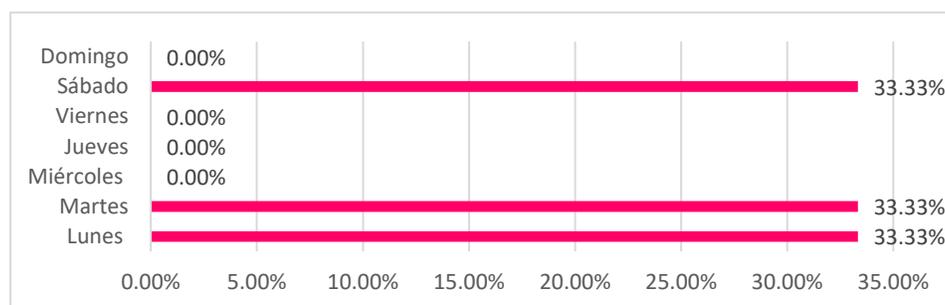
Figura 32. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b).

En cuanto a la severidad, la distribución fue distinta a los números de siniestros viales registrados en los diferentes días de la semana, ya que se distribuyó equitativamente en tres días de la semana (lunes, martes y sábado) con un 33.33% para cada uno de ellos y aunque los viernes se habían presentado más siniestros viales, no se registraron defunciones en estos días (figura 33).

Figura 33. Distribución porcentual de los siniestros viales mortales ocurridos en los días de la semana de 2013.

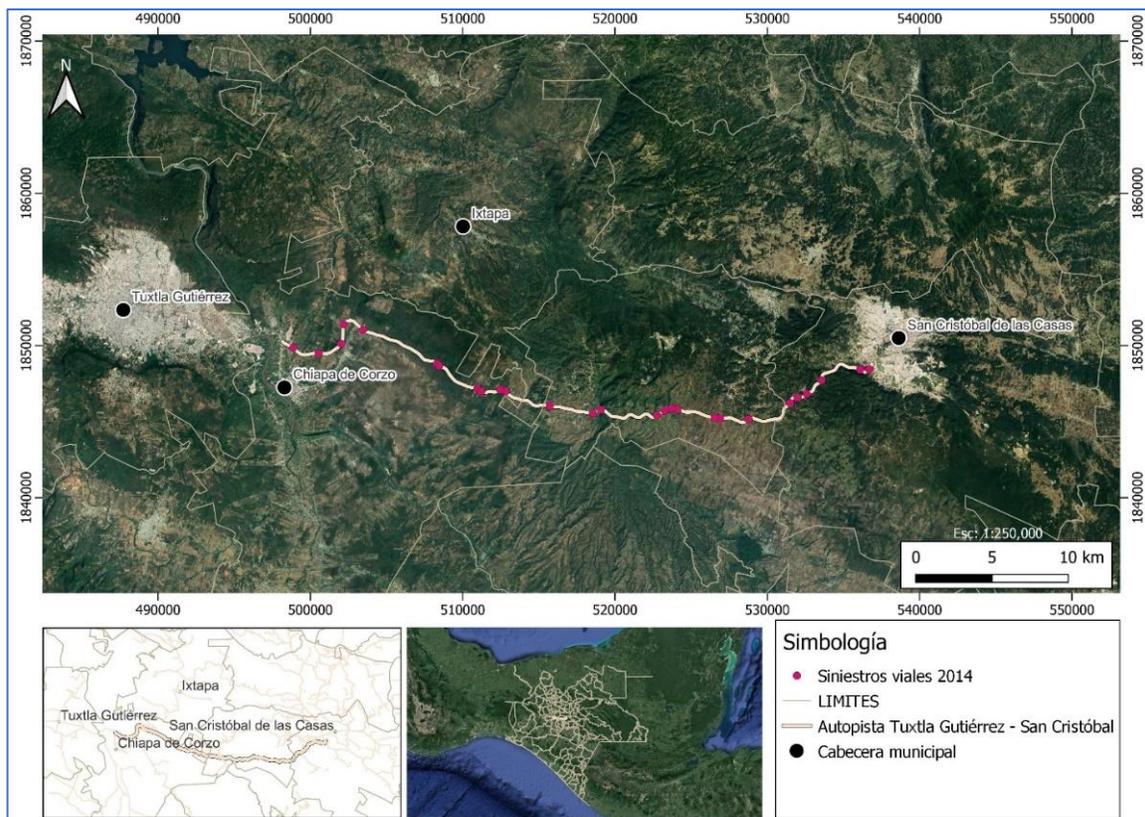


Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2014b).

3.1.2 Siniestros viales ocurridos en el 2014

En 2014, ocurrieron 28 siniestros viales, registrándose 29 heridos y ninguna defunción (DGST, 2015). En los registros de la SICT, para este año no se tienen registros si los siniestros se presentaron con superficie mojada o en condiciones secas.

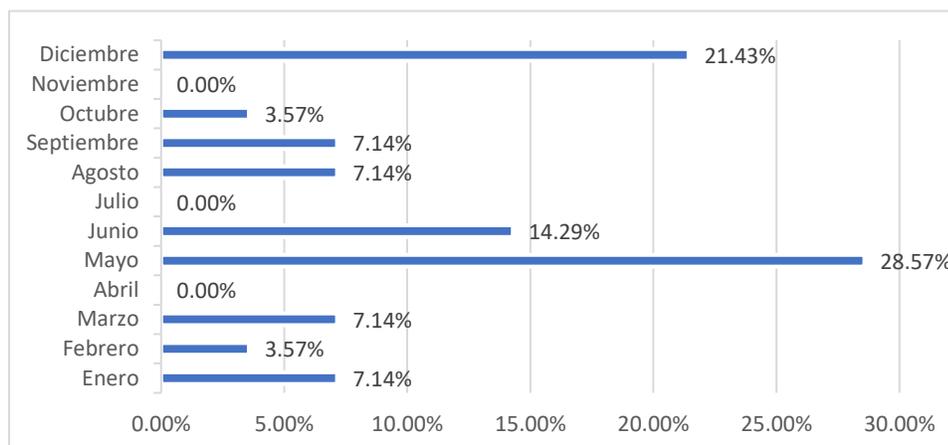
Figura 34. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2014 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2015) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En lo referente a los meses en los que ocurrieron los siniestros, se tiene que en abril, julio y noviembre no se presentó ningún percance vial, mientras que el mes en el que se tuvo más ocurrencia fue en mayo con ocho siniestros, seguido por diciembre con seis y junio con cuatro siniestros viales. En la figura 35, se presenta la distribución porcentual que corresponde a cada mes en cuanto al número de siniestros ocurridos.

Figura 35. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2014

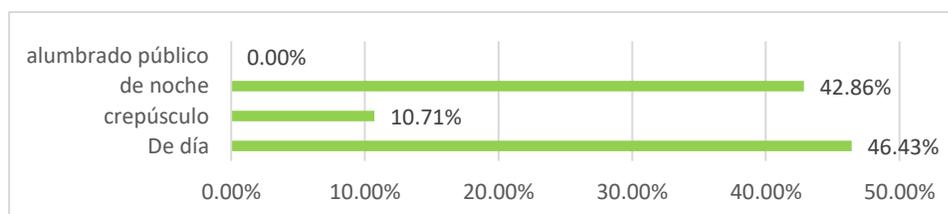


Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2015).

Previamente se señaló que mayo, junio y diciembre fueron los meses en los que se presentaron el mayor número de siniestros viales, además de eso, a partir de la figura 35 se puede identificar que en esos tres meses se tiene un porcentaje de siniestros viales mayor que los ocurridos en el resto del año, siendo cercano al 65 % del total.

En lo referente a periodos de asueto por día o días festivos, se tiene que solo se presentó uno en el periodo festivo del 3 al 5 de mayo. Mientras que, con respecto a las condiciones de luz, se registró lo siguiente: 13 siniestros ocurrieron en el día, 3 en el crepúsculo y 12 de noche. Como se puede observar en la figura 36, no se observa una tendencia marcada en cuanto a la cantidad de siniestros viales presentados ante distintas condiciones de luz.

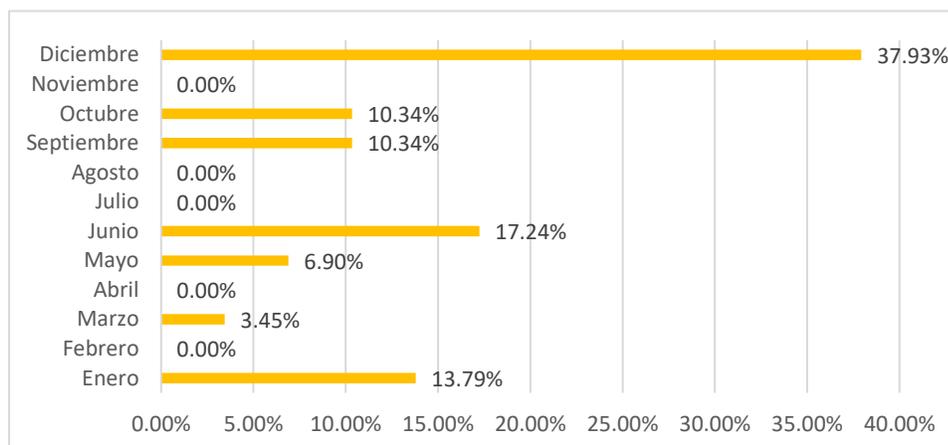
Figura 36. Distribución de los siniestros ocurridos con diferentes condiciones de luz, 2014.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2015).

En la figura 37 se indican los porcentajes de los heridos por siniestros viales por mes en el 2014, los tres meses con mayor porcentaje son enero, junio y diciembre, al sumar sus porcentajes se tiene que corresponden al 68.96 % del total.

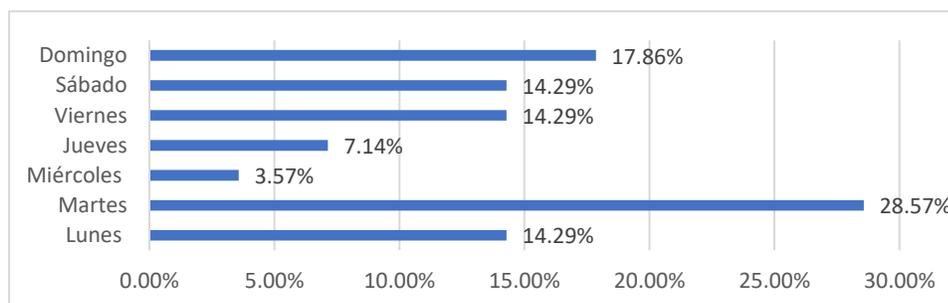
Figura 37. Distribución porcentual de los heridos por siniestros viales en el 2014



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2015).

Los martes y domingo, fueron los días de la semana en que ocurrieron más siniestros viales en 2014, con ocho y cinco hechos de tránsito respectivamente, mientras que los miércoles y jueves fueron los días con menos registros de siniestros (uno y dos respectivamente); en los días restantes de la semana, es decir, lunes, viernes y sábado, se registraron cuatro percances en 2014.

Figura 38. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2014

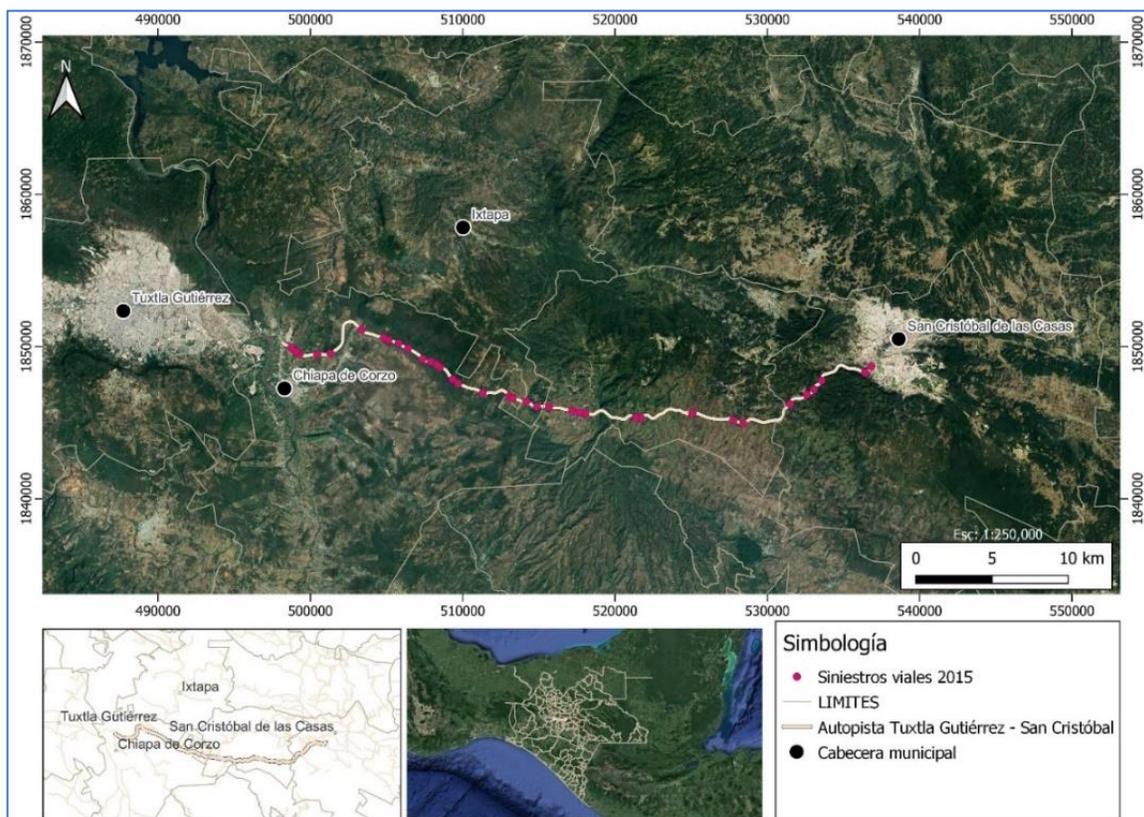


Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2015).

3.1.3 Siniestros viales ocurridos en el 2015

En el 2015 se presentaron 44 siniestros viales, provocando la muerte de 12 de personas y 56 personas lesionadas (DGST, 2016). Solo en uno de los siniestros se reportó que ocurrió con condiciones climatológicas desfavorables, ya que se reportó la presencia de niebla o humo.

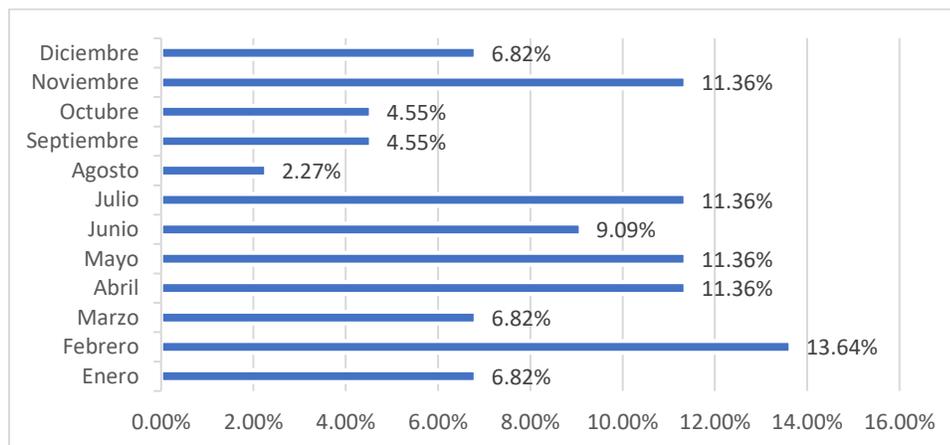
Figura 39. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2015 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

Febrero fue el mes en el que se registró un mayor número de siniestros viales con seis. Pero, en cuatro meses, abril, mayo, julio y noviembre, se registró una cifra mensual similar, con cinco percances en cada uno de estos. Mientras que agosto se registró uno, además de septiembre y octubre con dos en cada mes. Febrero fue el mes con el mayor número de heridos provocados por los hechos de tránsito, ver figura 41. En julio se presentaron más heridos que en abril, mayo o noviembre.

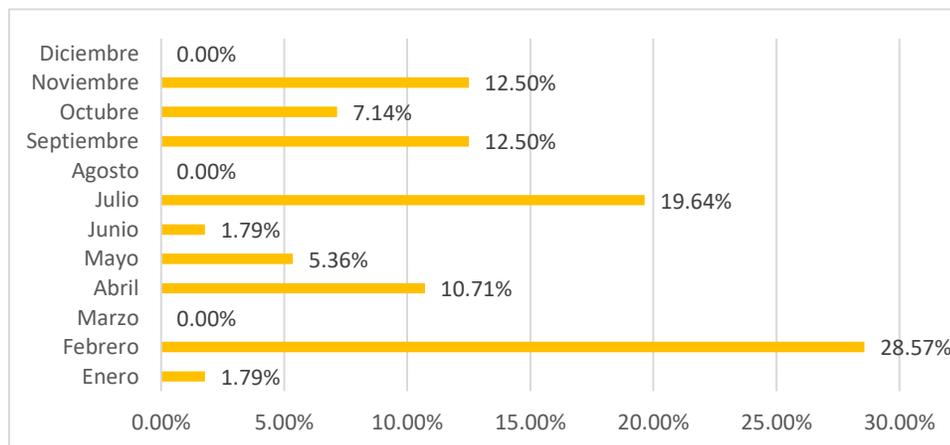
Figura 40. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

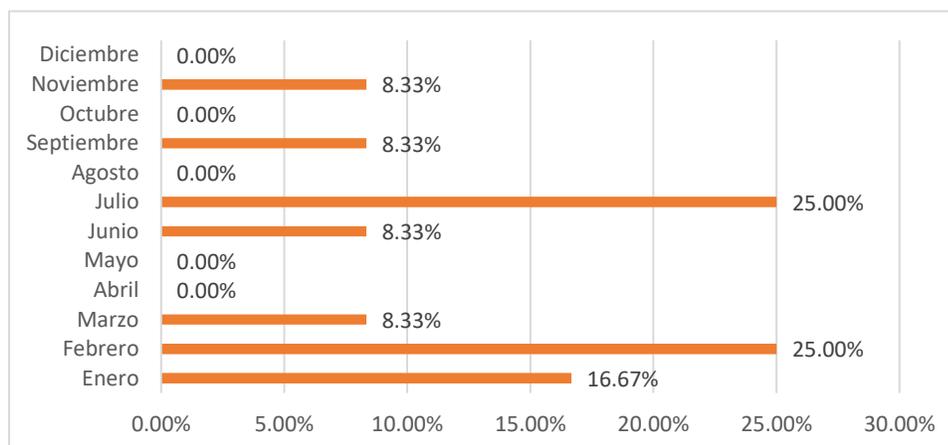
Febrero y julio fueron los meses en los que fallecieron más personas como consecuencia a la ocurrencia de un siniestro vial, con tres defunciones. En la figura 42 se puede observar la distribución porcentual de las personas fallecidas, para el 2015.

Figura 41. Distribución porcentual de los heridos por siniestros viales por cada mes en el 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

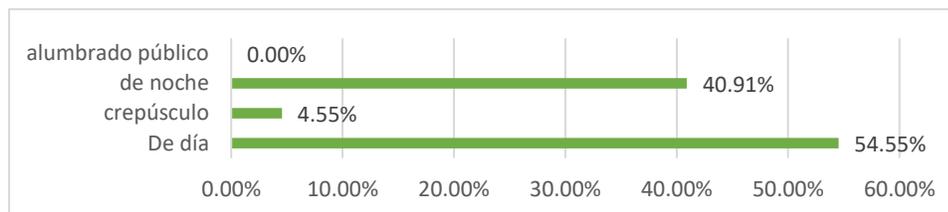
Figura 42. Distribución porcentual de personas fallecidas por siniestros viales por mes, 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

Con respecto a las condiciones de iluminación al momento del percance, se tiene que veinticuatro se presentaron de día, dos durante el crepúsculo y dieciocho en la noche. Por lo que no existe una tendencia en este año en cuanto a las condiciones de luz y la ocurrencia de siniestros viales.

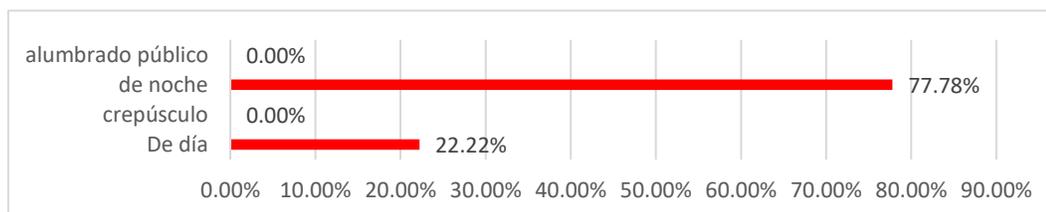
Figura 43. Distribución porcentual de siniestros ante diferentes condiciones de luz, 2015.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

Para el 2015, se habían presentado un porcentaje mayor de siniestros viales en el día, sin embargo, el porcentaje de defunciones fue mayor para lo ocurrencia de hechos de tránsito por la noche, mientras que en el crepúsculo y con alumbrado no se presentaron defunciones.

Figura 44. Distribución de siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2015



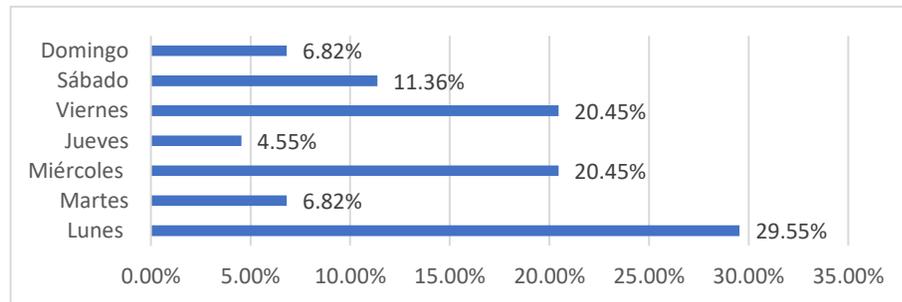
Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

Para este año se registraron trece siniestros en lunes, siendo la cifra más alta para alguno de los días de la semana, la segunda más alta fue de seis y esta cifra se repitió para los miércoles y

viernes de este año. Mientras que de los hechos de tránsito ocurridos en 2015, solo dos fueron en jueves.

En viernes y miércoles se presentaron los dos mayores porcentajes de siniestros viales con consecuencias mortales. Completan la aportación porcentual los lunes, sábado y domingo. Los viernes se presentaron más siniestros con defunciones.

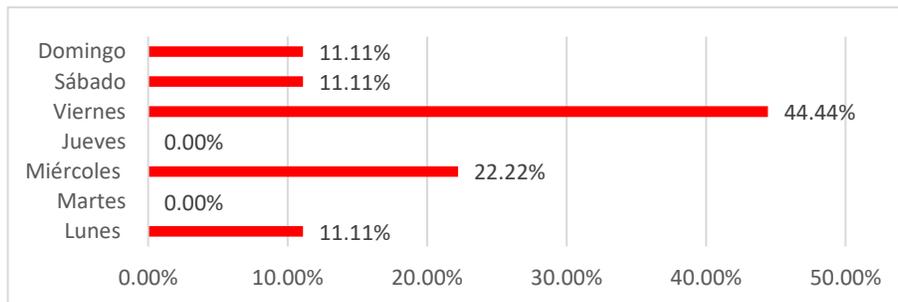
Figura 45. Distribución porcentual de los siniestros ocurridos en los días de la semana, 2015



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

En lo referente a la ocurrencia de siniestros viales en días festivos y sus períodos de asuetos, se puede mencionar que se presentaron tres, dos en el periodo festivo del 5 de febrero y uno en el día de independencia.

Figura 46. Distribución de los siniestros viales mortales en los días de la semana, 2015

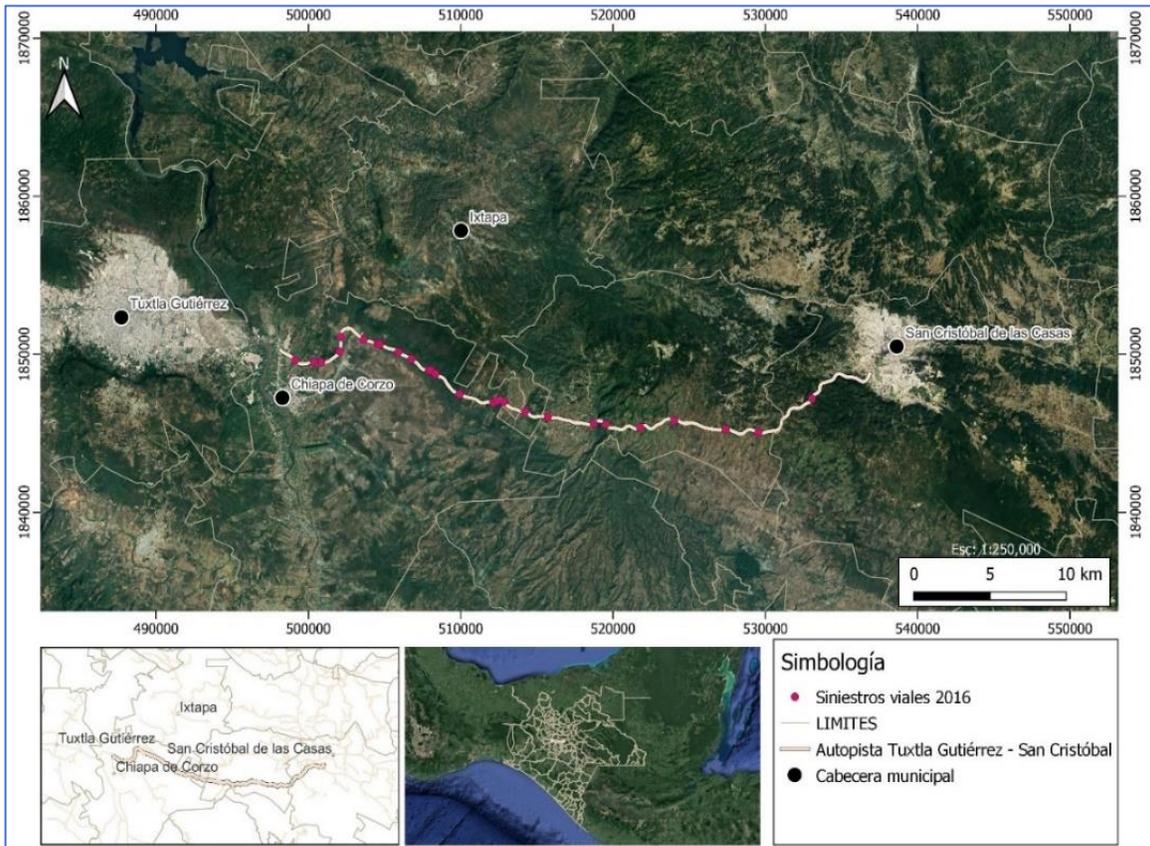


Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2016).

3.1.4 Siniestros viales ocurridos en el 2016

En 2016 sobre la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas ocurrieron veintisiete siniestros viales, con los cuales se registraron tres defunciones y veinte heridos (DGST, 2017). Las tres defunciones que ocurrieron en este año se presentaron en marzo.

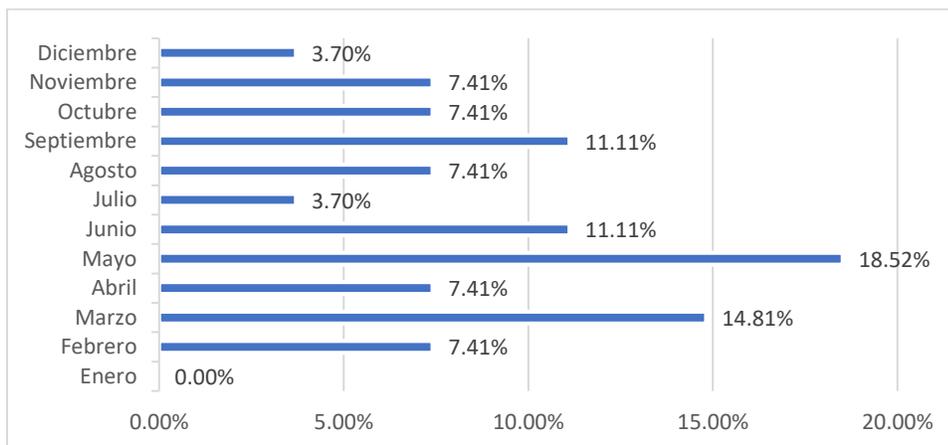
Figura 47. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2016 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2017) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

De los meses de este año, solo en enero no se registraron siniestros viales, en julio y diciembre únicamente se registraron uno en cada uno de ellos, mientras que mayo fue el mes con mayor número de siniestros viales al registrarse cinco. En este año, no se presentaron hechos de tránsito en alguno de los periodos de asueto por día festivo.

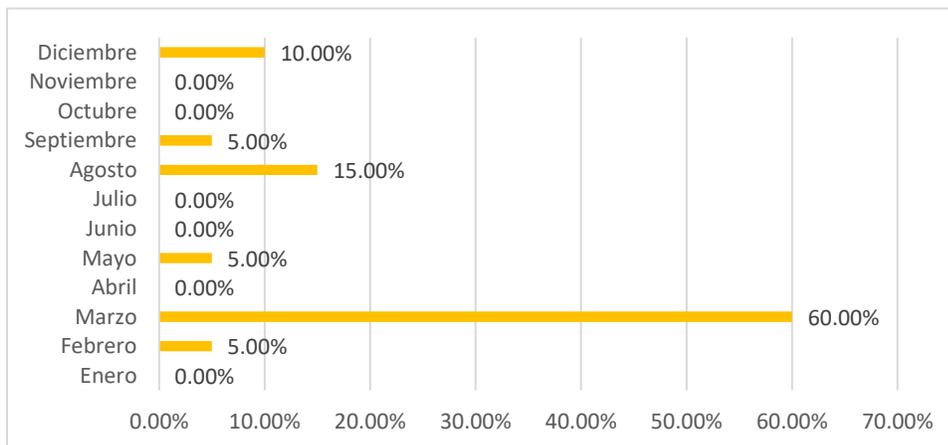
Figura 48. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes, 2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2017).

En 2016, la severidad de los siniestros fue más variable, ya que en la mitad de los meses no se reportaron heridos por siniestros viales y en marzo se presentó el mayor número de heridos por siniestros con doce y las tres defunciones también se registraron en este mes.

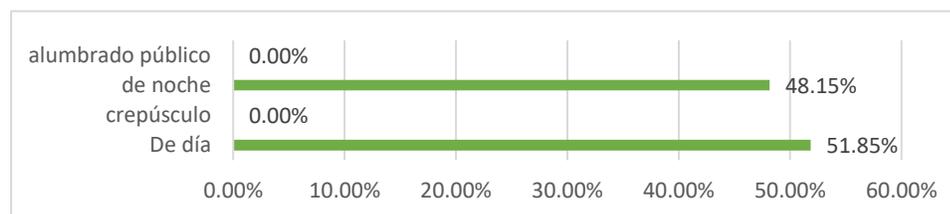
Figura 49. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2017).

En lo referente a las condiciones de luz al momento en que se presentaron los percances, se tiene que catorce se presentaron durante el día, mientras que trece de noche. Por lo que, en 2016, no se observa una incidencia relevante en cuanto a las condiciones de luz en la ocurrencia de siniestros viales.

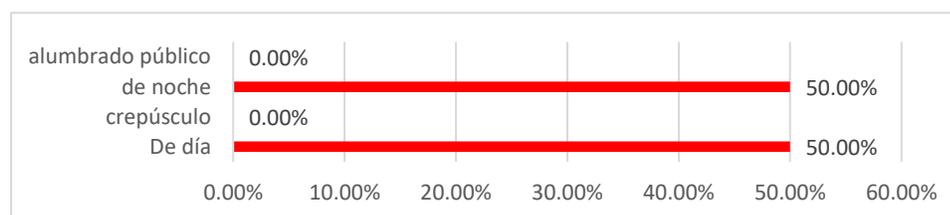
Figura 50. Distribución porcentual de siniestros ante diferentes condiciones de luz, 2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2017).

Tomando de referencia la figura 51, no se observa una marcada incidencia de las condiciones de luz en la ocurrencia de siniestros viales mortales, puesto que se distribuyen equitativamente los ocurridos de noche y los ocurridos de día.

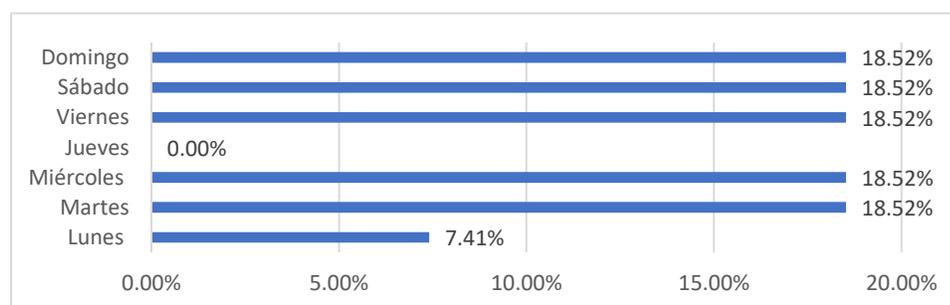
Figura 51. Distribución de siniestros mortales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2017).

En cuanto a la distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, se distribuyeron, de la siguiente manera: dos ocurrieron en lunes y en los martes, miércoles, viernes, sábados y domingos se presentaron cinco percances en cada uno de estos días.

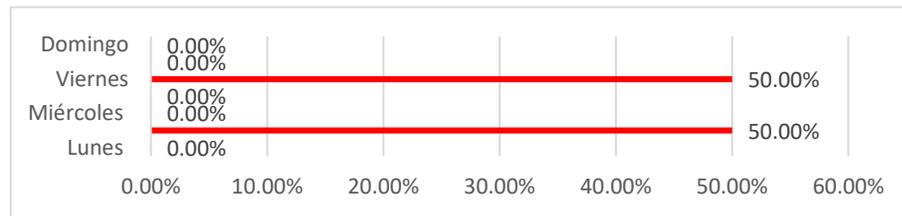
Figura 52. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2016.



Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2017).

En 2016, se registraron veintisiete heridos a partir de los veinte hechos de tránsito que se presentaron y solo ocurrieron dos siniestros con víctimas mortales, uno en viernes y el otro en martes. Por lo que no se observa una tendencia muy marcada.

Figura 53. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2016.

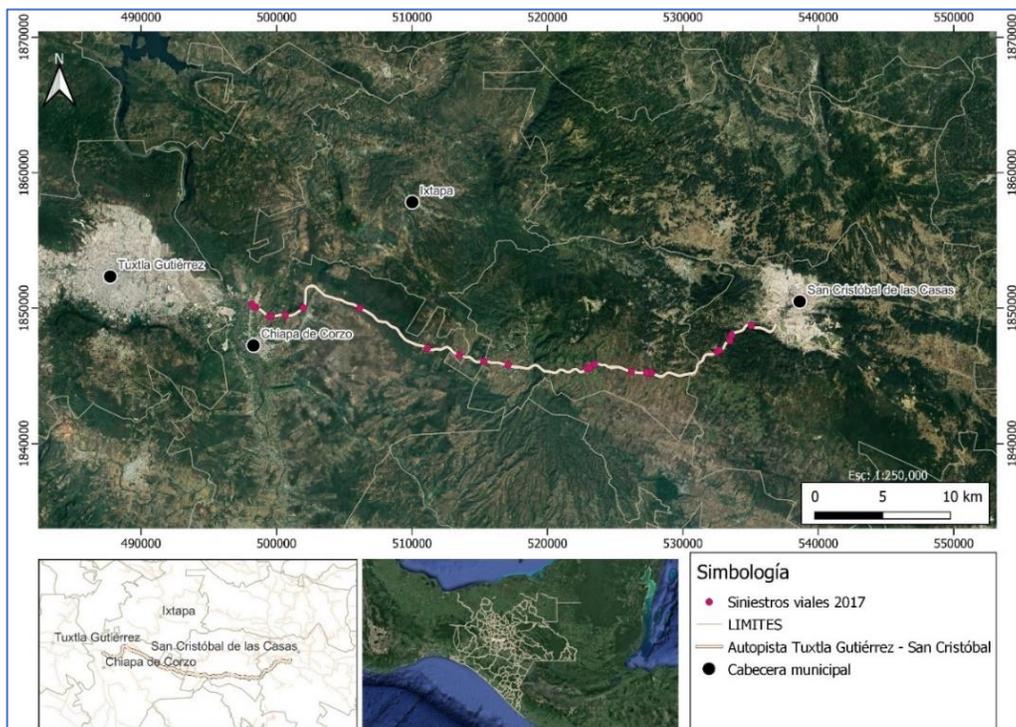


Fuente: Elaboración propia con datos de DGST (2017).

3.1.5 Siniestros viales ocurridos en el 2017

En 2017, se presentaron en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas veinticuatro hechos de tránsito, en los que en conjunto se registraron cuatro defunciones y treinta y siete heridos (DGST, 2018b). En la figura 54 se observan los siniestros ocurridos en 2017.

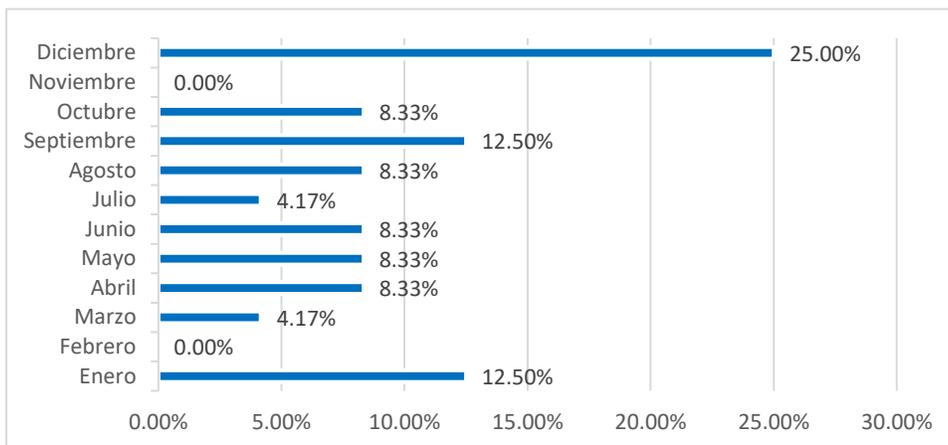
Figura 54. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2017 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018b) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En febrero y noviembre de este año no se presentaron siniestros viales, mientras que diciembre fue el mes con mayor número de hechos de tránsito ocurridos registrándose seis, seguido por enero y septiembre con tres siniestros.

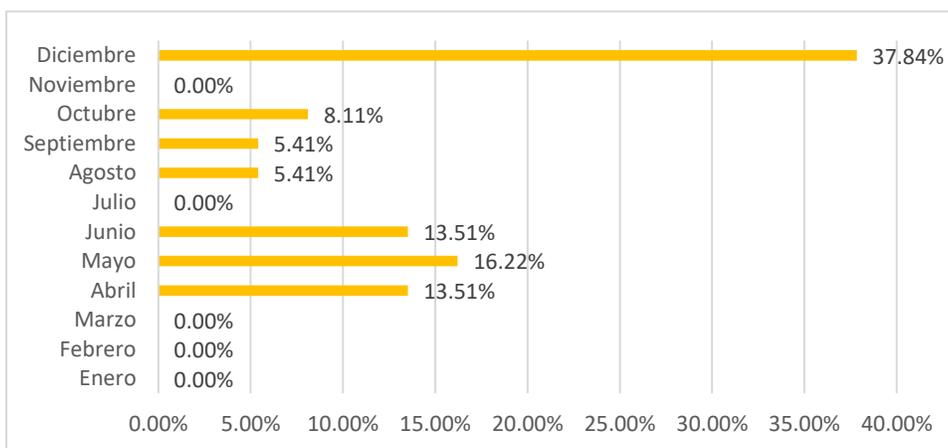
Figura 55. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes, 2017.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

En 2017, diciembre fue el mes con mayor número de siniestros y con mayor número de heridos. Además de que en enero, febrero, marzo, julio y noviembre ni si quiera se presentaron heridos.

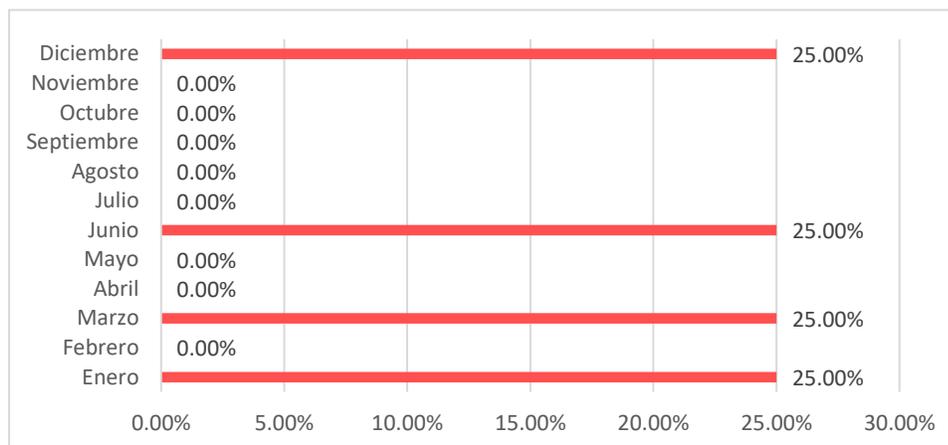
Figura 56. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2017.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

Al analizar el número de heridos en cada uno de los meses de 2017, se detectó la variabilidad de la severidad de los siniestros, lo cual se refuerza al compararlo con el número de defunciones, ya que se presentaron cuatro, una en enero, una en febrero, una en junio y una en diciembre.

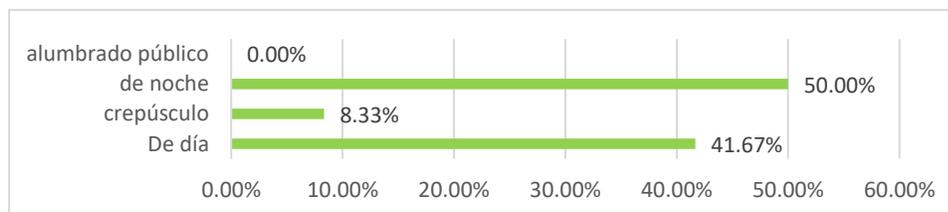
Figura 57. Distribución de personas fallecidas a causa de siniestros viales por mes, 2017.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

En lo referente a las condiciones de luz que prevalecían al momento de los incidentes, se tiene que diez fueron en el día, dos en el crepúsculo y doce durante la noche. De los cuatro siniestros viales mortales que se presentaron en el año, dos ocurrieron durante el día y dos en la noche.

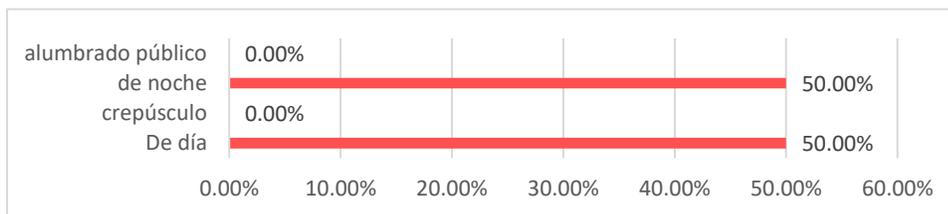
Figura 58. Distribución de los siniestros viales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2017.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

Al analizar los datos del 2017, no se observa una tendencia, ya que se distribuyeron equitativamente el porcentaje de siniestros viales mortales ocurridos durante el día y durante la noche, es decir, dos se presentaron durante el día y dos en el transcurso de la noche.

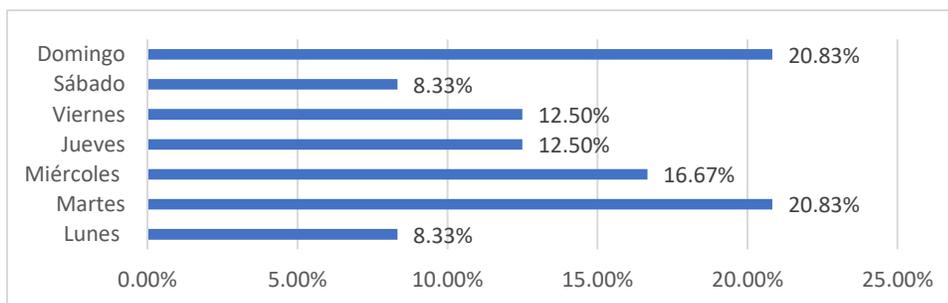
Figura 59. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2017.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

Los martes y domingos del 2017 fueron en los que presentaron más siniestros viales, presentándose cinco en cada uno de ellos, mientras que los lunes y sábados fueron los días con menos incidentes, con dos en ambos casos. En lo referente a siniestros viales ocurridos en periodos de asueto, se presentó uno, en el periodo festivo por día de la independencia.

Figura 60. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2017.



Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

No hay una tendencia marcada en cuanto a la severidad de los siniestros, ya que en martes y domingo se presentaron el mayor número de siniestros viales, mientras que, en lo referente a siniestros viales mortales, se repartieron equitativamente el porcentaje de ocurrencia entre los lunes, martes, jueves y viernes.

Figura 61. Distribución de los siniestros viales mortales ocurridos en los días de la semana, 2017.

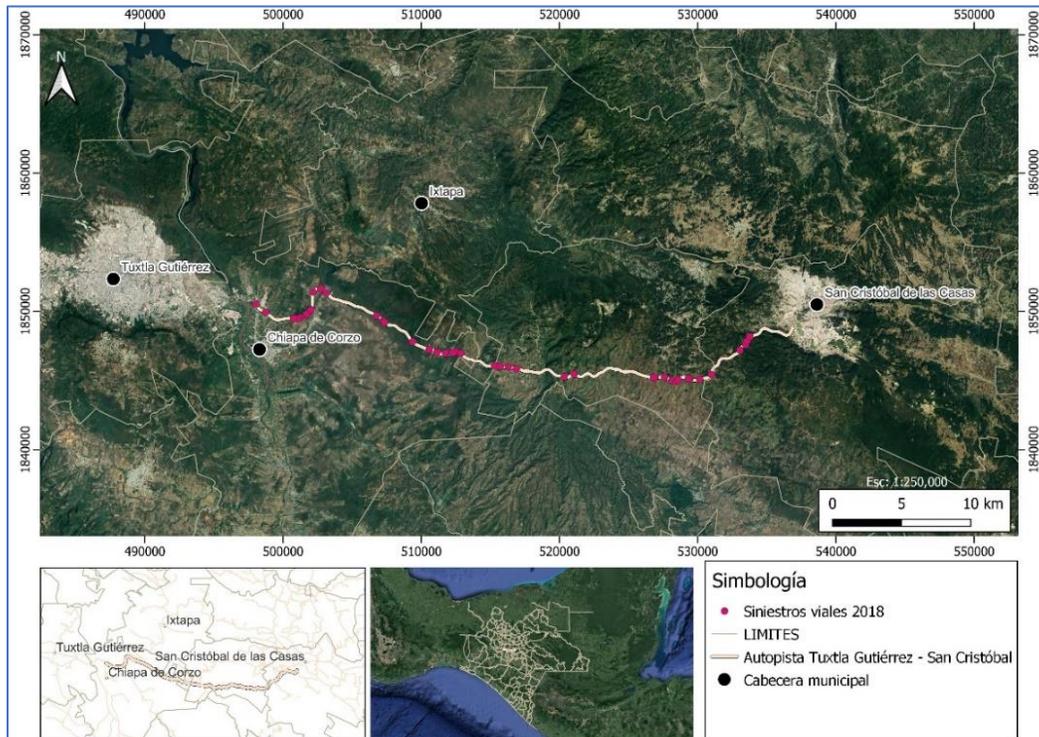


Fuente: Elaboración propia con datos de (DGST, 2018c).

3.1.6 Siniestros viales ocurridos en el 2018

En 2018, ocurrieron 44 hechos de tránsito, presentándose 10 defunciones y 38 heridos (Cuevas Colunga et al., 2020). En la figura 62 se observan cada uno de los hechos de tránsito ocurridos en 2018. En este año no se presentaron percances en periodos de asueto.

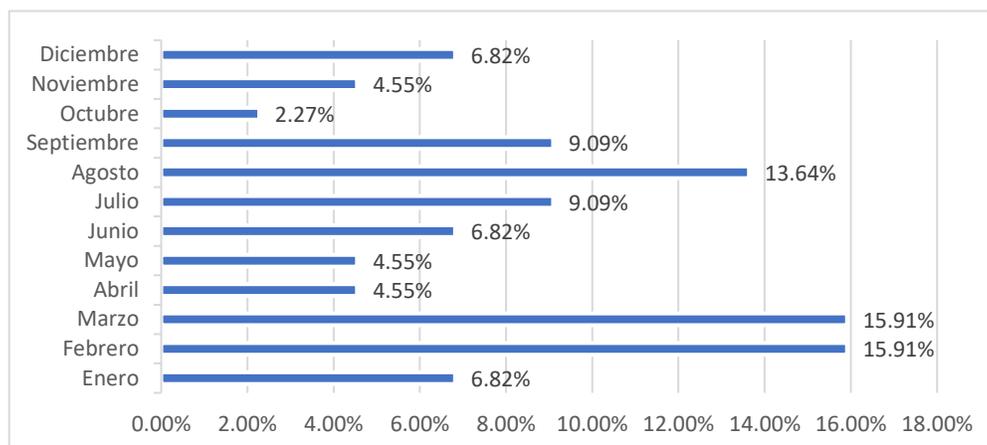
Figura 62. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2018 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2020) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En todos los meses de este año, por lo menos se presentó un hecho de tránsito, pero, en los que la cifra fue más alta fue en febrero y marzo, ambos con 7 siniestros viales, seguidos por agosto con 6, mientras que los meses con menos percances fueron octubre y noviembre con 1 y 2 siniestros respectivamente.

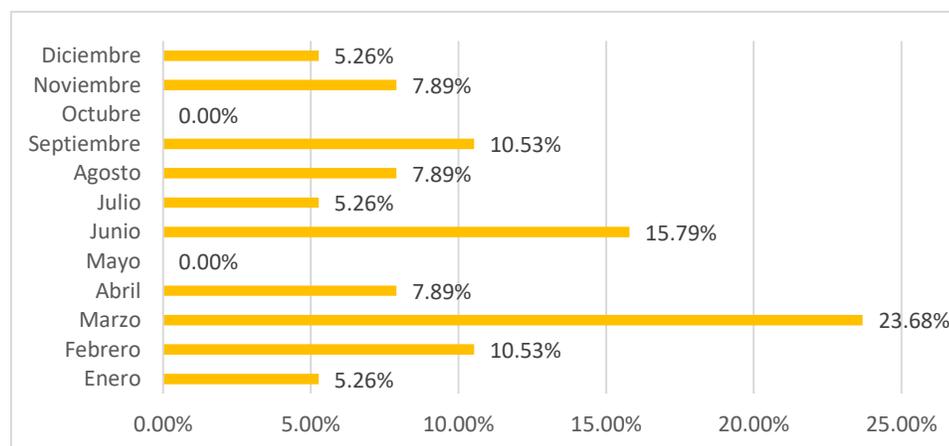
Figura 63. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

Al analizar los datos de siniestros viales de 2018, se puede observar que solamente en mayo y octubre no se registraron personas lesionadas por hechos de tránsito. Las figuras 63 y 64, presenta similitudes, pero, se puede observar que marzo registró el mayor número de heridos, con lo que se puede interpretar que existió variación en la intensidad de los siniestros.

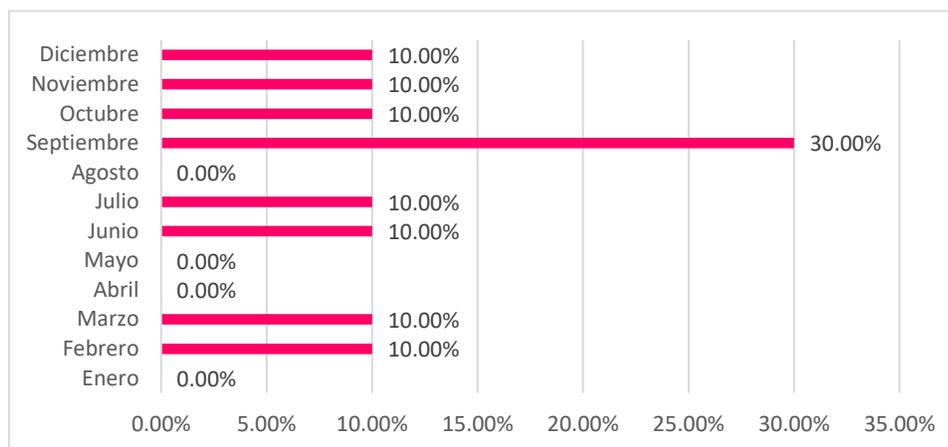
Figura 64. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

En la figura 65, se puede observar que en los meses de febrero, marzo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre se presentó el mismo porcentaje de defunciones a causa de un hecho de tránsito y que en septiembre se presentó el mayor porcentaje. Con lo anterior no se ve ninguna tendencia clara en cuanto a la relación de las defunciones con alguno de los meses.

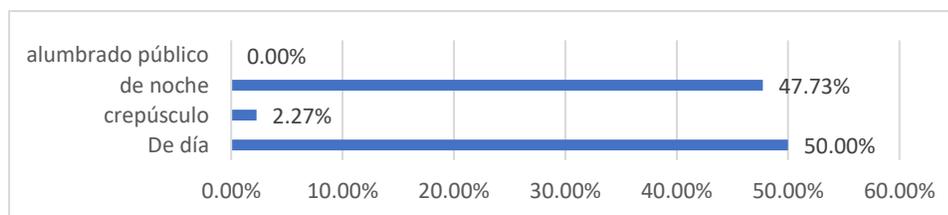
Figura 65. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

Al considerar las condiciones de iluminación al momento del percance, no se percibe una incidencia trascendental, ya que se tiene registrado que 22 hechos de tránsito ocurrieron de día, 1 en el crepúsculo y 21 por la noche, por lo que se distribuye casi equitativamente.

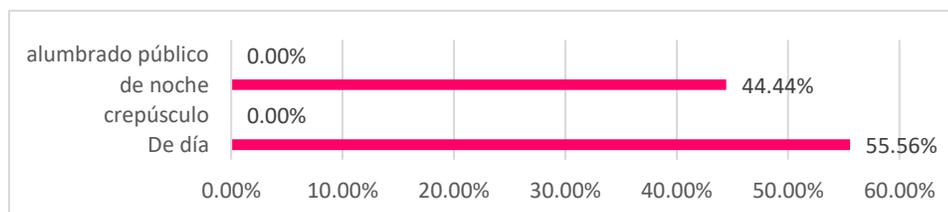
Figura 66. Distribución de los siniestros viales ante diferentes condiciones de luz, 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

De manera similar al número de siniestros ocurridos en 2018, para el caso de los siniestros en los que se presentó algún deceso, no se percibe una incidencia muy marcada de las condiciones de iluminación, inclusive para el 2018, se registró un poco mayor porcentaje de defunciones durante el día, pero, la diferencia solo es de 11.12% con los que se presentaron durante la noche.

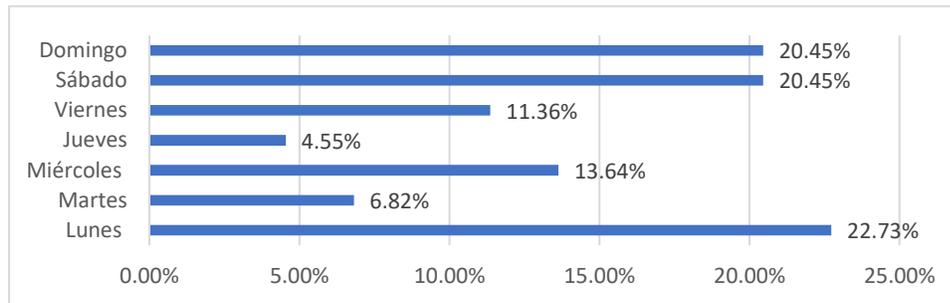
Figura 67. Distribución de los siniestros mortales ante diferentes condiciones de luz, 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

Los días de la semana en los que se presentaron más siniestros viales en el 2018, son lunes, seguidos por los sábados y domingos. Mientras que los jueves fueron los días con menos incidentes registrando solamente 2.

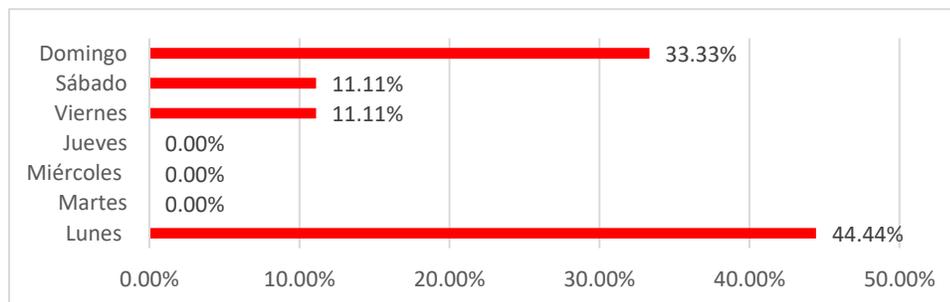
Figura 68. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

En el caso de la distribución porcentual de siniestros viales con víctimas mortales, se tiene que en dos días de las semanas del 2018 se tiene más del 75%, los lunes y domingos, con el 44.44% y el 33.33%, respectivamente.

Figura 69. Distribución de los siniestros mortales ocurridos en los días de la semana de 2018.

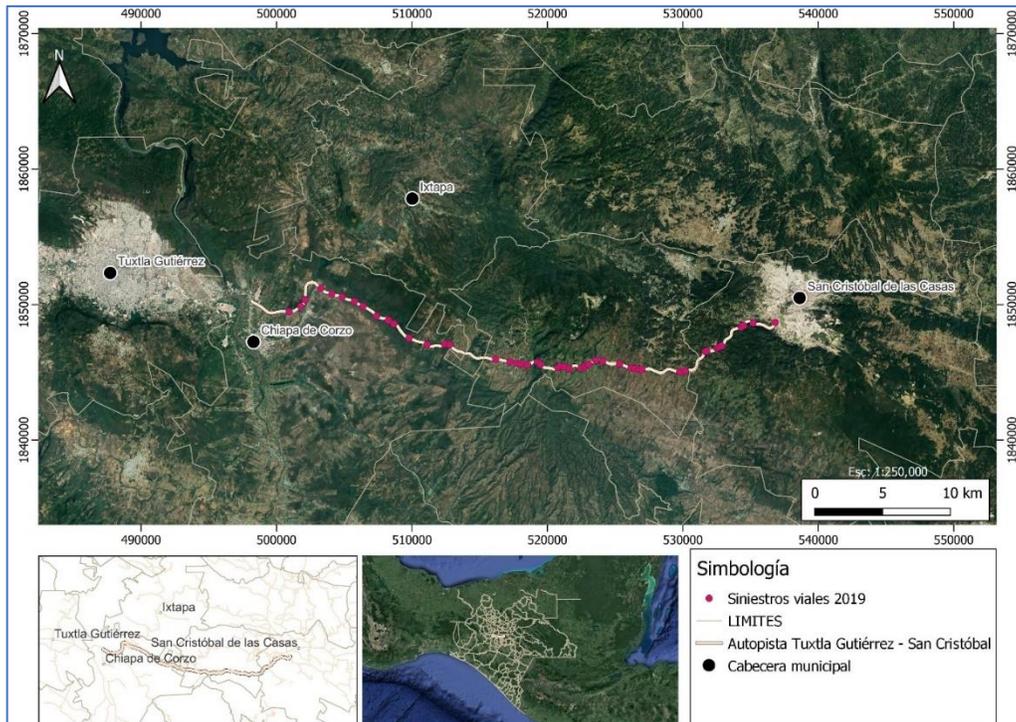


Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2020).

3.1.7 Siniestros viales ocurridos en el 2019.

En 2019 se presentaron 55 siniestros viales, en los cuales 8 personas fallecieron y 39 presentaron lesiones (Cuevas Colunga et al., 2021a), en la figura 70 se han identificado los siniestros viales ocurridos en 2019 al georreferenciarlos. De la figura 71 a la 77, se presentan datos porcentuales asociados a las condiciones que prevalecían al momento de la ocurrencia de los hechos de tránsito.

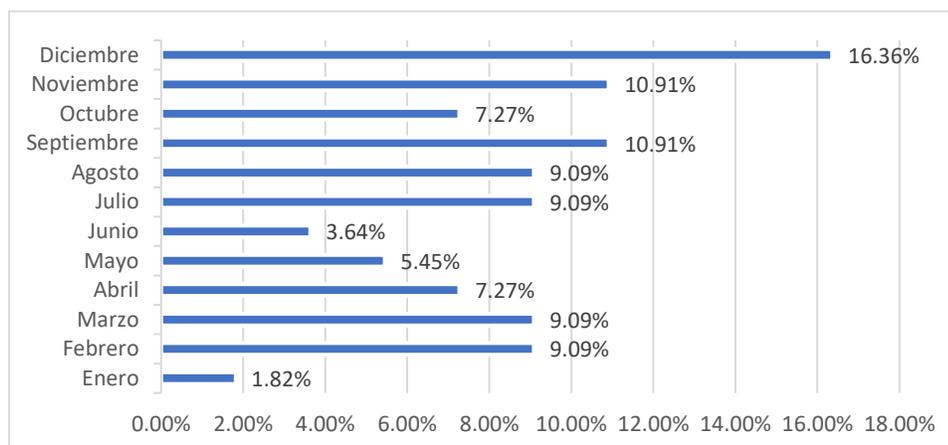
Figura 70. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2019 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En todos los meses del año ocurrió por lo menos un hecho de tránsito, en los registros se puede observar que enero fue el que menos percances registro, ya que solo fue uno. Mientras que el mes con más siniestros viales fue diciembre con nueve, seguido por septiembre y noviembre con seis. El número de siniestros ocurridos por mes más recurrente en 2019 fue el cinco y se presentó en febrero, marzo, agosto y julio.

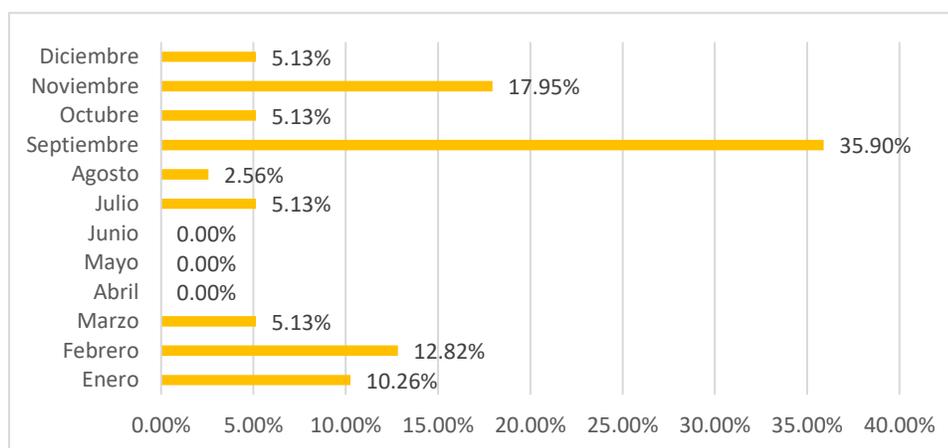
Figura 71. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

En lo referente a los heridos a causa de la ocurrencia de siniestros viales, se tiene que no se registraron en abril, mayo y junio. Además, se tiene la particularidad para este año, que no coinciden el mes con el mayor número de siniestros viales y el mes con mayor número de heridos por hechos de tránsito, siendo diciembre y septiembre, respectivamente.

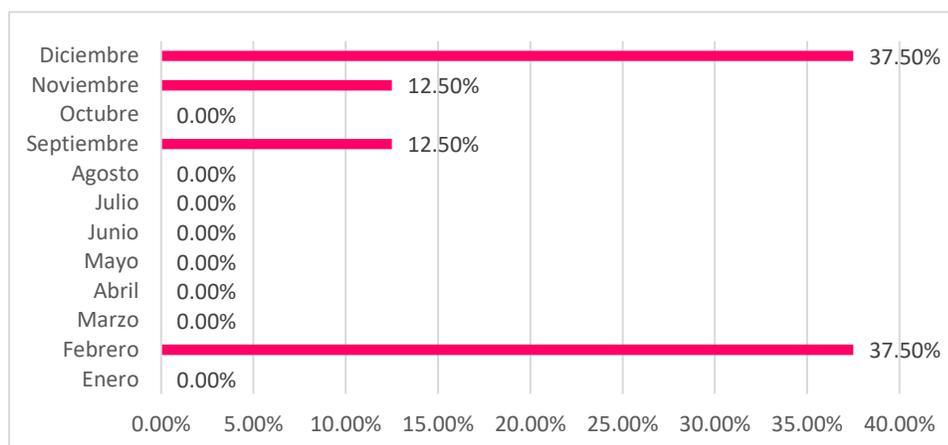
Figura 72. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

Continuando con el análisis de la variabilidad de los siniestros viales, en este caso de las personas fallecidas por siniestros viales, se observa que, no existe una tendencia clara, ya los dos meses con mayor número de fallecidos son febrero y diciembre. Con lo que coincide que en diciembre se tuvo la mayor cantidad de siniestros viales y de personas fallecidas, pero, en septiembre se registró el mayor número de heridos.

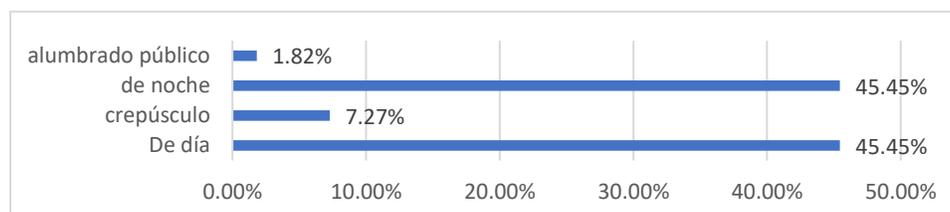
Figura 73. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

De los percances ocurridos en este año 25 se presentaron de día, 4 en el crepúsculo, 25 en la noche y 1 con alumbrado público. Por lo que no se puede indicar que en este año las condiciones de luz hayan marcado una incidencia, ya que se tiene el mismo número de siniestros ocurridos durante el día y la noche.

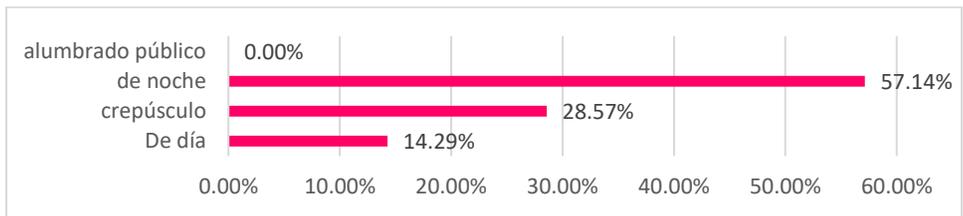
Figura 74. Distribución de los siniestros viales ante diferentes condiciones de luz, 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

Sin embargo, al revisar las cifras de personas fallecidas bajo las distintas condiciones de luz, se puede observar que, en este año, si tuvo una incidencia clara las condiciones de luz, puesto que se presentaron 57.14% de muertes durante las noches, 28.57% durante los crepúsculos y 14.29% durante el día. Lo que pone de manifiesto que, en el 2019, la severidad de los siniestros viales estuvo asociada a las condiciones de luz.

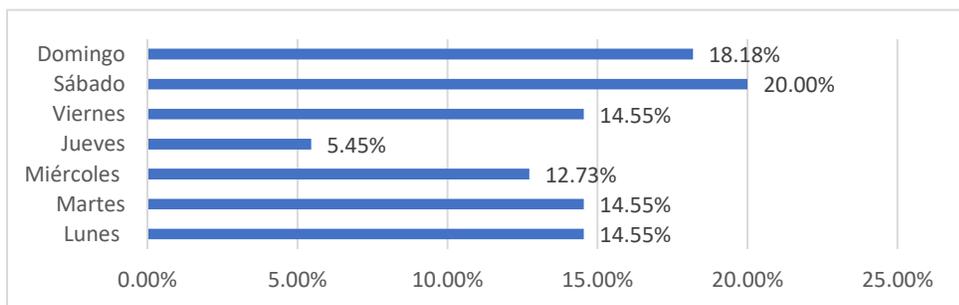
Figura 75. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

Los sábados y domingos, fueron los días en los que se registraron mayor número de siniestros viales, once y diez respectivamente. En lo referente a la ocurrencia de siniestros viales en días o periodos de asueto, se presentaron cinco.

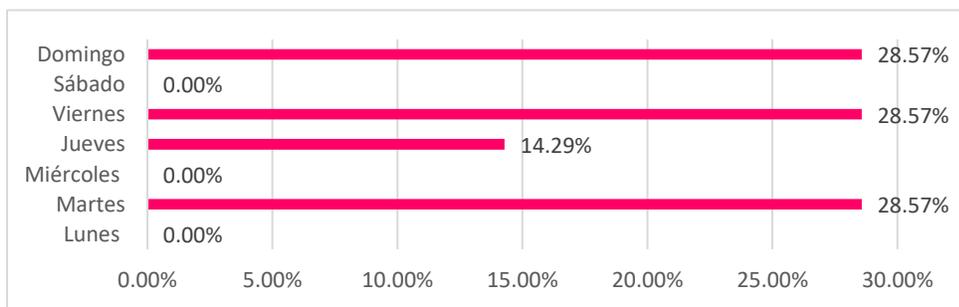
Figura 76. Distribución porcentual de los siniestros viales en los días de la semana, 2019.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

Se tiene que, los martes, viernes y domingo, se registraron dos hechos de tránsito mortales, mientras que uno se presentó en un jueves. Mientras que los lunes, miércoles y sábado no se registraron siniestros mortales. Lo que no permite indicar que se tenga alguna tendencia.

Figura 77. Distribución de los siniestros viales mortales en los días de la semana, 2019.

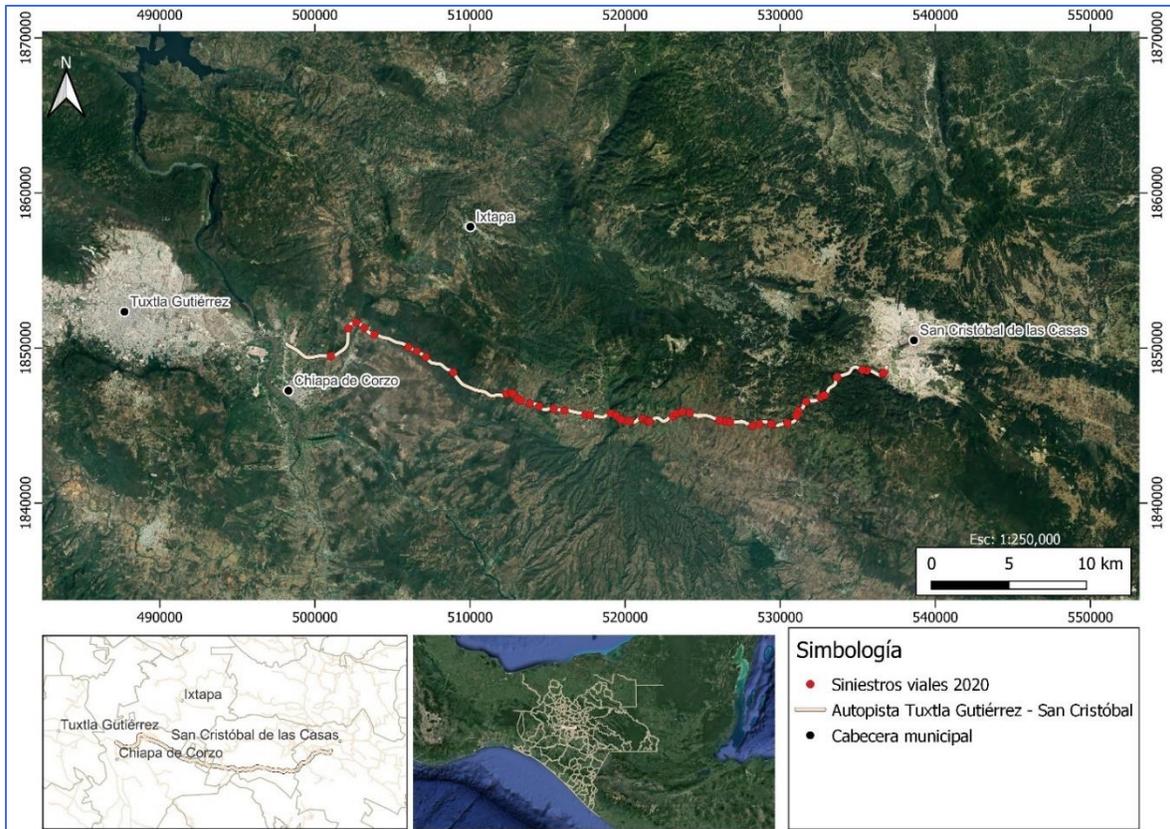


Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a).

3.1.8 Siniestros viales ocurridos en el 2020

En 2020 se registraron 60 siniestros viales, de los cuales 4 personas fallecieron y 33 presentaron lesiones (Cuevas Colunga et al., 2021a), en la figura 78 se presentan los siniestros viales ocurridos en 2020. De la figura 79 a la 85, se presentan datos asociados a las condiciones que prevalecían al momento de la ocurrencia de los hechos de tránsito.

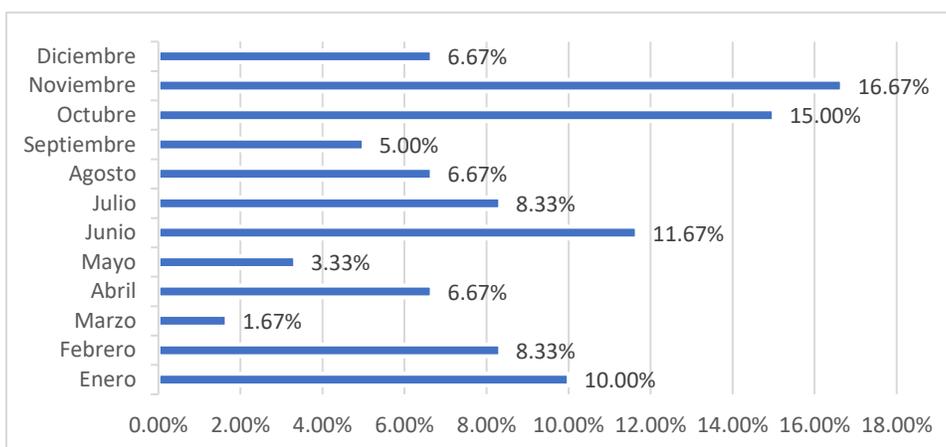
Figura 78. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2020 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas



Fuente: Elaboración propia con datos de (Cuevas Colunga et al., 2021b) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En 2020 se presentaron siniestros viales en todos los meses, aunque en marzo solo se registró uno. Noviembre es el mes con mayor número de registros con diez hechos de tránsito y nueve en octubre. En la figura 79, se indica la distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos en los meses de 2020.

Figura 79. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el 2020.

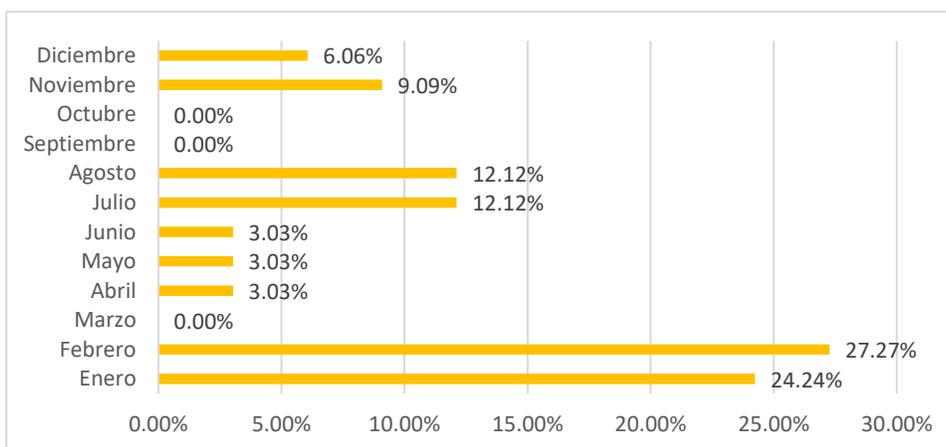


Fuente:

Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).

En lo referente al número de heridos por mes en este año, en marzo, septiembre y octubre no se registraron. Además, de que en abril, mayo y junio solo se registró un herido para cada uno de estos meses. En contraparte y como se puede observar en la figura 80, se tiene que los meses de enero y febrero tienen los registros más altos en este rubro, con ocho y nueve heridos respectivamente.

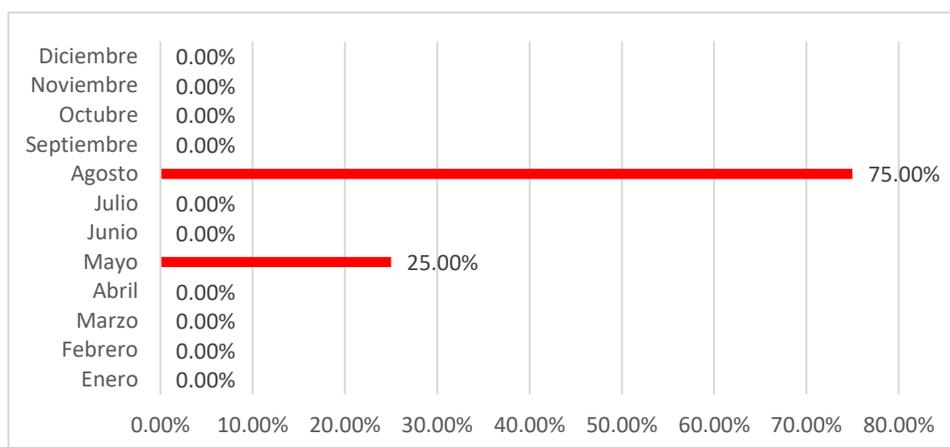
Figura 80. Distribución porcentual de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2020.



Fuente: *Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).*

En la figura 81, se visualiza que únicamente en mayo y agosto se presentaron siniestros viales con consecuencias mortales, con una defunción en mayo y tres en agosto. Con lo que al analizar las figuras 79, 80 y 81 se tiene que para este año se presentó una gran variación en la intensidad de los siniestros, ya que, en los meses con mayor número de siniestros, no se presentaron los meses con más heridos, ni con más decesos.

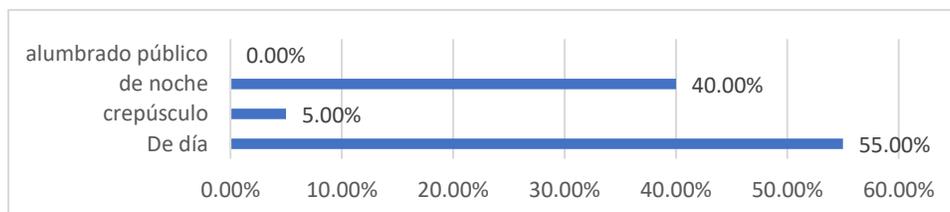
Figura 81. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).

En lo referente a las condiciones de luz, se registró lo siguiente: 33 siniestros ocurrieron en el día, 3 en el crepúsculo y 24 de noche. En la figura 82, no se visualiza una tendencia marcada en cuanto a la cantidad de hechos de tránsito registrados ante distintas condiciones de luz.

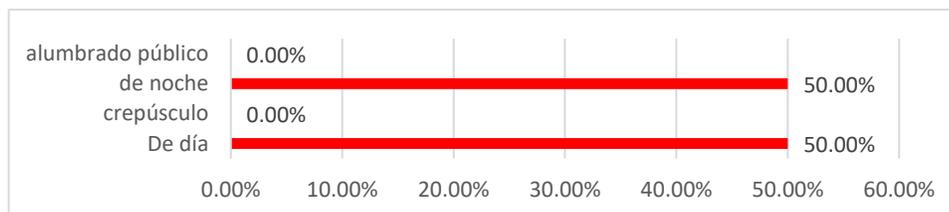
Figura 82. Distribución de los siniestros viales ante diferentes condiciones de luz, 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).

En 2020, se presentó un porcentaje mayor de siniestros viales en el día. Sin embargo, fue el mismo porcentaje para los siniestros mortales ocurridos durante el día comparado con los registrados por la noche. Mientras que durante el crepúsculo y con alumbrado no se registraron decesos, lo cual se puede visualizar en la figura 83.

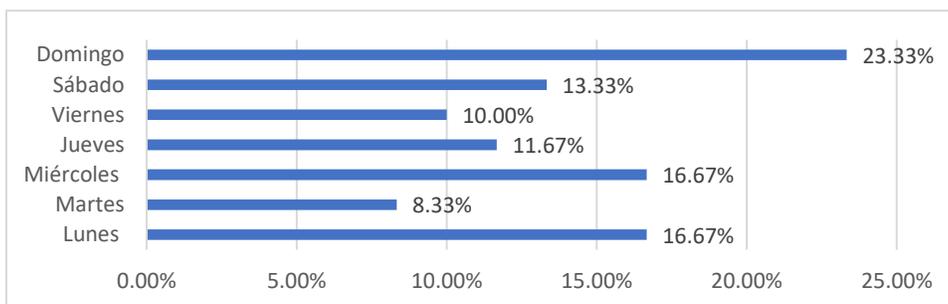
Figura 83. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).

En 2020, el día que mayor cantidad de siniestros tuvo fue el domingo con catorce, seguido por los miércoles y lunes, ambos con diez. Mientras que como se observa en la figura 84, los martes y viernes registraron los menores números de siniestros viales con cinco y seis respectivamente.

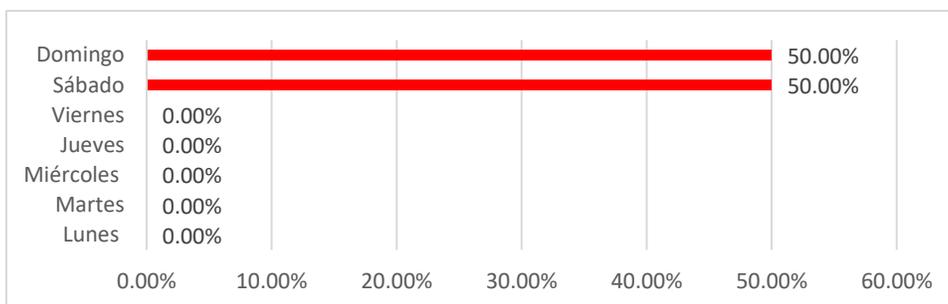
Figura 84. Distribución de los siniestros viales en los días de la semana, 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).

Los siniestros viales con víctimas mortales que se presentaron en 2020 ocurrieron en fin de semana, uno en sábado y otro en domingo, en ambos casos se registraron dos decesos. Con respecto a los periodos de asueto, se registraron tres siniestros viales y dos heridos.

Figura 85. Distribución de los siniestros viales mortales en los días de la semana, 2020.

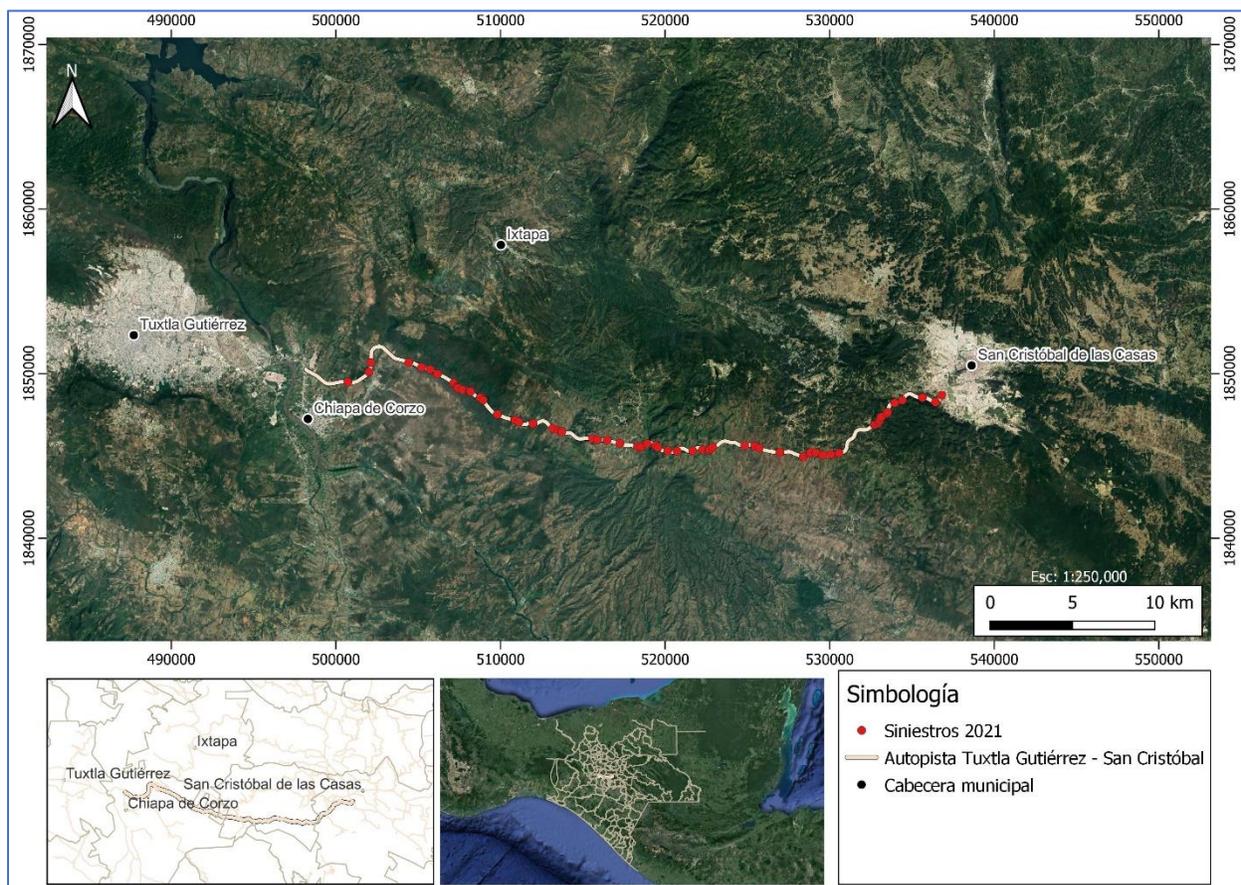


Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021b).

3.1.9 Siniestros viales ocurridos en el 2021

Con el transcurrir del 2021, se presentaron en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas 68 hechos de tránsito, en los que en conjunto se registraron 4 defunciones y 22 heridos (Cuevas Colunga et al., 2022) . En la figura 86 se observan cada uno de los siniestros ocurridos en 2017.

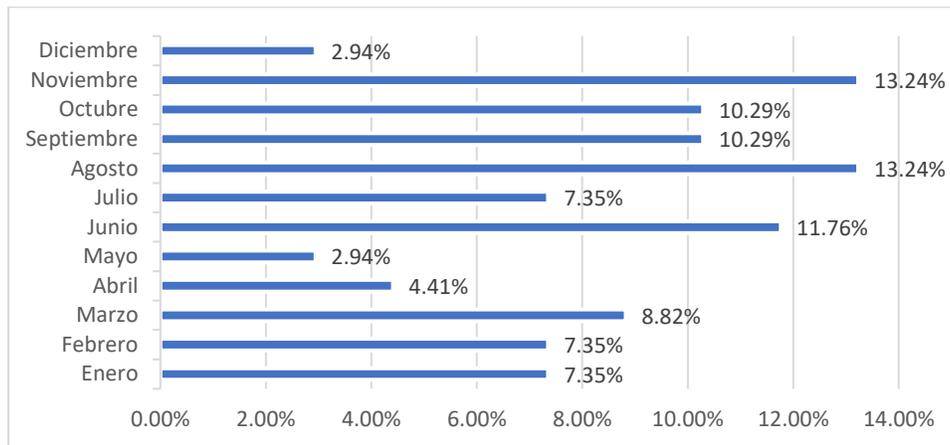
Figura 86. Georreferenciación de los siniestros viales ocurridos en el 2021 en la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022) y de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f).

En 2021, agosto y noviembre fueron los meses en que se registraron el mayor número de siniestros, nueve en cada uno de estos meses, a su vez en junio se registraron ocho siniestros. Como se puede observar en la figura 87. mayo y diciembre fueron los meses con menor registro de siniestros viales, ambos con dos.

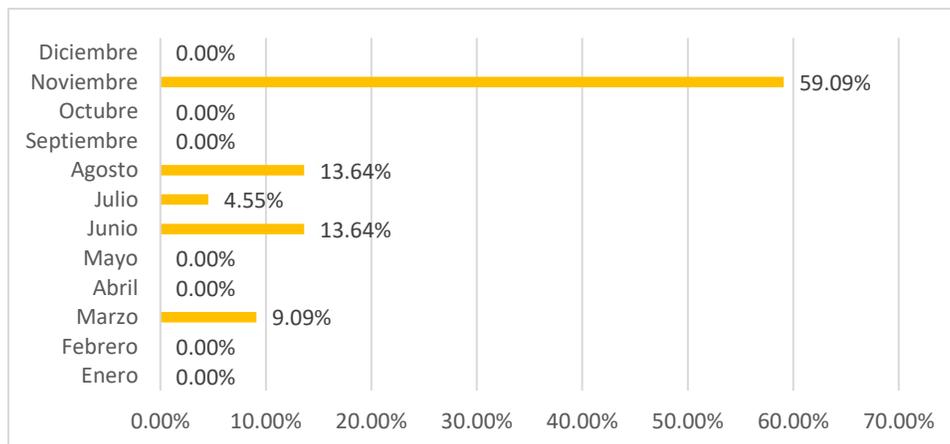
Figura 87. Distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

En la figura 88 se puede observar que noviembre es el mes que tiene más registro de heridos a causa de siniestros viales con trece de los veintidós que se presentaron en 2021, en junio y agosto se tuvieron tres, en marzo se presentaron dos y uno en julio. Además, se puede visualizar que en siete de los meses del año no se tuvieron heridos por siniestros viales.

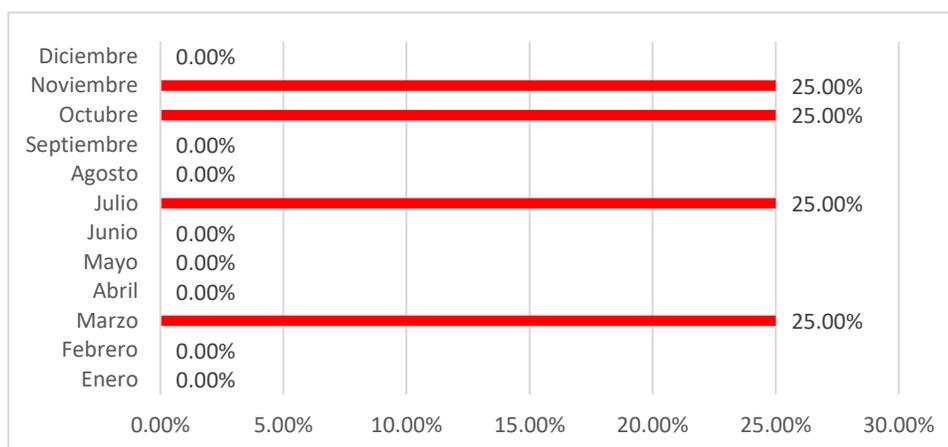
Figura 88. Distribución de los heridos a causa de siniestros viales por cada mes, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

En la figura 89 se indica la distribución porcentual de las defunciones que se presentaron a causa de un siniestro vial en 2021. En este año se registraron cuatro decesos uno en marzo, uno en julio, uno en octubre y uno en noviembre.

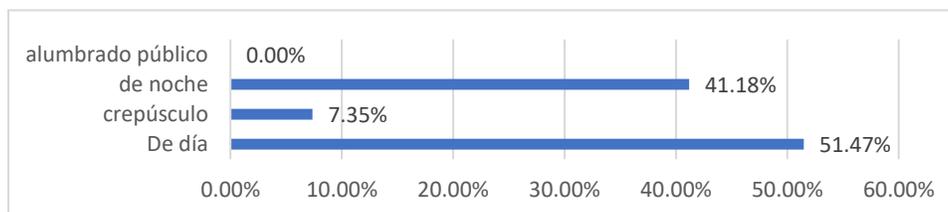
Figura 89. Distribución de las personas fallecidas a causa de siniestros viales por cada mes, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

Las condiciones de luz que prevalecían al momento en que ocurrieron los siniestros, se tiene el registro de que treinta y cinco fueron en el día, cinco durante el crepúsculo y veintiocho por la noche. En la figura 90 se puede observar que no existe una tendencia marcada en cuanto a la incidencia de la falta de buenas condiciones de luz en la ocurrencia de siniestros viales.

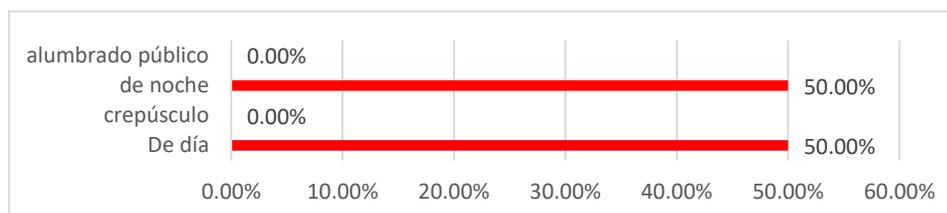
Figura 90. Distribución de los siniestros viales ocurridos ante diferentes condiciones de luz, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

Al analizar la figura 91, se observa que la cantidad de siniestros viales con víctimas mortales se distribuyen equitativamente, ya que se presentaron dos siniestros viales, tanto en el día como en la noche. Por lo que no se puede hablar de las condiciones de luz estén incidiendo.

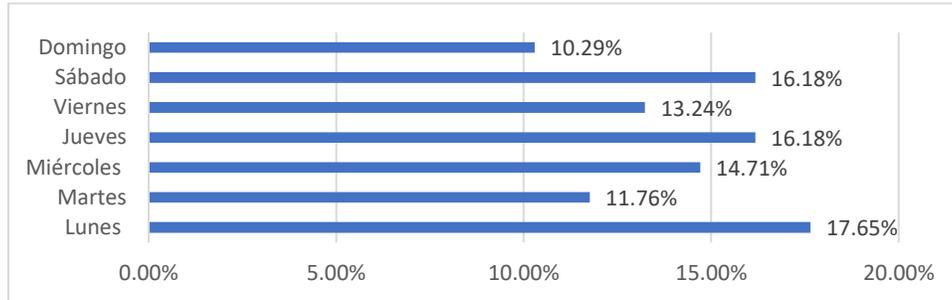
Figura 91. Distribución de los siniestros viales mortales ante diferentes condiciones de luz, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

Los lunes de 2021 registraron el mayor número de siniestros viales, presentándose doce, los jueves y sábados registraron once siniestros cada uno. Mientras que los domingos fue el día de la semana en el que se presentaron menos decesos con siete.

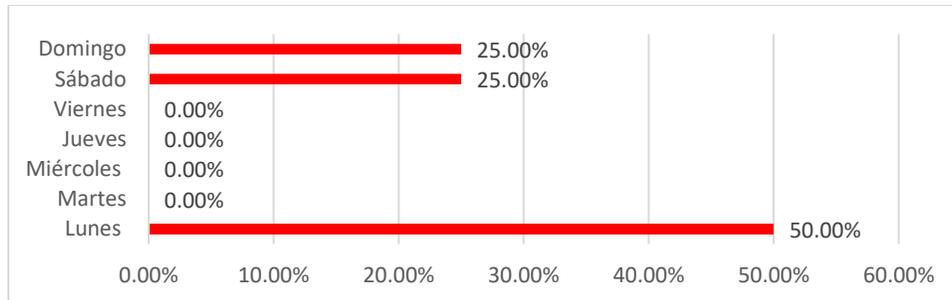
Figura 92. Distribución de los siniestros viales ocurridos en los días de la semana, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

Los lunes de 2021, además de registrar el mayor número de siniestros viales, también tienen el registro de ser el día de la semana que más siniestros mortales se presentaron con dos, completan el registro los sábados y domingos, ambos con un deceso registrado.

Figura 93. Distribución de los siniestros viales mortales ocurridos en los días de la semana, 2021.



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2022).

3.2 Aplicación de la Metodología de la SICT para detección de puntos y tramos de conflicto

Al aplicar la metodología de la SICT para la detección de puntos y tramos de conflicto (presentada en el capítulo dos), se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 18, correspondientes a la aplicación del criterio I, respectivamente. El análisis se realizó con la inclusión de los hechos de tránsito ocurridos en 2 años consecutivos y se incluyeron los datos de siniestros viales registrados a partir del año 2013 y hasta el 2021. Para la detección de tramos de conflicto, la revisión se hizo por tramos de 5, 10 y 15 km de longitud.

En los subperiodos 2019 – 2020 y 2020 – 2021, se localizaron tramos de conflicto consecutivos, es decir, para ambos subperiodos se tiene un tramo de conflicto de 10 km, para el caso del subperiodo 2019 – 2020 es del km 21+000 al 30+999 y el correspondiente al otro subperiodo es del km 15+000 al 25+999.

Tabla 18. Puntos y tramos de conflicto identificados mediante el criterio I de la metodología de la SICT.

Periodo	Metodología SICT, criterio I	
	Puntos de conflicto	Tramos de conflicto
2013 - 2014	Ninguno	15+000 – 29+999
		30+000 - 44+999
2014 - 2015	Ninguno	15+000 – 29+999
		30+000 - 44+999
2015 - 2016	Ninguno	0+000 – 9+999
		10+000 – 19+999
2016 - 2017	Ninguno	0+000 – 14+999
2017 – 2018	Ninguno	0+000 – 14+999
		30+000 - 44+999
2018 – 2019	Ninguno	10+000 – 19+999
		30+000 – 39+999
2019 – 2020	40+000 – 40+999	21+000 – 25+999
		26+000 – 30+999
		36+000 – 46+200
2020 – 2021	40+000 – 40+999	15+000 – 20+999
		21+000 – 25+999
		36+000 – 46+200

Además, como se puede observar en la tabla 18, se tiene un punto de conflicto recurrente en los periodos 2019 – 2020 y 2020 – 2021, ubicado en el km 40+000 – 40+999 (ver figura 94) y un tramo de conflicto recurrente para ambos periodos, el tramo 21+000 – 25+999.

Figura 94. Punto de conflicto del km 40+000 al 40+999 de los subperiodos: 2019 -2020 y 2020 -2021

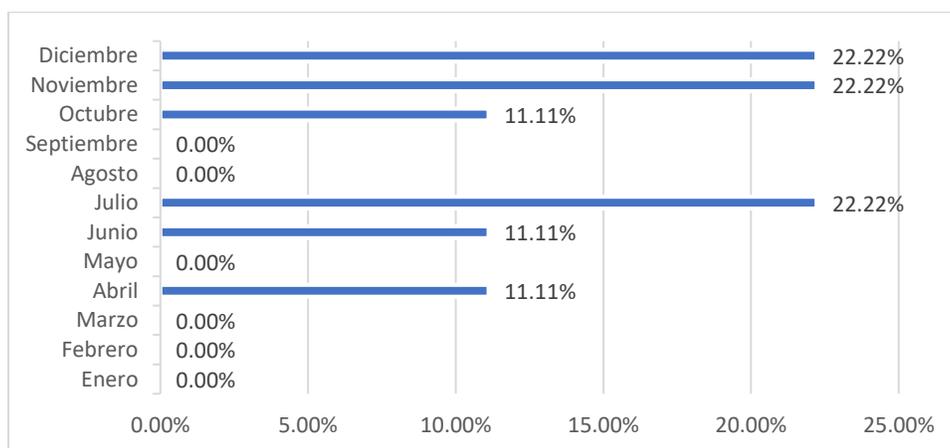


Fuente: Elaboración propia con datos de la plataforma SCTclouds (SICT, s/f)

3.3 Condiciones existentes en los puntos de conflicto identificados con la metodología de la SICT.

Al analizar el punto de conflicto 40+000 – 40+999, se tiene que se presentaron 9 siniestros viales, 1 herido y ningún deceso en el subperiodo 2019 - 2020, con la distribución porcentual mostrado en la figura 95, en la que se puede observar que los meses de julio, noviembre y diciembre acumulan el 66.66 % de los siniestros viales ocurridos en los dos años contemplados. Mientras que en 6 meses no se presentaron percances.

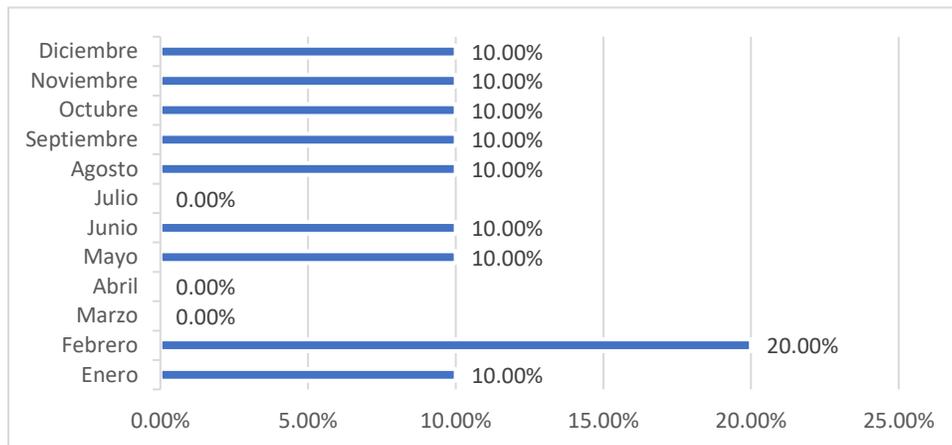
Figura 95. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por mes en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2019-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a, 2021b).

Para el subperiodo de 2020 – 2021, se identificó nuevamente al km 40+000 al 40+999 como punto de conflicto y se presentaron 10 siniestros viales, pero, en este caso sin víctimas mortales ni heridos, la ocurrencia de los siniestros viales se distribuyó porcentualmente como se indica en la figura 96.

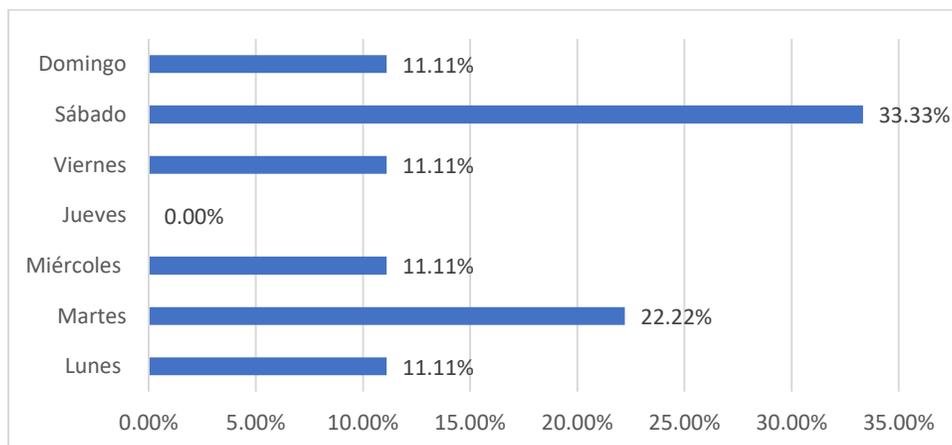
Figura 96. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por mes en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2020-2021



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a, 2021b).

En lo correspondiente a los días con mayor ocurrencia de siniestros viales en el punto de conflicto 40+000 al 40+999 durante el subperiodo 2019 – 2020, se tiene a los sábados (con 33.33%) y los martes (con 22.22%) como los días con mayor ocurrencia de siniestros viales. El porcentaje de la distribución de cada uno de los días se indica en la figura 97.

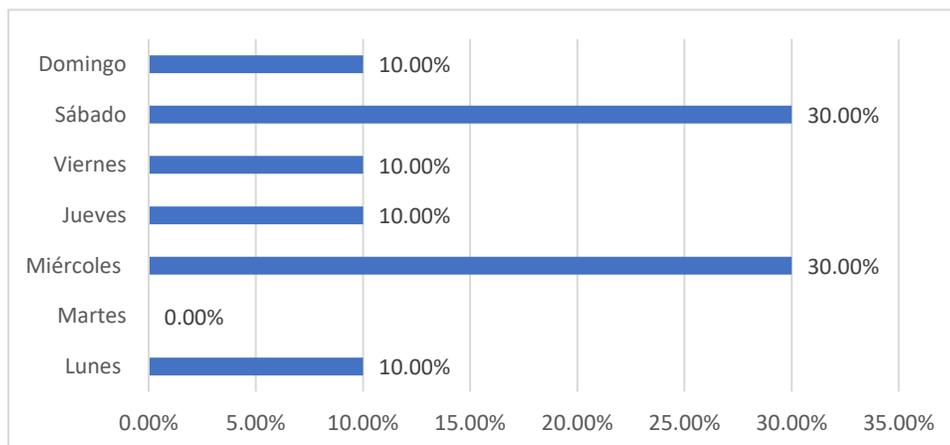
Figura 97. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por día en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2019-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a, 2021b).

En la figura 98, se puede observar que para el mismo punto de conflicto (40+000 – 40+999), pero del subperiodo 2020 – 2021, se vuelve a presentar que los sábados son los días con mayor ocurrencia de siniestros viales, pero, empatado en porcentaje con los miércoles con 30 %.

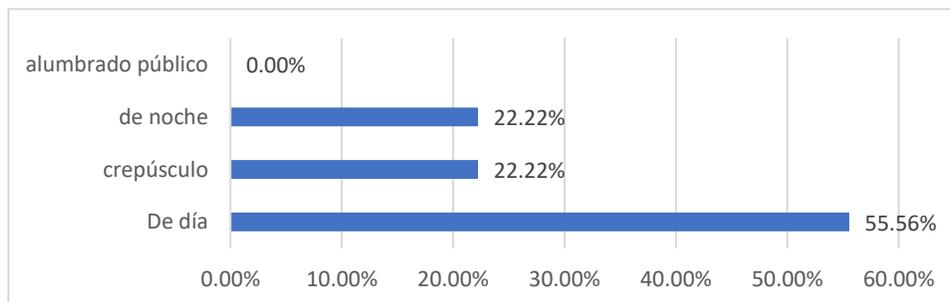
Figura 98. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos por día en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2020-2021



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a, 2021b).

Al revisar la incidencia de las condiciones de luz en la ocurrencia de siniestros viales en el punto de conflicto 40+000 – 40+999 del subperiodo 2019 – 2020, se identificaron las distribuciones porcentuales indicadas en la figura 99, en las que se puede observar que no existe una clara tendencia en la que se pueda asociar la ocurrencia de siniestros viales con la ausencia o poca iluminación natural, ya que en este caso el 55.56% de los siniestros viales ocurrieron durante el día.

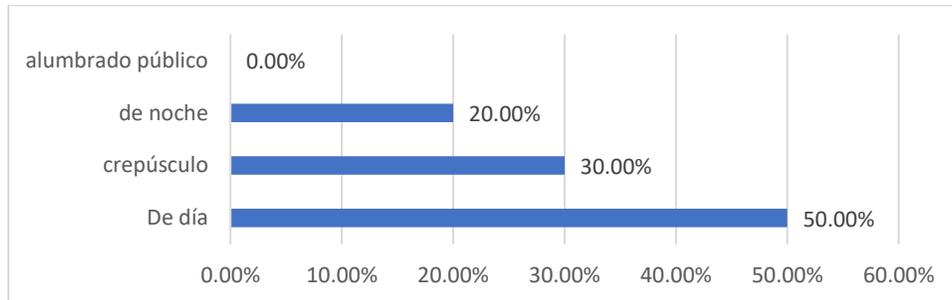
Figura 99. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos en diferentes condiciones de luz en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2019-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a, 2021b).

En la figura 100, se presentan las distribuciones porcentuales de la ocurrencia de siniestros viales en diferentes condiciones de luz del punto de conflicto 40+000 – 40+999 del subperiodo 2020 – 2021, a partir de la cual, se puede deducir que no existe una clara tendencia de asociación entre la ocurrencia de siniestros viales y la ausencia o poca iluminación natural, ya que en este caso el 50 % de los siniestros viales ocurrieron durante el día.

Figura 100. Distribución porcentual de siniestros viales ocurridos en diferentes condiciones de luz en el punto de conflicto 40+000 - 40+999, subperiodo 2020-2021



Fuente: Elaboración propia con datos de Cuevas Colunga et al. (2021a, 2021b).

Conclusiones

Al aplicar el criterio I de la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto, se tiene que para los subperiodos 2019 -2020 y 2020 -2021, se identificó como punto de conflicto del km 40+000 al 40+999, lo que podría dar indicios de que las condiciones físicas y del entorno son similares para ambos subperiodos y propician la ocurrencia de siniestros viales. Además, en todos los subperiodos se identificó por lo menos un tramo de conflicto y en los últimos dos subperiodos coinciden como tramos de conflicto el comprendido entre el km 21+000 y el 25+999 y el subtramo del punto 36+000 al 46+200.

Desde la perspectiva de los enfoques “sistema seguro” y del “visión cero de seguridad vial”, no se le puede considerar a la autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas como una vialidad “perdonadora”, ya que ante alguna falla mecánica o alguna circunstancia que haga que alguno de los conductores pierda el control del vehículo, no existe ningún tipo de faja o barrera separadora que impida la invasión de carril lo cual puede provocar la ocurrencia de impactos frontales entre vehículos, dicho tipo de hechos de tránsito a altas velocidades aumenta la probabilidad de lesiones severas y de decesos.

Se considera importante que exista la separación física de los sentidos de circulación, ya que todos los kilometrajes de la carretera fueron parte de alguno de los tramos de conflicto que se identificaron en los diferentes subperiodos analizados, se les identifica como subtramos con vulnerabilidad media al subtramo comprendido por el km 0+000 al 20+999 y al subtramo del 26+000 al 35+999.

Dado a que en los dos últimos subperiodos analizados coincidieron dos subtramos como tramos de conflicto, a estos se les considera con vulnerabilidad alta, excluyendo el subtramo de un kilómetro de longitud que fue identificado como punto de conflicto para este subperiodo. Esto se sustenta desde el punto de vista que las condiciones climáticas y del entorno son más cercanas a las que prevalecen actualmente, ya que corresponden a los años 2019 – 2021. Por lo que los subtramos del km 21+000 al 25+999, el del km 36+000 al 39+999 y el del km 41+000 al 46+200 se les identifica con vulnerabilidad alta.

Se le asignó vulnerabilidad muy alta al punto de conflicto del km 40+000 al 40+999, este fue el único punto de conflicto que se detectó al analizar a todos los subperiodos a partir de la aplicación de la Metodología de la SICT para la identificación de puntos y tramos de conflicto.

Además de que fue identificado como punto de conflicto en los subperiodos 2019 – 2020 y 2020 – 2021.

Al analizar la distribución porcentual de los siniestros viales ocurridos por mes en el punto de conflicto identificado, se observa que existe variación en cuanto a los meses con más ocurrencia de hechos de tránsito en el subperiodo 2019 – 2020, se tiene que en diciembre, noviembre y julio se presentaron más siniestros viales, mientras que para el subperiodo 2020 – 2021 fue febrero el mes con más siniestros viales.

En lo referente a la distribución porcentual de la ocurrencia de los hechos de tránsito en los días de la semana en el punto de conflicto, se tiene que en los subperiodos 2019 -2020 y 2020 -2021 los sábados son los días con más registros, aclarando que en el subperiodo 2020 – 2021 los sábados y miércoles tienen el mismo porcentaje de ocurrencia. El hecho de que en ambos subperiodos se presente alta ocurrencia en sábados, sugiere que se tendría que hacer un estudio analizando las conductas, hábitos y la compensación del riesgo de los conductores.

Con las distribuciones porcentuales se identificó que las condiciones de luz no han tenido mayor incidencia en el número de siniestros viales ocurridos, puesto que las distribuciones porcentuales entre los siniestros ocurrido en el día y de noche son muy similares en la mayoría de los casos. Para disminuir de manera significativa el número de personas con lesiones severas y de fallecimientos por la ocurrencia de siniestros viales, se tienen que realizar acciones en distintas vertientes, tales como:

- a) Incrementar el número de investigaciones realizadas en los aspectos relacionados con siniestralidad y seguridad vial sobre todo en los países de ingresos medios y bajos.
- b) A partir de los hallazgos de las investigaciones y de la práctica realizar las modificaciones pertinentes a 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) Mejoras en la ejecución de programas preventivos y de atención de lesionados.
- e) Mejoras en el registro de los siniestros viales, particularmente dándole seguimiento a las personas que resulten con lesiones severas y que eventualmente con el transcurrir del tiempo se tenga la probabilidad, de que fallezcan como consecuencia de los problemas de salud generados por algún hecho de tránsito, esto con el objetivo de no subestimar el número de defunciones provocadas por la ocurrencia de siniestros viales.

Bibliografía.

- Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. (2000). Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 32(5), 633–642. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00094-9)
- Aghajani, M. A., Dezfoulian, R. S., Arjroody, A. R., & Rezaei, M. (2017). Applying GIS to Identify the Spatial and Temporal Patterns of Road Accidents Using Spatial Statistics (case study: Ilam Province, Iran). *Transportation Research Procedia*, 25, 2131–2143. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.409>
- Alfonsi, R., Persia, L., Antonino, T., & Usami, D. S. (2016). ScienceDirect Advancements in road safety management analysis. *Transportation Research Procedia*, 14(14), 2064–2073. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.105>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos De Hidrología De Superficie*. (Limusa, Ed.).
- Aven, T., Ben-Haim, Y., Boje Andersen, H., Cox, T., López Droguett, E., Greenberg, M., Guikema, S., Kröger, W., Renn, O., Thompson, K. M., & Zio, E. (2018). *Society for Risk Analysis Glossary*. <https://www.sra.org/risk-analysis-introduction/risk-analysis-glossary/>
- Aziz, S., & Ram, S. (2022). A Meta-analysis of the methodologies practiced worldwide for the identification of Road Accident Black Spots. *Transportation Research Procedia*, 62, 790–797. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.098>
- Azparren Calvo, C. (2003). *Modelización de la accidentalidad según el tipo de carretera y su circulación*. [Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/275/1/04200301.pdf>
- Bassani, M., Rossetti, L., & Catani, L. (2020). Spatial analysis of road crashes involving vulnerable road users in support of road safety management strategies. *Transportation Research Procedia*, 45, 394–401. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2020.03.031>
- BID, B. I. de D. (2021). Accidente vs siniestro. En *Seguridad vial en América Latina y el Caribe: de la teoría a la acción*. https://www.edx.org/es/course/seguridad-vial-en-america-latina-y-el-caribe-de-la?index=spanish_product&queryID=2aa890a1dae85d74df906f257000f6cf&position=1&linked_from=autocomplete

- Bucsuházy, K., Matuchová, E., Zůvala, R., Moravcová, P., Kostíková, M., & Mikulec, R. (2020). Human factors contributing to the road traffic accident occurrence. *Transportation Research Procedia*, 45, 555–561. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2020.03.057>
- Cardona A., O. D. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo “Una crítica y una revisión necesaria para la Gestión”. *International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice*. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19852>
- Casado Sanz, N. (2020). *Análisis de la influencia de los factores territoriales y socioeconómicos, la movilidad y la infraestructura en la siniestralidad de las travesías españolas* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/64739/1/NATALIA_CASADO_SANZ_01.pdf
- Casanova Zavala, W. A., Galindo Aguilar, D., Sarmiento Castellanos, I., Abarca Pérez, E., & Mendoza Díaz, 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. En *Publicaciones Técnicas del IMT* (Número 645). Instituto Mexicano del Transporte.
- CEIEG. (s/f). *Geoweb Chiapas*. Geoweb Chiapas 3.0. Recuperado el 26 de septiembre de 2024, de <https://map.ceieg.chiapas.gob.mx/geoweb/>
- 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>
- Coronado Tordesillas, J. M., & Garmendia Antín, M. (2017). Carreteras - planeamiento. Algunas claves de la evolución histórica de una relación imperfecta. *Ciudades*, 11, 33–51. <https://revistas.uva.es/index.php/ciudades/article/view/1273>
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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. (2013). *Estadística accidentes de tránsito 2012, Chiapas*. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2012/07_CHIS_2012.pdf
- DGST. (2014a). *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad* (6a ed.). www.sct.gob.mx,
- DGST. (2018a). *Manual de Auditorías de Seguridad Vial*. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Auditoria_Seguridad_Vial/Manual_ASV.pdf
- DGST, D. G. de S. T. (2014b). *Estadística accidentes de tránsito 2013, Chiapas*. 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
- 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
- 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
- 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
- DGST, D. G. de S. T. (2018c). *Estadística accidentes de tránsito 2017, república mexicana*.
http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Estadistica_de_accidentes/Año_2017/RESUMEN_2017.pdf
- DGST, D. G. de S. T. (2018d). *Manual de proyecto Geométrico de Carreteras 2018* (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Ed.).
http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual-pg/MPGC_2018_310718.pdf
- Dorado, M. L., Mendoza Díaz, A., & Abarca Pérez, E. (2016). *Visión cero en seguridad vial: algunas oportunidades de implementación en México*.
<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt466.pdf>
- Dorado Pineda, M., Casanova, W., Cadengo, M., & Mendoza, A. (2018). *Recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes*.
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt522.pdf>
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures* (Segunda). Emerald.
- Escalante Euán, J. F. (2019). *Valoración del riesgo en un modelo multinivel de suministro* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173277/TJFEE1de1.pdf?sequence=1>

- Gallo Álvaro, P. M. (2014). *Construcción, Desarrollo y Propiedades Psicométricas de una Prueba Práctica de Evaluación de Conductores de Autobús* [Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=87326>
- García Benítez, M. (2018). *Vulnerabilidad urbana por ciclones tropicales en dos ciudades del estado de Yucatán* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/137644/TESIS%20DU%20MAGABE%20B.pdf%20Marcelino.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez González, N., Dorado Pineda, M. L., Abarca Pérez, E., & Mendoza Díaz, A. (2017). *Recomendaciones para mejorar la seguridad vial en sitios de conflicto a partir de microsimulación de tránsito*. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt489.pdf>
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*.
- González, E. de la P. (2015). *Diseño de un modelo para la identificación y análisis de tramos de carreteras sin accidentes: una nueva visión de la seguridad vial* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica De Madrid]. http://oa.upm.es/38774/1/Elena_de_la_Pena_Gonzalez.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, 105513. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2021.105513>
- Hernández Vázquez, L. E. (2024). *Análisis comparativo entre la Metodología de la SICT y la Estadística Espacial en la identificación de puntos de conflicto. Caso: Carretera Arriaga - Ocozocoautla*. [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Higuera Castro, E. M., & Pantevez Sanmiguel, H. S. (2018). Desarrollo del sistema de gestión de seguridad vial basado en los lineamientos de la NTC ISO 39001:2014, en el Centro de Enseñanza Automovilístico LA CUMBRE. *Repositorio institucional Universidad Libre*. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15894/articulo%20EH%20%26%20HSP.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- 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>

- Jerez Ramírez, D. O. (2015). Construcción Social del Riesgo de Desastres: La Teoría de Representaciones Sociales y el enfoque social en el estudio de problemáticas socio - ambientales. *20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México*. <http://ru.iiec.unam.mx/2810/1/Eje1-038-Jerez.pdf>
- Karlaftis, M. G., & Golias, I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis & Prevention*, *34*(3), 357–365. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00033-1)
- Karlaftis, M. G., & Tarko, A. P. (1998). Heterogeneity considerations in accident modeling. *Accident Analysis & Prevention*, *30*(4), 425–433. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00122-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00122-X)
- 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., & Nilsen, 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. *Highway Safety Analytics and Modeling*, 17–57. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816818-9.00010-X>
- Mannering, F. L., Shankar, V., & Bhat, C. R. (2016). Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. *Analytic Methods in Accident Research*, *11*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/J.AMAR.2016.04.001>
- 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>
- Mayoral, E., Contreras Zazueta, A., Chavarría Vega, J., & Mendoza Díaz, A. (2001). *Auditorias en seguridad carretera. Procedimientos y prácticas*. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt183.pdf>

- Mayoral, E., Cuevas, A., & Mendoza, A. (2019). *Perfil de la mortalidad causada por el tránsito*. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt554.pdf>
- Mendoza Díaz, A., Abarca Pérez, E., Mayoral Grajeda, E. F., & Quintero Pereda, F. L. (2004). *Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras*. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt244.pdf>
- 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>
- 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
- PIARC. (2019a). Método de evaluación de la seguridad vial basado en factores humanos. En *Comité técnico C.2 Diseño y operación de una infraestructura carretera más segura*. Asociación Mundial de Carreteras. <http://www.piarc.org>
- PIARC. (2021). 10. Riesgo e identificación de problemas. En *Manual de seguridad vial - A guide for practitioners* (Versión 2102).
- PIARC, A. M. de la C. (2019b). *La aplicación de políticas nacionales sobre el sistema seguro : un reto*. PIARC. <https://www.piarc.org/ressources/publications/12/8a46f2b-32318-2019R39ES-La-Aplicacion-de-Politicas-Nacionales-sobre-el-Sistema-Seguro-Un-Reto.pdf>
- 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>
- Rey, C. E., & Cardozo, O. D. (2009). La vulnerabilidad en la movilidad urbana teóricos y metodológicos. En *Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global* (pp. 397–425). Editorial Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste. <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/490>
- Rozo Verjel, E. J., & Pérez Fernández, B. J. (2021). Decálogo de seguridad vial para la disminución de riesgos en usuarios viales conductores de motocicleta, pertenecientes a una empresa colombiana. *Aibi, Revista de Investigación Administración e Ingenierías*, 9(2), 40–52. <https://doi.org/10.15649/2346030X.779>

- Ruiz Guadalajara, J. C. (2005). De la construcción social del riesgo a la manifestación del desastre. Reflexiones en torno al imperio de la vulnerabilidad. *Desacatos*, 19, 99–110. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13901907>
- 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>
- SCT. (2018). *Recorridos Virtuales*. <http://caminero.sctcloud.com.mx/consulta/BC-085-01?anio=2018>
- 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>
- SHGCh. (s/f-a). *Programa Regional de Desarrollo Región I Metropolitana*. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/Metropolitana.pdf>
- SHGCh. (s/f-b). *Programa Regional de desarrollo Región V Altos Tsotsil-Tseltal*. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/informacion/desarrollo-regional/prog-regionales/altos.pdf>
- SICT. (s/f). *Recorridos Virtuales*. Recuperado el 4 de noviembre de 2024, de <http://caminero.sctcloud.com.mx/>
- 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>
- SS, & 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
- Tobaruela Delgado, A. (2022). *Análisis de los accidentes de tráfico urbano con ArcGIS. El caso de Barcelona (Analysis of urban traffic accidents with ArcGIS. The case of Barcelona)* [Tesis

de Máster, Universidad Complutense Madrid].
<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/877ad9fd-bfa7-4698-b929-b0043104c7dd/content>

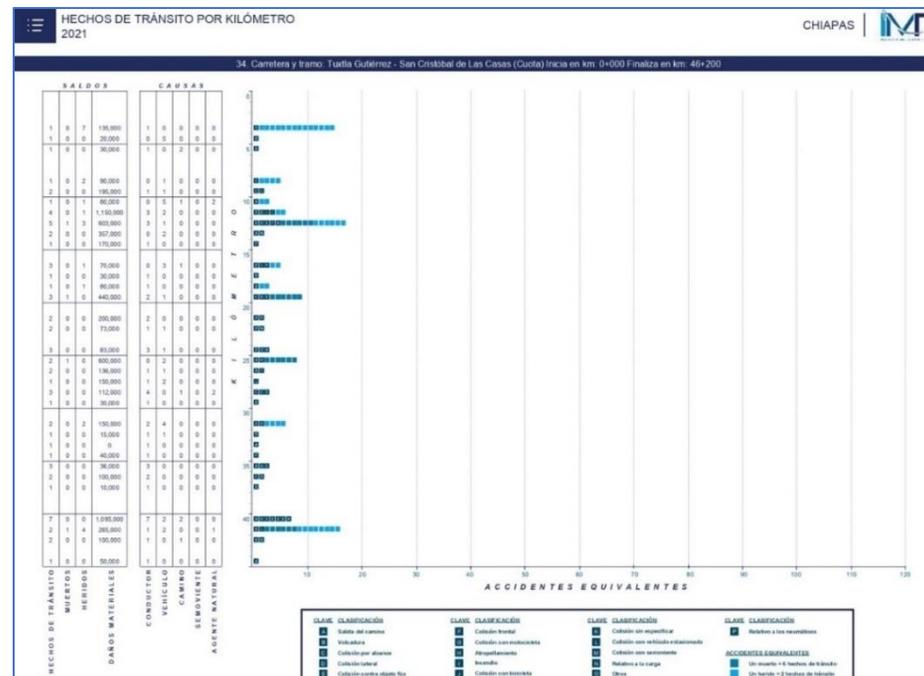
- Vaiana, R., Luele, T., Astarita, V., Festa D., C., Tassitani, A., Rogano, D., & Zaffino, C. (2014). Road Safety Performance Assessment: A New Road Network Risk Index for Info Mobility. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 624–633. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2014.01.096>
- Wang, 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>
- 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 and Security*, 13(6). <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. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202032501005>
- 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>

A. Anexos

A.1 Ejemplo de reporte “Hechos de tránsito por kilómetros”

A partir del 2018, estos reportes son difundidos anualmente por el Instituto Mexicano del Transporte en su reporte “Estadística de accidentes de tránsito”. Hechos de tránsito ocurridos en 2021 por kilómetro, del cadenamiento 0+000 al 44+000.

Figura 101. Hechos de tránsito ocurridos en 2021 por kilómetro, del cadenamiento km 0+000 al km 44+000

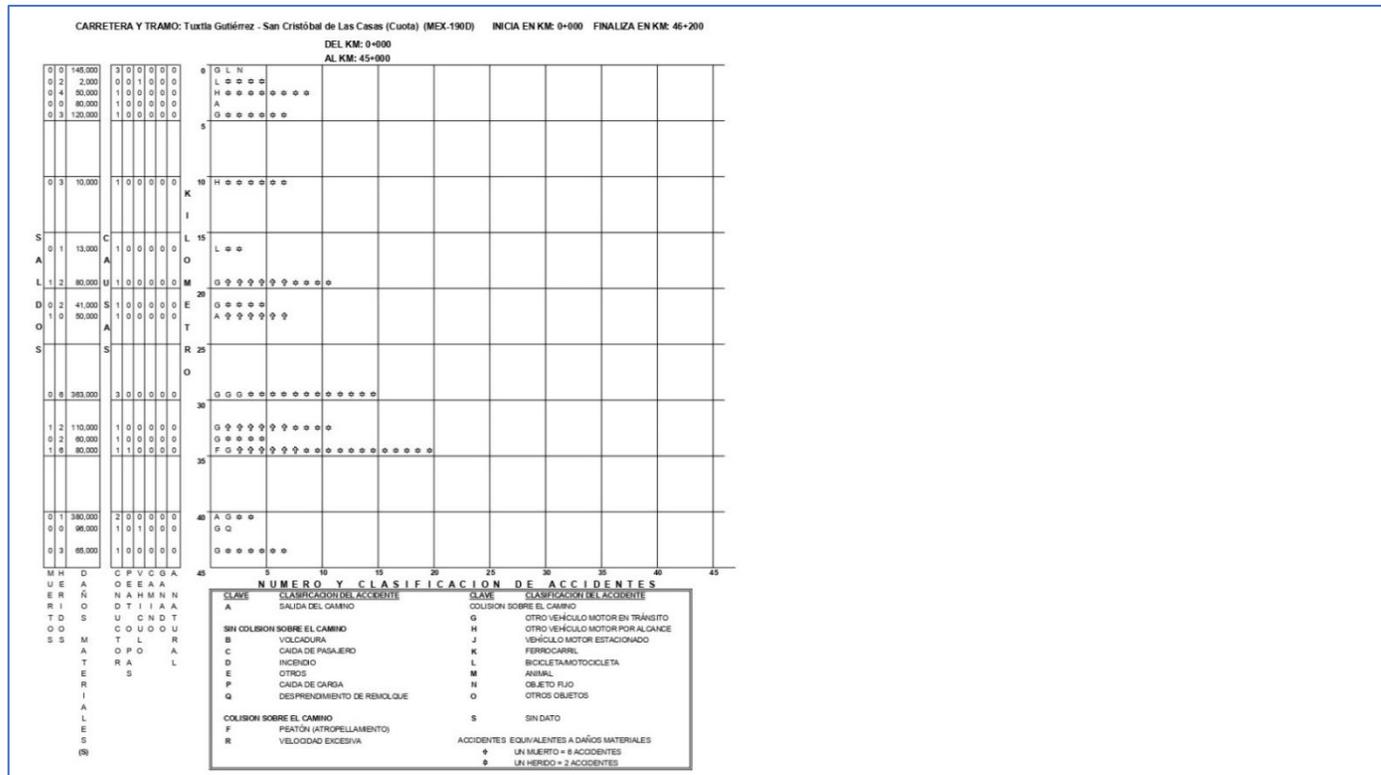


Nota. “Estadística de accidentes de tránsito, año 2021” (p. 418), por Cuevas Colunga et al., 2022.

A.2 Ejemplo de reporte “Accidentes de tránsito”

Del 2000 al partir al 2017, estos reportes fueron difundidos anualmente por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte en su reporte “Estadística de accidentes de tránsito”.

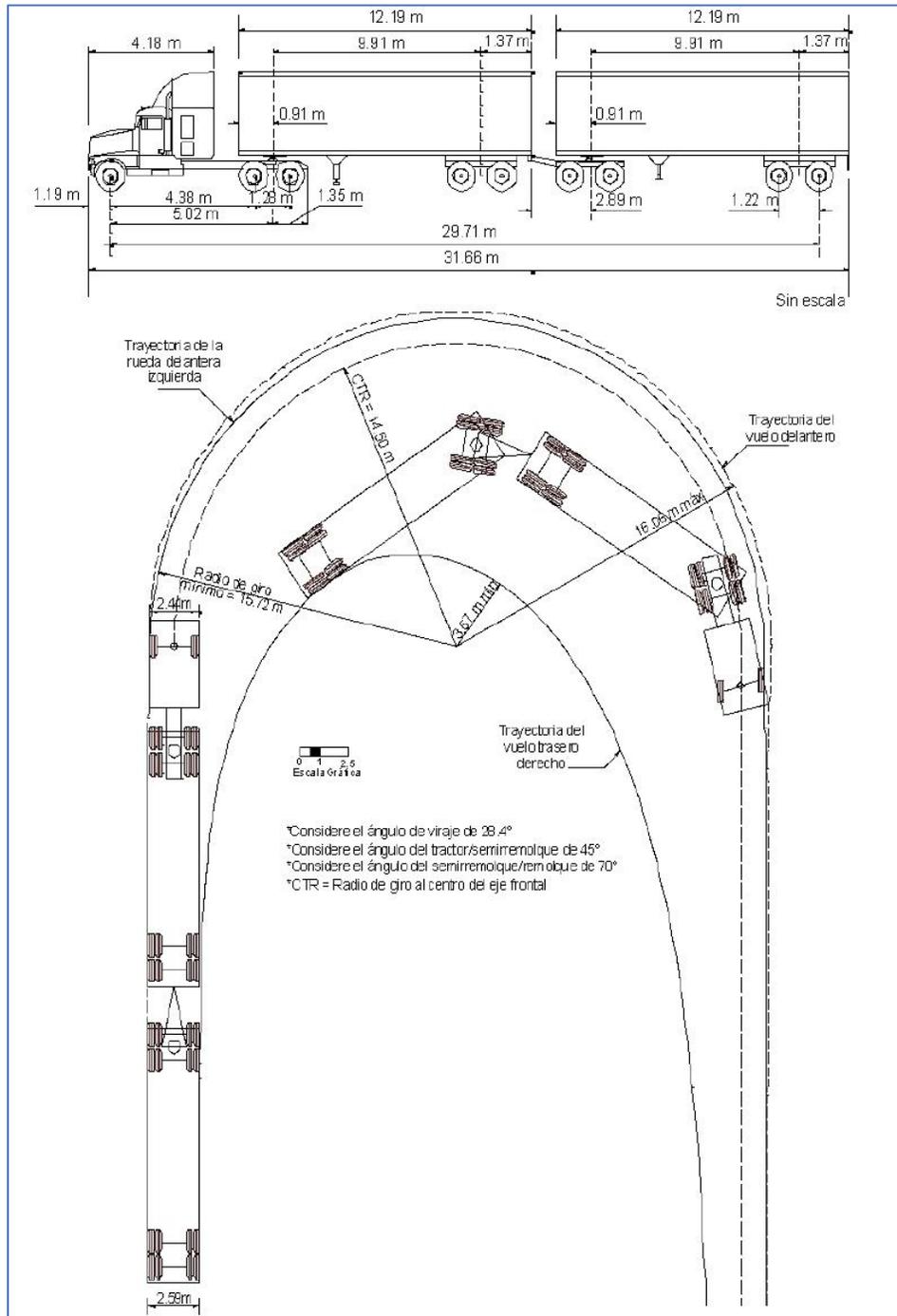
Figura 103. Hechos de tránsito ocurridos en 2017 por kilómetro, del cadenamiento 0+000 al 46+200.



Nota. De “Estadística accidentes de tránsito 2017, Chiapas” (p. 53), DGST, 2018b.

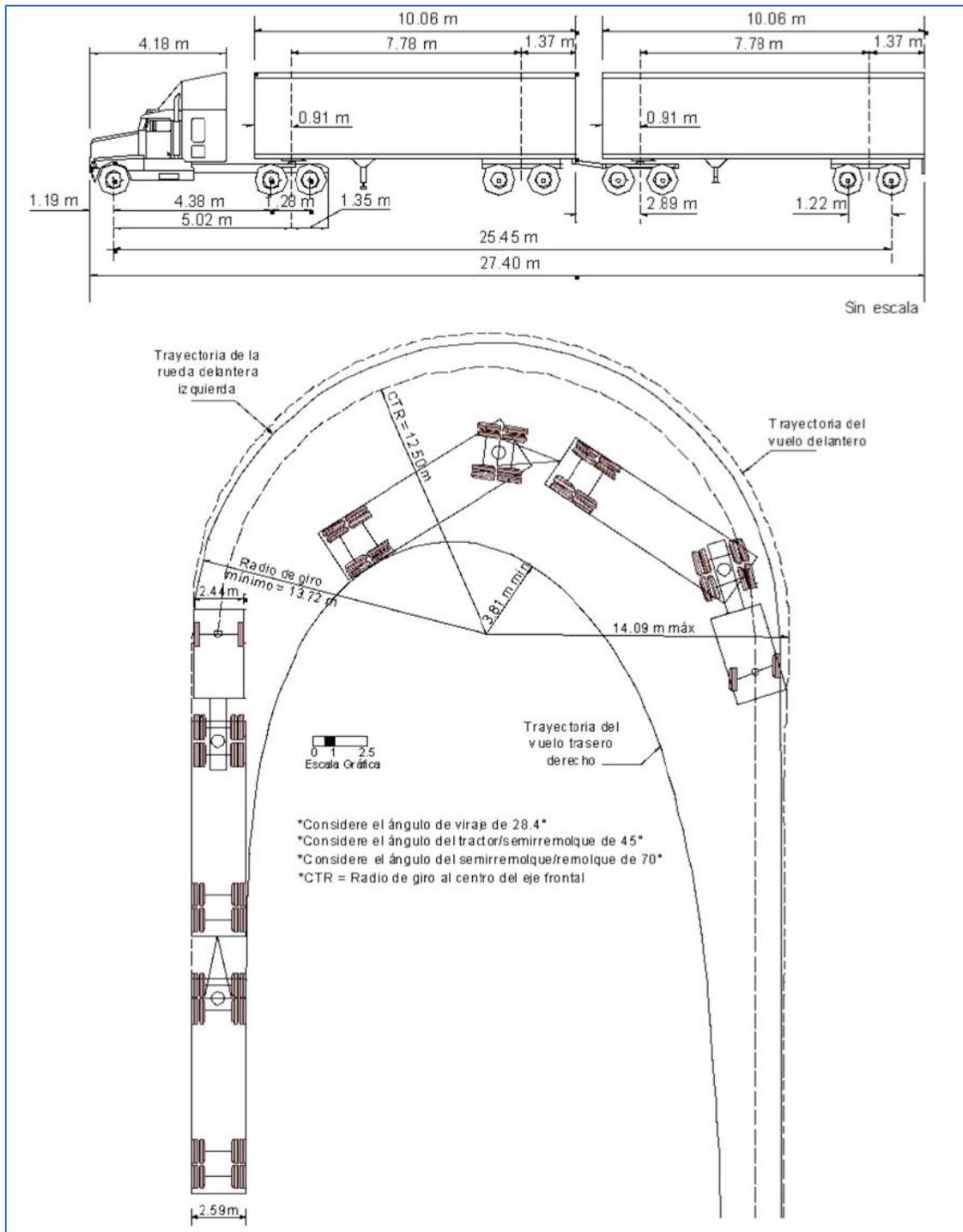
A.3 Ejemplos de trayectoria de giro de algunos vehículos de proyecto

Figura 104. Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-2970.



Nota. De "Manual de proyecto geométrico carretera 2018" (p. 101), por DGST, 2018d.

Figura 105. Dimensiones y trayectoria de giro del vehículo de proyecto DE-2545



Nota. De "Manual de proyecto geométrico carretera 2018" (p. 100), por DGST, 2018d.

La vulnerabilidad por siniestros viales

Leopoldo Emmanuel Hernández Vázquez^{[1]}*

Marcelino García Benítez^[2]

Emmanuel Díaz Nigenda^[3]

Mauricio José Ríos^[4]

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas



Ilustración *Ichan Tecolotl*