

Diseño y creación de una herramienta geotecnológica para el análisis de la accidentalidad vial en la Ciudad de Toluca, México, SIGESEV-TC

Design and creation of a geotechnological tool for the analysis of road accidents in the City of Toluca, Mexico, SIGESEV-TC

José Miguel Muñoz¹

Raquel Hinojosa²

Recibido 8 de agosto de 2022; aceptado 24 de septiembre de 2022

RESUMEN

Un sistema de información geográfica (SIG) es un instrumento elemental para la gestión de la seguridad vial. La implementación de metodologías que permita a las unidades de planificación estratégica mejorar, genera que el problema de accidentalidad vial que sufren las ciudades del mundo pueda ser reducido considerablemente a través del análisis de variables físicas, económicas, espaciales y sociales de las metrópolis. Por ello, en este artículo se utilizan herramientas geo informáticas de uso libre que apoyan en esta gestión. La revisión metodológica se materializa en el SIGESEV-TC: un portal geográfico, estadístico y de consulta para la gestión de la seguridad vial en Toluca, la capital del Estado de México, donde es posible almacenar, visualizar y gestionar geográfica y estadísticamente los accidentes de tránsito que han ocurrido en la ciudad. Este proyecto se convierte en el primer SIG de gestión en seguridad vial para la ciudad de Toluca.

Palabras clave: *SIG, seguridad vial, accidentes de tránsito, software libre, geotecnología.*

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, México, correo electrónico: jmunoz007@alumno.uaemex.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1819-7035>

² Universidad Autónoma del Estado de México, México, correo electrónico: rhinojosar@uaemex.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6511-0759>

ABSTRACT

A geographic information system (GIS) is an elementary tool for road safety management. The implementation of methodologies that allow strategic planning units to improve the road accident problem suffered by the world's cities can be considerably reduced through the analysis of physical, economic, spatial and social variables of the metropolis. For this reason, this article uses free geoinformatics tools that support this management. The methodological review is materialized in the SIGESEV-TC: a geographic, statistical and consulting portal for the management of road safety in Toluca, the capital of the State of Mexico, where it is possible to store, visualize and manage geographically and statistically the traffic accidents that have occurred in the city. This project becomes the first road safety management GIS for the city of Toluca.

Key words: *GIS, road safety, traffic accidents, free software, geotechnology.*

1. Introducción

Un sistema de transporte es un componente esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier región; incrementa las interconexiones de individuos para aumentar los beneficios en diversos sectores económicos; aporta las bases para la producción con la reducción de gastos, debido a que proporciona fácilmente la adquisición de materia prima, recursos financieros y mano de obra. A nivel social, se promueve la igualdad y el mejoramiento de las condiciones de vida de las personas, posibilitando la unificación de las urbes, generando movilidad y accesibilidad a mayor medida (Zaragoza & Islas, 2017).

Por encima de todas las ventajas que un sistema de transporte ofrece, también conlleva la existencia de dificultades o problemáticas, como los accidentes de tránsito, que pueden ocasionar lesiones, discapacidades, pérdidas económicas, daños socioemocionales y hasta la muerte. Cada año, los choques originados por el tránsito causan la muerte de aproximadamente 1.3 millones de personas y cuestan a la mayoría de los países 3% de su producto interno bruto (PIB); en los países de bajos ingresos se encuentra alrededor de 60% del parque vehicular mundial, pero se producen más de 93% de fallecimientos relacionados con accidentes de tránsito (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021). De acuerdo con las investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), México es el séptimo país a nivel mundial con muertes en carreteras y el tercero en Latinoamérica, con 22 muertes en personas de 15 a 29 años al día y 24 mil fallecimientos en promedio al año; según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), esto genera que 40 mil personas resulten con discapacidad de por vida y más de 750 mil queden gravemente heridas. Debido a este problema de salud pública, el estudio de siniestralidad vial dentro de la administración y planeación de seguridad vial en un departamento de tránsito y movilidad se convierte en una prioridad, con el objetivo de mitigar y prevenir las múltiples muertes y pérdidas económicas que genera un accidente de tránsito (INSP, 2020).

Diversas organizaciones y centros de investigación en el mundo han dedicado sus esfuerzos a estudiar la gestión de seguridad vial a nivel mundial, para implementar metodologías que ayuden a la prevención y reducción de muertes y lesiones que genera un accidente de tránsito. La Norma Internacional ISO 39001, Sistemas de Gestión de la Seguridad Vial, Requisitos y Recomendaciones de Buenas Prácticas afirma que la seguridad vial es un tema de inquietud a nivel mundial, debido a las múltiples muertes que genera un accidente de tránsito. De ahí que esta norma permita a las entidades gubernamentales reducir, prevenir y eliminar la ocurrencia y riesgo de las muertes y heridas en un accidente de tránsito; además, plantea llevar a cabo acciones para tratar los riesgos y oportunidades que aseguran el sistema de seguridad vial, donde se deben de reconocer los factores de desempeño, con el fin de tener información documentada para crear y actualizar los datos de accidentalidad vial, y preservar y disponer con total rigurosidad (ISO, 2012).

La investigación de siniestralidad vial es objeto de análisis en el mundo desde hace más de 20 años. En 2016, Sergio Galán, Elia Quirós y Pedro Rodríguez analizaron las posibles aplicaciones de los sistemas de información geográfica en las carreteras de la comunidad autónoma española de Extremadura con mayor siniestralidad; georreferenciaron los accidentes viales entre 2010 y 2015; relacionaron los eventos con otros tipos de variables visuales que permiten múltiples análisis para el mejoramiento de la seguridad vial en la región, por medio de la generación de mapas de siniestralidad vial, mapa de intensidad media diaria de tráfico, mapa de pendientes-siniestralidad y mapa de IMD-siniestralidad-población. El estudio concluye que junto a la georreferenciación de la accidentalidad y los SIG es posible realizar todo tipo de relaciones para lograr el estudio desde múltiples puntos de vista (Nieto Masot *et al.*, 2016).

En la ciudad de Bogotá D. C. se cuenta con el Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana Regional (Simur), el cual facilita la comunicación y el intercambio de información entre los peatones, ciclistas, pasajeros y conductores con los componentes de la movilidad (infraestructura, vehículos y empresas). En este sistema es posible visualizar gráficas y mapas de rutas para automóviles, transporte público y conveniente, calidad de servicio y seguridad. Esta herramienta cuenta con un apartado de seguridad vial, donde se encuentra un visor en tiempo real, que se complementa con la plataforma Waze para presentar los accidentes que están ocurriendo en la capital colombiana (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2021).

En la ciudad de Medellín existe GeoMedellín- Portal Geográfico del Municipio de Medellín, el cual contiene información de seguridad vial y desarrolla siete temas: salud y seguridad; ordenamiento territorial; movilidad; medio ambiente y hábitat; infraestructura y catastro; educación, cultura y recreación, y desarrollo económico y población. También se encuentran disponibles datos abiertos de fácil descarga, con el uso de los visores geográficos. En materia de seguridad vial, se cuenta con la sección titulada "Caracterización de los incidentes viales

desde el año 2014”, que detalla de manera precisa y eficaz —por medio de tres tableros de control— la información concerniente a los accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad, a través de variables como el número de accidentes, de muertos o heridos, gravedad, condición y caracterización de las víctimas, y fecha del suceso (Alcaldía de Medellín, 2021).

En Brasil, Denise Martins Chagas, de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, propone “Herramientas para el reconocimiento de los factores que causan los accidentes de tráfico: estudio de caso en Brasil” (2014), en el que detalla una forma idónea para la captura de datos, con el objetivo de unificar y relacionar los elementos que interactúan con un accidente de tránsito. Se describe una normalización en la recolección y tratamiento de datos estadísticos que genera la posibilidad de crear mapas de localización de reincidencia en accidentalidad vial, para identificar los “puntos críticos” e implementar medidas para disminuir la siniestralidad en distintas zonas. Los formularios propuestos fueron usados por BHTRANS, agencia responsable de tránsito en la ciudad de Belo Horizonte, Brasil (Chagas, 2014).

En Ciudad de México, en 2007, el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través de Geotecnología en Infraestructura, Transporte y Sustentabilidad (GITS), genera el “Sistema de Información Geográfica para la atención y prevención de accidentes de tránsito en el Distrito Federal”, que consiste en el diseño y construcción de un SIG de escritorio que integra datos e información entre 2005 y 2007, para el diagnóstico de la seguridad vial en Ciudad de México. Cuenta con ocho líneas de análisis: información básica; marco físico geográfico; marco social; marco económico; proyectos viales; series de accidentalidad municipal; diagnóstico de accidentes de tránsito a escala de intersección vial, y modelos para el análisis espacial de los accidentes. Es uno de los primeros SIG desarrollados para el estudio de la accidentalidad vial en Latinoamérica (GITS, 2020). La unidad GITS cuenta con la línea de investigación en la geografía de la seguridad vial, con enfoques territoriales de múltiples factores y temporalidad para lograr solucionar la problemática de estudio, con el objetivo de mejorar la movilidad en las vías terrestres de México y así evitar pérdidas económicas y humanas que generan los accidentes de tránsito. GITS ha desarrollado las siguientes investigaciones en materia de seguridad vial: diagnóstico de los accidentes de tránsito en el Distrito Federal, 2007; diagnóstico de los accidentes de tránsito en cuatro Zonas Metropolitanas de México, 2008; sistema de información para la atención y prevención de accidentes de tránsito en el Distrito Federal, y Diagnóstico espacial de accidentes de tránsito en el municipio de León Guanajuato 2010-2013 (GITS, 2020). Dichos estudios ponen en evidencia la pertinencia trascendental de sistemas integrados para el manejo de datos de siniestros viales en las urbes, con la finalidad de mejorar la seguridad vial.

Los datos y la información que generan los accidentes de tránsito son registros espaciales, que puntualmente detallan la posición y la información

externa e interna que caracteriza un siniestro vial. Con el objetivo de conservar y actualizar los datos, para planear, gestionar e implementar medidas de aseguramiento y prevención de cualquier problemática en una ciudad, se crearon los sistemas de información geográfica, que, junto con la aplicación de herramientas geotecnológicas, se convierten en poderosos instrumentos para la gestión de la información. Las virtudes atribuidas al transporte por la utilización de los SIG, se vinculan con tres funciones fundamentales: análisis geográfico de la información, despliegue y representación espacial de la misma, e integración de los datos. De esta manera, la particularidad unificadora —vinculada al acopio de información originaria de múltiples fuentes (mapas, documentos, registro automatizado, sensores remotos, etcétera)— facilita la conexión entre series de datos distintas tanto locacionales y temporales, lo cual permite relacionar y estudiar la información determinada en el sector transporte con otra de carácter alterno (social, medioambiental, económica, etcétera), para analizar sus demostraciones territoriales (Backhoff Pohls & Vázquez Paulino, 2002).

El proceso de gestión de la seguridad vial es un aspecto que cada organización encargada de la movilidad de una ciudad debe estudiar exhaustivamente, con el fin de lograr disminuir las pérdidas humanas y económicas que un accidente o siniestro vial produce. Según esto, la ciudad de Toluca, no cuenta con un sistema sólido e integrado para la gestión de la seguridad vial, por lo que los datos que captura la dirección de movilidad no se encuentran en una base de datos robusta, y tampoco se realiza el debido análisis de la información en algún sistema tecnológico (Galicia, 2021). Por ello, en el presente artículo se revisan las metodologías y sistemas geográficos que diversas metrópolis utilizan para la gestión de su seguridad vial, con el objetivo de establecer un conjunto de herramientas geotecnológicas útiles para analizar y visualizar los índices de accidentalidad vial, y de este modo, construir un sistema geográfico, de captura y de almacenamiento de datos, que sirva como mecanismo para la toma de decisiones en la entidad gubernamental correspondiente, para mitigar y prevenir los siniestros viales de la capital del Estado de México, lo que permitirá analizar geográfica y estadísticamente los accidentes viales de los últimos 20 años, para que con esto se pueda estudiar localmente la problemática vial que tiene la ciudad en sus aspectos territoriales, sociales y de infraestructura.

2. Materiales y Métodos

2.1 Zona de estudio

La capital del Estado de México es la ciudad de Toluca de Lerdo. Ésta se encuentra a 40 km al oeste de la Ciudad de México, con un área total de 420 km². A nivel territorial, el municipio cuenta con 85 circunscripciones territoriales divididas en 47 delegaciones, 38 subdelegaciones y 280 unidades territoriales (Figura 1). Forma parte de la quinta zona metropolitana más importante de la República

mexicana y está incluida dentro de las 364 ciudades del Sistema Nacional Urbano.

En las últimas décadas, Toluca ha vivido un acelerado proceso de metropolización. Su configuración como área metropolitana se inició a partir de los años sesenta gracias a la industrialización del corredor Toluca-Lerma, lo que originó cambios de suprema importancia en las actividades económicas y sociales de la ciudad y, por ende, produjo que municipios vecinos se incorporaran al desarrollo socioeconómico de la creciente metrópolis (Hinojosa, 2017). Para 2020, la población en Toluca es aproximadamente de 910 608 habitantes (51.8% mujeres y 48.2% hombres). En los Estados Unidos Mexicanos existen áreas y zonas productoras, donde se localizan los parques industriales —caracterizados por operar de manera óptima—, las empresas de manufactura y logística. En 2020, Toluca registró ocho parques industriales con Servicios de Alojamiento Temporal y de Preparación de Alimentos y Bebidas (5.167%), comercio al por menor (22.029%), otros servicios excepto actividades gubernamentales (6.865%). Por esta razón, la capital del Estado de México es una de las zonas industriales más importantes del país (SE y Datawheel, 2020).

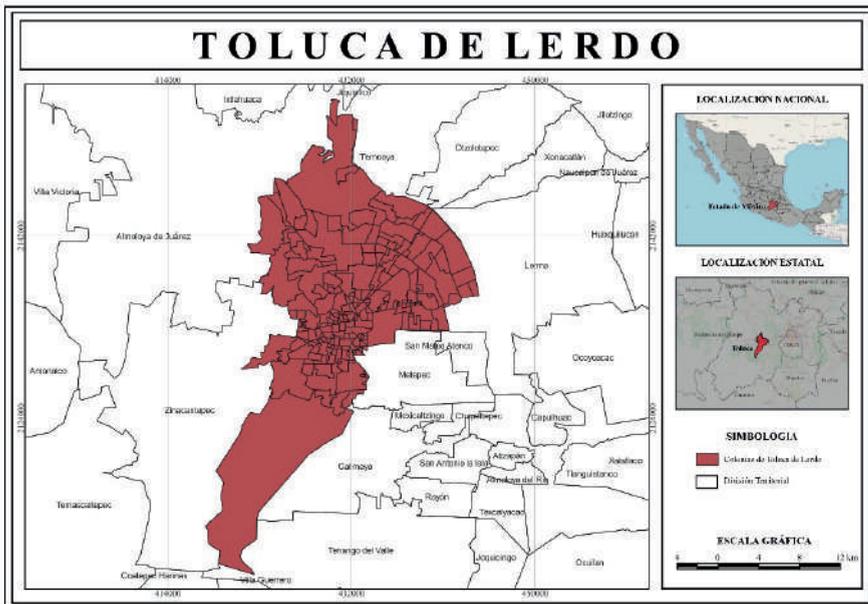


Figura 1. Municipio de Toluca.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020).

2.2 Datos espaciales

La adquisición de datos es el área primordial para la construcción de una herramienta geotecnológica. Para el presente proyecto, la principal fuente de suministro de información es la del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Las capas espaciales y bases de datos son las más actualizadas y están reproyectadas al sistema WGS84/UTM ZONA 14N y fueron tratadas con herramientas de geoprosesamiento que permiten cortar, disolver, delimitar o unir capas geográficas, según la necesidad de la investigación. Se determinaron los factores que relacionan un accidente de tránsito, pues con el análisis del entorno físico es posible reconocer si el accidente fue generado por la precaria red vial, por la falta de señalización o por objetos que interrumpen el flujo libre de los vehículos. Otro factor importante son las consecuencias que provoca un accidente vial, en un espacio determinado que relaciona áreas socioeconómicas que se pueden ver perjudicadas por un siniestro vial. También, con información poblacional se pueden conocer las tasas de vulnerabilidad demográfica. En la Tabla 1 se visualizan las capas geográficas estrechamente relacionadas con un accidente de tránsito, para identificar su causa o reconocer los elementos espaciales que lo relacionan: accidentalidad vial; infraestructura vial y de transporte; unidades territoriales; demografía y población; topografía, e infraestructura urbana. En esta tabla también se aprecia la fuente de los datos y el grupo al que pertenecen dentro del sistema.

Tabla 1. Capas geográficas que componen SIGESEV-TC

<i>Capas geográficas SIGESEV-TC</i>			
<i>Grupo</i>	<i>Capas geográficas</i>	<i>Fuente</i>	<i>Año</i>
1	Accidentalidad vial	Dirección de seguridad vial y de tránsito de la ciudad de Toluca	2000-2019
2	Infraestructura vial y transporte	Red vial	Instituto Mexicano del Transporte
		Restricción peatonal o vehicular	INEGI
		Pasos a desnivel	INEGI
		Vía férrea	INEGI
		Caminos	INEGI
		Glorietas	INEGI
		Puentes	INEGI

<i>Capas geográficas SIGESEV-TC</i>				
<i>Grupo</i>	<i>Capas geográficas</i>	<i>Fuente</i>	<i>Año</i>	
3	Unidades territoriales	Ageb urbana	INEGI	2020
		Ageb rural	INEGI	2020
		Códigos postales	INEGI	2020
		Colonias	INEGI	2021
		Localidades	INEGI	2020
		Manzanas	INEGI	2020
		Usos del suelo	INEGI	2020
4	Demografía y población	Población	INEGI	2020
5	Topografía	Curvas de nivel	CEM	2020
		Pendientes	CEM con procesamiento propio	2020
		Mapa de sombras	CEM con procesamiento propio	2020
6	Infraestructura urbana	Estaciones de policía	Google Maps	2021
		Cementerios	SIPAT	2006
		Venta de alcohol	Google Maps	2021
		Bases de taxis	SIPAT	2006
		Bancos	SIPAT	2006
		Iglesias	SIPAT	2006
		Hospitales	SIPAT	2006
		Estacionamientos	SIPAT	2006
		Escuelas	SIPAT	2006
		Centros comerciales	SIPAT	2006
		Parquímetros	SIPAT	2006
		Mercados	SIPAT	2006
		Áreas de importancia	INEGI	2020
Corrientes de agua	INEGI	2020		

Fuente: elaboración propia.

2.3 Construcción metodológica

Para la construcción, implementación y diseño del Sistema Integrado de Información Geográfica en Seguridad Vial de la ciudad de Toluca (SIGESEV-TC) es necesario determinar los elementos que se deben considerar para que sea un sistema capaz de gestionar la seguridad vial en una ciudad de manera óptima. Para ello, se realiza una revisión literaria exhaustiva que define los componentes necesarios para la creación de un sistema completo para el estudio de la accidentalidad en una urbe geográfica. En primera medida se tiene la captura, revisión y almacenamiento de datos que, según Denise Martins Chagas (2014), se deben capturar cuando sucede un accidente de tránsito, al igual que la estandarización en su revisión y almacenamiento en una base de datos lo suficientemente robusta y consolidada.

La segunda y tercera parte se determinan por la visualización geográfica y la visualización estadística, elementos que comparte la mayoría de sistemas de gestión en seguridad vial, como el Sistema de Información Geográfica para la atención y prevención de accidentes de tránsito en el Distrito Federal (GITS, 2020), el Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana Regional (SIMUR), de Bogotá D. C. (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2021) y GeoMedellín-Portal Geográfico del Municipio de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2021).

El cuarto componente es el sistema de consulta. Emmanuel Galicia, junto con la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), realiza el proyecto denominado "Prototipo de sistema de consulta de accidentes viales para los tomadores de decisiones orientados a la seguridad vial en el ayuntamiento del municipio de Toluca, Estado de México", a través del cual propone un prototipo de consulta de accidentes viales ocurridos entre 2017 y 2019, y está dirigido al departamento de tránsito vial del municipio de Toluca. En este sistema es posible capturar información espacial y características de los sucesos ocurridos, para lograr la integración, almacenamiento y manipulación de los datos espaciales en PostgreSQL, donde se obtiene una herramienta capaz de integrar la información de manera estandarizada, clasificada y categorizada (Galicia, 2021).

Según la anterior revisión de sistemas tecnológicos que grandes ciudades de latinoamérica implementan para la gestión de su seguridad vial, no se determina cual es el mejor debido a que cada una de ellas tienen características específicas que hace un sistema único y particular, por lo que de acuerdo a los objetivos del presente estudio, se definen las cuatro áreas que en común y de suma importancia tienen los sistemas estudiados para la debida gestión de la seguridad vial en una ciudad: (1) Captura, revisión y almacenamiento de datos, (2) visualización geográfica, (3) visualización estadística y (4) sistema de consulta, con la característica fundamental de usar *software libre*, por la autonomía y libertad en la construcción de los componentes del sistema. A continuación se detallan estas áreas de estudio en el desarrollo y creación del Sistema Integrado de Información Geográfica en Seguridad Vial de la Ciudad de Toluca, SIGESEV-TC.

2.3.1 Uso de software libre

El término *software libre* se refiere a la autonomía que tienen los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el *software*. Está determinado por cuatro clases de libertad: libertad de operar el programa sea cual sea el propósito; libertad para estudiar el funcionamiento del programa para adaptarlo a las necesidades del usuario; libertad de redistribuir copias para cooperar en la ayuda a terceros, y libertad para mejorar el programa y compartir los resultados obtenidos. Lo anterior se realiza debido al acceso que el usuario tiene con el código fuente del programa, por lo que se convierte en la herramienta fundamental para lograr manipular el software de manera adecuada (Stallman, 2015).

Al considerar el software libre se detalla que existe la posibilidad de usar un programa sin tener que costear la copia. Los usuarios del *software* libre tienen la libertad de distribuirlo, estudiarlo, modificarlo, ejecutarlo y mejorarlo, con base en una política denominada GNU, que establece los tipos de licencia según los requerimientos que necesita el usuario (Rodríguez-Dueñas, 2014; Stallman, 2015).

Para la presente investigación y elaboración del SIGESEV-TC, se utiliza el *software* libre, por sus múltiples ventajas.

2.4 Captura, revisión y almacenamiento de datos

Los accidentes de tránsito ocurren en un espacio determinado de la vialidad de una ciudad, por lo que tienen la connotación geoespacial, es decir, se caracterizan por ser entidades espacio-temporales que contienen: posición relativa: frente a otros elementos del entorno; posición absoluta: sobre un sistema de coordenadas (x, y, z); atributos que lo describen: características del elemento o fenómeno, y figura geométrica que lo representa: punto, línea, polígono (López & Torres, 2015). Estas características permiten considerar los aspectos de calidad que rigen los datos geoespaciales en términos de accesibilidad, integridad, precisión, actualidad y consistencia. Las entidades que suministran la información geoespacial son las encargadas de velar por la calidad y transparencia de los datos que se comparten, y deben cumplir al menos con los estándares establecidos en la ISO 19157 (ISO, 2013) o con los que rige cada organización.

A nivel local, es primordial determinar la información que se va a capturar en un accidente de tránsito según las necesidades de la entidad gubernamental. En la captura de datos se deben considerar cuatro áreas básicas: información espacio-tiempo del accidente, información de los vehículos involucrados, información de las personas involucradas y descripción del accidente (Chagas, 2014). Para llevar a cabo esta tarea se requiere de un equipo especializado; por ejemplo, la elaboración de un formulario debidamente estructurado y legible para cualquier persona que lo va a utilizar en una aplicación móvil. Ésta es una

herramienta diseñada para desarrollar una función específica en una plataforma concreta: móvil, tablet, tv o pc, y proporciona nuevas formas de comunicación e interacción para la obtención de información (Briz-Ponce *et al.*, 2015). Además, permite integrar el formulario que *a priori* se realizó de forma manual, pero con la diferencia de que la app seleccionada pueda capturar coordenadas en tiempo real, ya sea *online* u *offline*, y así conocer las coordenadas geográficas del lugar. Algunas de las aplicaciones gratuitas útiles para cumplir con este objetivo son gvSIG Mobile, KoboToolBox, Open Data Kit (ODK), CartoDruid y Qgis, con la extensión de QField. Para el presente sistema se usa KoboToolBox, pues permite la edición del formulario con XLSForm o diseñar un formulario de manera estructural, que sea capaz de capturar la información del accidente de tránsito y los elementos que interactúan con éste, es decir, víctimas, vehículos y contexto espacial de manera relacional.

Después de que los datos son capturados, descargados, revisados, depurados y organizados hay que almacenarlos en un sistema gestor de bases de datos (SGBD), que cumple tres requisitos básicos: no redundancia: datos almacenados una sola vez; independencia: los datos se organizan de una manera estructurada, y concurrencia: varios usuarios pueden acceder simultáneamente a los datos (RIPOLL, 2008). El modelo más utilizado es la base de datos relacional, el cual consiste en un conjunto de tablas formadas por filas (registros) y columnas (campos), y comparten algún campo entre ellas, que sirve para establecer relaciones y generar consultas complejas (Alonso Sarria, 2014). Algunos de los softwares libres de SGBD son: PostgreSQL, MySQL y SQLite. En este proyecto se usa PostgreSQL, por su robustez, confiabilidad y rendimiento.

Luego de conocer la forma de captura de datos y su estructura en un SGBD, los datos se convierten en información y conocimiento por medio de la visualización geográfica y estadística, y así se estudian los patrones de ocurrencia de la siniestralidad vial de la ciudad.

2.5 Visualización geográfica

El desarrollo de las tecnologías de la información tiene una importante influencia en la cartografía, contribuyen al surgimiento de modelos de comunicación geográfica de nuevo aprendizaje. La visualización geográfica es uno de los paradigmas que, con el uso de nuevas tecnologías, amplían la importancia de los mapas como herramienta poderosa de comprensión de los fenómenos espaciales (Bosque Sendra & Zamora Ludovic, 2002). La parte fundamental de la visualización geográfica es el aplicativo cliente-servidor que hace posible navegar sobre datos continuos y tridimensionales del territorio, para realizar consultas y explotación de los datos espaciales (Galileo Ingeniería y Servicios, 2011). La representación de un análisis en un espacio SIG, las bases de datos de calidad y el estudio de indicadores conllevan al reconocimiento de modelos territoriales, socioeconómicos y geodemográficos, que no son identificables fácilmente con información estadística; de ahí la importancia de representar

la información espacial para la gestión urbana y territorial. Utilizar variables geográficas adecuadas ayuda a transmitir e identificar con éxito la problemática de estudio en un espacio determinado (Postigo *et al.*, 2013).

Trabajar con herramientas geográficas que propician el desarrollo de nuevas iniciativas, ideas y proyectos, para la evaluación de relaciones en los protagonistas de un sistema urbano, hace que a través de un geovisualizador, junto a variables socioeconómicas y ambientales, se tenga acceso a los importantes cambios y patrones que las municipalidades puedan identificar para elaborar y diagnosticar políticas y planes que optimicen la problemática en cuestión (Postigo *et al.*, 2013). Los visualizadores libres de más relevancia y útiles para la realización de este tipo de cartografía en una zona determinada son: gvSIG Online, Carto, GeoRED e Instamos. Aquí se optó por el gvSIG Online, porque se puede activar un campo temporal que facilita la visualización de los accidentes de tránsito en series animadas de tiempo; asimismo, junto con la edición cartográfica a partir de código SLD, se generan mapas de calor que optimizan el análisis de este fenómeno.

2.6 Visualización estadística

La visualización estadística está dada por el uso de *dashboards* digitales, herramienta que reconoce y establece los indicadores claves para analizar los factores más importantes en la toma de medidas y decisiones, que permitan obtener resultados óptimos en pro de asegurar un buen desarrollo (Calle Paz & Valles Coral, 2021). Un *dashboard* es una herramienta que representa visualmente la información más relevante y necesaria de manera organizada y consolidada para el cumplimiento de los objetivos propuestos. Su función principal es diagnosticar de manera óptima un problema, para agilizar la toma de decisiones, mediante la evaluación y seguimiento periódico de indicadores y patrones que facilitan a las entidades públicas y privadas analizar el entorno real de su espacio (Morales, 2021).

Los elementos generales de un *dashboard* son fundamentales para la elaboración de un buen producto. Primero se tiene el reporte, que muestra la información clave para el diagnóstico, de esta manera la temporalidad que da a conocer el periodo de toma de la información. Segundo, la apertura muestra la forma en que se despliegan los contenidos para la clasificación de la información, para ello se debe tener en cuenta la frecuencia de actualización, ya sea diaria, semanal o mensual. Tercero, los gráficos son los elementos más importantes, porque son la visualización gráfica de los indicadores (diagramas de barras, pastel o líneas) (Robalino, 2017). Las aplicaciones gratuitas más usadas para la elaboración de *dashboards* son: Google DataStudio, Tableau Public y Dashboards de QGIS. En este proyecto se emplea Tableau Public, por su facilidad de manejo y edición; además, favorece la conexión con PostgreSQL, por lo que la base de datos generada sirve a Tableau para mantener el *dashboard* actualizado.

2.7 Sistema de consulta

La información que es capturada y visualizada geográfica y estadísticamente es primordial que se pueda consultar y descargar para la elaboración de análisis externos al sistema. Existe la plataforma útil para la consulta de una base de datos web, cuya funcionalidad es establecer interacción entre personas que investigan información del tema relacionado (Falgueras, 2014). Este sistema se realiza por medio de una página de consulta, cuyo objetivo es recuperar la información almacenada en la base de datos. Se recomienda proporcionar al usuario los diferentes tipos de búsqueda, que van desde una consulta simple o básica, avanzada o combinada, hasta la consulta de los índices y el acceso por categoría temática. Los elementos básicos para esta página de consulta radican en la identificación y especificación de la base de datos, la acotación de la búsqueda a un campo o conjunto de ellos, la visualización de los índices, información breve para ayudar en la consulta, la elección de la forma de presentación de los resultados y del ordenamiento de los datos, botones para la ejecución de acciones, un historial de búsquedas, navegación entre páginas de interfaz, y datos que identifiquen y filtren la información por fecha, hora y tipología. Los resultados son una lista que contiene la información solicitada para presentar al usuario una visión global de lo que desea encontrar en el sistema (Falgueras, 2014).

2.8 Herramientas auxiliares para el procesamiento de datos

Los datos capturados en un accidente de tránsito son localizables, de ahí la importancia de proporcionar una base de datos rápida y potente para realizar consultas espaciales y alfanuméricas. Esta labor la cumple PostGIS, donde los datos espaciales se cargan mediante el uso de asistentes gráficos incluidos en la aplicación, para su posterior visualización en un software GIS de escritorio o remoto. De esta manera es útil la interfaz web de Geo Server, un servidor de mapas que provee acceso a fuentes de datos SIG y mapas cartográficos de calidad mediante estándares web (Sánchez *et al.*, 2013). Por medio de estas dos herramientas es posible la conexión interactiva con el visualizador geográfico, lo que facilita y automatiza la carga de información a la base de datos, para que los mapas se actualicen periódicamente de forma rápida y oportuna.

Es fundamental evaluar las herramientas complementarias para el tratamiento de los datos capturados en campo, y de esta manera lograr la interacción y conexión segura con todos los servicios que ofrece el sistema. Si es el caso, es vital desarrollar macros que automaticen los procedimientos que repetitivamente se realizan, con el fin de que la información se encuentre organizada y apta para facilitar la carga a la base de datos correspondiente.

2.9 Implementación y unión del sistema

El sistema debe contar con una arquitectura tecnológica, para definir la estructura, comportamiento, gobernabilidad y relaciones entre el software,

hardware, datos, redes, ecosistema e interacción humana que rodea los distintos procesos de negocios. Es posible visualizar esta representación por las capas de información que contiene el entorno tecnológico que se desarrolla (Thompson, 2016). Los requerimientos del sistema se conocen como funcionales y no funcionales. Los funcionales declaran los servicios que presta el sistema y la forma en que éste reacciona ante determinados insumos (define la interacción con otros elementos informáticos, las respuestas automáticas y los procesos predefinidos). Los no funcionales caracterizan lo que el sistema no debe realizar (determina las propiedades del sistema en su rendimiento, seguridad y disponibilidad) y definen las restricciones del sistema y la representación de los datos utilizados en su interfaz, los cuales se generan por la necesidad del usuario debido a la interoperación con otros sistemas de software o por factores de seguridad y privacidad (Wong Durand, 2017).

El servicio Word Wide Web es un sistema distribuido por internet basado en la tecnología hipertexto/hipermedia, que proporciona una interface común a los distintos formatos de datos (texto, gráficos, video, audio) y a los servicios de internet existentes (UM, 2011). El diseño de la página web debe estar determinado por cada uno de sus requerimientos y emplear el lenguaje HTML, CSS y JavaScript para definir su contenido.

Tanto la aplicación móvil de captura de datos, como la visualización estadística-geográfica, el sistema de consulta y elaboración de la implementación y unión del sistema se pueden realizar con el uso avanzado y exhaustivo de la programación. También es posible crear el sistema empleando código útil para la elaboración de los cuatro grandes componentes que se proponen tener en esta herramienta de gestión en seguridad vial (Figura 2).

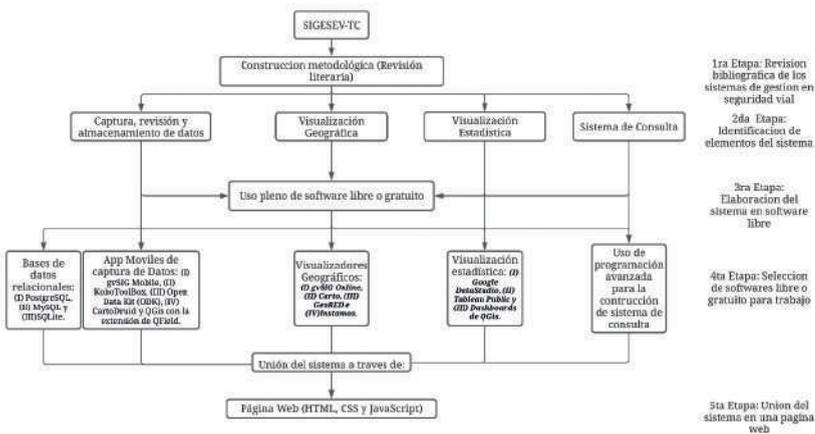


Figura 2. Esquema sintético de la metodología descrita.

Fuente: elaboración propia

3. Resultados

La puesta en marcha de la metodología se revisa con la elaboración y estructuración del SIGESEV-TC, el cual cumple con los cuatro parámetros señalados y que se puede visualizar en el siguiente enlace: <http://sigesev-tc.online/>.

3.1 SIGESEV-TC

El Sistema Integrado de Información Geográfica para la Seguridad Vial de la Ciudad de Toluca: SIGESEV-TC (Figura 3) es un portal espacial, estadístico y de consulta para la gestión de la seguridad vial en la capital del Estado de México. Posibilita la gestión, almacenamiento y visualización geográfica de accidentes de tráfico que han ocurrido en esta zona urbana en los últimos 20 años. Contiene tres apartados: análisis multitemporal, SIGESEV-TC: estadística y SIGESEV-TC: geográfico.



Figura 3. Entrada principal a SIGESEV-TC.

Fuente: elaboración propia

3.1.1 Análisis multitemporal

Se divide en dos secciones: la primera presenta toda la visualización estadística implementada en Tableau Public (Figura 4) y la segunda combina series temporales animadas de mapas de calor (Figura 5), las cuales se desarrollan en gvSIG Online, donde es posible visualizar el cambio que se produce cada año según el tipo de accidente y muerte por el siniestro.

Para efectos de este proyecto se cuenta con datos de accidentes de tránsito del 2000 al 2019. Gracias a Tableau Public se puede relacionar y visualizar diferentes factores relacionados con un accidente vial, como la ubicación geográfica, fecha y hora de ocurrencia, elementos físicos que intervienen en la

generación de un siniestro vial, la gravedad, la tasa de mortalidad del evento y la cuantía de los daños humanos y materiales causados por los accidentes de tránsito. Este *dashboard* contiene gráficos de barras, diagramas de dispersión, histogramas, tablas y un mapa interactivo que permite la visualización geográfica de los eventos ocurridos en la infraestructura vial.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL: SIGESEV-TC

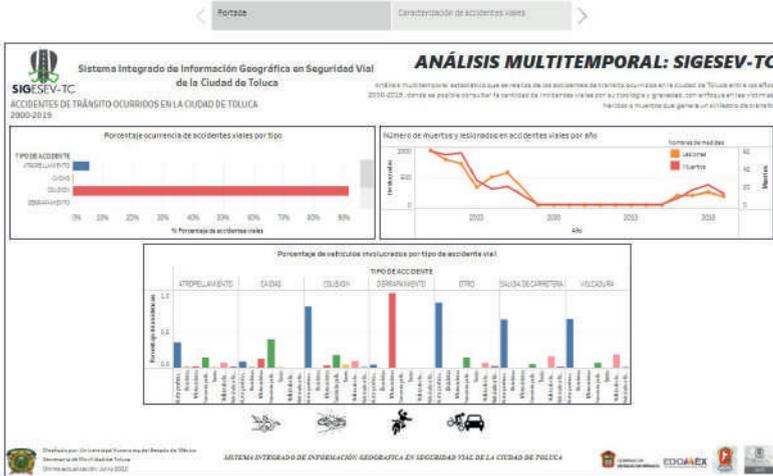


Figura 4. SIGESEV-TC AM – estadísticas / portada.

Fuente: SIGESEV-TC.

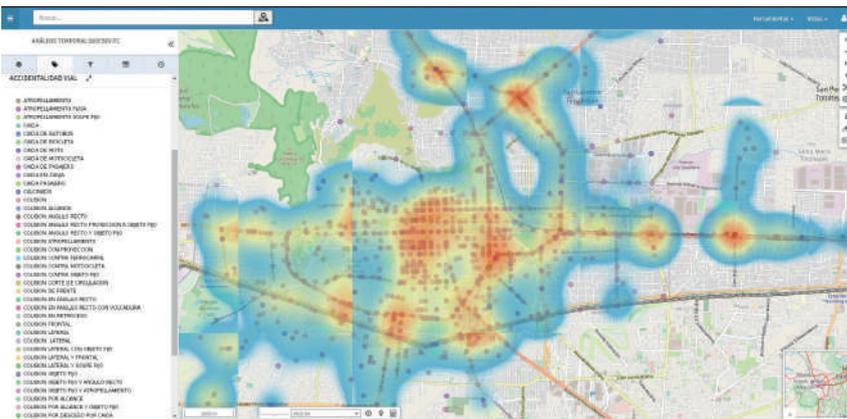


Figura 5. SIGESEV-TC AM - visualizador geográfico. Se visualizan los accidentes que han ocurrido en los últimos 20 años en la ciudad de Toluca.

Fuente: SIGESEV-TC.

3.1.2 SIGESEV-TC: estadística

En el primer apartado, denominado “Portada” (Figura 6), se muestra un resumen de índices de siniestralidad en carretera por tipo, el número de heridos y muertos al mes y la tasa de vehículos implicados por tipo de siniestro. El segundo apartado, “Accidentalidad vial”, analiza la fatalidad del accidente y el tipo de evento, se ubica geográficamente, la ocurrencia del siniestro por colonia y por el tipo de superficie. En el tercer apartado, “Personas”, se estudian los factores humanos que intervienen en los accidentes de tránsito, la relación entre las víctimas y el tipo de accidente, el número de víctimas por tipo de lesión, por edad y sexo, por tipo de accidente y, finalmente, el número de heridos y muertos por tipo de accidente. El cuarto apartado se titula “Vehículos” y analiza numéricamente los vehículos involucrados por tipo (automóvil, autobús, bicicleta, vehículo oficial, motocicleta), el número de vehículos por tipo de accidente, número de vehículos involucrados por modelo y daños por tipo de accidente automovilístico. La quinta y última parte se denomina “Víctimas” y desglosa detalladamente las víctimas por grupo de edad, por la función que cumplen en el accidente vial y una matriz por día y hora del incidente de la víctima. Los anteriores apartados se visualizan de manera mensual, por lo que al activar la herramienta de series de tiempo, discrimina los accidentes de tránsito según su fecha de ocurrencia.

La información contenida en esta área corresponde a los nuevos datos capturados a partir del formulario propuesto, que se detalla en la sección 3.1.5 de este documento.

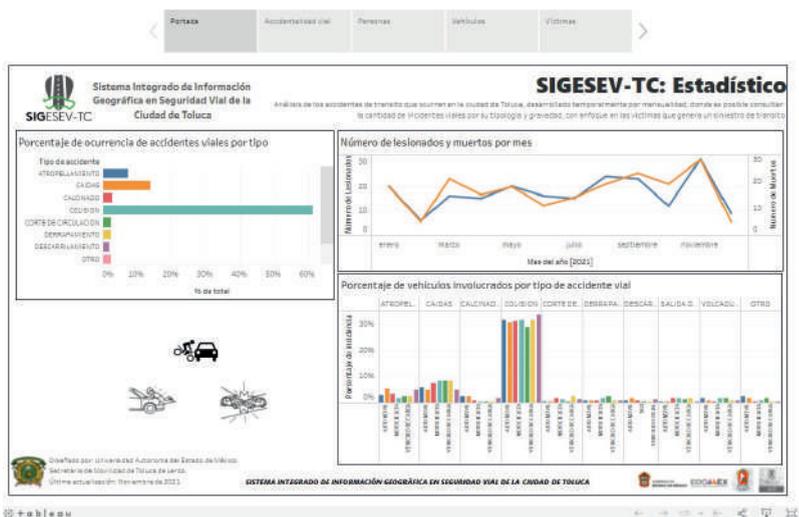


Figura 6. SIGESEV-TC: estadística / portada. Es posible visualizar las cinco categorías del sistema estadístico.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos capturados con el formulario implementado en KoboCollect.

3.1.3 SIGESEV-TC: Geográfico

En esta sección se aprecia la ubicación geográfica del accidente vial (Figura 7); además, el contenido dinámico de imágenes hace posible visualizar la magnitud del accidente y los implicados materiales que participan en el siniestro vial. En este apartado se puede relacionar, al igual que con la parte multitemporal, los aspectos socioeconómicos, demográficos, infraestructurales y topográficos del

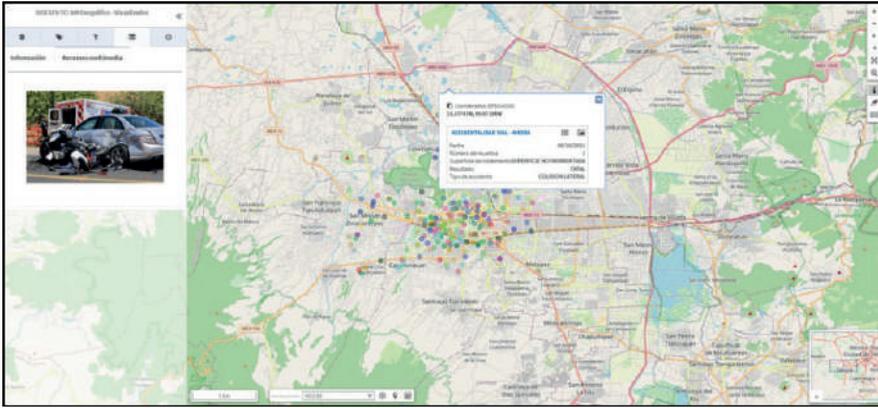


Figura 7. SIGESEV-TC: geográfico / visualizador accidentalidad.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos capturados con el formulario implementado en KoboCollect.

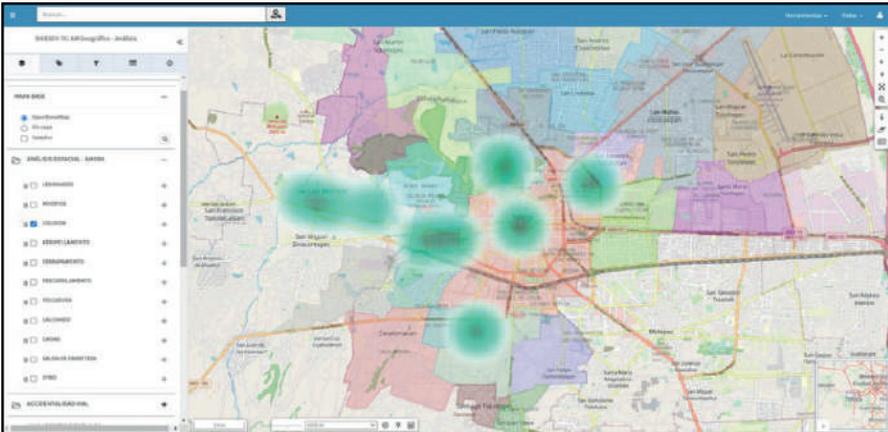


Figura 8. SIGESEV-TC: geográfico. Mapas de calor, se identifican los puntos calientes donde suceden los siniestros de tránsito en la ciudad, con el reconocimiento de la tipología y la temporalidad mensual del suceso.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos capturados con el formulario implementado en Kobo Collect.

lugar, con la diferencia de que aquí se aprecia una fotografía del accidente de tránsito, para conocer la gravedad del percance. De esta forma, es posible analizar los diferentes tipos de accidentes que ocurren mensualmente en la capital del Estado de México. Asimismo, gracias a la metodología de superposición de capas es posible el análisis espacial de un accidente de tránsito. En esta sección se analizan los accidentes viales por la densidad espacial de sucesos; también, por el tipo de siniestro se reconoce la influencia de accidentes que ocurren en un lugar determinado. A diferencia de los anteriores mapas de calor (Figura 8), este visualizador se destaca por su temporalidad, pues el análisis se hace cada mes, mientras que el multitemporal se hace anualmente. A partir de la nueva metodología propuesta para la captura de datos se muestra mayor información para analizar.

3.1.4 SIGESEV-TC: consulta

Para las secciones mencionadas, es posible la consulta y descarga de la información geográfica que contiene los visualizadores y los dashboard. Para los visualizadores geográficos existe la tabla de atributos, cuya información consultada se puede descargar en los formatos CSV, XLSX y PDF. La opción de filtros permite la búsqueda y clasificación de la información de interés; por ejemplo, en la interfaz del visualizador de cada capa se despliega el menú de opciones, que también es posible descargarla en formato Shapefile (Figura 9).

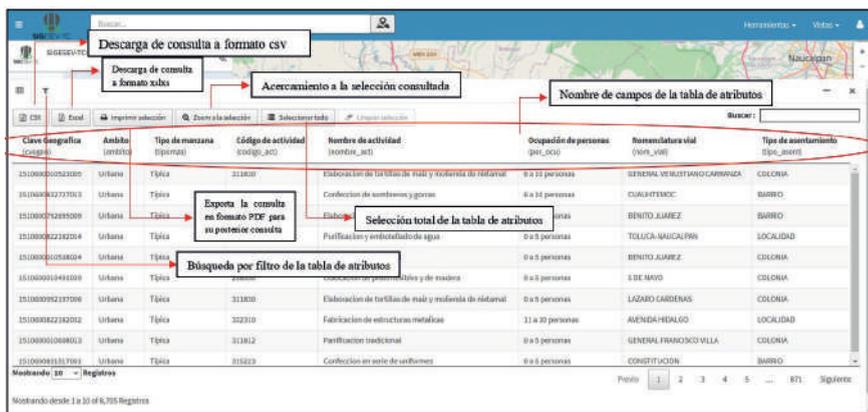


Figura 9. SIGESEV-TC: geográfico. Descarga de datos a partir de la tabla de atributos. Fuente: elaboración propia a partir de la visualización en gvSIG Online.

De esta manera, en cada uno de los dashboard es posible descargar la información visualizada en el sistema, en formato imagen, tabulación cruzada, pdf, PowerPoint o en libro de trabajo de Tableau (Figura 10).

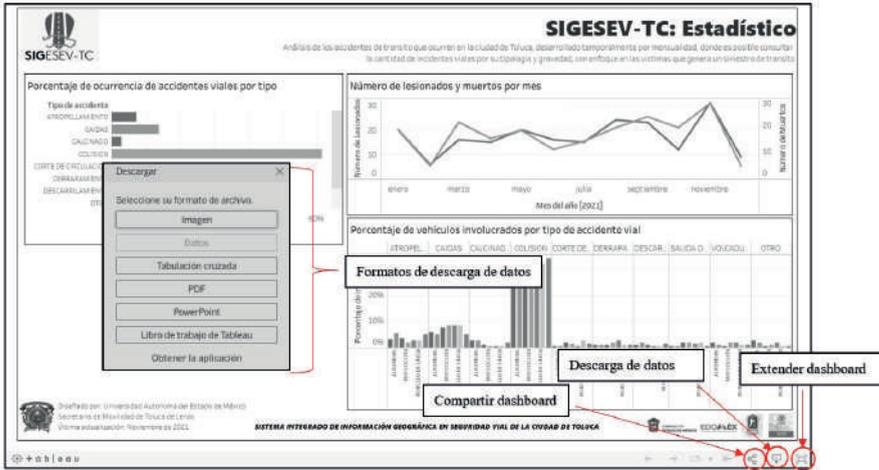


Figura 10. SIGESEV-TC: estadística. Descarga de datos a partir de la visualización de dashboards. Fuente: elaboración propia a partir de la visualización en Tableau Public.

3.1.5 GEAV-TC

La Gestión de Atención del Accidente Vial de la ciudad de Toluca (GEAV-TC) tiene como objetivo principal llevar a cabo la consolidación, integración y actualización continua de la base de datos de siniestralidad vial almacenada en el SIGESEV-TC. Igualmente, modifica el formulario que la Dirección de seguridad vial y de tránsito de la ciudad de Toluca usa para la captura de información, con el fin de concentrar más datos para el análisis exhaustivo del fenómeno de la accidentalidad vial, como la caracterización del accidente vial, las personas, las víctimas y los vehículos implicados.

Gracias a KoboToolBox es posible integrar y recolectar datos de los accidentes viales que ocurren en la ciudad de Toluca y conocer la información espacio-temporal del siniestro de tránsito, información de los vehículos involucrados, datos sobre las personas implicadas e información sobre la atención médica. Los datos capturados se visualizan en SIGESEV-TC: geográfico y SIGESEV-TC: estadístico, para actualizar mensualmente la siniestralidad vial de la capital de la entidad. En el formulario se contemplan distintas áreas (Figura 11). En el primer apartado se considera la hora y fecha del suceso, la zona donde ocurrió el siniestro (colonia, localidad o código postal), para ello son obligatorias las coordenadas geográficas; igualmente, es importante detallar las condiciones meteorológicas y de la infraestructura vial, para determinar posibles causas. En el segundo apartado se toma en cuenta la cantidad de vehículos involucrados, tipo y marca, y los daños que sufrieron en el siniestro. El tercer apartado tiene en cuenta cada una de las víctimas del suceso, por lo que se deben concentrar sus datos como edad, género y la función que cumple dentro del accidente

(peatón, ciclista, motociclista, conductor, pasajero o acompañante); finalmente se reconoce el tipo de lesión.

Figura 11. GEAV-TC. Formulario desarrollado en KoboToolBox para migrarlo a la aplicación móvil de KoboCollect. Fuente: elaboración propia con base en Chagas (2014).

3.2 Diseño de página web

SIGESEV-TC cuenta con una arquitectura cliente-servidor, en la que es posible la interacción intuitiva con el usuario. El presente proyecto contiene una arquitectura en tres capas: la primera está dada por la presentación que se pone en funcionamiento con HTML, CSS y JavaScript; la segunda, con la capa de negocios, y la tercera, con la capa de datos. Los usuarios que van a utilizar SIGESEV-TC se dividen en dos: el usuario y administrador, quienes pueden interactuar y analizar la información presente en el sistema integrado de información geográfica, a partir de diversos requerimientos funcionales: contiene un manual que permite al usuario conocer el sistema para su rápida familiarización; es posible el vínculo a las páginas web del área de movilidad del Estado de México y del ayuntamiento de Toluca; permite la visualización de los datos geográficos y estadísticos que relacionan los accidentes viales que sucedieron en los últimos 20 años; al usuario sólo se le permite la visualización de los datos geográficos y estadísticos, mientras que el administrador puede manipular y editar los datos; se cuenta también con el servidor de correo, donde cualquier usuario puede enviar sus mensajes, y, por último, es posible descargar las capas geográficas en el formato Shapefile para cualquier cliente del SIGESEV-TC.

3.3 Funcionamiento de SIGESEV-TC

SIGESEV-TC también es una herramienta de actualización y almacenamiento de los datos que se capturan periódicamente (Figura 12). Se tiene información de los accidentes ocurridos en los últimos 20 años, que corresponde al análisis multitemporal. La nueva propuesta de la GEAV-TC y su formulario recolectan datos de cada siniestro, lo que se convierte en el insumo principal para alimentar a los elementos que conforman al SIGESEV-TC; por esta razón, cada vez que se ingresa información sobre un accidente vial queda registrado en la base de datos de PostgreSQL, para que los administradores, mensualmente, puedan generar estadísticas y mapas de la siniestralidad vial.

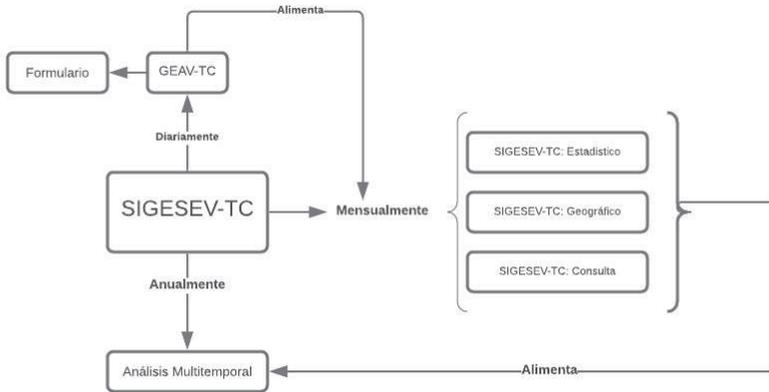


Figura 12. Flujograma del funcionamiento de SIGESEV-TC.

Fuente: elaboración propia.

4. Discusión de resultados

SIGESEV-TC es una herramienta fundamental para realizar análisis estadísticos y geográficos de la siniestralidad vial que sufre la capital del Estado de México. *El propósito esencial de este proyecto no es el análisis, sino poner a disposición la información de los siniestros viales para los diferentes usuarios que la requieran.* A continuación, se hace un *pequeño* análisis descriptivo que se puede realizar con el uso de esta herramienta geotecnológica de la incidencia de accidentes de tránsito durante el periodo 2016-2018. No se realiza un análisis de toda la base de datos geográfica debido a que según los objetivos del presente estudio, no es el análisis de la información, sino la presentación metodológica de la creación y el diseño de SIGESEV-TC.

4.1 Análisis multitemporal

Se examina la incidencia de siniestros de tránsito en el periodo 2016-2018, lo que permite analizar y comparar si existe una disminución considerable de la accidentalidad vial en la ciudad. Los meses de mayor riesgo son marzo y octubre y los meses de menor incidencia son julio y diciembre. Al mes se presentan 180 siniestros en la capital, es decir, cinco diarios.

Tabla 2. Accidentes ocurridos por mes en el periodo 2016-2018 en la Ciudad de Toluca

<i>Mes/Año</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>Total</i>
Enero	173	203	163	539
Febrero	150	184	188	522
Marzo	157	244	194	595
Abril	169	202	178	549
Mayo	146	203	178	527
Junio	156	195	182	533
Julio	129	165	161	455
Agosto	184	188	188	560
Septiembre	197	190	164	551
Octubre	200	207	175	582
Noviembre	168	218	186	572
Diciembre	157	182	147	486
<i>Total</i>	<i>1986</i>	<i>2381</i>	<i>2104</i>	
Promedio anual	165	198	175	
Accidentes por día	5	6	5	

Fuente: elaboración propia, con datos de la Dirección de Seguridad Vial y Tránsito del Municipio de Toluca

En la Tabla 3 se registran 2,157 siniestros de tránsito en promedio al año, de los cuales hay 42 lesionados y 23 muertos. Esto significa que por cada 51 accidentes hay un lesionado y por cada 94, un muerto.

El análisis de la accidentalidad vial se reconoce también por la tipología del siniestro vial. La Dirección de Seguridad Vial y Tránsito del municipio de Toluca reconoce: colisión, atropellamiento, caída, volcadura, derrapamiento y salida de carretera. Según la tabla 4, el mayor tipo de accidente es la colisión y el atropellamiento, con un promedio al año de 2 052 y 75, respectivamente.

El análisis de la accidentalidad vial se reconoce también por la tipología del siniestro vial. La Dirección de Seguridad Vial y Tránsito del municipio de Toluca reconoce: colisión, atropellamiento, caída, volcadura, derrapamiento y salida

Tabla 3. Relación de Lesionados y muertos vs al número de accidentes ocurridos en la ciudad de Toluca

<i>Año/daño</i>	<i>Lesiones</i>	<i>Muertos</i>	<i>Núm. de accidentes</i>
2016	41	17	1986
2017	41	20	2381
2018	45	32	2104
Total	127	69	6471
Promedio	42	23	2157

Fuente: elaboración propia, con datos de la Dirección de Seguridad Vial y Tránsito del Municipio de Toluca.

Tabla 4. Ocurrencia de siniestros de tránsito por tipología 2016-2018

<i>Tipo ACC/año</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>Promedio anual</i>
Colisión	1887	2307	1962	2052
Atropellamiento	80	49	98	75
Caídas	9	17	22	16
Volcadura	7	6	14	9
Derrapamiento	3	2	8	4
Total	1986	2381	2104	

Fuente: elaboración propia, con datos de la Dirección de Seguridad Vial y Tránsito del Municipio de Toluca.

de carretera. Según la tabla 4, el mayor tipo de accidente es la colisión y el atropellamiento, con un promedio al año de 2 052 y 75, respectivamente.

El análisis geográfico está determinado por el visualizador del gvSIG Online, el cual permite relacionar las capas geográficas que se detallan en el apartado 2.2 de este documento, en el que se observan las zonas con mayor densidad de siniestros de tránsito, las vialidades donde se concentran, la población vulnerable a ser perjudicada por un accidente vial e identificar los usos del suelo donde ocurren estos sucesos. En principio, se reconoce que gran parte de los accidentes de tránsito se encuentra en la zona centro de la ciudad (colonia Centro, 5 de mayo y Francisco Murguía). Al relacionar estas zonas con el uso del suelo, se detectó que se trata de un área comercial y de servicios, donde hay mayor flujo económico de la ciudad y, por consiguiente, una considerable afluencia vehicular y peatonal, es decir, es más probable que aquí se produzca un siniestro vial. Por lo tanto, la actividad comercial y de servicios está asociada con una mayor incidencia de accidentes (más de 4 000 siniestros registrados durante el periodo de estudio en esta zona) (Figura 13).

Respecto a las vialidades, es lógico que en las principales se encuentre el mayor número de siniestros de tránsito, debido al alto flujo vehicular y al exceso de velocidad (paseos Adolfo López Mateos, Tollocan y Colón, avenidas Isidro Fabela, Alfredo del Mazo y José López Portillo). Se suman las vías de segundo orden, ya que al ser una conexión con las vialidades primarias presentan los mayores índices de accidentalidad.

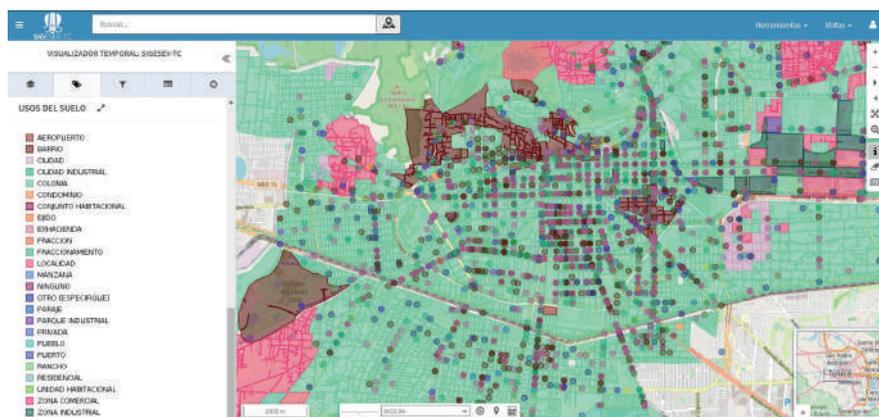


Figura 13. Relación de los accidentes viales y su respectivo uso del suelo.

Fuente: elaboración propia

4.2 SIGESEV-TC: geográfico y estadístico

Los datos suministrados por la Dirección de Seguridad Vial y Tránsito del municipio de Toluca no son suficientes para realizar análisis exhaustivos discriminados respecto a los factores que influyen en un accidente de tránsito, como vehículos, personas, víctimas y características particulares del accidente.

La sección 3.1.5 de este documento presenta una nueva propuesta para la captura de datos referentes a un accidente de tránsito, con ello se amplía la información para analizar a detalle el fenómeno de siniestralidad vial. Se espera que con el nuevo formulario sea posible estudiar con más precisión y detalle: la localización, las personas involucradas en el siniestro vial, el número de sujetos implicados con su función respectiva (acompañante, motociclista, ciclista, conductor o peatón), el tipo de lesión que sufrió la persona, su edad, género, así como la tipología del accidente.

5. Conclusiones

Los sistemas de información geográfica son una herramienta indispensable para la solución de problemáticas a nivel de seguridad vial. El SIGESEV-TC es la prueba de tal afirmación, pues al relacionar aspectos espaciales y estadísticos

en la solución de la problemática que sufre la ciudad de Toluca es posible tener un panorama amplio de este fenómeno, que no sólo sufre la capital del Estado de México, sino múltiples ciudades del país y alrededor del mundo.

La seguridad vial es un tema que se debe tratar con la suficiente seriedad, debido a que uno de los grandes índices de mortalidad en una ciudad se debe a los siniestros de tránsito. De ahí que cada gobierno municipal y estatal debería destinar parte de sus recursos a tratar de solucionar esta problemática, para que la ciudad desarrolle un ambiente seguro y, de manera adecuada y organizada, consiga ser una ciudad inteligente, capaz de administrar sus recursos económicos, sociales y tecnológicos para el avance de la metrópolis en la que viven millones de personas.

Igualmente, este sistema hace posible que la ciudad de Toluca administre y gestione la información de accidentes viales, con el fin de prevenirlos, a través del análisis de los datos y la propuesta de metodologías para solucionar los elementos urbanos e infraestructurales que los causan. Una de las ventajas de esta herramienta es que no sólo se utilice en la zona de estudio elegida, sino que se potencie en otras ciudades y municipios de nuestro país y alrededor del mundo, pues la información concentrada en un sistema apoya en la realización de estudios focalizados a la seguridad vial y toma de decisiones.

El uso de software libre en la construcción de este tipo de sistemas hace que la administración del SIGESEV-TC sea fácil de poner en práctica en los gobiernos y no genera gastos excesivos para su funcionamiento. Por lo tanto, el SIGESEV-TC no sólo es una herramienta íntegra por los datos que utiliza, sino por su relevancia a nivel informático y administración.

Bibliografía

- Alcaldía de Medellín (2021). GeoMedellín – Portal Geográfico del Municipio de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/geomedellin/index.hyg>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D. C. (2021). Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana y Regional. <https://www.simur.gov.co/>
- Alonso Sarría, F. (2014). Sistemas de Información Geográfica. <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Backhoff Pohls, M. Á., & Vázquez Paulino, J. C. (2002). Sistema de Información Geoestadística para el Transporte. Métodos, organización y descripción operativa. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt207.pdf>
- Bosque Sendra, J., & Zamora Ludovic, H. E. (2002). Visualización geográfica y nuevas cartografías. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 2, 61-77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3288729>
- Briz-Ponce, L., Juanes-Méndez, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2015). Dispositivos móviles y apps: características y uso actual en educación médica. *Novatica*, 231, 86-91. https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/424/1/Art%C3%ADculo%20Novatica_esp%C3%B1ol.pdf

- Calle Paz, I. I., & Valles Coral, M. A. (2021). Dashboard digital para el monitoreo de indicadores y metas de los proyectos de consultores San Martín E.I.R.L. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, 1(1), 24-36.
<https://doi.org/10.51252/rcsi.v1i1.94>
- Chagas, D. M. (2014). Herramientas para el reconocimiento de los factores que causan los accidentes de tráfico: estudio de caso en Brasil. Fortaleciendo al sector académico para reducir los siniestros de tránsito en América Latina: investigaciones y casos de estudio en seguridad vial. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D. C., 24-39.
<https://publications.iadb.org/es/publicacion/17522/fortaleciendo-el-sector-academico-para-reducir-los-siniestros-de-transito-en>
- Falgueras, E. A. (2014). Elementos para la evaluación de interfaces de consulta de bases de datos web. *El Profesional de la Información*, 11(5), 349-360.
<https://doi.org/10.1076/epri.11.5.349.20225>
- Galicia, E. (2021). Prototipo de sistema de consulta de accidentes viales para los tomadores de decisiones orientados a la seguridad vial en el ayuntamiento del municipio de Toluca, Estado de México.
- Galileo Ingeniería y Servicios (2011). Sistema de Visualización y Explotación de Datos Geográficos. *Ingeniería y Servicios*, 1-6.
https://obj.construmatica.com/construmatica/business/files/27723/visualizacion_y_explotacion_de_datos_geograficos.pdf
- GITS (2020). Geotecnología en Infraestructura Transporte y Sustentabilidad. *Geografía de la Seguridad Vial*. <https://www.gits.igg.unam.mx/portal/lineas-investigacion/geografia-de-la-seguridad-vial/inicio.html>
- Hinojosa Reyes, R. (2017). Infraestructura urbana, factor influyente de la movilidad urbana y por consecuencia impacta en la seguridad vial, y en la salud pública de la ciudad: caso de estudio, zona metropolitana de la ciudad de Toluca. *Proyección*, 21, 124-144. <https://bdigital.uncu.edu.ar/10300>
- INSP (2020). México, séptimo lugar mundial en siniestros viales. *Gobierno de México*. <https://www.insp.mx/avisos/4761-seguridad-vial-accidentes-transito.html>
- ISO (2012). ISO 39001:2012. *Sistemas de gestión de la seguridad vial. Requisitos y recomendaciones de buenas prácticas*.
<https://cmdcertification.com/wp-content/uploads/2020/03/ISO-39001-2012.pdf>
- ISO (2013). ISO 19157:2013. Geographic Information-Data Quality.
<https://www.iso.org/standard/32575.html>
- López, D., & Torres, A. (2015). ¿Cuáles son los componentes del dato espacial? Centro de Investigación en Geografía y Geomática, 1-15. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/181/1/08%C2%BF%20Cu%C3%A1les%20son%20los%20Componentes%20del%20Dato%20Espacial%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Información%20Geoespacial.pdf>
- Morales, V. P. (2021). *Diseño, creación e implementación de un Dashboard para el seguimiento de peticiones de servicios en el área de mantenimiento, planeación y control de FORD España*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174864>
- Nieto Masot, A., Navazo Arenas, G., & Moreno Marcos, G. (2016). Aplicación de las tecnologías SIG en el análisis de la seguridad vial de las carreteras extremeñas. A. Nieto Masot (ed.), *Tecnologías de la información geográfica en el análisis*

espacial. Aplicaciones en los sectores público, empresarial y universitario. Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial y Grupo de Investigación Geo-Ambiental de la Universidad de Extremadura, España, 247-268. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5776243>

- Postigo, R., Escolano, C., Arranz-López, A., Solé, C., Campos, Á., Zúñiga Antón, M., & Hernández-Navarro, M. L., (2013). *Herramientas cartográficas y de visualización para los observatorios territoriales: la valoración de la proximidad de la población a las zonas verdes, equipamientos y servicios en la ciudad de Zaragoza (España)*. 269278885_Herramientas_cartograficas_y_de_visualizacion_para_los_observatorios_territoriales_la_valoracion_de_la_proximidad_de_la_poblacion_a_las_zonas_verdes_equipamientos_y_servicios_en_la_ciudad_de_Zaragoza
- Ripoll, L. Q. (2008). *Sistemas de gestión de bases de datos*. Módulo VII: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. EOI. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45499.pdf>
- Robalino, A. D. (2017). *Metodología para el diseño de Dashboards orientado hacia el registro de evidencias en el proceso de evaluaciones institucionales*. Máster thesis, Universidad Internacional de La Rioja. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/6171>
- Rodríguez-Dueñas, W. R. (2014). Software libre para educación e investigación en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 9(18), 12-22. <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/383>
- Sánchez Fernández, D., Erena, M., Gambín, M., Hernández, Z., Juárez, J. F., López, J., Pina, D., García, P. & Clemente, A. (2013). *Una herramienta de código abierto para la estrategia territorial en el espacio MED: Geo portal SDIMED*. https://www.researchgate.net/publication/259501990_Una_herramienta_de_codigo_abierto_para_la_estrategia_territorial_en_el_espacio_MED_Geoportal_SDIMED
- SE y Datawheel (2020). *Municipio del Estado de México-Toluca. DataMéxico*. <https://datamexico.org/es/profile/geo/toluca?indicatorCensus=Total+Income&totalGenderSelector1=gender0#industrial-parks>
- Stallman, R. (2015). Software libre para una sociedad libre. *Traficante de Sueños*. Madrid, <https://es.scribd.com/doc/66456068/Software-Libre-para-una-sociedad-libre-Richard-Stallman>
- Thompson, F. (2016). *Cómo armar una verdadera arquitectura tecnológica*. CIO México, 4 de enero. <https://cio.com.mx/armar-una-verdadera-arquitectura-tecnologica/>
- UM (2011). *Manual básico de creación de páginas web. Universidad de Murcia y Área de la Tecnología de la Información y las Comunicaciones Aplicadas*. <https://www.aragonemprendedor.com/archivos/descargas/html.pdf>
- Wong Durand, S. (2017). *Análisis y requerimientos de software: manual autoformativo interactivo*. Universidad Continental, 1-128. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4281/1/DO_FIN_103_MAI_UC0939_2018.pdf
- Zaragoza, M., & Islas, V. (2017). *Análisis de los sistemas de transporte. Vol. I: conceptos básicos*. 307, Secretaría de Comunicaciones y Transporte e Instituto Mexicano del Transporte, 75. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt307.pdf>