



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LOS
ACCIDENTES DE TRÁNSITO
EN ZONAS URBANAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

A C T U A R I A

P R E S E N T A

JANNET THALÍA MIRANDA PONCE



Tutor:

ACT. ABRAHAM DURÁN SÁNCHEZ

Ciudad Universitaria, CDMX, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“Hasta ahora, sólo de oídas te conocía,
pero ahora te veo con mis propios ojos.”*

Job 42:5

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por estar presente en cada día de mi vida.

A mi mamá por darme la vida, por tu amor, por todo tu apoyo incondicional, porque eres un gran ejemplo. Gracias por ser mi amiga, mi confidente, por escucharme, cuidarme y estar siempre presente.

A mi papá, por estar presente en mi vida, porque me hiciste fuerte, por la educación que me brindaste.

A mi hermano, por llegar a mi vida a enseñarme lo que es un amor incondicional, gracias por tus abrazos, por los buenos momentos y experiencias.

A mi abuela María, por formar parte de mi crecimiento, por tu ejemplo y el legado que dejaste en mí. Permaneces en mi corazón.

Gracias a todos por su amor y apoyo. Siempre están en mi mente y en mi corazón y siempre estaré para ustedes.

Gracias a mi asesor y sinodales, así como a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por el apoyo y la formación obtenida.

ÍNDICE GENERAL

GRÁFICAS	6
TABLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO	10
1.1 Contexto de estudio	10
1.2 Tipología de los accidentes de tránsito.....	11
1.2.1 Accidentes fatales	12
1.2.2 Zonas de tránsito de mayor riesgo.....	13
1.2.3 Horario de mayor exposición	13
1.3 Estadísticas de frecuencia	13
1.3.1 Por clase de accidente.....	14
1.3.2 Por intersección.....	14
1.3.3 Por día de la semana	15
1.3.4 Por tipo de víctimas.....	16
1.3.5 Por tipo de accidente	18
1.3.6 Por entidad federativa	20
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE FACTORES	22
2.1 Introducción	22
2.1 Marco metodológico	22
2.1.1 Planteamiento del problema	25
2.2 Análisis de la matriz de correlación.....	25
2.2.1 Test de esfericidad de Barlett	26
2.2.2 Medida de adecuación muestral.....	27
2.3 Extracción de factores.....	29
2.3.1 Método de extracción	29
2.3.2 Componentes principales.....	31
2.3.3 Determinación del número de factores	31
2.3.4 Cálculo de puntuaciones factoriales	32
2.3.5 Construcción del índice de accidentes de tránsito	34
CAPÍTULO 3. TENDENCIA DE ACCIDENTES EN TRÁNSITO EN ZONAS URBANAS	40
3.1 Introducción	40
3.2 Diseño de la investigación.....	41
3.2.1 Diagnóstico situacional.....	42
3.2.2 Identificación del problema	44
3.2.3 Alternativas de solución	45
3.2.4 Fuentes de información	49
3.3 Modelo de regresión lineal	50
3.3.1 Supuestos y criterios	51
3.3.2 Hipótesis y variables.....	52
3.4 Diseño metodológico	53
3.4.1 Tendencias.....	55
3.4.2 Estacionalidad	56

CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65

GRÁFICAS

Gráfica 1.1 Accidentes de tránsito según clase de accidente. Año 2017.	14
Gráfica 1.2 Accidentes de tránsito según lugar del accidente. Año 2017.	15
Gráfica 1.3 Accidentes de tránsito terrestre según día de la semana. Año 2017.	16
Gráfica 1.4 Víctimas de los accidentes de tránsito en los años 2013-2017.	17
Gráfica 1.5 Víctimas de los accidentes de tránsito. Año 2017.	17
Gráfica 1.6 Víctimas mortales de los accidentes de tránsito por mes. Año 2017.	18
Gráfica 1.7 Accidentes de tránsito terrestre por tipo de accidente. Año 2017.	19
Gráfica 1.8 Accidentes de tránsito por tipo de accidente según víctima. Año 2017.	19
Gráfica 1.9 Accidentes de tránsito terrestre por entidad federativa. Año 2017.	20
Gráfica 1.10 Número de víctimas mortales según la hora del accidente. Año 2017.	21
Gráfica 2.1 Gráfico de sedimentación.	36
Gráfica 2.2 Gráfico de componente en espacio rotado.	39
Gráfica 3.1 Causas de los accidentes de tránsito. Año 2017.	43
Gráfica 3.2 Accidentes con solo daños, 1997-2017.	57
Gráfica 3.3 Accidentes con solo daños, 2018-2020.	58
Gráfica 3.4 Accidentes de intersección, 1997-2017.	58
Gráfica 3.5 Accidentes en intersección, 2018-2020.	59
Gráfica 3.6 Accidentes en viernes, 1997-2017.	59
Gráfica 3.7 Accidentes en viernes, 2018-2020.	60
Gráfica 3.8 Colisiones con motocicleta, 1997-2017.	60
Gráfica 3.9 Colisiones con motocicleta, 2018-2020.	61
Gráfica 3.10 Colisiones con vehículo automotor, 1997-2017.	61
Gráfica 3.11 Colisiones con vehículo automotor, 2018-2020.	62
Gráfica 3.12 Accidentes en Chihuahua, 1997-2017.	62
Gráfica 3.13 Accidentes en Chihuahua, 2018-2020.	63

TABLAS

Tabla 1.1 Tipología de los accidentes de tránsito	12
Tabla 2.1 Tabla de correlaciones	34
Tabla 2.2 Medida Kaiser Meyer Olkin y Esfericidad de Bartlett	35
Tabla 2.3 Comunalidades	35
Tabla 2.4 Varianza total explicada	36
Tabla 2.5 Matriz de componentes	37
Tabla 2.6 Correlaciones reproducidas	38
Tabla 2.7 Matriz de componentes rotado	38
Tabla 2.8 Matriz de transformación de componente	39

INTRODUCCIÓN

Un accidente de tránsito es un percance vial que se presenta súbita e inesperadamente causando daño a una persona o bien material, en un determinado trayecto de movilización o transporte, el cual se debe a la acción riesgosa de un conductor, de un pasajero o de un peatón, pero en muchas ocasiones también a las condiciones mecánicas, condiciones ambientales o condiciones en la estructura de tránsito.

En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) produce la «Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas», de acuerdo con los datos obtenidos, durante 2017 se registró un total de 341,992 accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas. Para que ocurra un accidente de tránsito terrestre es necesario considerar las causas o factores que lo originan. Las lesiones causadas por accidentes de tránsito terrestre se encuentran entre las diez principales causas de muerte a esto se le suman las secuelas irreparables que generan estos incidentes. Al mismo tiempo que es inaceptable la pérdida de vidas humanas, se tienen los costos económicos que generan anualmente estos incidentes. En este contexto, resulta necesario identificar la relación entre el número de accidentes y las diversas causas que los pueden originar y de esta manera, la población pueda tomar las medidas necesarias para combatir este problema que es de gran importancia a nivel mundial.

La rápida urbanización y la motorización provocada por ella en países como México han contribuido a aumentar los incidentes viales, sin que ello implique la generación de una ingeniería adecuada y concientización pública sobre el problema. A ello, se suma la falta de educación vial, de prevención de riesgos y de control, a través de políticas gubernamentales. Para lograr el objetivo de reducir los accidentes de tránsito son necesarias herramientas y técnicas a fin de reconocer las variables que mayor impacto causan.

En la tesis se expondrá un modelo matemático basado en el análisis de factores, como técnica de análisis multivariado. Para ello se explicara, entre otros componentes matemáticos, el análisis de la matriz de correlación, Test de esfericidad de Barlett, medida de adecuación muestral, extracción de factores, problema de grados de libertad, determinación del número de factores, Regla de Kaiser, criterio de porcentaje de varianza, gráfico de sedimentación, interpretación de factores ortogonales, rotación ortogonal de factores, cálculo de puntuaciones factoriales, método de Barlett, validación del modelo, construcción de polinomios ortogonales.

La tesis se presenta a grosso modo en tres capítulos:

El objetivo del capítulo 1 es realizar un análisis estadístico de accidentes de tránsito, la tipología de los accidentes de tránsito como fatales, zonas de tránsito de mayor riesgo, horario de mayor exposición y descriptivos por clase de accidente, intersección, día de la semana, tipo de víctimas, tipo de accidente y entidad federativa.

Por su parte, el objetivo del capítulo 2 es plantear el marco teórico de un modelo estadístico para accidentes de tránsito, las condiciones actuales con el planteamiento del problema y la propuesta de solución orientada a un modelo de regresión lineal que permita medir la estacionalidad y tendencias.

Finalmente, el objetivo del capítulo 3 es estimar la tendencia de los accidentes de tránsito por medio de la construcción de escenarios obtenidos a partir de un análisis exploratorio y de correlación factorial que permitan inferir el comportamiento futuro de las variables en estudio.

CAPÍTULO 1.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

1.1 Contexto de estudio

Los sistemas de transporte terrestre han colaborado en el desarrollo de la mayoría de los países del mundo ya que facilitan a la población su camino al empleo, educación, atención de salud, así como a mejorar la eficiencia de las empresas que ofrecen algún servicio. Sin embargo, el crecimiento de estos sistemas también ha tenido consecuencias fatales, en la mayoría de los casos el aumento de los sistemas de transporte viene acompañado de un incremento de muertes y traumatismos causados por los accidentes de tránsito.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera los accidentes de tránsito terrestre como una pandemia¹, miles de personas fallecen a causa de estos percances, que suelen dejar secuelas para los sobrevivientes, además de pérdidas millonarias. Actualmente ocupan el noveno lugar de las principales causas de defunción a nivel mundial, cada año mueren cerca de 1,2 millones de personas y cerca de 50 millones padecen lesiones o traumatismos no mortales. El 49% de las personas que mueren en las vías de tránsito del mundo son peatones, ciclistas y motociclistas y son la principal causa de defunción para las personas de edades comprendidas entre los 15 y los 29 años.

Los accidentes de tránsito representan un serio problema de salud pública e implican elevados costos socioeconómicos; así como las víctimas y sus familias, también los países en conjunto sufren considerables pérdidas económicas por esta causa ya que representan entre el 1% y 3% del PNB² en la mayoría de los países. Más del 90% de las muertes y traumatismos causados por el tránsito se generan en países de ingresos bajos y medianos, donde tan solo circulan el 54% de los vehículos matriculados a nivel mundial.

La problemática causada por los accidentes de tránsito se ha vuelto habitual, sin embargo, también son predecibles y evitables. En septiembre de 2015, se llevó a cabo la Asamblea General de las Naciones Unidas, a la cual asistieron los Jefes de Estado, en esta asamblea se adoptó la histórica Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Una de las metas más importantes de este programa es reducir a la mitad el número mundial de muertes y lesiones por accidente de tránsito terrestre hasta el año 2020. Esta meta significa un avance en la seguridad vial y además refleja el reconocimiento, cada vez mayor, del precio que cobran las lesiones por accidentes de tránsito terrestre.

En México, las lesiones causadas por accidentes de tránsito se encuentran entre las diez principales causas de muerte, son un creciente problema de salud pública y las consecuencias tanto físicas como

¹ Organización Mundial de la Salud. (2015). Estado actual de la seguridad vial en el mundo. Informe sobre la situación mundial de la Seguridad Vial, 1, 2.

² Producto Nacional Bruto: Indicador que muestra la cantidad de bienes y servicios finales generados con los factores de producción (tierra, trabajo y capital) de un país y un periodo de tiempo dado.

emocionales son devastadoras para el país. Este problema es el resultado de comportamientos de riesgo como conducir bajo la influencia del alcohol, no usar el cinturón de seguridad o los dispositivos de retención infantil, conducir a velocidades inadecuadas, no usar cascos para motocicletas, entre otros.

Se ha comprobado que es posible reducir la exposición de los comportamientos de riesgo mencionados anteriormente por medio de intervenciones preventivas, sin embargo, de acuerdo con los datos de la OMS, solo 28 países, los cuales representan el 7% de la población mundial, tienen leyes integrales de seguridad vial³. En México, la legislación vigente es limitada y carece de procedimientos a nivel federal, estatal y municipal, que garanticen una correcta vigilancia y aplicación; por esta razón se creó el Programa de Acción Específico de Seguridad Vial 2013-2018, el cual estuvo bajo la responsabilidad de la Secretaría de Salud Federal y se ejecutó a través del Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA), de la Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud.

El Programa contiene objetivos, estrategias y líneas de acción, a través de las cuales, el sector salud busca disminuir muertes, traumatismos y lesiones causadas por los accidentes de tránsito terrestre, contribuye con campañas informativas sobre las principales medidas de prevención de accidentes de tránsito, así como capacitación y sensibilización de la población. Adicional a esto, el Programa implementa Centros Reguladores de Urgencias Médicas, ya que en nuestro país los servicios de atención prehospitalaria de urgencias médicas han sido deficientes.

Actualmente, con el fin de proporcionar un panorama cuantitativo sobre la cantidad de incidentes viales en el entorno nacional, así como las consecuencias humanas y materiales que conllevan, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) produce la estadística de accidentes de tránsito terrestre, esta información se obtiene de los registros sobre percances viales proporcionados por las dependencias responsables de tránsito estatales y municipales, así como de los ministerios públicos y juzgados cívicos para el caso de la Ciudad de México.

1.2 Tipología de los accidentes de tránsito

Un accidente de tráfico, percance vial, accidente de tránsito, accidente vial, accidente automovilístico o siniestro de tráfico, es el daño ocasionado a una persona o bien material en un determinado trayecto de transporte, el cual la mayoría de las veces se debe al acto riesgoso o irresponsable de un conductor, de un pasajero o de un peatón, pero en otras ocasiones también a fallas mecánicas, descuidos en el transporte de carga, condiciones ambientales desfavorables, cruce de animales en el tránsito o incluso a deficiencias en la estructura de caminos y carreteras así como la señalización; ocasionando la pérdida prematura de vidas humanas y/o traumatismos, así como secuelas físicas o psicológicas, daños materiales y daños a terceros.⁴

³ Secretaría de Salud. (2014). Programa de Acción Específico. Programa Sectorial de Salud, Primera Edición, 11.

⁴ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Accidentes de tránsito. Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas, 1, 7.

De acuerdo a la estadística de accidentes de tránsito terrestre que produce el INEGI, los accidentes de tránsito terrestre se pueden catalogar tomando en cuenta diferentes criterios, como la gravedad, la manera en que ocurren o lo que los origina. De esta manera, los accidentes de tránsito se clasifican según su magnitud en accidentes fatales, según el lugar de impacto en las zonas de tránsito de mayor riesgo y por factores que los originan en el horario de mayor exposición.

Tabla 1.1
Tipología de los accidentes de tránsito

TEMA	CATEGORÍA	VARIABLE	CLASIFICACIÓN
Accidentes de tránsito	Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas	Clase de accidente	Fatal No fatal Sólo daños
		Zona donde ocurrió el accidente	Intersección No intersección
		Datos de identificación	Hora

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Accidentes de tránsito. Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas, 1, 5.

1.2.1 Accidentes fatales

Las lesiones causadas por los accidentes de tránsito pueden variar en severidad hasta llegar a ser mortales, uno de los factores que las origina son las distracciones, las cuales se han convertido en una de las principales razones por las que suceden los accidentes, enviar mensajes de texto es uno de los descuidos más comunes entre los conductores y las consecuencias, además de daños materiales, son discapacidad y muerte.⁵

Otro factor importante y frecuente es el consumo de alcohol ya que conducir bajo sus efectos triplica las probabilidades de un accidente de consecuencia mortal, las capacidades del conductor cuando ha ingerido bebidas alcohólicas se afectan aumentando el tiempo de reacción de la persona, disminuye la coordinación, altera su visión, provoca la desconsideración de los riesgos. Las instituciones de salud y vialidad afirman que 90% de estos eventos se pueden prevenir⁶, es importante mencionar que, aunque ha habido algunos avances, todavía resultan insuficientes para combatir la mortalidad y discapacidad que ocasionen los percances de tránsito en territorio nacional.

⁵ Secretaría de Salud. (2017). Guía para prevenir accidentes de tránsito. Serie de seguridad vial, 1, 1.

⁶ Martha Cecilia Híjar Medina. (2014). Los accidentes como problema de salud pública en México. Ciudad de México: Academia Nacional de Medicina.

1.2.2 Zonas de tránsito de mayor riesgo

Es claro que conducir un automóvil por cualquier calle, avenida o carretera implica un riesgo, si bien en las zonas urbanas muchas veces interfiere el factor de la velocidad, también los siniestros viales se presentan a velocidades relativamente bajas con percances en intersecciones.

Estos accidentes en intersecciones, los cuales son más de la mitad a comparación de los accidentes que ocurren en un lugar de no intersección, se producen con mayor frecuencia cuando alguien no respeta el semáforo en rojo, lo que trae como consecuencia deslizamientos y colisiones.

La conducción segura en una intersección, depende de las normas que se imponen y de las señales de tráfico existentes. Las lesiones que se ocasionan en colisiones en intersección suelen deberse a que el conductor y los pasajeros no usaron el cinturón de seguridad, por lo cual, conducir de forma segura en una intersección, también depende de la prudencia y sentido común para tomar decisiones.

1.2.3 Horario de mayor exposición

Manejar un vehículo es una actividad que se puede realizar en cualquier momento, sin embargo, el riesgo que implica es diferente según el horario en el que se expone la unidad. De acuerdo a las estadísticas de los últimos cinco años, los accidentes de tránsito en las zonas urbanas del país ocurren con mayor frecuencia entre las 12:00 y 8:00 horas del día⁷, aunque esto no quiere decir que este sea el horario de mayor exposición puesto que durante el día circula la mayor parte del parque vehicular a diferencia del horario nocturno; tomando en cuenta la proporción entre automóviles y accidentes, es evidente que el riesgo que implica conducir en la noche es mayor que en el resto del día.

Existen varios factores que determinan que conducir de noche sea más peligroso, uno es la velocidad, ya que las vías de circulación no presentan congestión y la actividad es menor, otro aspecto que se considera importante es la disminución de visibilidad, reconocer algún objeto en la ruta con tiempo suficiente es vital para evitar un accidente, pero de noche la visibilidad en la ruta disminuye.

1.3 Estadísticas de frecuencia

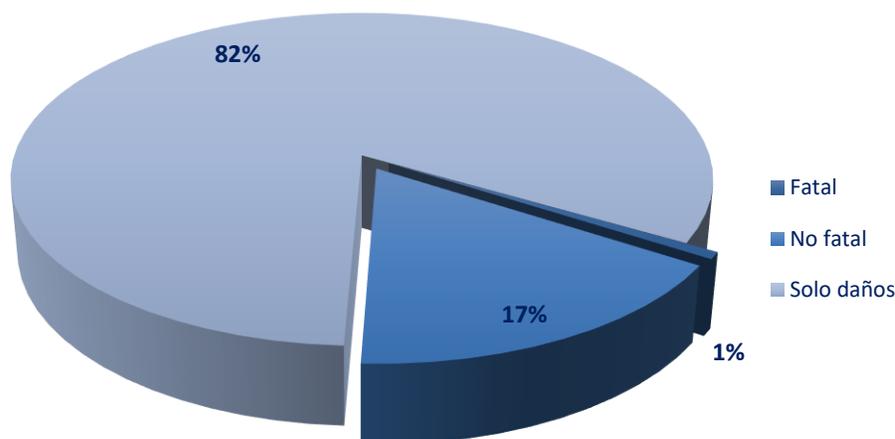
La estadística que se produce a través del INEGI contempla los eventos viales en donde se hayan registrado víctimas, las cuales son reportadas por las Dependencias de Seguridad Pública y Vialidad de los Estados y/o Municipios, así como por las Agencias del Ministerio Público o Juzgados Cívicos en el caso de la Ciudad de México. Es importante mencionar que la estadística de accidentes de tránsito no incluye aquellos eventos que no hayan sido registrados por las autoridades de tránsito en los estados, municipios o en la Ciudad de México cuando el accidente corresponde a daños materiales menores y existe común acuerdo entre los involucrados.

⁷ Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/transporte/accidentes.asp>

1.3.1 Por clase de accidente

De acuerdo con los datos que se obtuvieron durante el año 2017⁸, se registró un total de 341,992 accidentes en zonas urbanas, de los cuales 57,046 que representan el 17% corresponden a percances viales en los que se identificaron víctimas heridas; en 2,350 accidentes que representan menos del 1% se registró al menos una persona muerta y los 282,596 restantes que representan la mayor parte con el 82% de frecuencia corresponden a los percances viales en los que se registraron solo daños.

Gráfica 1.1
Accidentes de tránsito según clase de accidente. Año 2017.



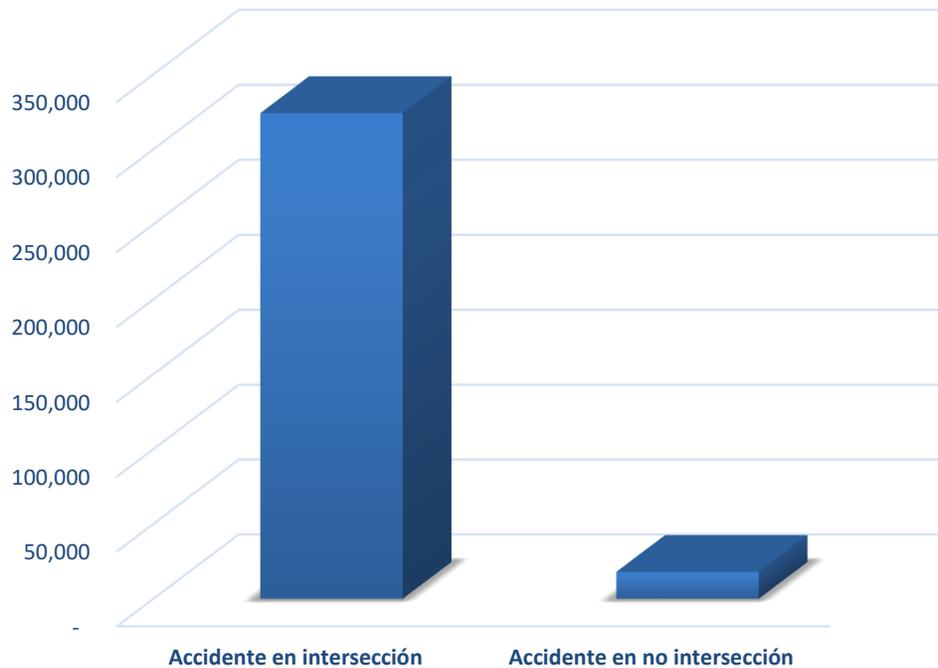
Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

1.3.2 Por intersección

El INEGI desarrolló la estadística de accidentes de tránsito en zonas urbanas, la cual contempla información sobre el número de accidentes que se registraron en la intersección de dos vialidades. De modo que, del total de accidentes registrados en el año 2017, 324,055 corresponden a los que tuvieron lugar en intersección, representando la mayor parte con el 95% de participación, el 5% restante no ocurrieron en intersección.

⁸ Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?proy=

Gráfica 1.2
Accidentes de tránsito según lugar del accidente. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

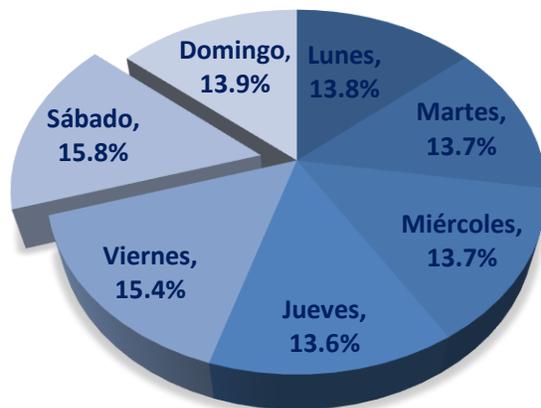
Las intersecciones son lugares en los cuales, se produce la confluencia de varias vías, por las que el flujo vehicular se mueve en diversas direcciones, y surgen conflictos de mayor o menor peligrosidad en función de las maniobras permitidas. Debido al constante incremento de las tasas de accidentes de tránsito, se hace necesario mejorar algunas características de la infraestructura vial, para reducir situaciones de conflicto y de este modo reducir la frecuencia y gravedad de éstos, no obstante, es indispensable y obligatorio contar con un seguro de auto.

1.3.3 Por día de la semana

En la experiencia del año 2017, se obtuvo que los accidentes de tránsito mantienen una alta frecuencia a lo largo de la semana, sin embargo, el sábado abarca la mayor cantidad de eventos, en este día se registraron 54,145 percances viales, seguido del viernes con 52,790 percances y que en conjunto representan el 31.3% de los accidentes en una semana. Para el caso del sábado, el horario en el que se

registra el mayor número de accidentes es entre las 12:00 a las 22:59 horas, con el 57% de estos eventos.

Gráfica 1.3
Accidentes de tránsito terrestre según día de la semana. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

1.3.4 Por tipo de víctimas

Actualmente, existen diversos planes enfocados a disminuir la cantidad de accidentes de tránsito que ocurren en el país, como son alcoholímetros, radares para la disminución de velocidad, retenes de revisión, campañas para el uso del cinturón de seguridad, uso de casco en los motociclistas, así como programas para crear conciencia vial en conductores, peatones y ciclistas.

Dichas medidas han incurrido de manera favorable en la disminución de víctimas por accidentes de tránsito ocurridos en zonas urbanas; en el año 2013 se registraron 127,908 víctimas, lo cual significa que para el año 2017 este número se redujo en un 25% con 95,551 registros de víctimas reportadas.

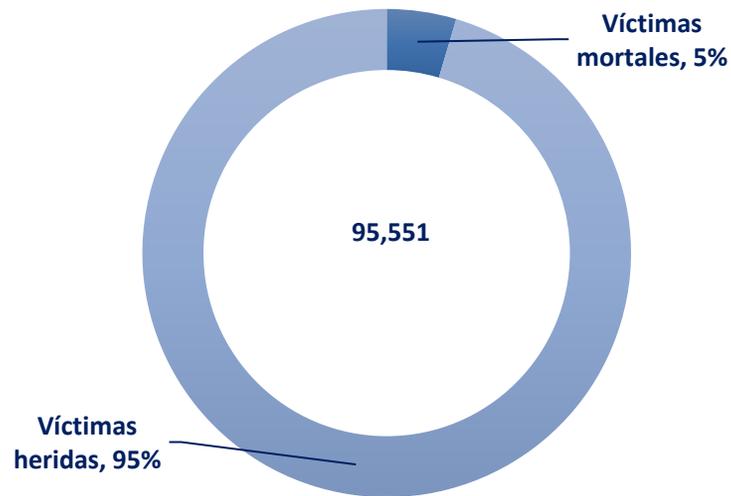
Gráfica 1.4
Víctimas de los accidentes de tránsito en los años 2013-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

De este número de víctimas registrado en el año 2017, el 95% se reportaron heridas y el restante 5% corresponde a 4,394 víctimas mortales.

Gráfica 1.5
Víctimas de los accidentes de tránsito. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

Las personas fallecidas aparecen con mayor frecuencia en los meses de abril, junio y diciembre, estos meses concentran 28% del total de las víctimas mortales.

Gráfica 1.6
Víctimas mortales de los accidentes de tránsito por mes. Año 2017.



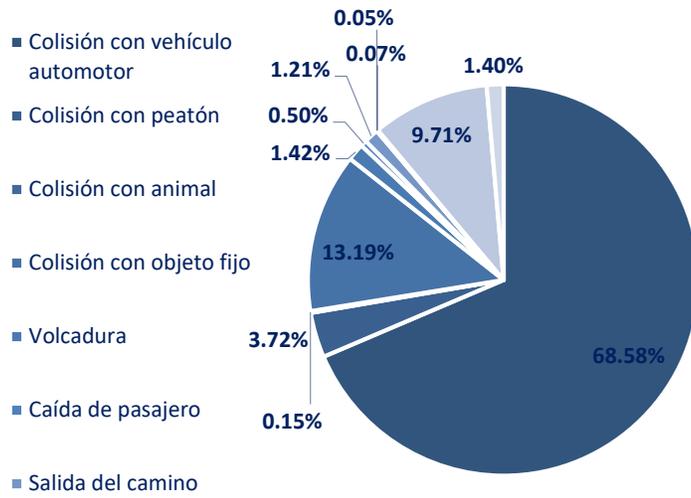
Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

1.3.5 Por tipo de accidente

Las cifras presentadas por el INEGI a través de la Estadística de Accidentes de Tránsito no contemplan las víctimas que fallecieron en carreteras o puentes federales, de igual forma las personas que resultaron lesionadas gravemente en el lugar del percance y en las horas o días posteriores fallecen ya sea en el traslado o en hospitales no se registran en la estadística.

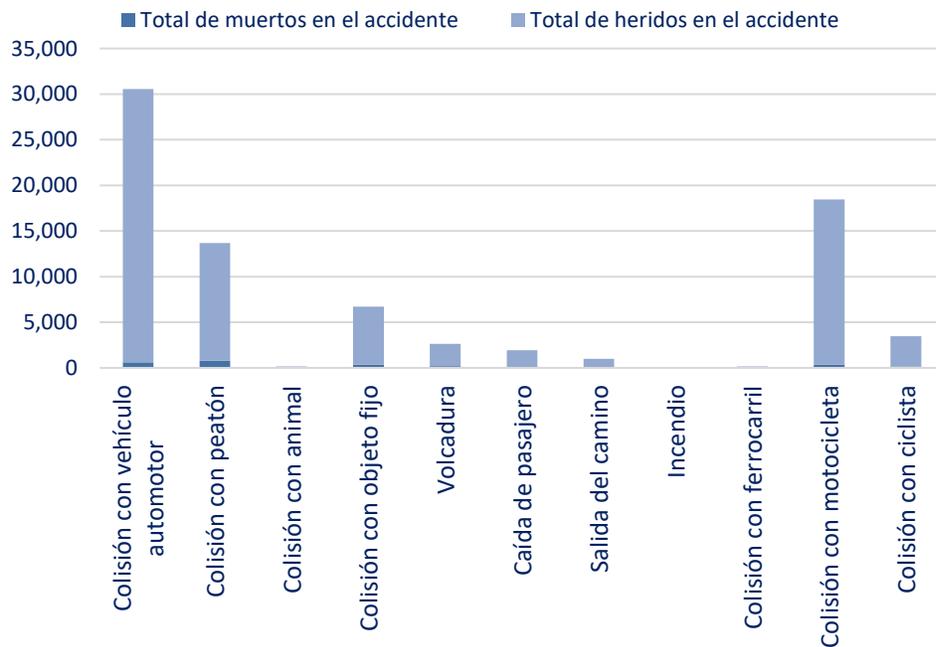
En 2017, casi el 70% de los accidentes de tránsito se deben a colisión con vehículo automotor y este tipo de accidente provoca un alto porcentaje de víctimas heridas con el 39% de la frecuencia, sin embargo, la mayor parte de las víctimas mortales se deben a colisiones con peatón representadas por un 30%.

Gráfica 1.7
Accidentes de tránsito terrestre por tipo de accidente. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

Gráfica 1.8
Accidentes de tránsito por tipo de accidente según víctima. Año 2017.

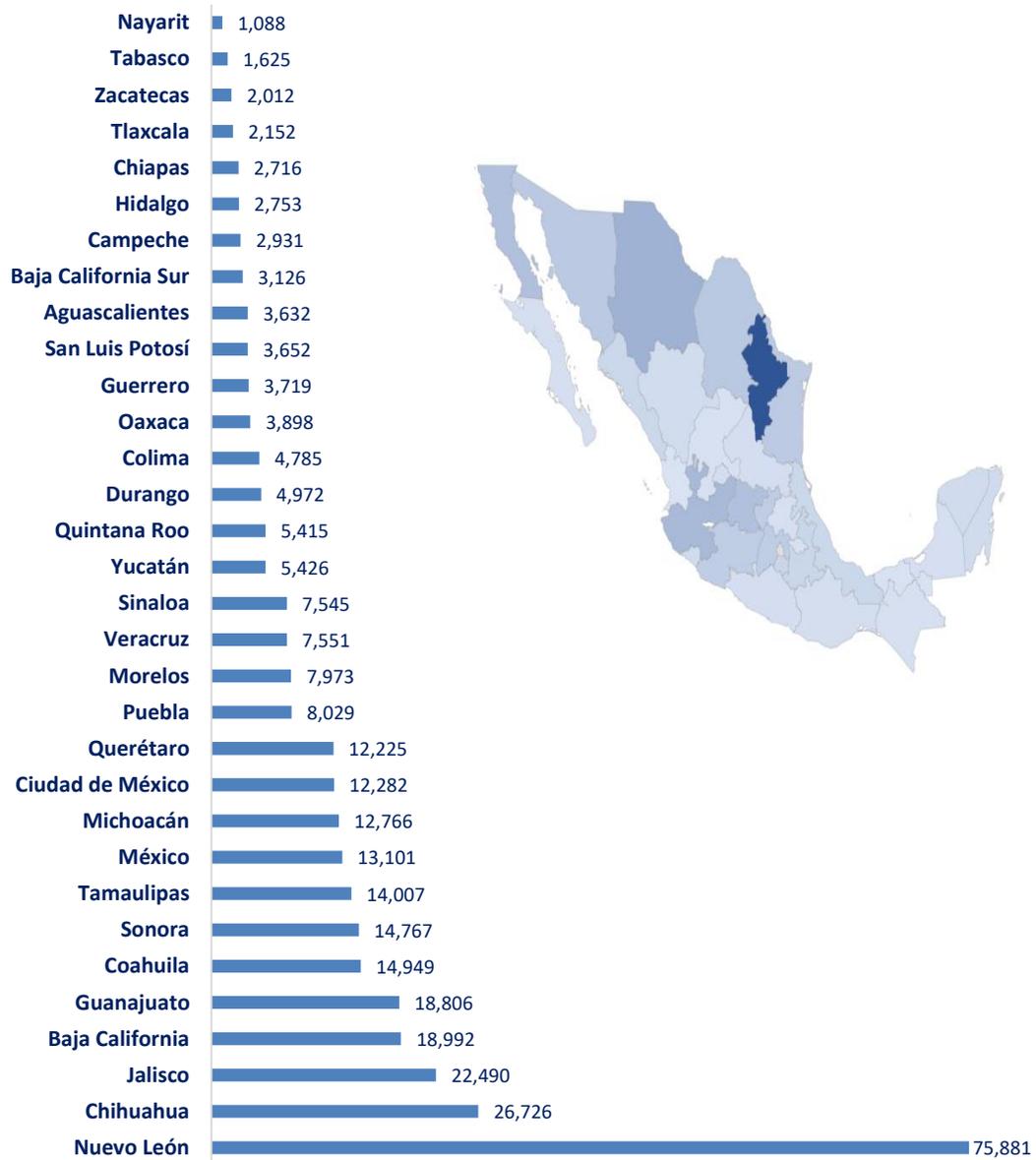


Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

1.3.6 Por entidad federativa

Durante 2017, se determinó que Nuevo León es la entidad federativa con mayor número de accidentes en zonas urbanas, 75,881 accidentes de un total de 341,992 son lo que posicionan a esta entidad federativa en primer lugar.

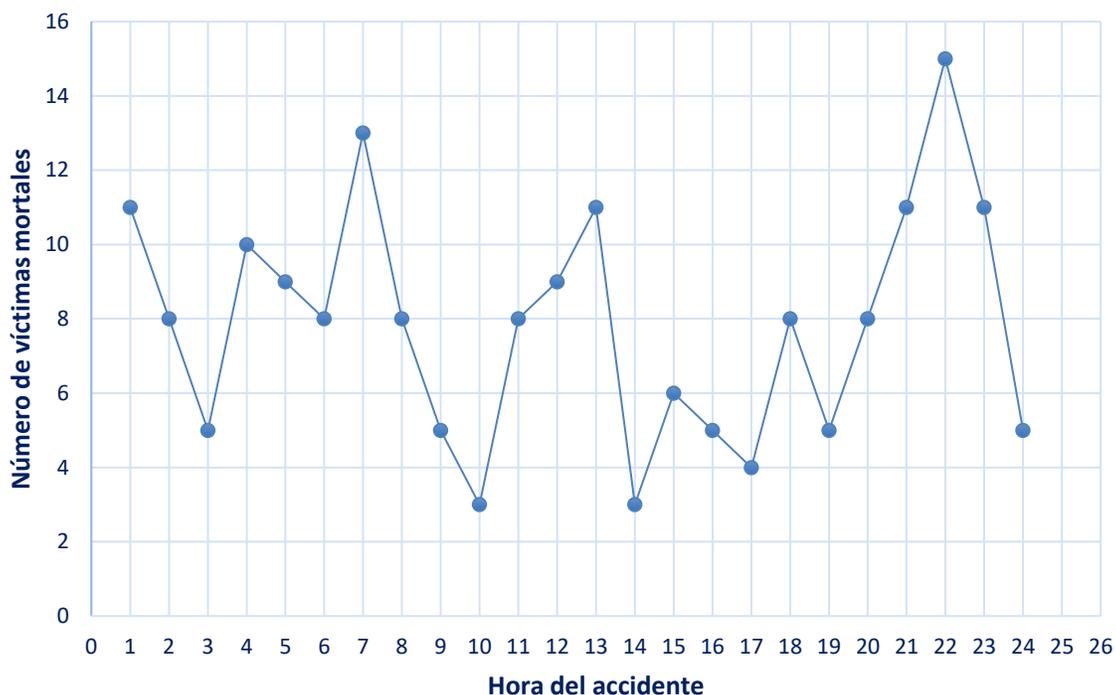
Gráfica 1.9
Accidentes de tránsito terrestre por entidad federativa. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

Las víctimas mortales que dejan los accidentes de tránsito en Nuevo León se registran con mayor frecuencia en horarios aproximados en los que amanece y anochece, esto se debe a la falta de conocimiento del reglamento de tránsito y en general de una cultura vial, así como fallas en la señalización.

Gráfica 1.10
Número de víctimas mortales según la hora del accidente. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

Es importante mejorar la aplicación de todas las leyes relativas a la seguridad vial, los esfuerzos para hacer cumplir la legislación deben difundirse debidamente, sostenerse y aplicarse por medio de medidas y sanciones apropiadas.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE FACTORES

2.1 Introducción

El análisis factorial es un conjunto de diferentes tipos de métodos estadísticos multivalentes cuyo propósito principal es sacar a la luz la estructura subyacente en una matriz de datos. Analiza la estructura de las interrelaciones entre un gran número de variables no exigiendo ninguna distinción entre variables dependientes e independientes utilizando esta información calcula un conjunto de dimensiones latentes, conocidas como factores, que buscan explicar dichas interrelaciones. Es, por lo tanto, una técnica de reducción de datos dado que, si se cumplen sus hipótesis, la información contenida en la matriz de datos puede expresarse, sin mucha distorsión, en un número menor de dimensiones representadas por dichos factores. Un análisis factorial tiene sentido si se cumplen dos condiciones: *discreción e interpretabilidad*.

El análisis factorial es una técnica estadística multivariante cuyo principal propósito es sintetizar las interrelaciones observadas entre un conjunto de variables en una forma concisa y segura como una ayuda a la construcción de nuevos conceptos y teorías. Para ello utiliza un conjunto de variables aleatorias inobservables, que llamaremos factores comunes, de forma que todas las covarianzas o correlaciones son explicadas por dichos factores y cualquier porción de la varianza inexplicada por los factores comunes se asigna a términos de error residuales que llamaremos factores únicos o específicos.

El análisis factorial puede ser exploratorio o confirmatorio. El análisis exploratorio se caracteriza porque no se conocen a priori el número de factores y es en la aplicación empírica donde se determina este número. Por el contrario, en el análisis de tipo confirmatorio los factores están fijados a priori, utilizándose contrastes de hipótesis para su corroboración.

En el presente capítulo se expondrá un modelo basado en el análisis de componentes principales, como técnica de análisis factorial. Para ello se explicara: Análisis de la matriz de correlación, Test de esfericidad de Barlett, Medida de adecuación muestral, Extracción de factores, Problema de grados de libertad, Problema de no unicidad de la solución, Método de extracción, Componentes principales, Determinación del número de factores, Regla de Kaiser, Criterio de porcentaje de varianza, Gráfico de sedimentación, Interpretación de factores ortogonales, Rotación ortogonal de factores, Método Varimax, Cálculo de puntuaciones factoriales, Método de Barlett, Validación del modelo, Construcción de polinomios ortogonales

2.1 Marco metodológico

Una de las características de nuestros tiempos es la gran cantidad de datos que con diferentes y modernas herramientas es posible obtener ya que en un instante se captan miles de valores de muchas variables a la vez. Sin embargo, son varias las situaciones en que, por existir un gran número de

variables y por no tenerse un tratamiento adecuado de los datos, no se facilita la interpretación de la información.

La estadística ayuda en ese sentido, ya que proporciona una serie de procedimientos y modelos de carácter multivariado que reducen la dimensión y permiten un mejor manejo e interpretación de los datos disponibles. Por ejemplo, en el análisis de componentes principales se tiene un método estadístico que permite encontrar nuevas variables llamadas *componentes principales*, que simplifican la información contenida en las variables originales.

Los primeros indicios de dicho análisis surgen a partir de dos planteamientos diferentes, el primero introducido por K. Pearson por el año de 1901 él cual estudiaba los ajustes ortogonales por mínimos cuadrados para conocer la relación entre las variables buscando una función de aproximación para los datos que le eran presentados.

El segundo análisis fue presentado alrededor del año de 1933 por el economista y matemático Harold Hotelling en el análisis de las correlaciones canónicas, cuyo objetivo era buscar las relaciones que podían existir entre dos grupos de variables y la validez de estas creando así combinaciones lineales de las variables originales.⁹

Por lo anterior surge el análisis de componentes principales, el cual tiene como objetivos:

- Representar óptimamente en un espacio de dimensión pequeña observaciones de un espacio general p -dimensional. Es decir, nos ayuda a identificar las posibles variables ***latentes*** o ***no observadas*** que generan los datos. (Función exploratoria)
- Transformar las variables originales en nuevas variables para la facilitación de la interpretación de los datos.

En términos generales, los componentes principales analizan la estructura de las correlaciones entre un gran número de variables mediante la definición de un conjunto de dimensiones subyacentes comunes conocidos como componentes.

Hay que tener en cuenta que existe un análisis cuya formulación es muy similar al análisis de los componentes principales el cual es el análisis factorial, en ambos casos se tienen técnicas estadísticas del análisis multivariado, para la identificación del menor número de factores que pueden ser usados para representar de forma resumida la información contenida en un conjunto numeroso de variables interrelacionadas, pero conceptualmente tienen diferentes significados. Ya que mientras en el análisis de componentes principales sí la matriz de correlación existe, los componentes principales también existen, por otro lado, el modelo factorial puede ser aceptado o no mediante un test estadístico a través de la matriz de correlación en las variables, en donde el análisis factorial obtiene los factores comunes.

⁹ Jorge de la Garza García. (2013). Análisis de factores. En Análisis Estadístico Multivariante (337-339). España: Mc Graw Hill.

En el libro “*Multivariate analysis. Methods and applications*” de Dillon y Goldstein los autores aseguran que los componentes principales no hacen ninguna distinción entre las fuentes de variación lo cual tiene otras implicaciones empíricas y conceptuales.¹⁰

Para ver dichas consecuencias se consideran en la forma algebraica los factores no observables donde se expresan como funciones de las variables observadas de los de componentes principales:

$$\begin{aligned} CP_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p \\ CP_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2p}x_p \\ &\vdots \\ CP_m &= a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mp}x_p \end{aligned}$$

Por otro lado, en el análisis factorial los argumentos de cada variable observada se expresa en términos de factores comunes más un factor único:

$$\begin{aligned} x_1 &= v_{11}F_1 + v_{12}F_2 + \dots + v_{1m}F_m + e_1 \\ x_2 &= v_{21}F_1 + v_{22}F_2 + \dots + v_{2m}F_m + e_2 \\ &\vdots \\ x_p &= v_{p1}F_1 + v_{p2}F_2 + \dots + v_{pm}F_m + e_p \end{aligned}$$

Se puede observar en las expresiones algebraicas correspondientes del análisis de componentes principales la ausencia de un término de error que implica que las variables observables se miden sin error y que el análisis factorial es una perfecta combinación lineal de sus medidas más un valor latente no observable.

Es decir, en el primer caso las variables observadas son indicadores para la formación de los componentes de las variables no observadas mientras que en el último caso son indicadores reflectantes sujetos a un error de medición.

Además, mientras que los componentes principales son más adecuados para derivar un pequeño conjunto de combinaciones lineales de las variables originales para explicar la mayor parte de la varianza total, la técnica de factores puede servir mejor a las funciones de consulta de datos cualitativos y cuantitativos y, sobre todo para probar una hipótesis a priori sobre el número de componentes comunes que subyacen a una serie de datos.

El análisis de componentes principales en resumen es una técnica estadística usada para identificar un número relativamente pequeño de componentes que puede ser usado para representar en forma resumida la información contenida en un conjunto de variables interrelacionadas. Basado en este contexto, las variables relacionadas con los accidentes de tráfico en zonas urbanas, como accidentes por clase de accidente, intersección, por día de la semana, por tipo de víctimas y de accidente; por

¹⁰ William R Dillon. (1984). Principles of compositional data analysis. En *Multivariate Analysis: Methods and Applications* (75-79). España: Royal Statistical Society.

entidad federativa pueden ser utilizados para obtener un indicador global de accidentes de tráfico y para obtener dicho indicador se puede recurrir entre otras técnicas al análisis de componentes principales.

2.1.1 Planteamiento del problema

Como ya se ha mencionado la idea del análisis de componentes principales es buscar las relaciones existentes entre las variables numéricas de un conjunto de elementos, con la finalidad de expresar la información original en nuevas variables nombradas componentes principales. Esto mediante la reducción de la información, permitiendo la visualización de los datos o conceptos que no son directamente medibles a partir de variables que sí lo son.

Esta técnica tiene la finalidad de disminuir el número de columnas con base en sus semejanzas por esto la información estará ordenada de acuerdo con las agrupaciones de las estadísticas de accidentes de tráfico: accidentes fatales, zonas de tránsito de mayor riesgo, horario de mayor exposición, clase de accidente, intersección, día de la semana, tipo de víctimas, tipo de accidente, entidad federativa.

El propósito de aplicar esta técnica es:

- Identificar un conjunto de componentes que se encuentran latentes en la incidencia de accidentes de tráfico y que se pueden identificar fácilmente, dentro de un conjunto de variables.
- Identificar nuevas variables que podrán utilizarse en el análisis de tendencias
- Generar un índice de accidentes de tránsito en zonas urbanas.

2.2 Análisis de la matriz de correlación

Una correlación es una medida lineal entre dos variables, es decir, una correspondencia. La matriz de correlaciones es una matriz de muchas correspondencias. Para empezar a hacer el análisis de la matriz de correlación, primero se debe formular el problema, después obtener la matriz de datos (misma que está en función de la matriz de cargas factoriales) para que finalmente continúe con el análisis, la finalidad de este último es identificar si las variables que estaré utilizando están altamente intercorrelacionadas, de ser así procederé a utilizar el Análisis Factorial.

Para calcular las correlaciones es necesario obtener las varianzas y covarianzas de las variables y después encontrar las correlaciones, pero si las variables se encuentran estandarizadas no es necesario este paso ya que las varianzas y covarianzas de variables estandarizadas son las correlaciones; esta es una de las ventajas que se tiene cuando se estandarizan las variables [De la Garza].

La matriz de correlación entre las variables observadas es usualmente un arreglo de forma cuadrática:

$$R_p = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Donde $r_{ij} = \frac{S_{ij}}{(S_i S_j)^{1/2}}$

S_i , $i = (1, \dots, p)$ son las varianzas de cada una de las variables observadas

S_{ij} , $i = (1, \dots, p)$ y $j = (1, \dots, p)$ son las covarianzas de par en par de las variables observadas.

Como se observa, los elementos de la diagonal presentan una correlación igual a 1, mientras que el resto de los elementos sus correlaciones son menores a 1. El valor numérico de las correlaciones oscila entre [+1,-1], cuando la correlación relativamente cercana a +1 o -1 significa que existe una correlación entre ambas variables, mientras que, si da cero, significa que ambas variables no tienen correlación alguna.

Otra característica que presenta una matriz de correlación es su simetría, es decir si se colocara un espejo en la diagonal de la matriz se observa que los elementos del triángulo inferior son igual a los elementos del triángulo superior.

La matriz de correlación indica cuales variables posiblemente quedaran agrupadas en el mismo factor y cuales posiblemente no lo hagan. La matriz de correlación sirve para cuando las variables se identifican con más de un factor o característica y se tiene que deslindar para que cada variable se relacione con un solo factor.

2.2.1 Test de esfericidad de Barlett

Es una manera particular de analizar la matriz de correlación. El test de esfericidad de Bartlett se obtendrá a partir de una transformación del determinante de la matriz de correlación, es decir, si el determinante de la matriz de correlación es igual a uno, quiere decir que las intercorrelaciones entre las variables son cero, lo que significa que las variables no están intercorrelacionadas por lo cual el Análisis Factorial podría no ser apropiado de utilizar.

La prueba de esfericidad de Barlett permite contrastar que en la matriz de correlación exista una relación entre las variables, es decir, que exista cierto grado de multicolinealidad, ya que la técnica de análisis de factores identifica las variables que están interrelacionadas. En caso contrario, la matriz de correlación sería una matriz identidad y no tendría sentido llevar a cabo el análisis de factores.¹¹

¹¹ Jorge de la Garza García. (2013). Análisis de factores. En Análisis Estadístico Multivariante (343-345). España: Mc Graw Hill.

Sea R_ρ la matriz de correlación de las variables observadas se prueba que las correlaciones no son nulas y por tanto hay expectativas de tener éxito en la extracción de los factores. Si se confirma la hipótesis nula Significa que las variables no están intercorrelacionadas, por tanto, se plantea:

$$H_0: |R_\rho| = 1 \text{ o } R_\rho = I \text{ vs. } H_a: |R_\rho| \neq 1$$

El estadístico de dicho test está dado por:

$$d_{R_\rho} = - \left[n - 1 - \frac{1}{6}(2p + 5) \right] \log |R_\rho| = - \left[n - \frac{2p + 11}{6} \right] \sum_{j=1}^p \log(\lambda_j)$$

Donde:

n – número de individuos de la muestra

j=1,..., p que son los valores propios de R_ρ

Bajo la hipótesis nula, el estadístico tiende a ser una distribución ji-cuadrada¹² con $P(P-1)/2$ grados de libertad, es decir, si una matriz de correlación es igual a la idéntica entonces significa que las intercorrelaciones entre las variables son igual a cero.

Si con el test Bartlett se obtiene valores altos de χ^2 , esto significa que hay variables con correlaciones altas, por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza. En caso de no rechazar la hipótesis nula significa que las variables no están intercorrelacionadas y en este supuesto debería de reconsiderarse la aplicación de un análisis de componentes principales.

2.2.2 Medida de adecuación muestral

Esta medida también sirve para indicar si se podría utilizar el análisis de factores, pero también permite conocer que tan fuerte y adecuada sería la posible solución que encontrar. Queda claro que mientras más grande sea el valor obtenido tras utilizar esta medida más fuerte es la solución, por lo que se definen rangos que determinan el valor de mi evaluación.

KMO	Evaluación
De .90 en adelante	Excelente
De .80 a .90	Bueno
De .70 a .80	Aceptable
De .60 a .70	Regular
De .50 a .60	Bajo
Menor a .50	Inaceptable

¹² Distribución de probabilidad utilizada para probar el valor de la varianza o desviaciones estándar de una población, la cual es identificada por el parámetro, i.e. el número de grados de libertad.

La medida de adecuación muestral es una medida global que indica sí se llevará a cabo el análisis de factores, que tan fuerte y adecuada sería la posible solución que encontrar, mientras más grande es este valor, la solución es más fuerte, lo óptimo es que $MASg \geq 0.5$.¹³

Este coeficiente de correlación parcial es un indicador de la fuerza de las relaciones entre dos variables eliminando la influencia del resto. Si las variables comparten factores comunes, el coeficiente de correlación parcial debe ser bajo entre pares de variables, puesto que se eliminan los efectos lineales de las otras variables.

Las correlaciones parciales son estimaciones de las correlaciones entre los factores únicos y deberían ser próximos a cero cuando el análisis de componentes principales es adecuado, ya que, estos factores se supone que están incorrelacionados entre sí. Por lo tanto, si existe un número elevado de coeficientes de este tipo distintos de cero es señal de que las hipótesis del modelo factorial no son compatibles con los datos.

Esta medida de adecuación fue propuesta por Kaiser, Meyer y Olkin, la cual está dada por:

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq i} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{j \neq i} \sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{j \neq i} \sum_{i \neq j} r_{ij(p)}^2}$$

Donde $r_{ij(p)}$ es el coeficiente de correlación parcial entre las variables X_i, X_j eliminando la influencia del resto de las variables.

KMO puede tomar valores entre [0.1], se utiliza para comparar las magnitudes de los coeficientes de correlación observados con las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial de forma que, cuanto más pequeño sea el valor, mayor es el valor de los coeficientes de correlación parcial $r_{ij(p)}$ y, por lo tanto, menos deseable es realizar un análisis de componentes principales.

El índice se puede interpretar como la potencialidad del análisis componentes principales para extraer la variabilidad de las variables originales. Por esta razón, Kaiser, Mayer y Olkin, aconsejan los siguientes criterios para establecer la idea de realizar el análisis de componentes principales:

$$KMO \geq 0.75 - \text{Es excelente}$$

$$0.75 > KMO \geq 0.5 - \text{Es aceptable}$$

$$KMO < 0.5 - \text{Es inaceptable}$$

¹³ Jorge de la Garza García. (2013). Análisis de factores. En Análisis Estadístico Multivariante (344). España: Mc Graw Hill.

2.3 Extracción de factores

Es la selección reducida de factores que puedan representar las variables originales, posterior a que se haya determinado que el análisis factorial es la técnica adecuada para analizar los datos. Cuando se intenta cuantificar la matriz de cargas factoriales que es la que explica la matriz de datos en función de los factores comunes, se logra obtener la matriz correlacional poblacional de las variables (identidad fundamental del análisis factorial) que está dada por la matriz diagonal de las especificidades. Existen diversos métodos para la extracción de factores, cada uno con ventajas e inconvenientes.

- A. Problema de grados de libertad. Surge cuando el proceso de estimación requiere que el número de ecuaciones sea mayor o igual que el número de parámetros a estimar.
- B. Problema de no unicidad de la solución. En caso de que no requiera un número mayor o igual de ecuaciones que el número de parámetros a estimar, se debe considerar que la solución a la matriz de cargas factoriales no es única (cualquier transformación ortogonal de la matriz de cargas factoriales es una solución). Por lo tanto, habrá que cobrar consciencia que salvo las rotaciones ortogonales el modelo es único.

La técnica de extracción de factores puede utilizarse en un análisis confirmatorio o exploratorio. El modelo de componentes principales es útil si el objetivo es confirmar una teoría o hipótesis previamente establecida, lo que se llamará confirmatorio y el modelo de factor común se enfoca a un análisis de tipo exploratorio, pues se desea estudiar dentro del conjunto de datos esa estructura latente que hace que las variables muestren interrelación.

Las variables extraídas deberán estandarizar y la varianza de cada una de ellas es 1. La extracción de factores busca aspectos comunes entre variables para agruparlas y la dispersión o variación de los datos indica posibles similitudes entre las variables.

2.3.1 Método de extracción

La formulación del análisis factorial (AF)¹⁴ es muy similar al análisis de componentes principales, ambas son técnicas estadísticas del análisis multivariado, para identificar el menor número de factores que pueden ser usados para representar de forma resumida la información contenida en un conjunto numeroso de variables interrelacionadas, pero conceptualmente tienen diferentes significados.

La diferencia entre AF y CP es “si la matriz de correlación existe, las CP también existen, mientras que el modelo AF podría ser aceptado o no mediante un test estadístico”. Mediante la matriz de correlación en las variables, el AF se obtiene de los factores comunes.

¹⁴ Método multivariante que pretende expresar p variables observables como combinación lineal de m variables hipotéticas o latentes, conocidas como factores.

Dillon y Goldstein aseguran que el hecho de que CP no hace ninguna distinción entre las fuentes de variación tiene otras implicaciones empíricas y conceptuales. Para ver estas consecuencias consideran la forma algebraica de la CP, los factores no observables se expresan como funciones de las variables observables:

$$\begin{aligned}
 CP_{(1)} &= w_{(1)1}X_1 + w_{(1)2}X_2 + \dots + w_{(1)p}X_p \\
 CP_{(2)} &= w_{(2)1}X_1 + w_{(2)2}X_2 + \dots + w_{(2)p}X_p \\
 &\quad \cdot \\
 &\quad \cdot \\
 CP_{(m)} &= w_{(m)1}X_1 + w_{(m)2}X_2 + \dots + w_{(m)p}X_p
 \end{aligned}$$

Dillon y Goldstein también aseguran que el AF expresa cada variable observable en términos de factores comunes no observables y un factor único, su representación algebraica es:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= v_{1(1)}CF_{(1)} + v_{1(2)}CF_{(2)} + \dots + v_{1(m)}CF_{(m)} + e_1 \\
 X_2 &= v_{2(1)}CF_{(1)} + v_{2(2)}CF_{(2)} + \dots + v_{2(m)}CF_{(m)} + e_2 \\
 &\quad \cdot \\
 &\quad \cdot \\
 X_p &= v_{p(1)}CF_{(1)} + v_{p(2)}CF_{(2)} + \dots + v_{p(m)}CF_{(m)} + e_p
 \end{aligned}$$

Observando la expresión algebraica del CP, la ausencia de un término de error implica que las variables observables se miden sin error y que el AF latente no observable es una perfecta combinación lineal de sus medidas. Dicho de otra manera, en un caso la variable observable son indicadores de formación del factor de no observables, mientras que en el último caso son indicadores reflectantes sujetos a error de medición.

Además, mientras que CP es el más adecuado para derivar un pequeño conjunto de combinaciones de líneas regulares de las variables originales que explica la mayor parte de la varianza total, la técnica del AF puede servir mejor a las funciones de consulta de datos cualitativos y cuantitativos y, sobre todo, probando una hipótesis *a priori* sobre el número de factores comunes que subyacen a una serie de datos o el carácter de los factores comunes.

El análisis de componentes principales en resumen es una técnica estadística usada para identificar un número relativamente pequeño de factores que puede ser usado para representar en forma resumida la información contenida en un conjunto de variables interrelacionadas.

2.3.2 Componentes principales

Este método no está basado en el análisis factorial y consiste en estimar las puntuaciones factoriales mediante las puntuaciones tipificadas de las primeras componentes principales y la matriz de cargas factoriales mediante las correlaciones de las variables originales con dichas componentes. A pesar de que siempre proporciona una solución, puede llevar a estimadores muy sesgados de la matriz de cargas factoriales, particularmente, si existen variables con comunalidades bajas.

Este modelo asume que variación específica es tan pequeña que la considera como cero y desprecia la variación aleatoria. Por lo tanto, la variación total se considera igual a la variación común. Esto significa que el máximo valor que puede tener la variación común es 1. En un análisis de tipo confirmatorio se supone que el factor está formado de una combinación lineal de las variables originales.

$$F_{ij} = U_1X_{1j} + U_2X_{2j} + \dots + U_kX_{kj}$$

Donde:

F= es el factor 1 de la observación j.

U= representa la importancia o peso relativo que cada variable estandarizada tiene con respecto al factor encontrado.

X= es la variable

J= es el número de la observación

K= número de variables

Así, toda la información contenida en las variables que se analizan, nada es específico y todo es variación común

2.3.3 Determinación del número de factores

Cuando se tienen factores que contribuyen poco, muy poco o nada a la solución, se deberá determinar aquellos factores a conservar para intentar cumplir con el *principio de parsimonia*.

La aplicación de cada uno de los siguientes criterios deberá hacerse en la información reportada por la matriz no rotada, y como guía para determinar una primera solución al problema. La solución definitiva no necesariamente será la obtenida por el grado de los criterios mencionados; estas se conocerán al analizar soluciones con uno o dos factores más o menos al número de factores obtenidos en la solución inicial. Aquella solución que agrupe lógicamente a las variables será la definitiva.

El objetivo para determinar el número de factores como solución inicial son los siguientes:

- *Criterio a priori.* Se utiliza en aquellos casos en donde el investigador desea probar alguna teoría o hipótesis y de antemano conoce cuantos factores se deben tener en la solución; el investigador decide el número de factores a pedir con base a su hipótesis. Se recomienda si se usa la técnica de análisis de factores para un análisis confirmatorio.
- *Criterio de raíz latente.* En este se pueden tomar en cuenta dos consideraciones: En caso de que los datos no estén estandarizados la idea es retener a los factores cuya raíz característica exceda la media de las raíces característica. La raíz característica es la variación explicada por cada factor. Cuando los datos están estandarizados se considera que un factor debe ser retenido en la solución si su raíz característica es mayor a 1. Debido a que el eigenvalores o raíces características representan las varianzas y las varianzas de las variables estandarizadas es igual a 1, un factor con un valor eigenvalor menor a 1, no es importante o se considera que no tiene la cantidad de información significativa captada; lo lógico es mantener a los factores que tengan mayor información que cualquiera de las originales. Se recomienda este criterio si el objetivo del análisis de factores es para un análisis exploratorio.
- *Criterio del porcentaje de variación explicada acumulada.* Mediante este criterio se considera que n factores deben manejarse como solución inicial, si el porcentaje de variación explicada acumulada se encuentra en un rango entre 60% y 95%. Es decir, a través de este criterio se está dispuesto a perder cuando mucho el 40% y cuando menos 5% de la información.
- *Criterio scree test.* La idea es determinar que, si los factores son importantes, tendrán una varianza grande. Al extraer los factores, el primero contabiliza la mayor variación, el segundo que se extrae tiene menor variación que el primero y así sucesivamente. En virtud de esta manera natural en que se extraen, para la aplicación de este criterio se realiza una gráfica en la que se ubica el número del factor en el eje de las X y los valores de la varianza con los eigenvalores en el eje de las Y.

2.3.4 Cálculo de puntuaciones factoriales

Una vez que se determinaron los factores rotados, se deberá calcular la matriz de puntuaciones factoriales. Se llama puntaje a los datos con los que se manejaría cada factor como variable. Los puntajes se pueden obtener a través de tres enfoques ¹⁵

1. Preciso
2. Aproximado
3. Medio

¹⁵ Jorge de la Garza García. (2013). Análisis de factores. En Análisis Estadístico Multivariante (365-369). España: Mc Graw Hill.

1. Preciso. En este enfoque, existen tres criterios para obtener los coeficientes estandarizados que forman ecuaciones lineales para la extracción de los puntajes y son: regresión, Anderson-Rubin y Bartlett.

En los tres criterios, se involucran todas las variables y consiste en obtener los puntajes respectivos al sustituir los datos estandarizados de la matriz de coeficientes estandarizados en la ecuación que define al factor. Dicha ecuación está formada por una combinación lineal de las variables que se manejan en la investigación; entonces, los datos obtenidos se sustituyen en la ecuación y resulta un puntaje del factor, es decir, habrá tantos puntajes como datos se tengan.

La diferencia entre cada criterio es: En el de Anderson-Rubin los puntajes que se alcanzan son de variables sin relación (ortogonales) y estandarizados. En el de regresión los puntajes de factores pueden estar correlacionados y en el de Bartlett se aplica el método de máxima verosimilitud, bajo el supuesto de que los factores deben presentar normalidad. También se le conoce como método largo.

2. Aproximado. Consiste en utilizar como puntajes los datos originales de la variable que se haya identificado más con el factor, para esto es necesario volver a la matriz rotada y encontrar la variable que tenga la mayor carga, pero por factor. También se le conoce como método corto.
3. Promedio. Consiste en utilizar como puntajes los promedios de las variables que se agruparon con cada factor. Para calcular los puntajes del factor 1 es necesario volver a la matriz rotada y saber cuáles son las variables que se agruparon con dicho factor. Con esta información se vuelve a los datos originales (si no están disponibles o si no se tienen las mismas unidades, se pueden utilizar los valores de las variables estandarizados) y se encuentra el promedio de dichas variables.

Después de obtener la matriz de componentes, se definen las puntuaciones factoriales mediante una estimación para cada uno de los sujetos en cada factor extraído, con el objeto de valorar la situación que tiene ese sujeto frente a las variables construidas (Factores).

El cálculo de las puntuaciones factoriales son las puntuaciones que tienen los componentes principales para cada uno de los sujetos de la muestra, dichas puntuaciones se calculan mediante la expresión:

$$X_{ij} = a_{i1} \cdot Z_{1j} + \dots + a_{ip} \cdot Z_{pj} = \sum_{s=1}^k a_{is} \cdot Z_{sj}$$

Dónde:

a_{is} – son los coeficientes

Z_{sk} – son los valores estandarizados

Al utilizar el método de extracción de factores, las puntuaciones obtenidas se calculan a partir de la solución factorial, esta solución es ortogonal¹⁶ por lo que las puntuaciones también lo son.

2.3.5 Construcción del índice de accidentes de tránsito

Mediante la matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones factoriales es posible construir una ecuación lineal de la primera componente, que nos da el número de accidentes para cada una de las variables.

$$CI = a_1 Z_{I_1} + a_2 Z_{I_2} + a_3 Z_{I_3} + \dots + a_{n-1} Z_{I_{n-1}} + a_n Z_{I_n}$$

Sustituyendo Z_{I_1} que son los valores estandarizados, se tiene que:

$$CI = a_1 \frac{(x_{I_1} - \bar{X}_{V_1})}{\sigma_{V_1}} + a_2 \frac{(x_{I_2} - \bar{X}_{V_2})}{\sigma_{V_2}} + a_3 \frac{(x_{I_3} - \bar{X}_{V_3})}{\sigma_{V_3}} + \dots + a_{n-1} \frac{(x_{I_{n-1}} - \bar{X}_{V_{n-1}})}{\sigma_{V_{n-1}}} + a_n \frac{(x_{I_n} - \bar{X}_{V_n})}{\sigma_{V_n}}$$

Tabla 2.1

Tabla de correlaciones

		F3_Solo_daños	F4_En_intersección	F10_Viernes	F11_Sábado	F15_Colisión_con_vehículo_automotor	F24_Colisión_con_motocicleta	F34_Chihuahua	F35_Ciudad_de_México
Correlación	F3_Solo_daños	1.000	.790	.673	-.280	-.595	.806	-.496	-.660
	F4_En_intersección	.790	1.000	.654	-.363	-.729	.755	-.398	-.531
	F10_Viernes	.673	.654	1.000	-.424	-.500	.747	-.577	-.441
	F11_Sábado	-.280	-.363	-.424	1.000	.567	-.637	.648	-.285
	F15_Colisión_con_vehículo_automotor	-.595	-.729	-.500	.567	1.000	-.744	.397	.157
	F24_Colisión_con_motocicleta	.806	.755	.747	-.637	-.744	1.000	-.758	-.336
	F34_Chihuahua	-.496	-.398	-.577	.648	.397	-.758	1.000	.030
	F35_Ciudad_de_México	-.660	-.531	-.441	-.285	.157	-.336	.030	1.000
	Sig. (unilateral)	F3_Solo_daños		.000	.000	.109	.002	.000	.011
F4_En_intersección		.000		.001	.053	.000	.000	.037	.007
F10_Viernes		.000	.001		.028	.010	.000	.003	.023
F11_Sábado		.109	.053	.028		.004	.001	.001	.105
F15_Colisión_con_vehículo_automotor		.002	.000	.010	.004		.000	.037	.248
F24_Colisión_con_motocicleta		.000	.000	.000	.001	.000		.000	.068
F34_Chihuahua		.011	.037	.003	.001	.037	.000		.448
F35_Ciudad_de_México		.001	.007	.023	.105	.248	.068	.448	

a. Determinante = .001

¹⁶ Independencia matemática de ejes factoriales entre sí (i.e., ángulos rectos o ángulos de 90 grados).

En la Tabla 2.1 se presenta la matriz de correlaciones y su determinante, como se observa, este último arroja un valor cercano a cero, esto nos indica que el grado de intercorrelación de las variables es alto. En la matriz, los elementos de la diagonal presentan correlación igual a 1 y el resto de los elementos presentan correlaciones menores a 1. Por ejemplo, la correlación entre las variables clase de accidente – solo daños y tipo de accidente – colisión con motocicleta, es cercana a 1; lo cual significa que existe correlación entre ambas variables. Otra característica que podemos notar en la matriz es su simetría.

Para contrastar la relación que se observa en la matriz de correlaciones vamos a verificar con la prueba de esfericidad de Bartlett (Tabla 2.2) el valor de χ^2 , el cual es alto, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que significa que las variables no están intercorrelacionadas.

Tabla 2.2
Medida Kaiser Meyer Olkin y Esfericidad de Bartlett.

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		.820
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	124.762
	gl	28
	Sig.	.000

En esta misma tabla tenemos que la medida KMO arroja un valor superior a .80 por lo cual se define como bueno y la matriz de datos es apropiada para realizar la factorización.

En la técnica de extracción de factores, utilizamos el modelo de componentes principales (Tabla 2.3), el cual asume que es posible explicar la varianza observada al 100% es por esto por lo que todas las comunalidades iniciales son iguales a la unidad.

Tabla 2.3
Comunalidades.

	Inicial	Extracción
F3_Solo_daños	1.000	.877
F4_En_intersección	1.000	.803
F10_Viernes	1.000	.688
F11_Sábado	1.000	.881
F15_Colisión_con_vehículo_automotor	1.000	.638
F24_Colisión_con_motocicleta	1.000	.932
F34_Chihuahua	1.000	.685
F35_Ciudad_de_México	1.000	.909

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Las comunalidades nos ayudan a saber cuál de los factores de manera individual es más importante para poder explicar el problema, en este caso, dado que todos los parámetros presentan valores mayores a 0.4, podemos concluir que todos son importantes para la explicación del problema, es decir, todos los valores mayores a 0.4 pueden agruparse.

En la varianza total explicada (Tabla 2.4) se obtiene un listado de autovalores de la matriz de varianzas-covarianzas y del porcentaje de varianza que representa cada uno de ellos. Los autovalores expresan la cantidad de varianza total explicada por cada factor y los porcentajes de varianza explicada a cada factor, se obtienen dividiendo su correspondiente autovalor por la suma de los autovalores. Por defecto, se extraen tantos factores como autovalores mayores que 1 tiene la matriz analizada, por lo tanto, el procedimiento extrae 2 factores que consiguen explicar el 80.15% de la varianza de los datos originales.

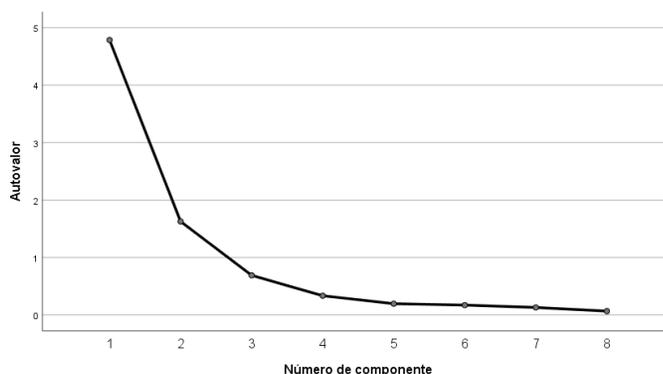
Tabla 2.4
Varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	4.785	59.817	59.817	4.785	59.817	59.817	3.251	40.632	40.632
2	1.627	20.340	80.157	1.627	20.340	80.157	3.162	39.524	80.157
3	.689	8.618	88.774						
4	.334	4.180	92.954						
5	.196	2.444	95.399						
6	.172	2.144	97.543						
7	.130	1.628	99.171						
8	.066	.829	100.000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

El gráfico de sedimentación (Gráfica 2.1) también sirve para determinar el número óptimo de factores. Tanto la tabla de varianza total explicada como el gráfico de sedimentación muestran los autovalores ordenados de mayor a menor.

Gráfica 2.1
Gráfico de sedimentación.



En la Tabla 2.5, se encuentra la solución factorial que contiene correlaciones entre las variables originales y cada uno de sus factores. Comparando las saturaciones relativas de cada variable en cada uno de los factores, se puede considerar lo siguiente:

- El primer componente esta correlacionado positivamente con solo daños (.870), en intersección (.862), viernes (.824), colisión con motocicleta (.958) y negativamente con Chihuahua (-.712)
- El segundo componente esta correlacionado positivamente con sábado (.716) y negativamente con colisión con motocicleta (-.116)

Tabla 2.5
Matriz de componentes.

	Componente	
	1	2
F3_Solo_daños	.870	.347
F4_En_intersección	.862	.247
F10_Viernes	.824	.091
F11_Sábado	-.606	.716
F15_Colisión_con_vehículo_automotor	-.784	.153
F24_Colisión_con_motocicleta	.958	-.116
F34_Chihuahua	-.712	.422
F35_Ciudad_de_México	-.446	-.843

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. 2 componentes extraídos.

La Tabla 2.6 muestra la matriz de correlaciones reproducidas que son posibles utilizando la información contenida en la solución factorial, es decir, las correlaciones reproducidas se obtienen multiplicando la matriz factorial por su transpuesta. En esta misma tabla se incluye la matriz residual, la cual contiene los residuos del análisis factorial, cada residuo expresa la diferencia existente entre la correlación observada entre dos variables y la correlación reproducida por la estructura factorial para esas dos variables.

Tabla 2.6
Correlaciones reproducidas.

		F3_Solo_daños	F4_En_intersección	F10_Viernes	F11_Sábado	F15_Colisión_con_vehículo_automotor	F24_Colisión_con_motocicleta	F34_Chihuahua	F35_Ciudad_de_México
Correlación reproducida	F3_Solo_daños	.877 ^a	.835	.748	-.279	-.629	.793	-.473	-.681
	F4_En_intersección	.835	.803 ^a	.733	-.346	-.638	.797	-.509	-.592
	F10_Viernes	.748	.733	.688 ^a	-.435	-.633	.780	-.549	-.444
	F11_Sábado	-.279	-.346	-.435	.881 ^a	.585	-.664	.734	-.333
	F15_Colisión_con_vehículo_automotor	-.629	-.638	-.633	.585	.638 ^a	-.769	.623	.221
	F24_Colisión_con_motocicleta	.793	.797	.780	-.664	-.769	.932 ^a	-.731	-.330
	F34_Chihuahua	-.473	-.509	-.549	.734	.623	-.731	.685 ^a	-.038
	F35_Ciudad_de_México	-.681	-.592	-.444	-.333	.221	-.330	-.038	.909 ^a
Residuo ^b	F3_Solo_daños		-.045	-.076	-.001	.034	.013	-.024	.021
	F4_En_intersección	-.045		-.079	-.017	-.091	-.042	.112	.062
	F10_Viernes	-.076	-.079		.011	.132	-.033	-.028	.003
	F11_Sábado	-.001	-.017	.011		-.017	.027	-.085	.048
	F15_Colisión_con_vehículo_automotor	.034	-.091	.132	-.017		.025	-.225	-.064
	F24_Colisión_con_motocicleta	.013	-.042	-.033	.027	.025		-.027	-.006
	F34_Chihuahua	-.024	.112	-.028	-.085	-.225	-.027		.068
	F35_Ciudad_de_México	.021	.062	.003	.048	-.064	-.006	.068	

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. Comunidades reproducidas

b. Los residuos se calculan entre las correlaciones observadas y reproducidas. Existen 10 (35.0%) residuos no redundantes con valores absolutos mayores que 0,05.

Tabla 2.7
Matriz de componentes rotado

	Componente	
	1	2
F3_Solo_daños	-.381	.855
F4_En_intersección	-.446	.777
F10_Viernes	-.528	.640
F11_Sábado	.934	.091
F15_Colisión_con_vehículo_automotor	.669	-.437
F24_Colisión_con_motocicleta	-.768	.585
F34_Chihuahua	.805	-.194
F35_Ciudad_de_México	-.268	-.915

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Tabla 2.8
Matriz de transformación de componente

Componente	1	2
1	-.717	.697
2	.697	.717

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

Se procede a rotar la matriz de componentes Tabla 2.7 y se observa que los componentes tienen saturaciones altas según los siguientes factores:

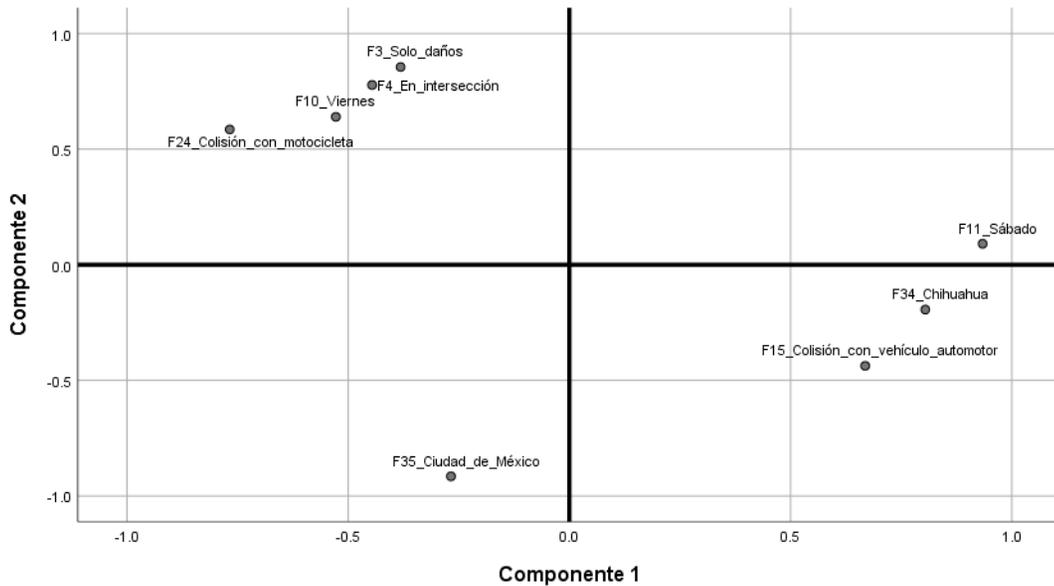
- El primer factor está conformado por las variables sábado, colisión con vehículo automotor, colisión con motocicleta y Chihuahua; estas variables saturan en un único factor que representa la condición del día en la que ocurre un accidente.

$$X_1 = .934F_{11} + .669F_{15} - .768F_{24} + .805F_{34}$$

- El segundo factor se conforma de las variables solo daños, en intersección, viernes y Ciudad de México reflejando las condicionantes de un accidente en una entidad.

$$X_2 = .855F_3 + .777F_4 - .640F_{10} - .915F_{35}$$

Gráfica 2.2
Gráfico de componente en espacio rotado.



CAPÍTULO 3.

TENDENCIA DE ACCIDENTES EN TRÁNSITO EN ZONAS URBANAS

3.1 Introducción

Tras la invención del vehículo como medio de transporte siendo capaz de simplificar el tiempo y comodidad de la población para realizar diferentes actividades, surgen a lo largo del tiempo conflictos ocasionados por la interacción vial de los diferentes usuarios con distintas necesidades de desplazamiento, generando un flujo de tránsito constante tanto de personas como de medios de transporte. Estos flujos son los principales en determinar las razones de incidencia de accidentes de tránsito en un determinado tiempo y espacio.

Ante la combinación del aumento de parque vehicular y una escasa capacitación de la población en seguridad vial, se tiene como resultado el aumento de los accidentes de tránsito, del cual se derivan problemas sociales y económicos de gran impacto en la familia, la sociedad y el país.

En México, desde el siglo pasado se han experimentado diversos cambios sociales, políticos, económicos, de salud, entre otros; los cuales han modificado las variables demográficas del país. La mortalidad y los traumatismos en la población son parte de las principales variables que se han modificado, de modo que las principales causas en los últimos años son las enfermedades degenerativas y accidentes violentos provocados por la misma población. De los accidentes violentos, sobresalen los accidentes de tránsito, ya que de todos los sistemas con los que la población interactúa a diario, los siniestros de tránsito son de los más complejos y peligrosos, además representan un serio problema en los países al afectar salud, economía, cultura y en general las condiciones de vida de la población.

Los accidentes de tránsito han trascendido a través de los años, siendo una de las principales causas de muerte, en el país y en distintas regiones del planeta. Históricamente, se han considerado como productos al azar y se debían a consecuencias inevitables del uso de las vías terrestres; sin embargo, gran parte de estos accidentes son posibles de evitar.

Durante los últimos años diversos investigadores consideran que los accidentes de tránsito tienen características propias y a partir de ellas se determina la manera como se pueden modelar. Cuentan con una localización espacial específica, lo que hace que estén relacionados con las características de su entorno registrando cierta frecuencia. El objetivo de este capítulo es desarrollar un modelo estadístico que permita predecir la ocurrencia de los accidentes de tránsito en las zonas urbanas del país, así como comprender los componentes de variabilidad de este fenómeno; se desea conocer la relación o dependencia de las características de la población.

3.2 Diseño de la investigación

Para gran parte de la población es una realidad la conducción del automóvil y esto desencadena una gran cantidad de problemas ya que en la actualidad constituye una de las principales causas de muerte e invalidez en el mundo de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), incluso México es el séptimo país con más ocurrencias de hechos de tránsito a nivel mundial. Las principales causas de estas muertes incluyen: conducir bajo la influencia del alcohol, manejar a alta velocidad, no usar el cinturón de seguridad, entre otras.¹⁷

La OMS considera que las lesiones causadas por accidentes de tránsito son un problema de salud pública el cual había sido descuidado y que requiere de esfuerzos de prevención. Los objetivos son concientizar acerca del efecto en la salud, los costos sociales y económicos de las lesiones causadas por los accidentes de tránsito, destacar las vulnerabilidades particulares de ciertos grupos y llamar a la acción para aumentar los esfuerzos por prevenir estas lesiones.

Una de las causas más frecuentes de estos accidentes son las fallas mecánicas del vehículo. Las campañas de prevención comienzan su labor justamente antes de vacaciones o puentes y subrayan la importancia de revisar minuciosamente el automóvil previamente al recorrido de los viajeros. Sin embargo, este tipo de campañas son necesarias todo el tiempo, ya que no solo en los días de asueto puede ocurrir alguna avería.

En otras ocasiones los accidentes se producen por causas ajenas al conductor, como pueden ser las malas condiciones del camino o el mal tiempo. Con frecuencia los accidentes vehiculares ocurren debido a la fatiga, la ansiedad o tensión emocional, que se traducen en una disminución en la capacidad de respuesta del conductor ante situaciones de peligro.

La causa de accidentes que se reporta con mayor frecuencia es el exceso de velocidad y por lo general va de la mano con el consumo del alcohol y de otras drogas los cuales elevan la probabilidad de que ocurran accidentes.

Según investigaciones de la SS se ha revelado que el ángulo de la visión de quien conduce un vehículo es inversamente proporcional a la velocidad a la que se desplaza, es decir que el campo visual se reduce conforme la velocidad aumenta, hasta convertirse en un ángulo cerrado en el que muchos de los posibles peligros quedan fuera del campo visual del conductor.

La presencia de distracciones, como el uso de teléfonos celulares, volumen extremadamente alto o realizar varias acciones a la vez, como maquillarse, fumar, etc., mientras se conduce, son también causas de accidentes.

¹⁷ Secretariado Técnico Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes. (2013). Perfil Nacional México. Observatorio Nacional de Lesiones, 1, 71.

Las estadísticas de accidentes de tránsito son alarmantes, si bien en algunos países, los índices de mortalidad en carretera se han reducido, México sigue ocupando los primeros lugares, sobre todo en la población joven y productiva.

La situación en México no es favorable debido a la falta de inversión en el mantenimiento de vías de comunicación, la inseguridad vial, la educación y la falta de voluntad para cumplir ciertas normas básicas por parte de los conductores.

Debido a la combinación de diversos factores, los accidentes pueden estar fuera del dominio del conductor, como la situación de las calles y carreteras, las fallas mecánicas, etc. Así como los accidentes que se dan a causa de las distracciones momentáneas involuntarias del conductor.

Las muertes y lesiones que se originan por los accidentes de tránsito se pueden clasificar por día de la semana, tipo de accidente, tipo de víctima, clase de accidente y vialidad, por entidad federativa, entre otros. Por ejemplo, en el año 2017, en el cual el sábado comprende la mayor cantidad de percances seguido del viernes; con lo cual, ambos representan más del 30% de accidentes a lo largo de la semana.

3.2.1 Diagnóstico situacional

Aunque en los últimos años, distintos países han realizado esfuerzos para reducir los accidentes de tránsito, se estima que cada año mueren en el mundo cerca de un millón doscientas cuarenta mil personas por estos accidentes y entre 20 y 50 millones sufren lesiones no mortales.¹⁸ Se cree que los fallecimientos y las lesiones causados por los accidentes de tránsito son de gran impacto a la población, tanto en cada individuo como en las familias, las comunidades y la economía nacional en general. Se deduce que en los países con medio y bajo ingreso, el costo que dejan los accidentes de tránsito es de 100 mil millones de dólares al año.

De acuerdo con las tendencias actuales, se estima que para el año 2030, los accidentes de tránsito se convertirán en la quinta causa de muerte a nivel mundial, en los cuales seguirán destacando los países de medios y bajos ingresos. Sin embargo, también existen evidencias que muestran que es posible obtener grandes logros en la prevención de accidentes si se concentran y coordinan las intervenciones a nivel nacional como ha sucedido en Australia, Canadá, Francia, Países Bajos, Suecia y el Reino Unido; en los cuales, las medidas implementadas se relacionan con el comportamiento del usuario, la seguridad de los vehículos, la seguridad del entorno y la atención posterior al accidente.

En México, además de las muertes y traumatismos causados por los accidentes de tránsito, el aumento de parque vehicular ha tenido otras repercusiones negativas en la salud de la población y el medio ambiente. Disminuir el uso de vehículos de motor, fomentando el uso de formas seguras y menos contaminantes, como son los desplazamientos a pie o en bicicleta y el uso de transporte público, tendrían beneficios comunes en la salud y en la reducción de lesiones relacionadas con el tránsito.

¹⁸ Secretariado Técnico Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes. (2013). Perfil Nacional México. Observatorio Nacional de Lesiones, 1, 56.

En el año 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclama el periodo 2011-2020 “Decenio de Acción para la Seguridad Vial” con el objetivo de estabilizar y reducir las cifras que se prevén para los accidentes de tránsito en todo el mundo. El Plan para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial se basa en principios rectores que incluyen el denominado “sistema seguro”, que pretende desarrollar un sistema de transporte vial que se adapte mejor al error humano y que a la vez tome en consideración la vulnerabilidad del cuerpo humano. Asimismo, se reconoce la importancia que tiene se implique de manera local y nacional, así como la participación de varios sectores y organismos.

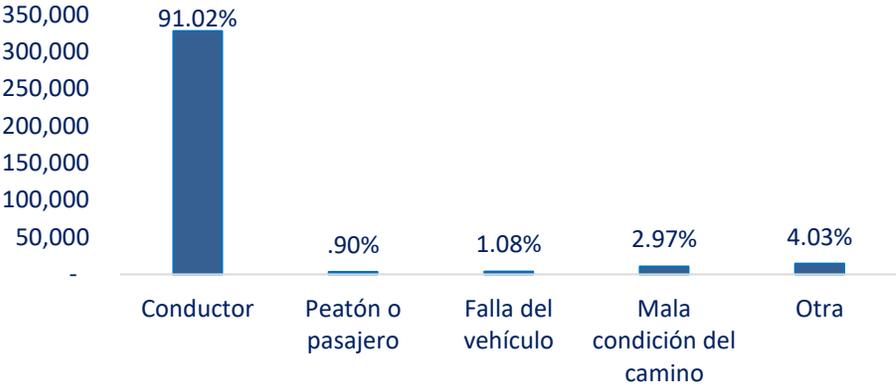
Es muy grande la cantidad de personas que se lesionan en las vías de tránsito y en algunos casos se convierte en una discapacidad permanente. Esto conlleva a que, por cada muerte de una persona a consecuencia de un accidente de tránsito, dos personas quedan con secuelas graves, lo cual detiene su vida social y laboral.

El 19 de noviembre se conmemora el Día Mundial en recuerdo de las Víctimas de Accidente de Tráfico, con el objetivo de rendir un homenaje a todas las personas que han sido víctimas en un accidente de tráfico, pero lo más importante es concientizar a la sociedad acerca de las consecuencias que ocasionan estos percances viales.

De acuerdo con los datos de la OMS, el 71% de las muertes que ocurren en un accidente de tránsito corresponde a Conductores y Pasajeros, mientras que los Peatones que fallecen en el lugar del accidente representan el 23.5%.

Con base a la Estadística generada por el INEGI, en el año 2017 se registraron 341,992 accidentes de tránsito en el país, los cuales dejan víctimas mortales y discapacidades permanentes. El 12% de las personas con alguna discapacidad mencionan que sus secuelas son a causa de un accidente de tránsito. Las causas de los accidentes de tránsito no siempre son convencionales, pero la gran mayoría se pueden evitar, ya que, de acuerdo con el INEGI, el 92% de los accidentes son causados por errores humanos.

Gráfica 3.1
Causas de los accidentes de tránsito. Año 2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

En 2017, entre los meses de enero a noviembre, en México murieron 32 personas diariamente por accidentes automovilísticos. El accidente más común en las ciudades del país es la colisión con otro vehículo motor, las otras principales causas son colisión con un objeto fijo, colisión con una motocicleta y colisión con un Peatón. Cabe señalar que el índice de mortalidad es de 12.3 muertos en accidentes de tránsito por cada 100 mil habitantes. El índice más alto lo tiene Republica Dominicana con 29.3 muertos por cada 100 mil y el más bajo Canadá con solo 6 muertos en accidentes automovilísticos por cada 100 mil.

3.2.2 Identificación del problema

De acuerdo con la OMS, los accidentes de tránsito pueden llevar a la pobreza a una familia, pues los sobrevivientes de los accidentes y sus familias deben hacer frente durante largo plazo a los costos de la atención médica y rehabilitación, además con frecuencia a los gastos funerarios y a la pérdida del sostén de la familia. Estas lesiones son causa importante de discapacidad.¹⁹

Los traumatismos por accidentes de tránsito también someten a una gran presión a los sistemas nacionales de salud, por la demanda de ocupación del mobiliario y porque por lo regular sus recursos son insuficientes para atender este problema. Por lo general, las medidas para reducir el número de víctimas mortales y de lesiones se centran en los ocupantes de los vehículos; sin embargo, cerca de la mitad de las personas que fallecen cada año son peatones, motoristas, ciclistas y pasajeros de transporte público.

En México, los accidentes de tránsito son responsables de la muerte de miles de personas cada año de acuerdo al Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes ocasionan más de 300 mil lesiones graves que requieren atención médica.²⁰ La mayor parte de los accidentes viales en México ocurren en zonas urbanas, concentrándose principalmente en la entidad federativa de Nuevo León.

Los accidentes de tránsito pueden entenderse como el producto de una falta de coordinación para la realización de múltiples desplazamientos en un escaso tiempo, lo cual provoca fracaso en el sistema. Esta necesidad puede deberse a diversos mecanismos que interactúan simultáneamente y de manera no lineal, los cuales pueden clasificarse como: la vía, el vehículo y el factor humano.

Si en algunas vías o carreteras se manifiestan con mayor frecuencia y severidad los accidentes, se deduce que hay elementos en la infraestructura vial y necesidades de transporte, lo cual implica que hay una serie de factores que no necesariamente se deben a fallas del conductor sino al proceso de construcción, planeación, funcionamiento, distribución y necesidades de circulación de la población.

¹⁹ Organización Mundial de la Salud. (2015). Estado actual de la seguridad vial en el mundo. Informe sobre la situación mundial de la Seguridad Vial, 1, 4.

²⁰ Secretaría de Salud. (2014). Secretaría de prevención y promoción de la salud. Manual de organización específico del secretariado técnico del consejo nacional para la Prevención de Accidentes, 1, 9.

El aumento de normas para la resistencia de los automóviles a los accidentes y el diseño de vías adecuadas puede reducir la frecuencia y prevenir las colisiones. Sin embargo, es importante señalar que los factores de riesgo varían de un entorno a otro.

3.2.3 Alternativas de solución

Los accidentes de tránsito dependen de varios factores para su ocurrencia y afectan a diferentes grupos de personas y grupos poblacionales por lo que se requiere de la colaboración y trabajo conjunto de los diversos sectores para que las estrategias tengan posibilidades de resultar exitosas, la colaboración de las instituciones responsables en seguridad vial es fundamental.

Tras analizar un gran número de accidentes, organizaciones enfocadas en seguridad vial identifican tres causas principales de este fenómeno, el factor humano es en mayor medida responsable de los accidentes, seguido de las condiciones mecánicas del vehículo y en una proporción mínima las condiciones del camino.

Tanto en materia económica como de salud pública, las consecuencias de este problema son agobiantes, en México se reporta un costo anual equivalente al 1.3% del PIB, sin mencionar los problemas económicos y emocionales que provocan la pérdida de un ser querido en el núcleo familiar.

El factor humano es la causa responsable del 72% de los accidentes viales, debido principalmente a las condiciones psicofísicas del conductor y su falta de conocimiento o experiencia para manejar un vehículo; estas condiciones dependen de la capacidad de respuesta del conductor y la manera en que interpreta señales y estímulos externos, en especial alteraciones o estado degenerativo del sentido de la vista y oído, así como enfermedades que pueden alterar dichos sentidos, como la diabetes, hipertensión arterial, traumatismos o el uso de sustancias psicotrópicas, alcohol o fatiga.²¹

Como medida preventiva, toda persona que conduzca un vehículo debe contar con una capacitación adecuada tanto en lo que respecta a su manejo, como al conocimiento de los reglamentos y normas de tránsito que debe cumplir; en cuanto al tema de salud y ya que las condiciones de cualquier persona pueden cambiar de forma imprevista, es importante llevar a cabo revisiones médicas, además de evitar manejar cansado y cuando se ha ingerido alcohol o cualquier otra sustancia.

El factor vehículo ocupa el segundo lugar dentro de las causas que provocan accidentes, ocasionados en la mayoría de los casos por el mal uso que se le dan en la transportación de mercancías y materias primas, así como el peso, capacidad y dimensiones los cuales son factores clave que determinan si un vehículo es capaz de transportar una carga, así como el servicio mecánico preventivo al que está sujeto. Los factores clave para evitar accidentes son las condiciones mecánicas, el buen estado de frenos, llantas, luces y visibilidad.

²¹ Secretaría de Salud. (2017). Guía para prevenir accidentes de tránsito. Serie de seguridad vial, 1, 2.

En tercer lugar el factor camino, se combina generalmente con el factor humano, las autoridades de tránsito y vías de comunicación son las responsables de tener en buen estado los caminos y calles, quienes además están obligadas a realizar programas de auditorías viales con especial atención en aquellos lugares con mayor índice de accidentes, reforzando la señalización, estableciendo la velocidad máxima para circular, llevando a cabo su mantenimiento, así como efectuar estudios orientados a determinar el tipo de pavimento adecuado.

Aunado a todo lo anterior, es vital que tanto autoridades como empresas privadas desarrollen una cultura de la prevención de accidentes a través de esfuerzos de comunicación, con base a lo establecido en el Programa de Acción Específico de Seguridad Vial 2013-2018 de la SS, en el cual se identifica que uno de los principales objetivos es impulsar la colaboración de diversos sectores a nivel nacional con intervenciones integrales para la prevención de accidentes de tránsito.

El tema de seguridad vial requiere de un enfoque táctico que permita incidir en los factores que contribuyen a la ocurrencia de accidentes de tránsito y que se mencionaron anteriormente: usuarios, vehículos y vialidades; en conjunto con el ambiente físico, socioeconómico y cultural. Con este enfoque, en el cual sus elementos actúan de forma ordenada, se pueden identificar las posibilidades de intervención y el Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes STCONAPRA realiza las intervenciones para su prevención. De esta manera podemos describir los logros que han sido alcanzados:

- Legislación integral en seguridad vial. - Es necesario contar con un marco legal adecuado para pretender acciones precisas en materia de prevención de accidentes y seguridad vial. Para que una legislación sea integral debe existir, ser adecuada y aplicarse rigurosamente. La OMS recomendó a los países mejorar su legislación sobre seguridad vial, en especial las leyes relativas a los cinco factores de riesgo más importantes que afectan la seguridad vial: el exceso de velocidad, la conducción bajo los efectos del alcohol y otras drogas, el uso de distractores al conducir, el no uso del casco cuando se circula en motocicleta, el no uso del cinturón de seguridad y el no uso de sistemas de retención infantil.

Estos factores de riesgo fueron formalmente reconocidos en México desde el año 2003 y se establecen diversas medidas de protección que tienden a disminuir la ocurrencia y el impacto de los accidentes de tránsito publicado en el Diario Oficial de la Federación por el Consejo de Salubridad General. En este documento se establece que la Secretaría de Salud, en su carácter de coordinadora del Sistema Nacional de Salud promoverá y asesorará a los gobiernos de las entidades federativas a través del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes, en la implementación de medidas de política sanitaria para abordar estos factores de riesgo.

Por otra parte, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece en su artículo 115, Fracción III, Inciso H, que los municipios tendrán a su cargo la regulación del tránsito municipal; de esta manera es posible que las autoridades municipales puedan avanzar en materia de legislación para garantizar la seguridad vial, así como prevenir los daños a la salud y a la economía de sus habitantes. La formulación de iniciativas dirigidas a regular la prevención de accidentes y la seguridad vial constituyen una acción estratégica por parte del Estado

Mexicano, por ello el componente del análisis legislativo y promoción de legislaciones integrales a cargo del STCONAPRA brinda asesorías a las entidades federativas sobre legislaciones integrales en seguridad vial.

- Acción estratégica de alcoholimetría. - Es común que el alcohol se haga presente en los accidentes de tránsito, durante el año 2018 se reportó que en el 5% de todos los accidentes de tránsito, el conductor responsable tenía aliento alcohólico. Con el objetivo de contribuir a una disminución en la ocurrencia y gravedad de los accidentes de tránsito, como consecuencia de conducir bajo los efectos del alcohol, es importante asegurar el que se cumpla de manera efectiva la legislación por parte de los usuarios de las vías mediante la aplicación de puntos de control de alcoholimetría.

El STCONAPRA ha impulsado esta Acción Estratégica de Alcoholimetría en los estados y municipios desde el año 2009. Durante 2018 se implementaron puntos de control de alcoholimetría en 182 municipios de la República Mexicana. Con base a los registros del año 2016, se realizaron al menos 23,288 operativos, aplicando un total de 1,1187,949 alcoholimetrías, 12% de ellas positivas. Lo anterior, además de dar continuidad al incremento observado en años previos, permite constatar el avance en el proceso de consolidación de esta acción estratégica en el país. Asimismo, se cuenta con evidencia de la implementación de puntos de control de alcoholimetría en coordinación con la Comisión Nacional de Seguridad CNS, a través de la Policía Federal, esta acción estratégica se sigue reforzando con el objetivo de extender la aplicación de puntos de control a las carreteras federales de las 32 entidades federativas.

- Observatorios estatales de lesiones.- A través de las reuniones ordinarias de los COEPRA, se conforman los Observatorios Estatales de Lesiones OEL, mediante los cuales, las instituciones acuerdan y establecen mecanismos de intercambio de información y se pone en marcha una plataforma denominada Registro de Accidentes Viales en México, utilizada por los OEL para capturar los datos, otro de los objetivos es promover la realización de investigaciones científicas por parte de instituciones académicas, con el objetivo de diseñar nuevas propuestas de intervenciones que ayuden a prevenir accidentes de tránsito en México.
- Medición de factores de riesgo. - El objetivo de esta medición es estimar como predominan los factores de riesgo para la ocurrencia de accidentes de tránsito o la gravedad de las lesiones que dejan, como el uso de casco y ropa protectora, uso de sistemas de retención, uso del alcohol durante la conducción, así como el uso de distractores. Esto permite identificar el nivel de exposición a estos factores de riesgo e impulsar intervenciones específicas con el fin de mejorar la seguridad vial. Por otra parte, hay evidencia científica que muestra que la distracción causada por los teléfonos móviles puede perjudicar de diversas formas, por esto, el STCONAPRA puso en marcha la medición relacionada con este factor de riesgo.

- Auditorías en seguridad vial. - El objetivo de las auditorías en seguridad vial es identificar los elementos relacionados con puntos inseguros en la infraestructura vial que pueden estar asociados con la ocurrencia y/o severidad de las lesiones que resultan de los accidentes de tránsito. Las auditorías de seguridad vial deben ser evaluaciones formales y sistemáticas, basadas en una metodología aceptada internacionalmente y validada para el contexto mexicano. A nivel mundial, las auditorías de seguridad vial son el instrumento al que más se recurre al momento de implementar políticas públicas de seguridad vial. En México esta es una de las principales estrategias para lograr una mejora en la infraestructura de las vías con autoridades estatales y locales, mediante la coordinación de los COEPRAs en conjunto con el STCONAPRA.
- Capacitación en seguridad vial. - El objetivo de esta capacitación es dar a conocer a la población en general, cuáles son los factores de riesgo que intervienen en la ocurrencia de accidentes de tránsito y los factores que pueden evitarlos o disminuir el daño, mediante técnicas didácticas y contenidos pedagógicos. Actualmente, los factores de riesgo que se dan a conocer a la población para generar hábitos de prevención son: no uso de sistemas de retención, conducción bajo efectos de alcohol y estupefacientes, velocidad inadecuada, uso de distractores al conducir, no uso de casco e implementos de seguridad en motociclistas. Del año 2010, año en que comienza la capacitación de formadores y promotores en seguridad vial, al año 2016 se han capacitado 32,073 formadores y promotores en seguridad vial y se han impartido pláticas de sensibilización a 3,316,538 personas en nuestro país.
- Formadores de primeros respondientes. - Los primeros respondientes son ciudadanos comunes que pueden presenciar un accidente de tránsito y que cuentan con el conocimiento para aplicar los procedimientos, habilidades y destrezas que les permiten salvar una vida. El STCONAPRA promueve la formación de primeros respondientes como una acción estratégica mediante el diseño de un modelo educativo basado en competencias, con el que se garantiza que los participantes adquieren las habilidades y destrezas necesarias para salvar una vida. En 2016, como parte de la acción estratégica para la formación de primeros respondientes, los Consejeros Estatales incluyeron en su programación de cursos al personal de salud comunitario, vacunadoras, Policía Municipal y Estatal, personal de Protección Civil y Bomberos, Policía Federal, conductores del servicio federal, profesores, grupo de apoyo a adolescentes, entre otros actores que tienen una presencia continua en zonas de alta marginalidad y en donde su capacitación como primeros respondientes puede ser vital en la atención de una urgencia. En 2016 se acreditó la formación de 251 instructores, alcanzando un total de 2,124 instructores formados a nivel nacional; ese mismo año se capacitó a 35,013 primeros respondientes en la atención inmediata de urgencias médicas, alcanzando un total de 158,700 personas capacitadas en todo el país.
- Centros reguladores de urgencias médicas. - El STCONAPRA en los últimos años ha desarrollado diversas estrategias para la integración de un Modelo de Atención Médica Prehospitalaria. El papel fundamental del Centro Regulador de Urgencias Médicas consiste en proporcionar una

respuesta médica adecuada a las urgencias que se presenten en la entidad, como parte del Sistema de Atención Médica de Urgencias. A través del 911 es posible el enlace y georreferenciación de las llamadas de emergencia, ya que se conoce la ubicación exacta de donde se encuentra el accidente, de quien activa el sistema de emergencias y de donde se encuentra el teléfono desde el que se hace la llamada de emergencia, lo que permite una reducción de los tiempos de respuesta.

- Comunicación social. - La comunicación en la salud pública impulsa la seguridad vial con la emisión de mensajes de prevención, lo cual contribuye a mejorar la calidad de vida de la población a la que están dirigidos, involucrando a la sociedad en la corresponsabilidad para la eliminación de los factores de riesgo que intervienen en su ocurrencia. Para el STCONAPRA, la información y las campañas dirigidas a los usuarios de las vías tienen como objetivo primordial la reducción de accidentes de tránsito y, aunado a ello, la reducción de la mortalidad y discapacidad que de ellos se desprenden, en favor de la salud de todos los mexicanos.²²

3.2.4 Fuentes de información

A nivel mundial, los institutos nacionales de estadística, al igual que el INEGI, producen datos oficiales acerca de fenómenos económicos, demográficos y sociales los cuales son de interés público. Los datos se obtienen directamente de los informantes involucrados en estos fenómenos, en México esta información es amparada por el INEGI, la cual establece la obligación legal que significa responder a los cuestionarios elaborados por el Instituto para este fin.

Los datos que se recaban deben ser de interés nacional, es decir, además de ser útiles para todo el público, deben ser usados obligatoriamente por las instituciones gubernamentales con el fin de formular las políticas y la toma de decisiones en general. Cabe mencionar que al INEGI se le ha otorgado infraestructura física y capacidad técnica para generar los datos que le corresponden y garantizar que son confiables.

Los primeros datos que dan cuenta de los accidentes de tránsito terrestre en México se registran en 1928, año en que inicia la estadística con el registro exclusivamente de los atropellamientos. Los principales resultados encontrados fueron; más del 50% de los atropellamientos ocurrieron en el Distrito Federal actualmente Ciudad de México, y a nivel nacional las personas atropelladas eran en promedio nueve por día. Teniendo estas cifras, se consolidó la importancia de generar estadísticas sobre estos hechos.

En los subsecuentes, la temática se amplió gradualmente, de tal forma que se comenzó a recopilar información sobre choques, volcaduras de vehículos y caídas de pasajeros, además de los

²² Secretaría de Salud. (2014). Secretaría de prevención y promoción de la salud. Manual de organización específico del secretariado técnico del consejo nacional para la Prevención de Accidentes, 1, 11.

atropellamientos ya captados. La recolección de datos y la generación de la estadística quedaron a cargo del Departamento de la Estadística Nacional.

En 1987 se reestructura el cuestionario de captación con el propósito de enriquecer la generación de la estadística, para esto se consideraron las recomendaciones internacionales existentes, a su vez se dio inicio con las pruebas para el procesamiento y generación de resultados por medio de un sistema informático integral.

Para el año 1997, la descentralización del tratamiento de la información sobre accidentes de tránsito permitió aprovechar la estructura operativa del INEGI integrada por diez Direcciones Regionales y 32 Coordinaciones Estatales, con lo que disminuyeron los rezagos en la entrega de datos y mejoro la oportunidad en su divulgación. Es importante señalar que hasta 1996 el tratamiento de la estadística se realizó en forma centralizada.

Como resultado de dicha descentralización, actualmente las Coordinaciones Estatales CE se encargan de la distribución y recolección de cuestionarios ante las fuentes informantes; mientras que las Direcciones Regionales DR tienen a su cargo el tratamiento, captura y transferencia de la información a la Dirección de Estadísticas de Comercio Exterior y Registros Administrativos DE-CERA, quien es responsable del proyecto.

3.3 Modelo de regresión lineal

En Estadística, uno de los aspectos más destacados es el análisis de la relación o dependencia entre variables. Es de interés conocer el efecto que una o más variables pueden causar en otra, e incluso predecir valores en una variable a partir de otra.

En regresión se estudia la construcción de modelos para explicar o representar la dependencia entre una variable respuesta o dependiente Y y la(s) variable(s) explicativa(s) o independiente(s) X . Este tema se abordará con un modelo de regresión lineal, el cual tiene lugar cuando la dependencia es de tipo lineal.

La estructura del modelo de regresión lineal es la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

De esta expresión, daremos por hecho que todos los factores o causas que influyen en la variable respuesta Y pueden dividirse en dos grupos: el primero contiene a una variable explicativa X y el segundo incluye un conjunto amplio de factores no contralados que se engloban bajo el nombre de *error aleatorio* ε , el cual provoca que la dependencia entre las variables dependiente e independiente no sea perfecta, sino que esté sujeta a incertidumbre.

Sería deseable que en el modelo de regresión, estos errores aleatorios sean en media cero para cualquier valor x de X , es decir, $E[\varepsilon / X = x] = E[\varepsilon] = 0$, y por lo tanto:

$$E[Y / X = x] = \beta_0 + \beta_1 x + E[\varepsilon / X = x] = \beta_0 + \beta_1 x$$

En dicha expresión, se observa que:

1. La media de Y , para un valor fijo x , varía linealmente con x .
2. Para un valor x se predice un valor Y dado por $y = E[Y / X = x] = \beta_0 + \beta_1 x$, por lo que el modelo de predicción puede expresarse también como $Y = \beta_0 + \beta_1 x$.
3. El parámetro β_0 es la ordenada al origen del modelo y β_1 la pendiente, que puede interpretarse como el incremento de la variable dependiente por cada incremento en una unidad de la variable independiente. Estos parámetros son desconocidos y habrá que estimarlos para realizar las predicciones.

Además de la hipótesis establecida sobre los errores de que en media han de ser cero, se establecen las siguientes hipótesis:

- i. La varianza de ε es constante para cualquier valor de x , es decir, $\text{var}(\varepsilon / X = x) = \sigma^2$.
- ii. La distribución de ε es normal, de media 0 y desviación σ .
- iii. Los errores asociados a los valores de Y son independientes unos de otros.

En consecuencia, la distribución de Y para x fijo es normal, con varianza constante σ^2 , y media que varía linealmente con x , dada por $\beta_0 + \beta_1 x$. Además, los valores de Y son independientes entre sí.

3.3.1 Supuestos y criterios

Partiendo de una muestra de valores de X e Y medidos sobre n individuos:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

y queremos estimar valores en Y según el modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 x$, donde β_0 y β_1 son por el momento desconocidos. Debemos encontrar entonces de entre todas las rectas la que mejor se ajuste a los datos observados, es decir, buscamos aquellos valores de β_0 y β_1 que hagan mínimos los errores de estimación. Para un valor x_i , el modelo estima un valor en Y igual a $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$ y el valor observado en Y es igual a y_i , con lo cual el error de estimación en ese caso vendría dado por $e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)$.

Entonces tomaremos como estimaciones de β_0 y β_1 , que notamos por $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$, aquellos valores que hagan mínima la suma de los errores al cuadrado, que viene dada por:

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i))^2$$

Por esta razón al método de estimación se le llama *método de mínimos cuadrados*.

La solución se obtiene derivando SSE con respecto a β_0 y β_1 e igualando a 0. Los estimadores resultan:

$$\beta_1 = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}}$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$$

siendo:

$$SS_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2 = n \sigma_x^2$$

A la recta resultante $Y = \beta_0 + \beta_1 x$ se le llama recta de regresión lineal de Y sobre X .

Un último parámetro por estimar en el modelo es la varianza de los errores (σ^2). A su estimador se le denomina *varianza residual* y viene dada por:

$$s_R^2 = \frac{SSE}{n-2} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} = \frac{SS_{yy} - \beta_1 SS_{xy}}{n-2}$$

3.3.2 Hipótesis y variables

Se observa que los estimadores β_0 y β_1 dependen de la muestra seleccionada, por lo tanto, son variables aleatorias y presentarán una distribución de probabilidad. Estas distribuciones de probabilidad de los estimadores pueden utilizarse para construir intervalos de confianza o contrastes sobre los parámetros del modelo de regresión.

Uno de los objetivos del modelo es decidir si el efecto de la variable independiente es o no significativo para la variable dependiente; esto es equivalente a contrastar si el coeficiente β_1 es o no significativamente distinto de cero. Un $\beta_1 = 0$ implicaría la ausencia de relación lineal entre las variables.

En términos generales se plantean los siguientes contrastes para β_1 :

Tipo de Prueba	Unilateral a la izquierda	Bilateral	Unilateral a la derecha
Contraste	$H_0 = \beta_1 = b_1$ $H_1 = \beta_1 < b_1$	$H_0 = \beta_1 = b_1$ $H_1 = \beta_1 \neq b_1$	$H_0 = \beta_1 = b_1$ $H_1 = \beta_1 > b_1$

Estadístico de contraste	$t = \frac{\beta_1 - b_1}{\sqrt{S_R^2 / SS_{xx}}}, \text{ con } S_R^2 = \frac{SS_{yy} - \beta_1 SS_{xy}}{n - 2}$
--------------------------	--

Región de rechazo	$t < t_{\alpha, n-2}$	$ t > t_{1-\alpha/2, n-2}$	$t > t_{1-\alpha, n-2}$
-------------------	-----------------------	-----------------------------	-------------------------

De los cuales, el contraste de especial interés es:

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0$$

3.4 Diseño metodológico

Se utilizará el diseño de series temporales para evaluar el efecto que las variables causan para que ocurran los accidentes de tránsito. Una serie temporal es un conjunto de observaciones de una variable que se mide regularmente sobre un periodo de tiempo, por lo tanto, la forma de los datos de una serie temporal es una secuencia o lista de observaciones que representan las medidas tomadas en los intervalos regulares.

La característica fundamental de las series temporales es que las observaciones del conjunto no son independientes entre sí, entonces el análisis se lleva a cabo tomando en cuenta el orden temporal de las observaciones.

Cuando se estudia una serie temporal, se deben tomar en cuenta las medidas descriptivas básicas y así considerar lo siguiente:

- a. Si los datos presentan forma creciente (tendencia)
- b. Si existe influencia de ciertos periodos de cualquier unidad de tiempo (estacionalidad)
- c. Si aparecen outliers (observaciones discordantes)

Cuando los valores de la serie son observados, normalmente se pretende explicar el pasado y predecir el futuro.

El estudio descriptivo de las series de temporales se basa en el hecho de descomponer la variación de una serie en varias componentes básicas, siendo posible observar cierta tendencia o periodicidad y es necesario tomar en cuenta que esta descomposición no es única.

El análisis descriptivo consiste en encontrar componentes que correspondan a una tendencia a largo plazo, un comportamiento estacional y una parte aleatoria.

1. Tendencia: Se define como un cambio a largo plazo y se produce con relación a la media. La tendencia se puede identificar con un movimiento suave de la serie a largo plazo.
2. Estacionalidad: En muchas ocasiones, las series temporales presentan cierta periodicidad, es decir variación de cierto periodo. Este tipo de efectos son fáciles de entender y se pueden medir explícitamente o eliminarse del conjunto de datos mediante la serie original desestacionalizada.
3. Componente aleatorio: Una vez identificados los componentes anteriores y después de haberlos eliminado, persisten unos valores que son aleatorios y se pretende estudiar el tipo de comportamiento que tienen los residuos, utilizando algún modelo que los describa.

De estas tres componentes, las primeras dos son componentes determinísticas y la última es aleatoria, por lo que se denota:

$$X_t = T_t + E_t + I_t$$

donde T_t es la tendencia, E_t es el componente estacional y estos constituyen la parte determinística, por lo que I_t es la parte aleatoria.

Es necesario aislar la componente aleatoria para de esta manera estudiar que modelo probabilístico es el que mas se adecua. Una vez conocido este modelo, podremos conocer el comportamiento de la serie a largo plazo. El aislamiento de la componente aleatoria se puede abordar de dos formas:

- 1.- Mediante un enfoque descriptivo, estimando T_t y E_t obteniendo I_t como: $I_t = X_t - T_t - E_t$
- 2.- Mediante un enfoque "Box-Jenkins", eliminando de X_t la tendencia y la parte estacional mediante transformaciones quedando solo la parte probabilística, a la que se le ajustan modelos paramétricos.

3.4.1 Tendencias

Para estimar la tendencia se supone que se cuenta con una serie no estacionaria, es decir sin componente estacional y que la podemos descomponer como sigue:

$$X_t = T_t + I_t$$

Para estimar T_t se deben realizar algunas hipótesis sobre su forma. Los casos son los siguientes:

Tendencia determinista: Se supone que la tendencia es una función determinística y la función más sencilla es una recta, es decir,

$$T_t = a + bt$$

donde a y b son constantes a determinar. La forma de estimar estas constantes es mediante un modelo de regresión lineal entre las variables X_t y el tiempo $t = 1, 2, 3, \dots$. De esta forma si estimamos los parámetros \hat{a} y \hat{b} , entonces la componente irregular será $I_t = X_t - \hat{a} - \hat{b}t$. Por lo tanto, I_t sería una serie estacionaria que se tendría que modelizar.

Tendencia evolutiva: Se supone que la tendencia es una función que evoluciona lentamente y que puede aproximarse en intervalos muy cortos por una función simple del tiempo. En general se supone una recta, pero ahora los coeficientes van cambiando suavemente en el tiempo.

Suponemos que la representación de la tendencia por una recta es válida para tres periodos consecutivos de tiempo, $t-1$, t y $t+1$, y las tendencias se representan en los tres periodos consecutivos de la siguiente forma:

$$T_{t-1} = T_t - \text{crecimiento}$$

$$T_t$$

$$T_{t+1} = T_t + \text{crecimiento}$$

Si se calcula la media de tres observaciones consecutivas:

$$m_t = \frac{x_{t-1} + x_t + x_{t+1}}{3}$$

entonces

$$m_t = T_t + \frac{I_{t-1} + I_t + I_{t+1}}{3}$$

y como la componente irregular es de media cero, la media de los tres valores del componente irregular se puede suponer que es despreciable frente a la tendencia, además m_t representa la tendencia en ese instante. Esta operación se denomina media móvil de orden tres.

Diferenciación de la serie: Un método más general para eliminar la tendencia consiste en suponer que la tendencia evoluciona lentamente en el tiempo, de manera que en el instante t la tendencia debe estar próxima a la tendencia en el instante $t-1$. De esta forma, si restamos a cada valor de la serie el valor anterior, la serie resultante estará aproximadamente libre de tendencia. Esta operación se denomina diferenciación de la serie y consiste en pasar de la serie original x_t a la serie y_t mediante:

$$y_t = x_t - x_{t-1}$$

De esta manera, la serie diferenciada resulta ser estacionaria.

3.4.2 Estacionalidad

La estimación de la estacionalidad además de realizarse con el fin de incorporarla al modelo para obtener predicciones, también se realiza con el fin de eliminarla de la serie y así visualizar otros componentes como la tendencia y un componente irregular, los cuales se pueden confundir en las fluctuaciones estacionales.

De acuerdo con los modelos de descomposición, se asume el siguiente modelo para T_t ,

1. Aditivo: $X_t - T_t = E_t + I_t$
2. Mixto: $\frac{X_t}{T_t} = E_t + \frac{I_t}{T_t}$

En caso de no existir tendencia, se espera que:

$$\forall t, E_t = 0$$

$$\forall t, T_t = 1$$

Supongamos que se ha estimado la tendencia por alguno de los métodos anteriores y sea \hat{T}_t la estimación de la tendencia, entonces:

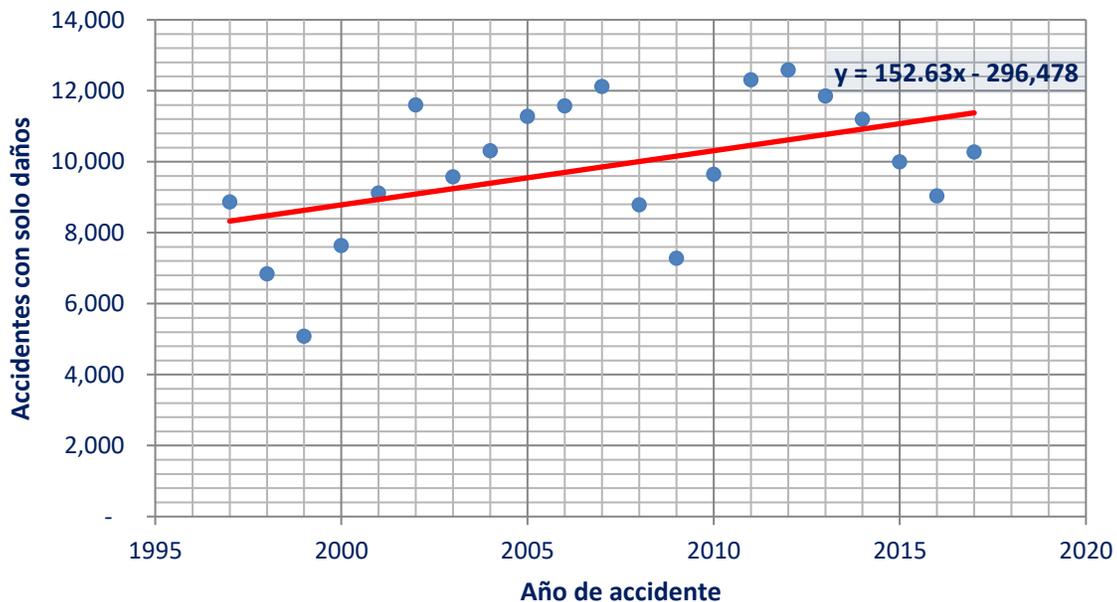
- Si el modelo es aditivo $R_t = X_t - \hat{T}_t$, $t = 1, \dots, n$ que representa la serie con los efectos de tendencia eliminados
- Si el modelo es mixto $W_t = \frac{X_t}{\hat{T}_t}$, $t = 1, \dots, n$ que representa la serie, una vez eliminados los efectos de tendencia

A estas series se les denomina “series residuales” y contienen las fluctuaciones estacionales. Para estimar la estacionalidad se requiere elegir alguno de estos modelos y de esta manera calcular la serie residual que corresponda.

El modelo de regresión lineal es el apropiado para realizar predicciones cuando la tendencia es lineal como podemos observar en las siguientes gráficas con las variables obtenidas en el capítulo anterior. A partir de los valores observados podremos visualizar los valores que obtendrá cada una de las variables en los próximos años tomado en cuenta que estas variables pueden tener alguna situación cambiante y para esto usamos un componente de error aleatorio.

La Gráfica 3.2 nos muestra la clase de accidente, en la Ciudad de México, en donde solo ocurrieron daños respecto a cada uno de los años observados, esta gráfica pone en manifiesto una tendencia lineal creciente así como un patrón estacional, el valor máximo de esta clase de accidente se observa en el año 2012 seguido por los años 2011 y 2007, de esta manera también podemos observar que en los años 1999 y 1998 se encuentran los valores mínimos.

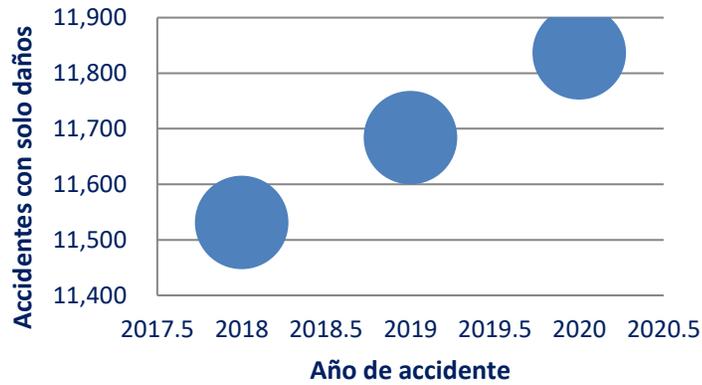
Gráfica 3.2
Accidentes con solo daños, 1997-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

Dada la ecuación de regresión lineal podemos predecir los siguientes tres años en los cuales se observa la continuidad de una tendencia creciente Gráfica 3.3.

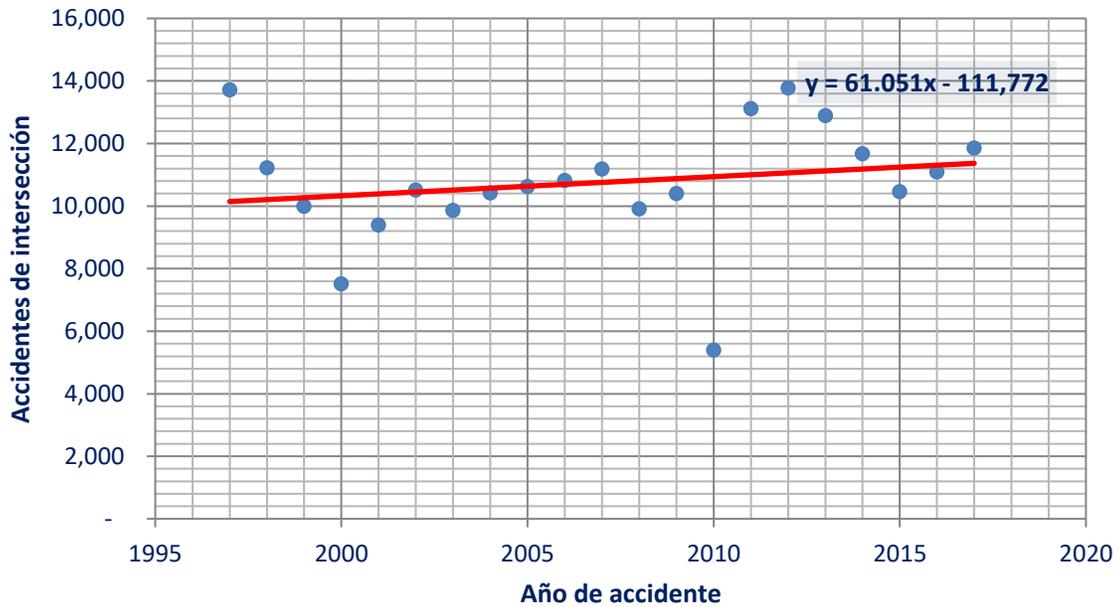
Gráfica 3.3
Accidentes con solo daños, 2018-2020.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

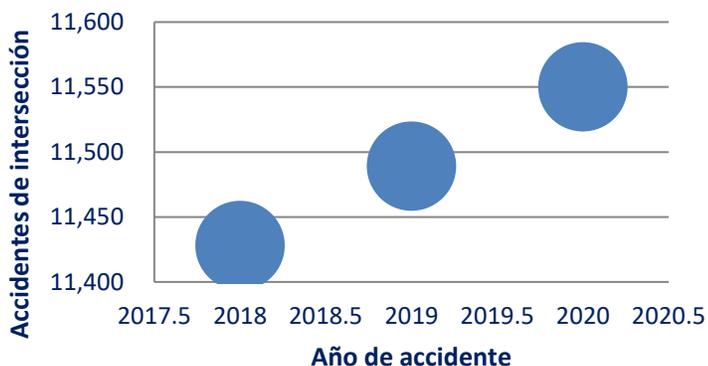
En la siguiente Gráfica 3.4 podemos observar los accidentes que ocurrieron en intersección, en la Ciudad de México, en cada año observado con una tendencia creciente que en 2012 alcanzó su punto máximo. Con base a la regresión podemos predecir que en los siguientes tres años, los accidentes seguirán incrementando en este tipo de lugar.

Gráfica 3.4
Accidentes de intersección, 1997-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

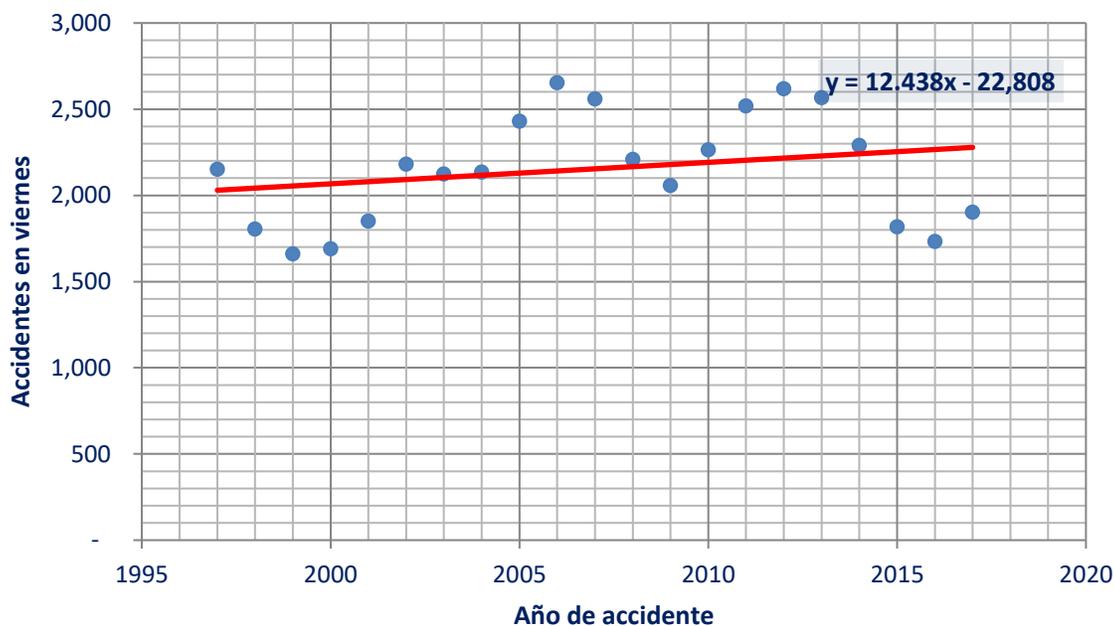
Gráfica 3.5
Accidentes en intersección, 2018-2020.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

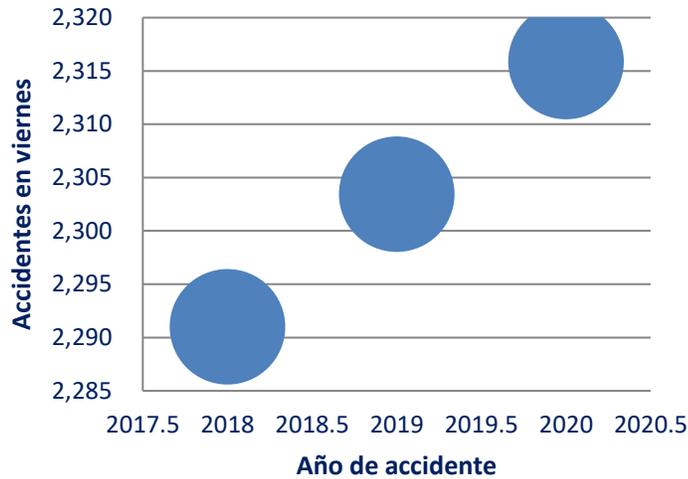
La siguiente Gráfica 3.6 nos muestra un patrón estacional y una tendencia creciente la cual se mantendrá en los próximos años, aunque en algunos periodos las cifras del día viernes se han reducido, hasta ahora el mínimo de accidentes en la Ciudad de México se presentó en 1999.

Gráfica 3.6
Accidentes en viernes, 1997-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

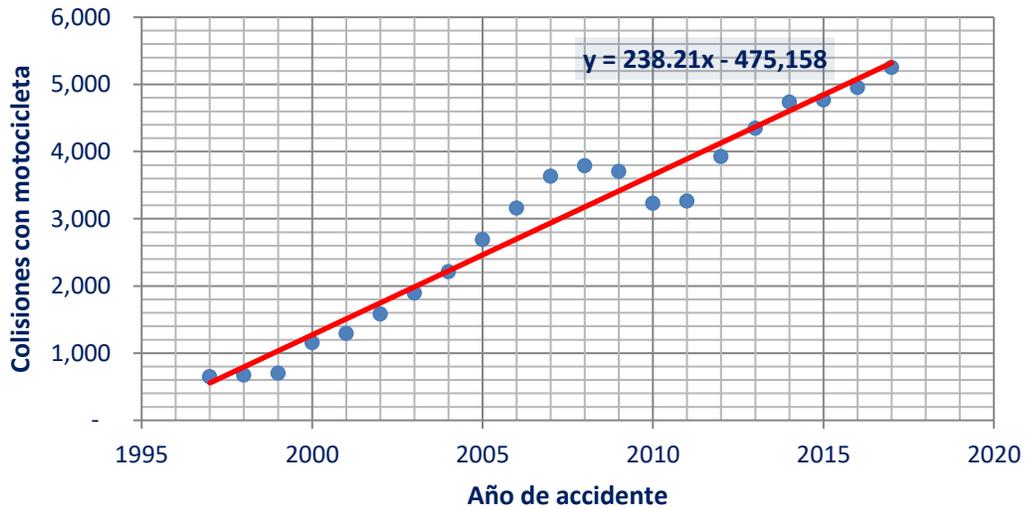
Gráfica 3.7
Accidentes en viernes, 2018-2020.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

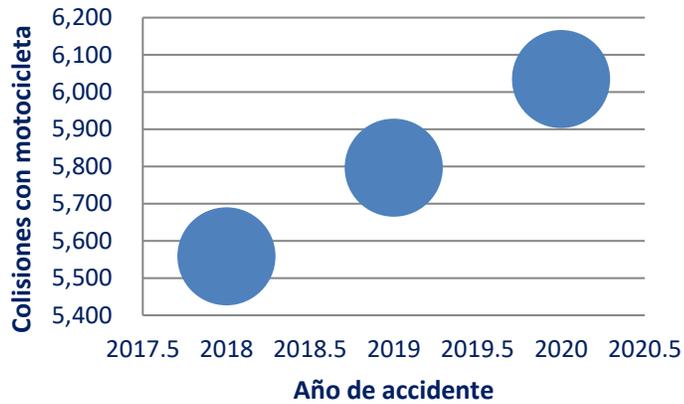
El segundo factor obtenido en el capítulo 2 contempla las variables colisión con motocicleta, colisión con vehículo automotor y los accidentes ocurridos en Chihuahua; estas variables analizadas en el total de accidentes del día sábado. Para las colisiones con motocicleta Gráfica 3.8, se obtuvo una tendencia creciente muy marcada además que su valor máximo lo ha tomado en el último año observado y la predicción nos confirma que esta tendencia sigue en aumento.

Gráfica 3.8
Colisiones con motocicleta, 1997-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

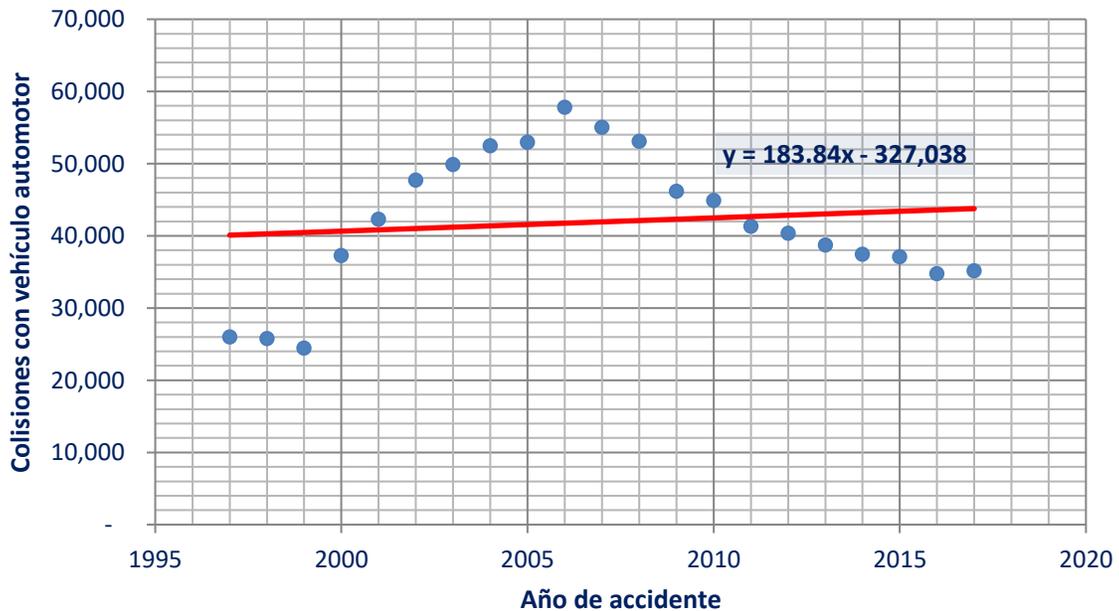
Gráfica 3.9
Colisiones con motocicleta, 2018-2020.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

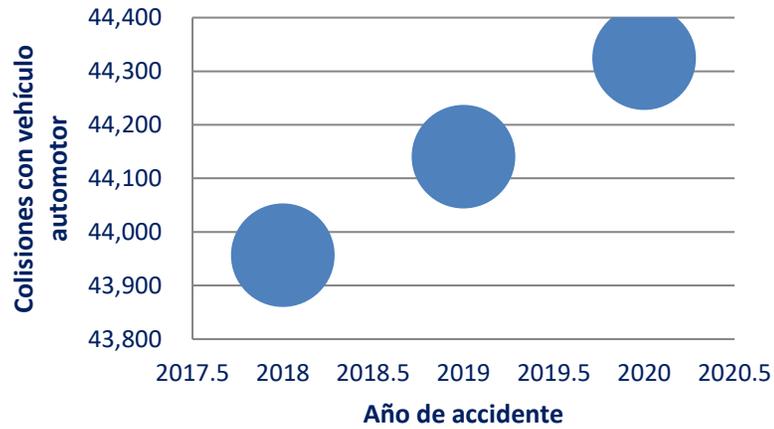
Por el contrario, la variable colisión con vehículo automotor nos muestra una tendencia decreciente, aunque en los últimos años se puede observar que los accidentes se estabilizaron, desafortunadamente con los datos conocidos se predice que en los próximos años este tipo de colisiones volverán a incrementarse el día sábado.

Gráfica 3.10
Colisiones con vehículo automotor, 1997-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

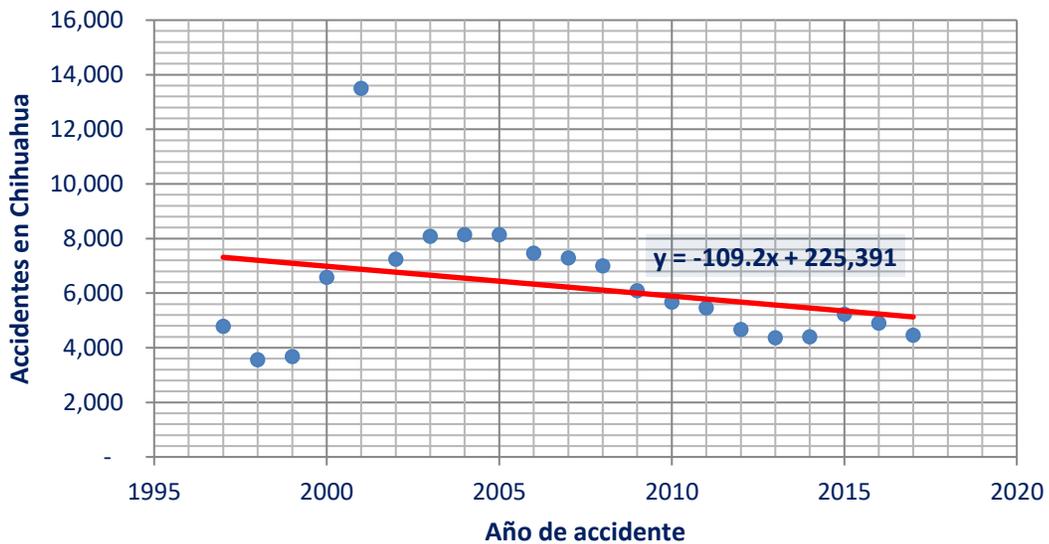
Gráfica 3.11
Colisiones con vehículo automotor, 2018-2020.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

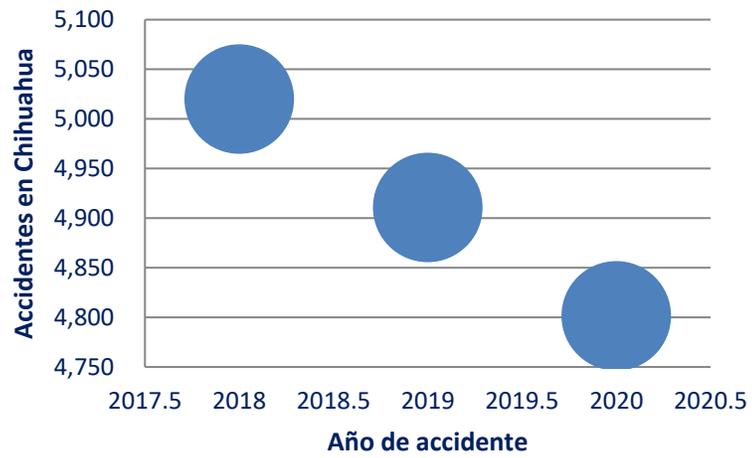
Para el caso de accidentes en Chihuahua Gráfica 3.12 encontramos una tendencia decreciente, esta se ha mantenido en los últimos dos años y después de predecir los próximos años, encontramos que prevalece este decrecimiento, aunque podría aumentar en cierto año por lo que sería importante analizar cuáles han sido las medidas significativas en los años decrecientes.

Gráfica 3.12
Accidentes en Chihuahua, 1997-2017.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

Gráfica 3.13
Accidentes en Chihuahua, 2018-2020.



Fuente: Accidentes de tránsito terrestre. 2017, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>

CONCLUSIONES

Con las variables extraídas de la Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre (INEGI) en el capítulo anterior, se agrupó una base de datos para aplicar como técnica estadística, el método multivariado de componentes principales. Este método posibilitó identificar dos factores que representan en forma resumida la información contenida en la base inicial, las variables contenidas en dichos factores permitieron un análisis de la condición en la ocurren los accidentes así como las condiciones en las que ocurre de acuerdo a una entidad.

El análisis de tendencia pudo aplicarse con la información sobre la Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre ya que permitió conocer y cuantificar los accidentes y sus consecuencias con el fin de evaluar la siniestralidad del transporte terrestre en las zonas urbanas a nivel nacional mediante el acopio y procesamiento de datos que hace el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a través de la Dirección General de Estadísticas Económicas.

Los resultados obtenidos en el último capítulo de esta tesis fueron recabados de las zonas urbanas del país con los datos e información pública de las diferentes dependencias u organizaciones encargadas del análisis de este problema de importancia a nivel mundial. El acceso a esta información permitió su explotación en paquetes estadísticos así como en hojas de cálculo, extrayendo las variables más significativas: Clase de accidente – solo daños, lugar de accidente – en intersección, día del accidente – viernes y sábado, tipo de accidente – colisión con motocicleta así como colisión con vehículo automotor, entidad federativa – Chihuahua y Ciudad de México.

Es importante mencionar que esta tesis considera el análisis de tendencia de los accidentes de tránsito en zonas urbanas para establecer y fundamentar las medidas que se deben tomar a nivel nacional con el objetivo de reducir las cifras de accidentes. La vigilancia y monitoreo de la seguridad vial es sumamente importante para seguir contando con los datos que permitan el estudio de las causas así como el diseño de intervenciones y toma de decisiones.

De acuerdo a lo observado en el análisis de tendencia podemos concluir que nos falta mucho trabajo para reducir los accidentes, concientizar a las personas y organismos gubernamentales, así como educación vial la cual sigue siendo limitada.

En el desarrollo de este análisis se identificó que existen diferentes organizaciones a nivel nacional y mundial encargadas de la seguridad vial las cuales trabajan de manera coordinada pero independiente en varios grupos de investigación, planeación y prevención por lo que algunas veces los resultados no serán consistentes y homologados, sin embargo el objetivo es el mismo, aumentar la importancia de la educación vial, reducir el número de accidentes y con esto aminorar el impacto que tienen las víctimas en la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander M. Mood. (1978). Introducción a la teoría de la estadística. Madrid: Mc Graw Hill.
- Dennis D. Wackerly. (2010). Estadística matemática con aplicaciones. México: Cengage Learning.
- George C. Canavos. (1988). Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. México: Mc Graw Hill.
- Jorge de la Garza García. (2013). Análisis Estadístico Multivariante. España: Mc Graw Hill.
- J. M. Rojo Abuín. (2007). Regresión lineal múltiple. Madrid: Instituto de Economía y Geografía.
- Paul L. Meyer. (1970). Probabilidad y aplicaciones estadísticas. Washington: Departamento de Matemáticas, Washington State University.
- Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers. (1999). Probabilidad y estadística para ingenieros. México: Pearson Educación.
- Santiago de la Fuente Fernández. (2011). Regresión Múltiple. España: Universidad Autónoma de Madrid.
- William R Dillon. (1984). Multivariate Analysis: Methods and Applications. España: Royal Statistical Society.
- Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes. (2016). Informe sobre la situación de la seguridad vial. México: Secretaría de Salud.
- Dirección General de Estadísticas Económicas. (2017). Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). Síntesis metodológica de la estadística de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas 2016. México: INEGI.
- Martha Cecilia Híjar Medina. (2014). Los accidentes como problema de salud pública en México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Miguel María Muñoz Medina. (2006). Libro verde de la seguridad vial. La Sociedad Civil ante el reto de la Seguridad Vial. España: Asociación Española de la Carretera.
- Observatorio Nacional de Lesiones. (2013). Perfil Nacional México 2013. Secretariado Técnico Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes. México: Secretaría de Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Control de la velocidad. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). Salve VIDAS. Paquete de medidas técnicas sobre seguridad vial. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Organización Panamericana de la Salud. (2009). Informe sobre el estado de la seguridad vial en la región de las Américas. España: Biblioteca Sede OPS.

- Programa sectorial de salud. (2014). Programa de acción específico. Prevención de accidentes en grupos vulnerables. México: Secretaría de Salud.
- Programa sectorial de salud. (2014). Programa de acción específico, seguridad vial 2013-2018. México: Secretaría de Salud.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2012). Acciones para el fortalecimiento de la seguridad vial. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Secretaría de prevención y promoción de la salud. (2017). Manual de organización específico del secretariado técnico del consejo nacional para la Prevención de Accidentes. México: Secretaría de Salud.
- Subsecretaría de prevención y promoción de la salud. (2008). Programa de acción específico 2007-2012. Seguridad Vial. México: Secretaría de Salud.
- Accidentes de tránsito terrestre. (2017). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/>