

UCUENCA

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transporte, Tercera Cohorte

**Análisis de la Siniestralidad y Metodología para la Identificación
de Tramos de Concentración de Accidentes de Tránsito en la
Ciudad de Cuenca**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Magíster
en Ingeniería en Vialidad y
Transporte.

Autor:

Ing. Héctor Fernando Gavilanes Barahona

CI: 0301939492

Correo electrónico: f_gavilanes542@hotmail.com

Director:

Ing. Diego Estuardo Correa Barahona, PhD

CI: 0391695300

Cuenca - Ecuador

19-septiembre-2022

Resumen:

La identificación adecuada de los Puntos de Concentración de Accidentes de Tránsito (PCAT) es de gran importancia para las ciudades. Uno de los métodos más recomendados para la identificación de estos puntos es el Método Empírico Bayesiano (MEB), el mismo que se sabe es estadísticamente superior a los métodos convencionales, ya que, contempla fenómenos estadísticos propios de las variables aleatorias, como es el caso de la regresión a la media. En el presente estudio se aplicó el MEB a las intersecciones más conflictivas identificadas mediante el procesamiento de los datos de siniestralidad de la ciudad de Cuenca registrados por la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP) en el periodo 2016 – 2021. El análisis de resultados indica que de los vehículos involucrados, 63.76% son vehículos particulares, 19.37% son motocicletas y los demás tipos de vehículos presentan un valor inferior al 5%. Entre las causas más comunes están, irrespetar las señales de tránsito 21.05%, influencia del alcohol 19.39% y desatención a las condiciones de tránsito 18.68%; siendo el año de mayor siniestralidad el 2018. De la aplicación del MEB se determinó que las intersecciones con mayor probabilidad de ocurrencia de siniestros son: Av. de las Américas y Calle Turuhuaico con 99.64%, Av. de la Américas y Av. España con 43.69%, Av. de las Américas y Av. Octavio Chacón Moscoso con 27.11%, Av. de las Américas y Av. Remigio Crespo con 27.01%, Av. Héroes de Verdeloma y Av. Gil Ramirez Dávalos con 20.44%, Av. de las Américas y Av. Abelardo J. Andrade con 15.52%. La identificación adecuada de estos PCAT a través del método propuesto será de gran ayuda para las instituciones que gestionan la movilidad y la seguridad vial de la ciudad.

Palabras claves: Siniestros. Punto negro. Movilidad. Seguridad. Tráfico. Visión cero. Bayes. Inferencia.

Abstract:

The adequate identification of Traffic Accident Concentration Points (PCAT) is of great importance for cities. One of the most recommended methods for identifying these points is the Empirical Bayesian Method (MEB), which is known to be statistically superior to conventional methods, since it contemplates statistical phenomena typical of random variables, as is the case from the regression to the mean. In the present study, the MEB was applied to the most conflictive intersections identified by processing the accident data of the city of Cuenca registered by the Municipal Public Company of Mobility, Transit and Transportation of Cuenca (EMOV EP) in the period 2016 – 2021. The analysis of results indicates that the vehicles involved, 63.76% are private vehicles, 19.37% are motorcycles and the other types of vehicles have a value of less than 5%. Among the most common causes are disrespecting traffic signs 21.05%, influence of alcohol 19.39% and neglect of traffic conditions 18.68%; being the year with the highest accident rate 2018. From the application of the MEB, it was determined that the intersections with the highest probability of occurrence of accidents are: Av. de las Américas and Calle Turuhuaico with 99.64%, Av. de las Américas and Av. España with 43.69%, Av. de las Américas and Av. Octavio Chacón Moscoso with 27.11%, Av. de las Américas and Av. Remigio Crespo with 27.01%, Av. Héroes de Verdeloma and Av. Gil Ramírez Dávalos with 20.44%, Av. las Américas and Av. Abelardo J. Andrade with 15.52%. The proper identification of these PCAT through the proposed method will be of great help to the Institutions that manage mobility and road safety in the city.

Keywords: Accidents. Black spot. Mobility. Security. Traffic. Zero vision. Bayes. Inference.

Índice.

1	INTRODUCCIÓN.....	11
2	MARCO TEÓRICO.....	13
3	METODOLOGÍA.....	17
3.1	Base de datos.....	18
3.2	Preparación de datos.....	19
3.3	Análisis de datos.	20
3.3.1.	Tipo de vehículo involucrado.	20
3.3.2.	Tipo de servicio del vehículo involucrado.....	21
3.3.3.	Causa del siniestro.	22
3.3.4.	Fallecidos y lesionados.....	24
3.3.5.	Siniestros por parroquias.	26
3.3.6.	Tipología de siniestros.	26
3.3.7.	Fallecidos por parroquias.....	27
3.3.8.	Lesionados por parroquias.....	29
3.3.9.	Fallecidos y Lesionados Parroquias Urbanas y Rurales.....	30
3.3.10.	Fallecidos y lesionados por Tipología del Siniestro.	30
3.3.11.	Análisis estadísticos adicionales.....	31
3.4	Mapeo de datos.....	32
3.4.1.	Puntos en Polígono.....	34
3.4.2.	Mapas de Calor.	36
3.5	Puntos conflictivos.....	38
3.6	Aplicación del Método Empírico Bayesiano MEB.....	40
4	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES.	53
4.1	Conclusiones de la aplicación del MEB.	53
4.2	Conclusiones de la aplicación de la Estadística Descriptiva.	54
4.3	Recomendaciones.....	56
4.4	Limitaciones.....	56

UCUENCA

5	BIBLIOGRAFÍA.....	58
6	GLOSARIO DE TERMINOS.	62
7	ANEXOS.....	63

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso.	18
Figura 2. Siniestros por Tipo de Vehículo Involucrado 2018-2021.	21
Figura 3. Siniestros por Tipo de Servicio del Vehículo Involucrado 2018-2021.	21
Figura 4. Causa del Siniestro 2016-2021.	23
Figura 5. Fallecidos y Lesionados por Año.	25
Figura 6. Siniestros por Parroquias en el Periodo 2016-2021.	26
Figura 7. Siniestros por Tipología en el Periodo 2016-2021.	27
Figura 8. Mapeo de los Registros de Siniestros a Nivel Cantonal 2016-2021.	33
Figura 9. Mapeo de los Registros de Siniestros a Nivel Urbano 2016-2021.	33
Figura 10. Puntos en Polígono Cantón Cuenca.	35
Figura 11. Puntos en Polígono de Datos Agregados Cantón Cuenca 2016-2021.	36
Figura 12. Mapas de Calor de Siniestros Anuales Cuenca Urbana.	37
Figura 13. Mapa de Calor Agregado de Cuenca Urbana.	38
Figura 14. Ubicación de los Puntos más Conflictivos Seleccionados.	40
Figura 15. Diagrama de Líneas de Promedios Anuales de Siniestros de Tránsito.	42
Figura 16. Ilustración del Fenómeno de Regresión a la Media (Datos Del Estudio).	43
Figura 17. Modelo de Distribuciones Posteriores Promediadas.	47
Figura 18. Ranking de Probabilidad de Riesgo de Siniestros De Tránsito.	51

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Codificación de Causas de Siniestros.	22
Tabla 2. Resultados Analisis de Varianza de un Factor para Fallecidos por Parroquias. .28	
Tabla 3. Resultados de Prueba T de Student Para Fallecidos por Parroquias.	29
Tabla 4. Tabla Comparativa de Puntos Conflictivos.....	39
Tabla 5. Puntos más Conflictivos Seleccionados.	40
Tabla 6. Distribución de Siniestros en los Puntos más Conflictivos.....	41
Tabla 7. Porcentajes de Siniestros por Intersección.....	42
Tabla 8. Estadísticos Descriptivos de Los Siniestros de los Puntos Más Conflictivos.	45
Tabla 9. Comparación del Modelo (Post Hoc Factor Bayesiano No Corregido).	46
Tabla 10. Probabilidad de Riesgo de Siniestro Por Localizaciones.	51

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Héctor Fernando Gavilanes Barahona en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de Siniestralidad y Metodología para la Identificación de Tramos de Concentración de Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 19 de septiembre de 2022.



Héctor Fernando Gavilanes Barahona.
C.I: 0301939492.

Cláusula de Propiedad Intelectual

Héctor Fernando Gavilanes Barahona, autor del trabajo de titulación "Análisis de Siniestralidad y Metodología para la Identificación de Tramos de Concentración de Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 19 de septiembre de 2022.



Héctor Fernando Gavilanes Barahona.
C.I. 0301939492.

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud al Ing. Diego Correa, PhD., director de este trabajo de titulación, por su apoyo constante, desde siempre. A la DGM y EMOV EP, a sus autoridades, equipos técnicos y agentes civiles de tránsito por su ágil y oportuna respuesta en la obtención de la información. A la Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, a sus autoridades y a todos los catedráticos de la maestría por su enorme aporte para nuestra formación.

¡Gracias!

DEDICATORIA

A Héctor y Cristina, a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

Héctor Fernando Gavilanes Barahona.

“Una parte de nuestro ser sabe que es de aquí de donde procedemos. Ansiamos volver, y podemos hacerlo. Porque el cosmos también está dentro de nosotros: estamos hechos de materia estelar, y somos el medio para que el cosmos se conozca a sí mismo.” Carl Sagan.

ANÁLISIS DE SINIESTRALIDAD Y METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE CUENCA

1 INTRODUCCIÓN.

Las mejoras en la seguridad vial han sido abordadas por organizaciones, instituciones e iniciativas alrededor del mundo, una de estas es la Organización de Naciones Unidas (ONU) mediante los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y los esfuerzos realizados a través de Visión Cero (VC), particularmente el objetivo número 11: ciudades y comunidades sustentables, en donde se menciona lo imperativo que para el año 2030 las personas cuenten con acceso a sistemas de transporte que no sólo sean seguros, sino que además sean asequibles, accesibles y sostenibles, dentro de lo cual, además debería contemplarse una ampliación del transporte público, brindando una especial atención a personas vulnerables, para responder a sus necesidades, siendo estas: personas con discapacidad, mujeres, niños y personas mayores (United Nations, s.f.).

Visión Cero (VC), es una estrategia integral enfocada en la seguridad vial urbana, la cual gira en torno a la premisa de que no debería aceptarse la pérdida de ninguna vida en un siniestro de tránsito, para que esto se cumpla, VC busca implementar medidas preventivas con el objetivo de que el número de fallecimientos sea igual a cero (Vision Zero Network, 2021).

En el estudio Visión Cero – Programa de Intervención de punto de mayor Siniestralidad de la ciudad de Cuenca, elaborado por la Dirección de Gestión de Movilidad del Municipio de Cuenca (2022) (DGM), se analiza la movilidad y la siniestralidad en la ciudad, generando propuestas y recomendaciones para reducir los accidentes de tránsito en estos PCAT utilizando los datos suministrados por la EMOV EP (EMOV EP, 2022).

La identificación adecuada de los PCAT, también conocidos como Puntos Negros (PNs) es de gran importancia para las ciudades, no solo para mejorar la seguridad vial, sino para optimizar las posibles intervenciones en estos puntos, ya que, implican la erogación de recursos que, de ser identificados de maneras no idóneas, causan un desperdicio de recursos económicos y tiempo.

En la ciudad de Cuenca existen zonas, particularmente intersecciones que, de acuerdo a los datos recopilados y procesados por los Agentes Civiles de Transito (ACT) de la EMOV EP, por medio del método de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) (Agencia Nacional de Tránsito, 2018) presentan mayor siniestralidad, estos han sido identificados como PNs, sin embargo, dada la simplicidad y el procedimiento que se usa para la aplicación del método, se podría estar creando falsos positivos y negativos y por consiguiente invirtiendo recursos en lugares equivocados.

Existe gran cantidad de métodos matemáticos y estadísticos para identificar los PCAT, los métodos clásicos o frecuentistas han sido generalizados como los más usados para este efecto, en el presente documento se usarán los conceptos bayesianos combinados con frecuentistas, es decir un método híbrido, o más específicamente el MEB. La utilización del MEB no ha sido mayormente difundida entre las agencias que estudian los accidentes viales, la principal razón es precisamente su complejidad respecto de otros métodos y la dificultad para conseguir soporte técnico adecuado, es decir, encontrar técnicos conocedores o afines a la estadística bayesiana (Feria & Timaná, 2019).

En lo que respecta al MEB, es de las técnicas usadas más recientemente para estimar la seguridad de puntos específicos, considera como una variable aleatoria a los accidentes registrados en un tramo o intersección vial, la misma que varía alrededor de un valor medio desconocido. Considerando la aleatoriedad de los accidentes en estos puntos, es improbable que la frecuencia de los siniestros sea constante en un periodo determinado de tiempo; los métodos basados en estadística tradicional presentan dificultades identificando valores sesgados debido al fenómeno de regresión a la media, propio de las variables aleatorias, es por esto que el punto de vista Bayesiano es la manera más apropiada de abordar este tema.

Hasta la presente fecha se desconoce de otros estudios en el país en donde se hayan utilizado métodos no convencionales para la identificación de PCAT, en otros países de nuestra región ya se han realizado estudios de este tipo, es el caso de Perú, Costa Rica y Chile (Feria Torres & Timana Rojas, 2019), (Castro Estrada & Aguero Valverde, 2014), (Rizzi, 2003), pero todavía no ha sido aplicado por parte de la autoridades en estos países.

En este estudio se han procesado los datos de los siniestros de tránsito en la ciudad de Cuenca en el periodo 2016 – 2021, los mismos que han sido registrados por la EMOV EP; se ha realizado un análisis de la siniestralidad de la ciudad en el periodo de tiempo indicado y la aplicación de la estadística bayesiana a 10 de las intersecciones más conflictivas identificadas, es decir aquellas que de acuerdo al mapeo y procesamiento de datos realizado, presentan problemas recurrentes de siniestralidad, y determinando un ranking de peligrosidad de estos PCAT.

2 MARCO TEÓRICO.

Persaud et al. (1999) manifiestan que el manejo de la seguridad de una red vial comprende cuatro componentes básicos interrelacionados: identificación de los sitios que requieren una investigación de la seguridad, diagnóstico de los problemas de seguridad, selección de los posibles tratamientos, y priorización de los tratamientos dados los presupuestos limitados. De estos componentes, la base para contar con un adecuado manejo de la seguridad vial es la identificación de los PCAT, ya que, toda la metodología y recursos invertidos dependerán de esta información previa.

En el libro *La Gestión de los Puntos Negros en el marco de los Sistemas de Gestión de la Seguridad de infraestructuras viarias* se analiza la Gestión PCAT, es decir la identificación, diagnóstico, análisis, evaluación y tratamiento de estos puntos, se plantea también un análisis a un nivel superior, es decir una Gestión Integral de la Seguridad de la Red Vial, esto ha sido implementado en países europeos considerados seguros como Finlandia, Suecia, Dinamarca, Noruega y Alemania, países en donde ya se ha superado una primera etapa de identificación de PCAT con metodologías más adecuadas (Alonso et al., 2013). También, se hace referencia al MEB, puesto que se manifiesta que, se han realizado una serie de investigaciones teóricas y empíricas con el objetivo de aplicar simulaciones que permitieran corroborar que la utilización del MEB arroja resultados más confiables en cuanto a la determinación de los PCAT, eso no es todo, pues este método reduce el problema de los falsos positivos y negativos, dejando finalmente la premisa de que, si bien ningún método o técnica es perfecta, el método Bayesiano es el más próximo a la perfección (Alonso et al., 2013).

A pesar de que los métodos para la identificación de los PCAT, generalmente usan datos oficiales de los accidentes registrados, estas estadísticas tienen una baja y desbalanceada cobertura, existiendo el riesgo de enfocarse en ubicaciones erróneas y generando problemas en la gestión de estos puntos (Sorensen, s.f.). Por su parte, Feria y Timaná (2019) manifiestan que gracias al estudio que llevaron a cabo, pudieron evidenciar que la manera en cómo se estaba llevando el control y registro de los accidentes viales no era la correcta, pues presentaba muchas deficiencias, lo cual podría deberse a que el punto de vista de la policía ante este tipo de situaciones no es imparcial, es decir, que es únicamente judicial y ello se traduce en que se descarta mucha información que posteriormente podría ser de utilidad. Por esto es imprescindible que el método usado para identificar los puntos de concentración de accidentes sea el más exacto posible.

Las técnicas convencionales para la identificación de los PCAT que utilizan recuentos y tasas de accidentes a menudo en un marco de control de calidad estadístico, tienen dificultades para identificar sitios desviados por el sesgo potencial debido al fenómeno de regresión a la media, es decir, los sitios que presentan un recuento de accidentes aleatoriamente alto pueden identificarse erróneamente como peligrosos y viceversa (Persaud et al., 1999). El fenómeno conocido como regresión a la media hace referencia a la tendencia a la cual eventos considerablemente grandes le siguen valores mucho menores y viceversa (Feria & Timaná, 2019).

Para el caso del Ecuador, el manual “Criterios Técnicos Referenciales para Identificación de Puntos Críticos y Negros de Siniestros de Tránsito en el Ecuador”, de la ANT (2018), emite las directrices a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) para analizar e identificar los PCAT de las ciudades. Este método asigna valores relativos a la gravedad del siniestro, los mismos que se han clasificado previamente, luego el investigador a cargo determina un parámetro que será evaluado en un rango indicado. El proceso para la aplicación conlleva un componente humano muy alto, desde la identificación visual de las zonas de concentración de accidentes, hasta el conteo manual de los siniestros, lo que disminuiría la efectividad final del método usado.

Acorde a la investigación de Sorensen y Elvik (2007), “Los puntos negros deberían ser identificados en términos del estimado número de accidentes esperados usando el método empírico Bayesiano” (p. 24). Además de que, “varios proyectos de investigación han

documentado que la identificación de puntos negros es más confiable con la aplicación de este método” (Sorensen & Elvik, 2007, p. 26). Finalmente, estos autores aseguran que todos los países realizan la identificación de los PCAT en términos del número de siniestros de tránsito registrado, la única excepción es la definición desarrollada por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil de Portugal (*LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, s. f.), el mismo que usa el MEB, definiendo los PCAT en términos del número esperado de accidentes a largo plazo, el mismo que no puede ser observado, solo estimado (Sorensen & Elvik, 2007).

En el estudio de Mesa et al. (2011) se indica que, cuando se está manejando procesos de razonamiento, es natural mantener un margen de incertidumbre, ya sea que se esté utilizando los modelos Bayesianos u otros similares, debido a que, estos manejan la probabilidad para probar hipótesis, por lo tanto, los datos siempre deberán someterse a procesos de reajuste a medida que se le asignen nuevos axiomas. Los métodos bayesianos se dividen en puros o full Bayes (FB) y empíricos (MEB), los puros no utilizan los datos previos de los que se puede disponer, mientras que los empíricos sí usan estos datos para las estimaciones previas.

Por su parte en 2019, en un artículo publicado en *Transportatio Research Record*, se introduce una técnica emergente al MEB, esta variación corrige la presunción del MEB de que la seguridad en un punto específico de la red vial es temporalmente independiente y estable, se trata del Modelo Bayesiano Jerárquico (MBJ) (Guo et al., 2019), en el trabajo se menciona la poca confiabilidad del uso de la tasa de accidentes para determinar los PCAT, se realizan cuatro evaluaciones, en donde en tres de las mismas el MJB es superior y el MEB es ligeramente mejor en una.

Xuesong et al. (2021) también hace uso del método FB para la identificación de PCAT en Shanghai-China, en donde indica que en el manual de seguridad vial en este país se determinan los PCAT usando intersecciones individuales, es decir, a nivel micro y concluyendo que este proceso es ineficiente, propone realizar un análisis a nivel medio principalmente segmentos continuos de arterias viales suburbanas, también concluye que un análisis de este tipo a nivel macro tampoco sería recomendable, ya que, desde el punto de vista geográfico, no tendría la eficacia buscada ni aplicación práctica; manifiesta adicionalmente que, los siniestros de transito se han incrementado paralelamente con el

desarrollo urbano y el cambio de uso de suelo de la ciudad, que las vías secundarias se conectan sin ningún elemento vial adecuado hacia las arterias viales, lo que perturba el flujo vehicular en la arteria vial y perjudica la seguridad de la misma.

Durante la Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Miranda-Moreno & Fu (2007), presentaron un caso de estudio de seguridad vial, en donde se hace una comparación entre los resultados de la aplicación del MEB y FB; en donde indican que, algunos investigadores defienden el FB como una mejor alternativa. En el estudio los autores presentan los resultados de la aplicación de ambos enfoques a gran escala, dando como resultado que los estimadores con FB funcionaron de mejor manera que MEB cuando se trabaja con cantidades pequeñas de sitios o ubicaciones, sin embargo, al sobrepasar los 300 sitios, los dos enfoques presentan prácticamente los mismos resultados.

En el estado de Oregon, Estados Unidos, se aplicó el MEB para el caso de carreteras con bajo volumen de tráfico, en este estudio se comparó el método propuesto en el Highway Safety Manual (HSM) de los Estados Unidos con el MEB, concluyendo que, usando los datos de 10 años de siniestros de tránsito del estado de Oregon, se identifica que el HSM sobreestima el número de siniestros de tránsito, específicamente un 56% sobre el número observado en el mismo periodo, esta sobreestimación muestra que el MEB alcanza a estimar el número esperado de choques, razonablemente cerca del registro de observaciones del periodo, siendo la diferencia inferior al 5%, esto confirma la robustez del MEB. (Ahmed & Kasi Tashin, 2022).

Se han realizado estudios en donde se proponen modelos Bayesianos Jerárquicos Multivariable (Fu & Sayed, 2021), con el objetivo de integrar más de dos indicadores conflictivos de tránsito de diferentes sitios, incorporando muchas covariables (volumen de tráfico, área de onda de choque, proporción de pelotón, etc.) y la heterogeneidad no observada de un sitio en particular; con esto se ha conseguido considerables mejoras en la eficiencia para la estimación de accidentes.

Entre las principales ventajas que pueden mencionarse de la utilización del método Bayesiano, sin duda están: su distribución “a priori” ayuda a estrechar el intervalo de confianza, gracias a lo cual, la prueba resulta con mayor potencia que el chi-cuadrado, por otro lado, el método puede aplicarse antes de una intervención como soporte para el diseño

de análisis estadísticos y finalmente, el método toma en cuenta de manera automática el fenómeno de regresión a la media, siempre que se utilice una distribución “a priori adecuada” (Pardillo, 1995).

Acorde a los estudios de Pardillo (1995) y Abbas et al. (1981), los métodos bayesianos se basan en las siguientes hipótesis: En cualquier punto negro y en ausencia de tratamiento, los accidentes suceden siguiendo un proceso de Poisson de parámetro m constante (tasa de accidentalidad verdadera), la frecuencia intrínseca de accidentalidad m variará de un punto a otro, siendo su valor desconocido y será considerado como una variable aleatoria. Es conveniente matemáticamente suponer que la distribución “a priori” es gamma con parámetros n_0 y S_0 , si la distribución “a priori” es gamma con parámetros n_0 y S_0 y si el total de accidentes observado en un periodo de n años es S , entonces la distribución “a posteriori” es también gamma de parámetros n_1 y S_1 . Si se consideran los parámetros S_0 y n_0 , de la distribución “a priori” como el resultado del conocimiento del periodo en que se dispone de datos de accidentes y del número de accidentes registrado, los parámetros n_1 y S_1 pueden considerarse como periodo equivalente de experiencia de accidentes y número equivalente de accidentes respectivamente.

Un paso más adelante se ha realizado en el estudio de Rodríguez et al. (2014), en donde usan el análisis bayesiano y de jerarquías de procesos (ahp) para solventar el problema de ruteo de los vehículos de transporte de carga, estimando el nivel de riesgo de cada ruta con el objetivo de incluirle como un factor adicional a la hora del ruteo de los camiones.

La estadística Bayesiana es por tanto, aquel método que permite realizar estimaciones, valiéndose de distribución de probabilidades y modelos probabilísticos (Mesa et al., 2011).

3 METODOLOGÍA.

La metodología se estructuró de la siguiente manera: Base de datos, preparación de datos, análisis numérico y estadístico, mapeo y procesamiento, identificación de puntos conflictivos, aplicación del MEB, conclusiones y recomendaciones.

A continuación en la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del proceso aplicado:

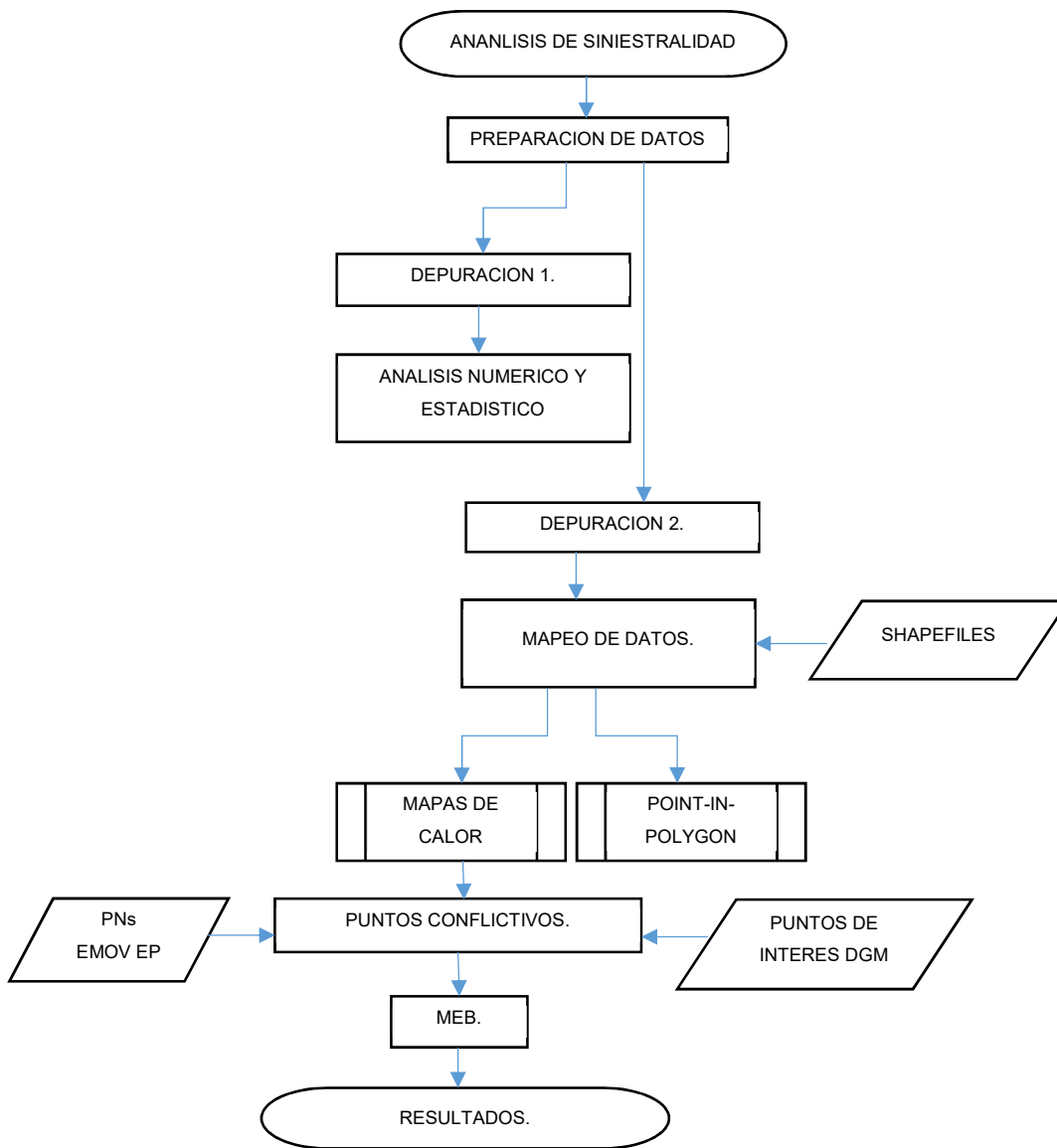


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso.

3.1 Base de datos.

Las bases de datos utilizadas en el presente estudio corresponde a los siniestros ocurridos en la ciudad de Cuenca en el periodo 01 de enero de 2016 al 31 de diciembre de 2021, los mismos que se obtuvieron de la EMOV EP (Anexo 01) en archivos digitales con los siguientes campos: código, fecha, hora, causa, tipología, fallecidos, lesionados,

parroquia, dirección, localización geográfica, tipo de vehículo involucrado (este último disponible desde el año 2018), la información es registrada por los agentes civiles de tránsito (ACT) en formatos preestablecidos denominados Partes de Tránsito (PT) (Anexo 02).

De la información obtenida de entrevistas con los ACT de la EMOV EP y del formato de PT para registro de accidentes, se ha podido determinar que estos formatos contienen una cantidad considerable de campos disponibles para el ingreso de la información de un siniestro, los datos son ingresados de manera digital, incluida la localización geográfica, la misma que se hace usando Open Street Map (2022) (OSM), este punto presenta una desventaja, que los ACT dependen de la intensidad de la señal de datos móviles para obtener las coordenadas y registrarlas, la misma que en zonas rurales no siempre está disponible, por lo que en estos casos es necesario que se registre de manera manual para luego ser transcrita al sistema, en estos casos es muy fácil que se produzcan errores, en especial en las coordenadas por la cantidad de dígitos que implica.

Se pudo evidenciar también que al momento de registrar un siniestro de tránsito ocurrido, los ACT realizan una clasificación previa del suceso para ajustarse a los tipos de siniestros indicados en el documento Criterios Técnicos Referenciales para Identificación de Puntos Críticos y Negros de Siniestros de Tránsito en el Ecuador, emitido por la ANT (Agencia Nacional de Tránsito, 2018), en donde se indican los tipos de siniestros a considerar; los ACT supieron manifestar que si un accidente no tiene consecuencias mayores o si se llega a un acuerdo entre las partes, entonces ya no son registrados en la base de siniestros, estos accidentes se registran en una base alterna denominada incidentes de tránsito, pese a que la ANT indica de manera textual que un incidente de tránsito es aquel “que no ha conllevado a ningún tipo de afectación a bienes públicos y/o privados y no involucra víctimas con alguna lesión (por mínima que fuere) o personas fallecidas” (p. 15), lo que implica que la base de siniestros no está siendo conformada apegada completamente a la realidad.

3.2 Preparación de datos.

Las bases de datos fueron procesadas, ordenadas y depuradas con el objetivo de homogeneizar los formatos y conformar una base válida y trabajable. La conversión de unidades de coordenadas geográficas a UTM en las bases que se requería se realizó

mediante la hoja de cálculo Convertir GEO-UTM (Ortiz, 2022). La base de datos consolidada original contiene 4228 datos de siniestros de tránsito en el periodo de análisis, luego de corregir el orden cronológico y depurar los datos duplicados y en blanco, se obtuvo una reducción de los datos inferior a 0.1%, quedando 4224 registros válidos, como se indicó anteriormente, los datos correspondientes al tipo de vehículo involucrado solo han sido registrados desde el año 2018.

Durante el proceso de mapeo de los siniestros, se pudo constatar que varios registros se localizaron fuera de los límites cantonales e incluso nacionales, por lo que se realizó una segunda depuración de datos, esta vez omitiendo los registros atípicos o fuera de rango, quedando 3767 registros válidos para los procesos siguientes, esto representa el 89.10% de la base original.

3.3 Análisis de datos.

El conjunto de análisis numéricos y estadísticos que pueden ser ejecutados, así como, la cantidad de datos y variables es muy amplio, para la presente etapa del estudio se usaron los datos válidos de la primera depuración; se ejecutaron análisis estadísticos descriptivos e inferenciales, los que se consideraron más relevantes dentro del tema de investigación y de los que se podía obtener los resultados más provechosos, esto con el uso de hojas de cálculo y el software JASP (2022), los resultados obtenidos se detallan a continuación. Las tablas con el contenido completo de los resultados se encuentran disponibles en los Anexos.

3.3.1. Tipo de vehículo involucrado.

En la Figura 2 se aprecia que los vehículos particulares son por mucho los principales involucrados en los accidentes de tránsito, seguido por las motocicletas; el porcentaje de vehículos particulares se ha mantenido constante en el periodo, mientras que los accidentes con motocicletas han ido creciendo.

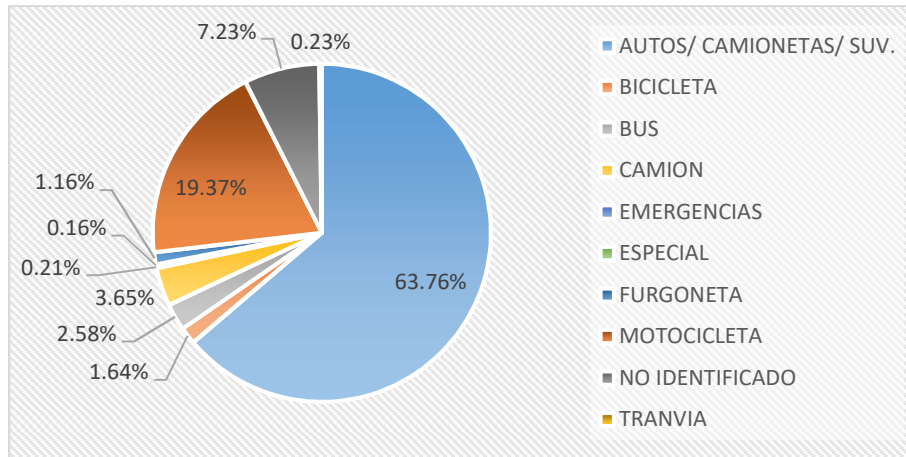


Figura 2. Siniestros por tipo de vehículo involucrado 2018-2021.

La tabla de resultados se puede encontrar en el Anexo 03.

3.3.2. Tipo de servicio del vehículo involucrado.

En la Figura 3, se puede observar que los vehículos particulares, al igual que en el punto anterior, son por mucho los principales involucrados en los accidentes de tránsito, seguido esta vez por los vehículos comerciales; el porcentaje de vehículos particulares y comerciales se ha mantenido constante en el periodo.

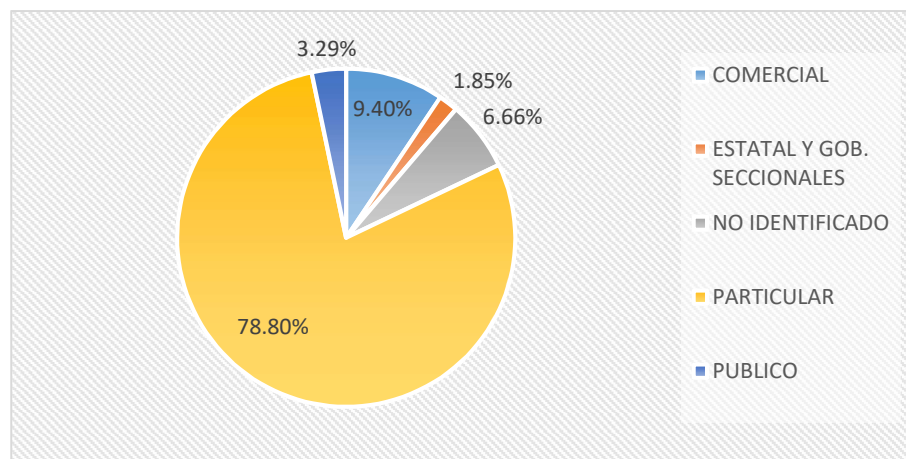


Figura 3. Siniestros por tipo de servicio del vehículo involucrado 2018-2021.

La tabla de resultados se puede encontrar en el Anexo 04.

3.3.3.Causa del siniestro.

En la Tabla 1 se expresa la codificación usada para el procesamiento de las causas de los siniestros de tránsito.

Tabla 1. Codificación de causas de siniestros.

Código	Descripción
CS1	Adelantar o rebasar a otro vehículo en movimiento
CS2	Bajarse o subirse de vehículos en movimiento sin tomar las precauciones debida
CS3	Cambio brusco o indebido de carril
CS4	Casos fortuitos
CS5	Causas desconocidas
CS6	Condiciones ambientales y/o atmosféricas
CS7	Condiciones ambientales y/o atmosféricas (niebla, neblina, granizo, lluvia).
CS8	Conduce bajo la influencia de alcohol
CS9	Conducir desatento a las condiciones de tránsito
CS10	Conducir en estado de somnolencia
CS11	Conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga)
CS12	Conducir en sentido contrario a la vía
CS13	Conducir en sentido contrario a la vía normal de circulación
CS14	Conducir superando los límites de velocidad.
CS15	Conducir vehículo superando los límites máximos de velocidad.
CS16	Cruce de animales en la vía
CS17	Daños mecánicos
CS18	Dejar o recoger pasajeros en lugares no permitidos
CS19	Dispositivo regulador de tránsito en mal estado (semáforo)
CS20	El conductor que estacione vehículos en sitios que entrañen peligro
CS21	Estacionar en sitios que entrañen peligro
CS22	Exceso de peso y volumen
CS23	Falla mecánica en los sistemas y/o neumáticos
CS24	Imprudencia del peatón
CS25	Malas condiciones de la vía
CS26	No ceder el derecho de vía a vehículos
CS27	No ceder el derecho de vía al peatón
CS28	No ceder el derecho de vía o preferencia de paso a vehículos
CS29	No guardar la distancia lateral entre vehículos
CS30	No guardar la distancia lateral mínima de seguridad entre vehículos
CS31	No mantener la distancia prudencial
CS32	No mantener la distancia con el vehículo que le antecede
CS33	No respeta las señales de tránsito
CS34	No respetar las señales de tránsito
CS35	No respetar las señales manuales del agente de tránsito.
CS36	No transitar por las aceras o zonas de seguridad destinadas para el efecto.
CS37	Peatón que cruza la calzada sin respetar la señalización existente (semáforos o señales manuales).
CS38	Peatón transita bajo influencia de alcohol
CS39	Peso y volumen
CS40	Presencia de agentes externos en la vía
CS41	Realizar cambio brusco o indebido de carril



En la Figura 4 se presentan los datos correspondientes a los siniestros de acuerdo a la causa, con sus respectivos subtotales anuales.

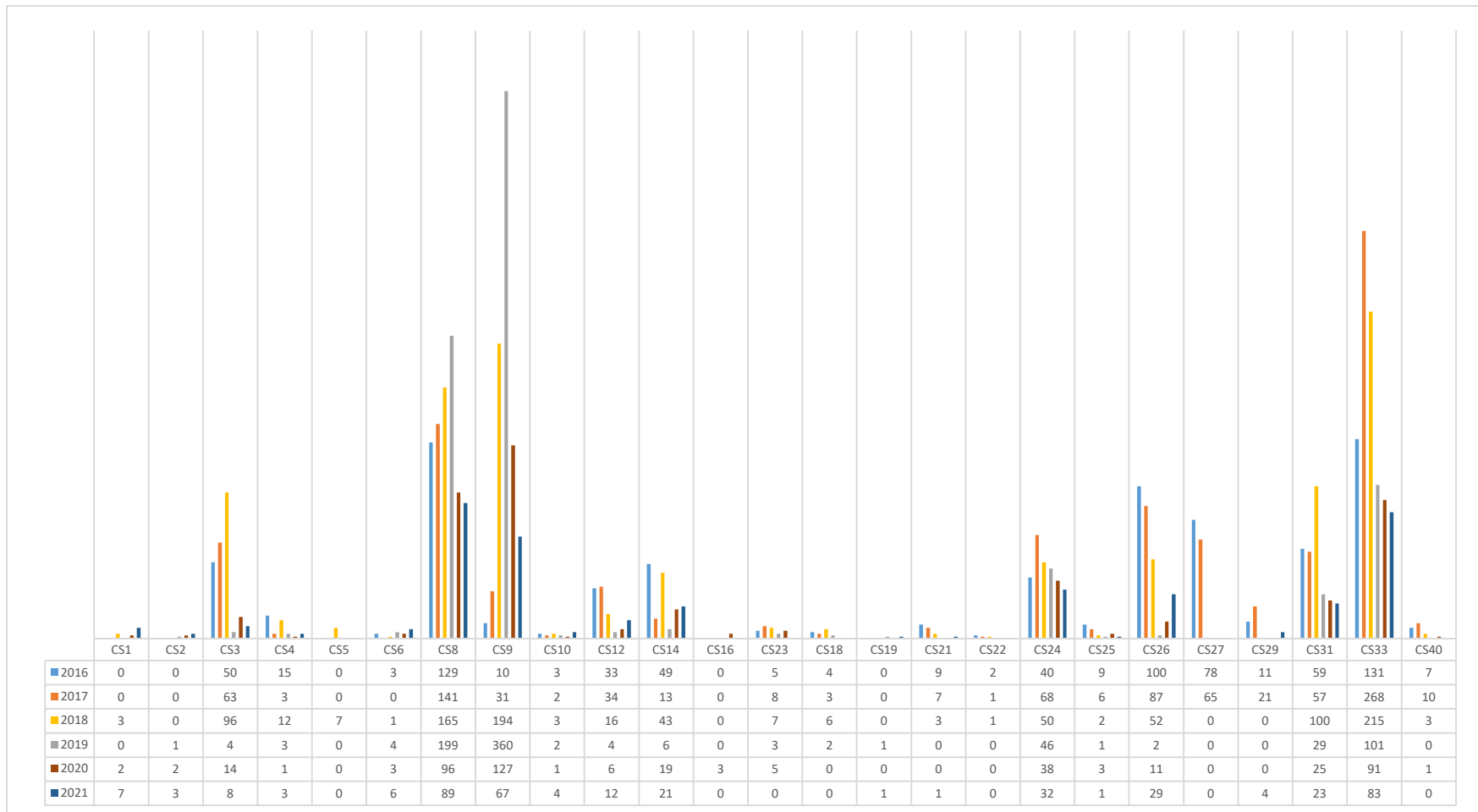


Figura 4. Causa del siniestro 2016-2021.



Como se puede observar en la Figura 4, las causas más comunes de los siniestros en los seis años estudiados, se deben a factores o conductas humanas, no respetar las señales de tránsito 21.05%, conducir bajo la influencia del alcohol 19.39% y conducir desatento a las condiciones de tránsito 18.68%. Además se puede apreciar la marcada disminución en todas las causas de siniestralidad, esto debido a las restricciones de movilidad por la pandemia de COVID 19. La tabla de resultados se puede encontrar en el Anexo 05.

3.3.4. Fallecidos y lesionados.

En la Figura 5 se presentan los datos correspondientes a la cantidad de fallecidos y lesionados anuales en el periodo de estudio, el número de fallecidos es registrado por los ACT en el lugar del siniestro y/o hasta 24 horas posteriores de su ocurrencia. En la figura indicada, se evidencia una tendencia creciente de los fallecidos y lesionado hasta el año 2018 y 2019, luego de esto decrece, debido directamente a las restricciones de movilidad debido a la pandemia por el COVID19. En 2019 la ciudad de Cuenca alcanza un pico de fallecidos en el año 2019, esto es 43 fallecidos; considerando que la población proyectada para el año 2021 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) para el Cantón Cuenca es de 636.996 habitantes (Censos, s. f.) y 36 fallecidos en este mismo año, obtenemos 5.65 fallecidos en siniestros de tránsito por cada 100.000 habitantes, por debajo del valor nacional de 20.1 y del promedio regional de 18.39 según los datos del Banco Mundial (*Mortalidad provocada por lesiones por accidentes de tránsito (por cada 100 000 personas) | Data, 2019*), pero por encima de países como Suecia (2.7), Reino Unido (2.8), Suiza (3.3), España (3.6), Alemania (4.0), Japón (4.5), Francia (5.1), Canadá (5.4), y Nueva Zelanda (5.6) (CDCespanol, 2016), países que deberíamos tomar como referente.

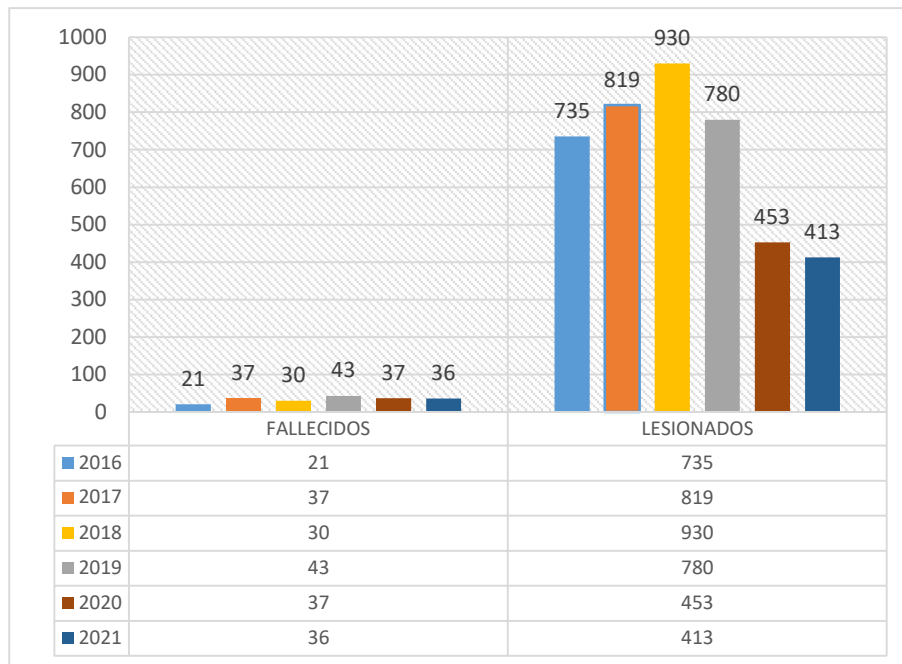


Figura 5. Fallecidos y lesionados por año.

Si bien a nivel local, todavía no se alcanzan niveles alarmantes, a nivel nacional el tema es diferente, el Ecuador ocupa el puesto 6 en mortalidad por cada 100.000 habitantes, superado no por mucho por Bolivia (21.1), Paraguay (22.0), Guayana (22.3), Guatemala (22.9) y Venezuela (39), este último ocupando el primero lugar. A pesar de que Ecuador cuenta algunas de las exigencias más altas en equipamiento de seguridad para vehículos (Subsecretaría del Sistema de la Calidad de la Productividad, 2017), esto es sobre Chile, Argentina, Perú, Colombia, Brasil y México, entonces podría tratarse como se indicó anteriormente, de un problema conductual, entre estos se puede mencionar el no usar o uso incorrecto del cinturón de seguridad, en especial en el caso de los menores de edad que generalmente no cuentan con los dispositivos adecuados para movilizarse de manera segura en un vehículo, en el sector rural suelen transportar personas en la parte posterior de camionetas, en los autobuses no se hace uso del cinturón de seguridad, y para finalizar, pese a las exigencias que deberían cumplir los vehículos para circular, muchas marcas cumplen estas disposiciones de manera dudosa, esto se refleja en las pruebas de choque ejecutadas por el programa Latin NCap (<https://www.latinncap.com/es/resultados>), en donde, los vehículos más populares vendidos en el país, en el mejor de los casos alcanzan una estrella de seguridad de 5 posibles.

3.3.5. Siniestros por parroquias.

En la Figura 6 se presentan los datos correspondientes a la cantidad de siniestros ocurridos en las parroquias urbanas y rurales que conforman el cantón Cuenca dentro del periodo de estudio, es posible apreciar que las parroquias urbanas presentan mayor siniestralidad que las rurales; las parroquias urbanas con mayor cantidad de siniestros son Yanuncay, Sucre, El Vecino, El Batán y Bellavista, en el caso de las parroquias rurales las que predominan son Ricaurte, El Valle y Baños.

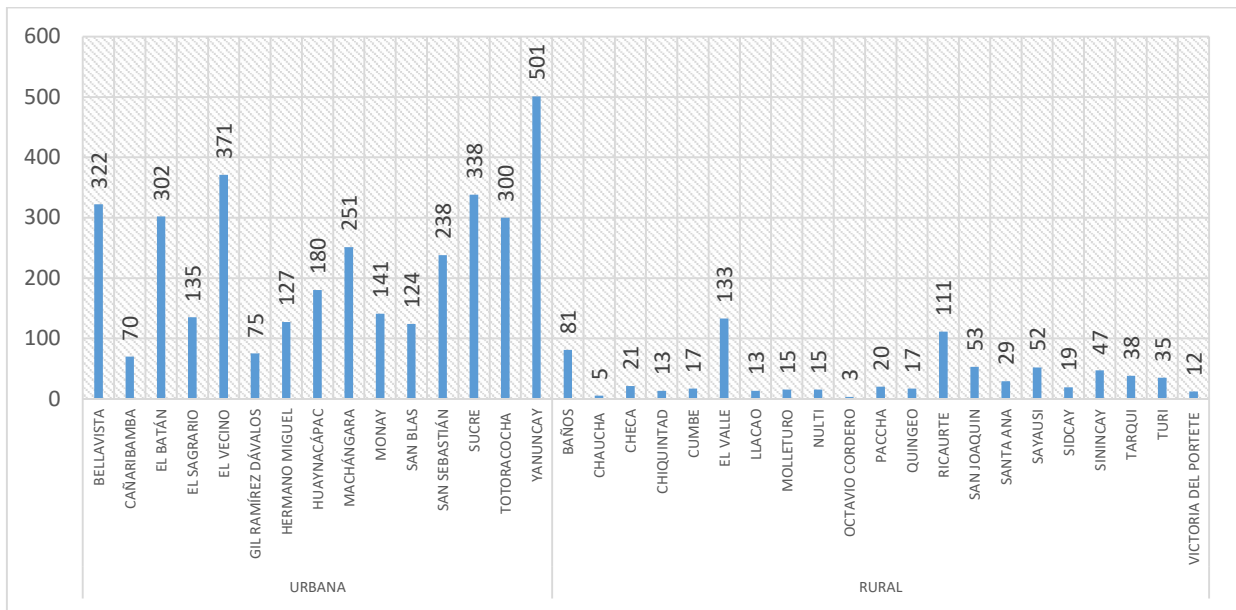


Figura 6. Siniestros por parroquias en el periodo 2016-2021.

3.3.6. Tipología de siniestros.

En la Figura 7 se presentan los datos correspondientes a los siniestros de tránsito, de acuerdo a su tipología en el periodo de estudio, se indican las tipologías de siniestro más comunes, siendo estas el atropello, los choques laterales, estrellamiento y pérdida de pista.

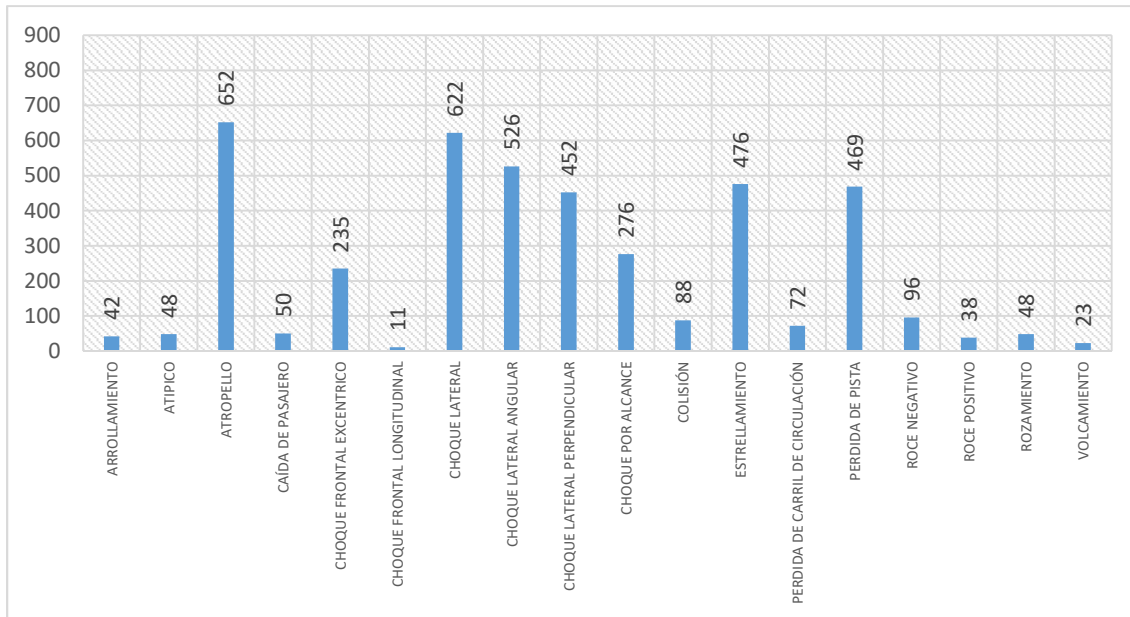


Figura 7. Siniestros por tipología en el periodo 2016-2021.

3.3.7. Fallecidos por parroquias.

Con la finalidad de analizar el comportamiento de los datos, se ejecutaron procesos estadísticos descriptivos e inferenciales como ANOVA y T de Student, los resultados se indican a continuación.

3.3.7.1. Estadísticos descriptivos.

Los estadísticos descriptivos hacen referencia a la recolección, organización, tabulación y presentación de información de una base de datos mediante medidas descriptivas, en este caso se determinó la media, la desviación estándar, error, límite inferior y superior, mínimo y máximo. Las tablas de resultados completas se pueden encontrar en el Anexo 06.

3.3.7.2. Prueba ANOVA.

La prueba ANOVA (análisis de varianza) hace referencia a un proceso estadístico utilizado para realizar una comparación de varianzas entre las medias o promedio entre diferentes grupos, en la Tabla 2 se muestran los resultados:



Tabla 2. Resultados de prueba ANOVA de un factor para fallecidos por parroquias.

ANOVA

FALLECIDOS

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11,393	35	0,326	6,724	0,000
Dentro de grupos	202,754	4188	0,048		
Total	214,148	4223			

FALLECIDOS

HSD Tukey^{a,b}

Parroquia	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Octavio Cordero	3	0,00				
Sidcay	19	0,00				
Ricaurte	111	0,01				
Sucre	338	0,01				
Totoracocha	300	0,02				
Gil Ramírez Dávalos	75	0,03				
Cañaribamba	70	0,03				
El Sagrario	135	0,03				
Yanuncay	501	0,03				
Bellavista	322	0,04				
El Batán	302	0,04				
Machángara	251	0,04				
San Blas	124	0,04				
El Vecino	371	0,04				
San Sebastián	238	0,05				
Hermano Miguel	127	0,05				
Monay	141	0,05				
Paccha	20	0,05				
Quingeo	17	0,06	0,06			
Sinincay	47	0,06	0,06			
Huayna Cápac	180	0,07	0,07			
Nultí	15	0,07	0,07			
Turi	35	0,09	0,09	0,09		
Baños	81	0,09	0,09	0,09		
El Valle	133	0,09	0,09	0,09		
Tarqui	38	0,11	0,11	0,11	0,11	
San Joaquín	53	0,13	0,13	0,13	0,13	
Sayausí	52	0,13	0,13	0,13	0,13	
Llacao	13	0,15	0,15	0,15	0,15	
Victoria del Portete	12	0,17	0,17	0,17	0,17	
Santa Ana	29	0,17	0,17	0,17	0,17	
Checa	21	0,19	0,19	0,19	0,19	
Cumbe	17		0,29	0,29	0,29	
Chiquintad	13			0,31	0,31	
Molleturo	15				0,33	
Chaucha	5					1,00
Sig.		0,417	0,061	0,120	0,089	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 25,025.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

La prueba ANOVA de un factor, como se puede apreciar en la Tabla 2 nos indica que existen diferencias significativas dentro de los datos, las parroquias con mayor prevalencia de muertes son: Chaucha, Molleturo, Chiquintad, Cumbe y Checa, las demás parroquias



son estadísticamente similares en cuanto a la mortalidad dentro de los subconjuntos que se han formado.

Las parroquias con más prevalencia de fallecidos son rurales, un caso muy particular es el de la parroquia Chaucha, en donde de acuerdo a los resultados, todos los accidentes terminan en fallecimientos de los ocupantes.

3.3.7.3. Prueba T de Student.

La prueba T de Student es una herramienta estadística usada para evaluar o establecer diferencias entre las medias de uno o dos grupos de datos mediante pruebas de hipótesis, en el presente estudio se realizó una prueba T de Student para muestras independientes para comparar los fallecimientos de las parroquias rurales con las urbanas. Los resultados de la aplicación de la prueba en la Tabla 3 indican que el porcentaje de muertes en la zona urbana es del 4% mientras que en la zona rural es del 11%.

Tabla 3. Resultados de prueba T de Student para fallecidos por parroquias.

	Procedencia	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
FALLECIDOS	Urbana	3475	0,04	0,192	0,003
	Rural	749	0,11	0,332	0,012

3.3.8. Lesionados por parroquias.

En los siguientes puntos se ejecutaron los mismos procesos estadísticos que en el punto 3.3.7, las tablas de resultados completas se pueden encontrar en el Anexo 06, a continuación se describen los resultados obtenidos.

Para el caso de lesionados por parroquias, solo se aprecian dos grupos, de estos se diferencia solo Chiquintad, en donde se observa que existe un número más alto de lesionados por accidente, en relación a las demás parroquias, las mismas que muestran resultados semejantes entre sí.



De la prueba T de Student para muestras independientes para comparar los lesionados en las parroquias rurales con las urbanas, se determinó que el porcentaje de lesionados en la zona urbana es del 0.96% mientras que en la zona rural es del 1.07%, es decir, la diferencia no es tan marcada como en los fallecimientos, la diferencia es significativa, pero con el error permitido al límite.

3.3.9. Fallecidos y Lesionados Parroquias Urbanas y Rurales.

Se ha realizado el análisis de los fallecidos y lesionados en las parroquias urbanas y rurales de manera separada, a nivel urbano, el porcentaje de fallecimientos es similar en todas las parroquias, es decir, no existe diferencia significativa; a nivel rural, existe diferencia significativa, pero vuelve a aparecer la parroquia Chaucha como la más prevalente, si se omitieran los datos de Chaucha, al igual que en las urbanas, el porcentaje de fallecidos sería similar. En lo que respecta a los lesionados, tanto a nivel urbano como rural no presentan diferencias significativas.

3.3.10. Fallecidos y lesionados por Tipología del Siniestro.

Para este análisis se realizó un agrupamiento previo de las tipologías de los siniestros dada su similitud, con esto se facilita el proceso y se mejoran los resultados obtenidos.

Para el caso de los fallecimientos, los resultados indican que el arrollamiento es el tipo de siniestro más letal, existe una posibilidad de 60% de morir en un arrollamiento, seguido a este, pero sin diferenciarse significativamente de las demás tipologías están el volcamiento, caída del pasajero y pérdida de pista. De acuerdo con la definición dada por los ACT, el atropello ocurre cuando una persona es impactada con el vehículo, mientras que, en el arrollamiento, el vehículo pasa sobre la persona. Los arrollamientos en la zona urbana son mucho más letales que las demás tipologías de siniestros.

En el caso de los lesionados, existen dos tipologías que se diferencian significativamente, el volcamiento y el choque frontal longitudinal, es decir, estos dos tipos son los que dejan más heridos por siniestro. Para el caso de arrollamiento, en este caso, existe solo una posibilidad de 43% de salir solamente lesionado en los demás casos se da



el fallecimiento de la víctima, lo que confirma el análisis del punto anterior. Para la zona urbana, el volcamiento es la tipología que causa más lesionados.

3.3.11. Análisis estadísticos adicionales.

Además de las pruebas estadísticas realizadas en los puntos anteriores, al conjunto de datos se le aplicaron otros procesos de análisis estadísticos adicionales, bajo diferentes combinaciones de variables con el objetivo de identificar comportamientos especiales o que se diferencien del conjunto en general y que podrían resultar de interés para el trabajo, los resultados obtenidos se explican a continuación:

Se realizó una comparación de las probabilidades de ocurrencia de un accidente con fallecidos en los días de la semana mediante la prueba Anova de un factor, en donde se pudo apreciar que, si un accidente se da el viernes, existe una pequeña probabilidad superior de que dé como resultado más fallecidos que si el accidente se diera un lunes. Además, un análisis de los días de la semana agrupados demostró que, de lunes a viernes el número de fallecidos por accidentes de tránsito es de 0,03 (DE 0,172) mientras que los fines de semana este número aumenta a 0,05 (DE 0,229). Una comparación para verificar si las diferencias son significativas se realizó con la prueba T de Student [$t(1772) = 2,249$] considerando que no hay varianzas iguales, se obtuvo una probabilidad de error del 0,025 (2,5%), la probabilidad fue ratificada con el estadístico de prueba no paramétrico U de Mann Whitney ($Z = -2,083$, $p = 0,037$), entonces se puede decir que en los siniestros ocurridos durante los primeros días de la semana hay más lesionados que en los siniestros durante los últimos días de la semana.

Con la aplicación de una prueba T de Student se pudo verificar que no existe diferencia en los fallecidos o lesionados si el siniestro se da en el día o en la noche, además, con un análisis de regresión múltiple, una técnica de la estadística utilizada para analizar por qué ocurren los hechos, se demostró que existiría un modelo que explica de forma significativa [$F(2/3470 \text{ gl}) = 3,305$, $p = 0,019$], con un R cuadrado ajustado de 0,002 que, por cada vez que un accidente ocurre el fin de semana, se aumenta en 0,020 las probabilidades de fallecer, de la misma manera también explica de forma significativa [$F(2/3471 \text{ gl}) = 18,746$, $p = 0,000$], con un R cuadrado ajustado de 0,015, que por cada vez que un accidente ocurre



el fin de semana se aumenta en 0.018 las probabilidades de fallecer, en 0.108 si supera los límites de velocidad y 0.080 si el peatón no transita por las aceras.

Mediante estos sucesivos análisis con la regresión lineal y utilizando las diferentes variables de causales de accidentes de tránsito, se ha notado que, continuando con el procesamiento de datos, se podría configurar un modelo para explicar los fallecimientos por siniestros de tránsito en la ciudad de Cuenca. Un dato interesante de este proceso ha sido que, superar los límites de velocidad, los peatones que no transitan por las aceras y los accidentes durante el fin de semana son más significativos que el consumo del alcohol como principales causantes de fallecimientos, algo no muy obvio si se considera los datos iniciales del trabajo.

3.4 Mapeo de datos.

El mapeo de los siniestros de tránsito se realizó en un software geoespacial para procesar y analizar datos geográficos. Se usó como base los archivos shapefile de áreas urbano-parroquiales, límites parroquiales rurales actuales y límites parroquiales urbanos actuales de Cuenca proporcionados por la DGM, en este software se ejecutaron los procesos de Mapas de Calor y Puntos en Polígono anuales y totales para el periodo de estudio, entendiéndose por shapefile como un formato de almacenamiento de datos vectoriales, forma y los atributos de las entidades geográficas (*Shapefiles—Portal for ArcGIS | ArcGIS Enterprise*, s. f.)

Como se indicó en el punto 3.2, para esta etapa del estudio, varios registros presentaron valores fuera de rango, por lo que para el procesamiento se usaron los datos de la segunda depuración, es decir 3767 datos válidos, correspondiente al 89.10% de la base original.

A continuación, en las Figura 8 y Figura 9 se presentan el mapeo de los registros de siniestros nivel cantonal y a nivel urbano de la ciudad de Cuenca respectivamente.

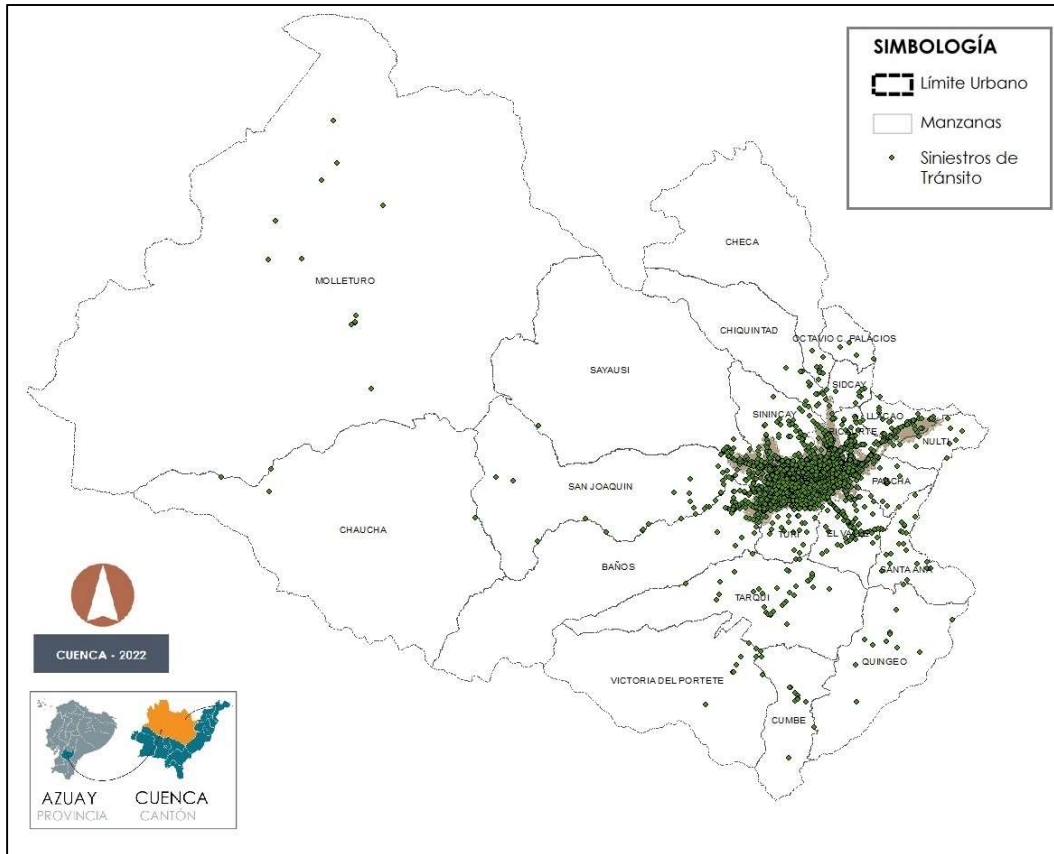


Figura 8. Mapeo de los registros de siniestros a nivel cantonal 2016-2021.

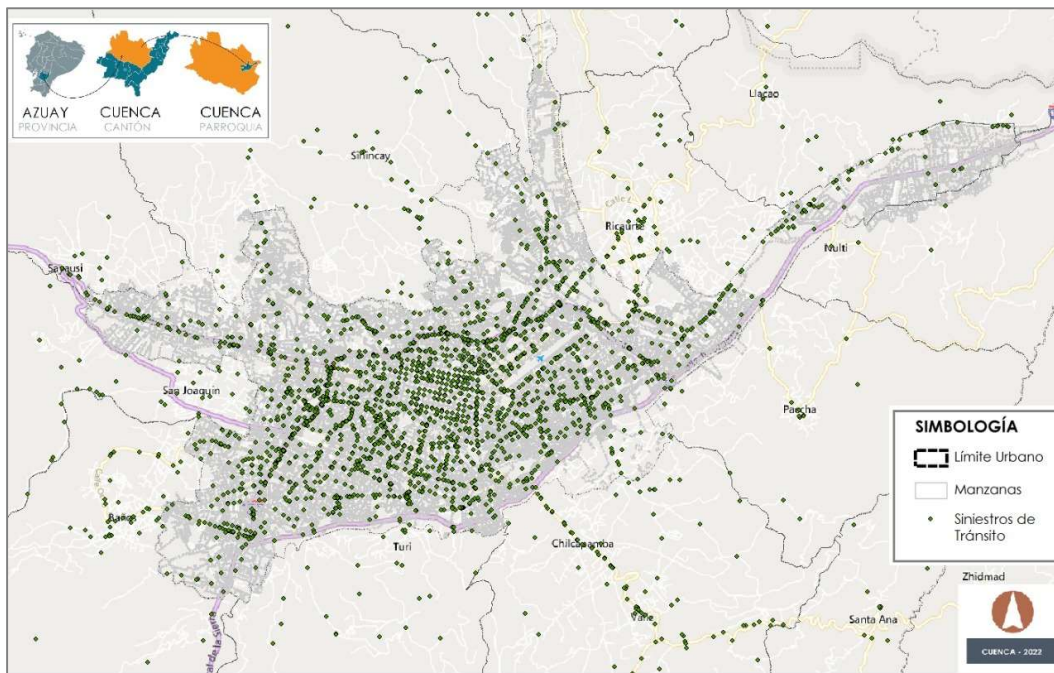
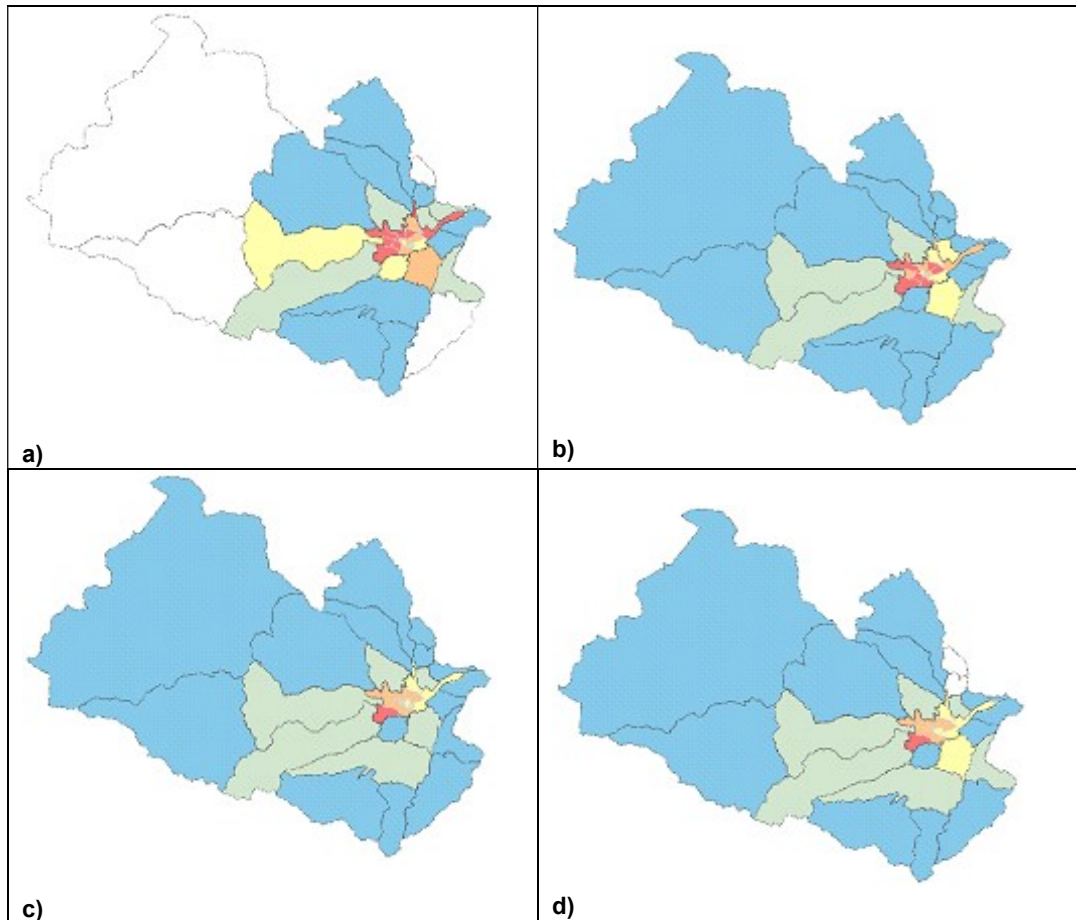


Figura 9. Mapeo de los registros de siniestros a nivel urbano 2016-2021.

3.4.1. Puntos en Polígono.

Puntos en Polígono es un proceso espacial en donde, los puntos de la base de datos se superponen a los polígonos, este caso las parroquias urbanas y rurales de Cuenca, para determinar qué siniestros están contenidos dentro de los polígonos, esto se presenta en las gráficas siguientes aplicando colores en función de los rangos de valores que contiene.

Se hizo el uso de esta herramienta con la finalidad de presentar de mejor manera las variaciones de la siniestralidad entre cada parroquia y cada año en el periodo de estudio, presentando las parroquias con mayor cantidad de siniestros en color rojo y en color azul aquellas con menor siniestralidad.



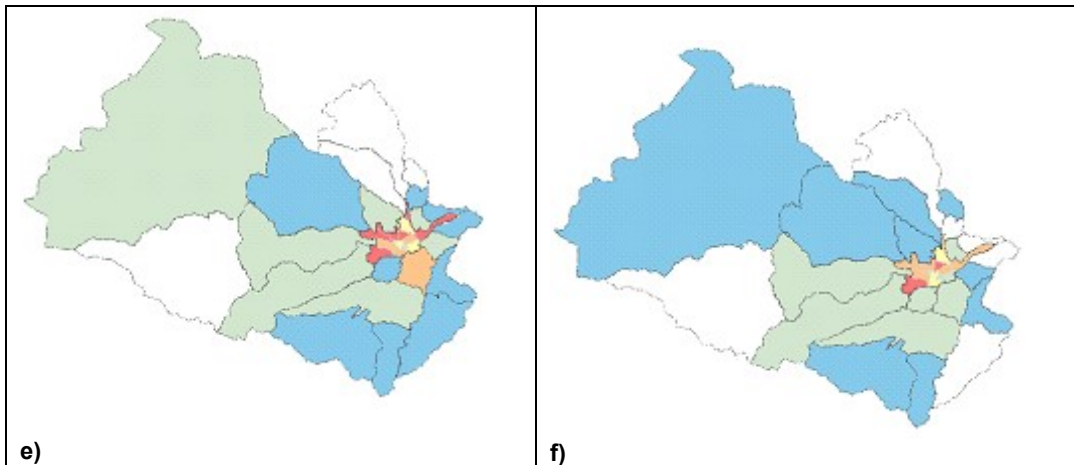


Figura 10. Puntos en Polígono Cantón Cuenca.

a) 2016, b) 2017, c) 2018, d) 2019, e) 2020, f) 2021.

En la Figura 10 se aprecia que el área urbana de la ciudad es la que mayor siniestralidad presenta a través de los años de estudio, se puede ver cómo han ido ocurriendo la variación en los accidentes anuales, destacándose el 2020 en donde hay un cambio drástico de estas zonas, en especial en las parroquias rurales alejadas, esto debido a las restricciones de movilidad por la pandemia del COVID19.

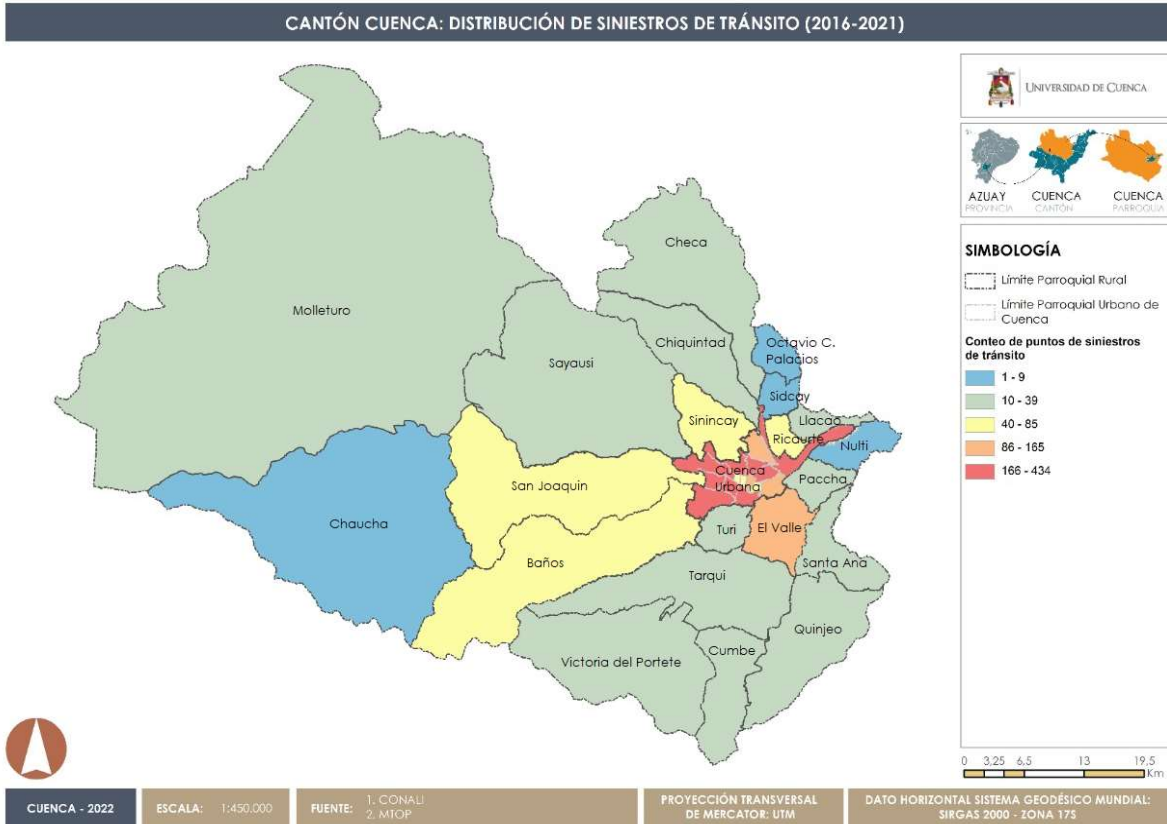


Figura 11. Puntos en Polígono de datos agregados Cantón Cuenca 2016-2021.

En la Figura 11 se aprecia de manera clara la concentración de accidentes en el área urbana de la ciudad (de color rojo) durante el periodo de estudio, la parroquia El Valle presenta también un elevado nivel de siniestralidad comparado con las demás parroquias rurales, esto se debe a que cuenta con un área urbana bastante consolidada y compleja.

3.4.2. Mapas de Calor.

Los Mapas de Calor (mapas de calor) se utilizan para mostrar las relaciones entre dos variables, es una técnica de visualización de datos que muestra la magnitud de un fenómeno como color en dos dimensiones dando señales visuales sobre cómo el fenómeno se agrupa o varía en el espacio, de esta manera se puede observar si hay algún patrón en los valores de los datos.

Se procesaron con esta herramienta los datos correspondientes a las parroquias urbanas de la ciudad, obteniendo Mapas de Calor anuales y agregado en el periodo de estudio.

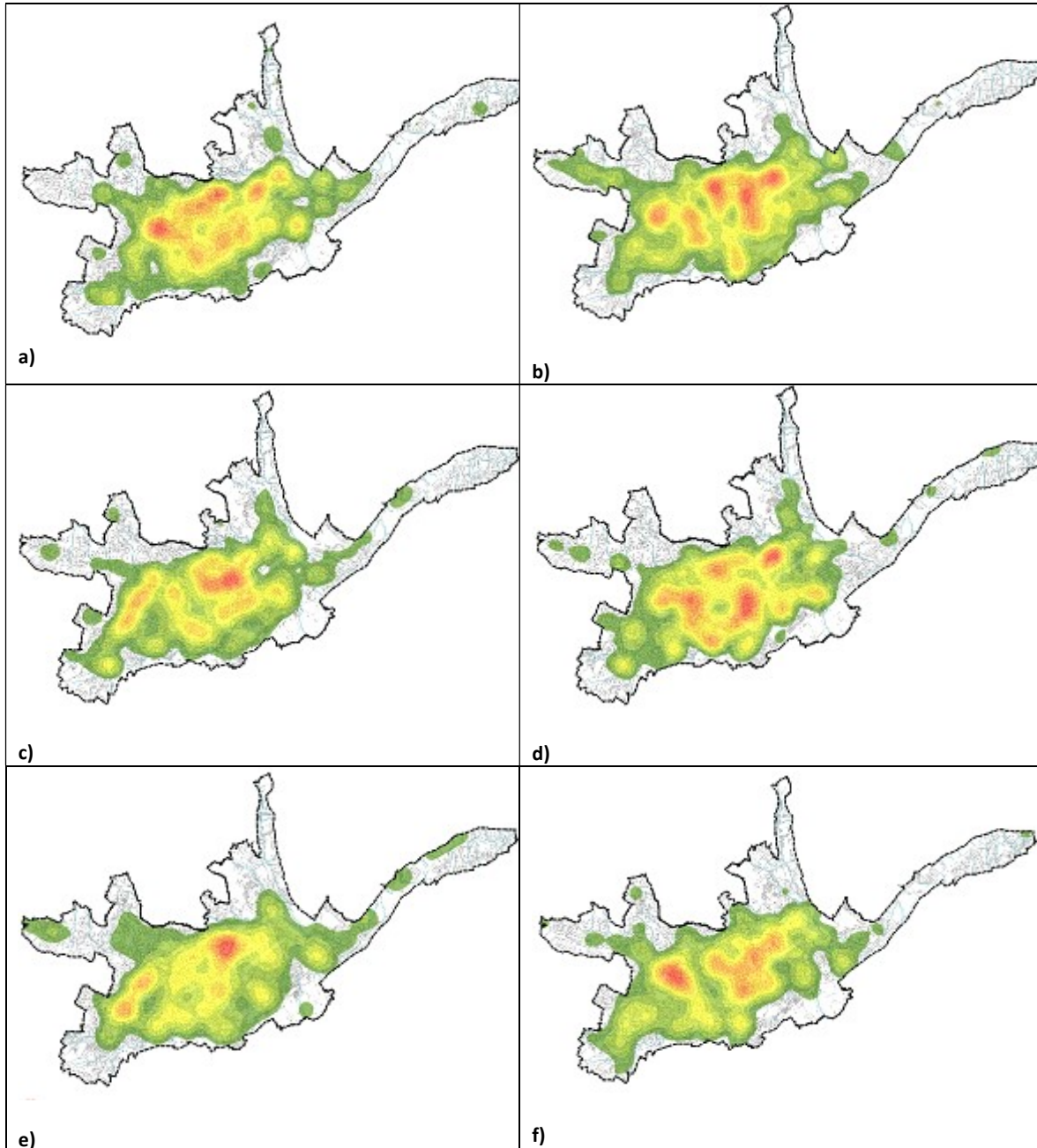


Figura 12. Mapas de Calor de Siniestros Anuales Cuenca Urbana.

a) 2016, b) 2017, c) 2018, d) 2019, e) 2020, f) 2021.

En la Figura 12 se aprecian los Mapas de Calor de siniestros anuales del área urbana del cantón Cuenca, se puede ver como varían las zonas de concentración de los accidentes de tránsito (en color rojo) a través de los años, destacándose el 2020 en donde hay un cambio drástico de estas zonas por las restricciones en la movilidad debido a la pandemia del COVID19.

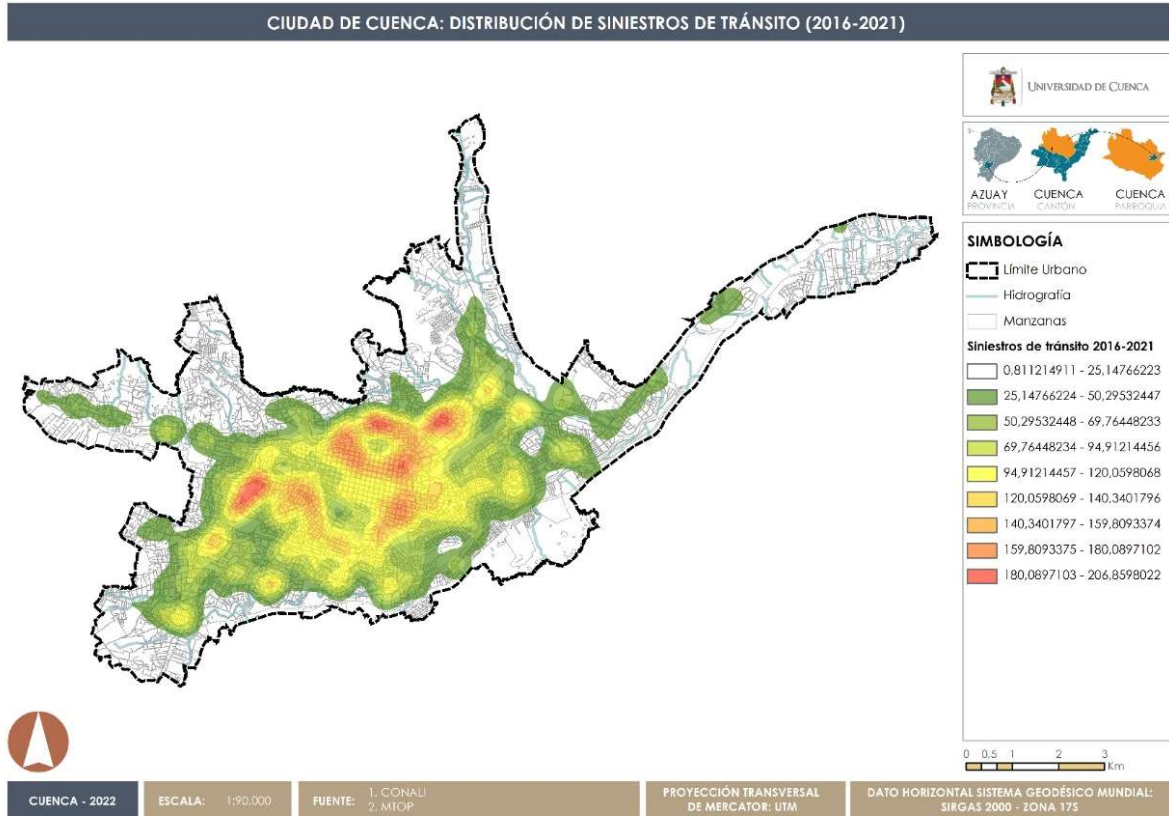


Figura 13. Mapa de Calor Agregado de Cuenca Urbana.

En la Figura 13 se presenta el Mapa de Calor agregado de la ciudad de Cuenca en el periodo 2016-2021, el mismo que será usado para la identificación de las zonas de concentración de accidentes de tránsito, la gama de colores indica la concentración o no de siniestros en zonas particulares, mientras que en la leyenda se indica el rango de siniestros para cada gama de color.

3.5 Puntos conflictivos.

Para la identificación de los puntos conflictivos, se analizaron los Mapas de Calor anuales, en donde se pudo apreciar las zonas de concentración de accidentes y de manera puntual las intersecciones más conflictivas, la Tabla 4 es una comparativa de estas



intersecciones incluyendo los datos de los puntos de relevancia estadística sugeridos por la DGM y los puntos negros determinados por la EMOV EP en 2019 y 2020, de esta tabla se seleccionaron las intersecciones que serán analizadas con el MEB.

Tabla 4. Tabla comparativa de puntos conflictivos.

ID	LOCALIZACION	Mapa de Calor 2016	Mapa de Calor 2017	Mapa de Calor 2018	Mapa de Calor 2019	Mapa de Calor 2020	Mapa de Calor 2021	DGM 2021	EMOV EP 2019	EMOV EP 2020
P01	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. OCTAVIO CHACON MOSCOSO	X		X			X		X	X
P02	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. TURUHUAICO	X	X	X	X		X	X	X	X
P03	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. ABELARDO J. ANDRADE	X	X	X	X					X
P04	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. DEL CHOFER	X	X					X	X	X
P05	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. REMIGIO CRESPO	X	X	X	X		X	X		X
P06	AV. GONZALEZ SUAREZ Y AV. LOS ANDES	X			X					
P07	AV. NUÑEZ DE BONILLA Y CALLE SEBASTIAN DE BENALCAZAR	X	X					X		
P08	CALLE LARGA Y CALLE ALFONSO JERVES	X				X	X			
P09	AV. REMIGIO CRESPO TORAL Y AV. LOJA	X	X		X					X
P10	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE CARLOS ARIZAGA VEGA		X	X	X	X	X			
P11	AV. 27 DE FEBRERO Y CALLE FRANCISCO MOSCOSO	X	X							
P12	AV. HEROES DE VERDELOMA Y AV. GIL RAMIREZ DAVALOS		X	X			X	X		X
P13	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. RICARDO DURAN			X	X					
P14	AV. DON BOSCO Y AV. 12 DE OCTUBRE			X	X					
P15	PASEO 3 DE NOVIEMBRE Y CALLE SIMON BOLIVAR			X				X		X
P16	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. GRAN COLOMBIA			X						
P17	AV. GONZALEZ SUAREZ Y CALLE GUAPONDELIG			X			X			X
P18	AV. SOLANO, PRIMERO DE MAYO Y AV. DON BOSCO				X			X	X	X
P19	AV. PASEO DE LOS CAÑARIS Y CALLE CAMILO EGAS				X					
P20	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. ESPAÑA			X	X		X	X		X
P21	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE LUIS MOSCOSO					X				
P22	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE MARIANO CUEVA					X		X		X
P23	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. GONZALEZ SUAREZ					X	X			
P24	CALLE VIEJA Y AV. TURUHUAICO						X			
P25	CALLE JUAN JARAMILLO Y CALLE MANUEL VEGA						X			
P26	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. MEXICO							X	X	X
P27	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE AMAZONAS							X	X	X
P28	AV. DEL TORIL Y CALLE LOS CHASQUIS							X		
P29	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. PRIMERO DE MAYO							X		
P30	AV. PASEO DE LOS CAÑARIS Y AV. GONZALEZ SUAREZ							X		X
P31	AV. PAUCARBAMBA Y CALLE MIGUEL CORDERO							X		
P32	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE ARMENILLAS							X		X
P33	AV. 24 DE MAYO Y CALLE JOSE CARRASCO ARTEAGA								X	X
P34	AV. CARLOS ARIZAGA VEGA Y CALLE ROBERTO CRESPO O.								X	X
P35	AV. AMERICAS Y CALLE MARISCAL LAMAR									X
P36	AV. HURTADO DE MENDOZA Y AV. PASEO DE LOS CAÑARIS									X
P37	AV. 12 DE ABRIL Y CALLE JOSE PERALTA									X
P38	AV. SOLANO Y AV. REMIGIO CRESPO									X
P39	AV. SOLANO Y CALLE MIGUEL CORDERO									X
P40	AV. LOJA Y AV. 10 DE AGOSTO									X
P41	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE NICANOR MERCHAN									X
P42	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE MIGUEL HEREDIA									X
P43	AV. GRAN COLOMBIA Y AV. UNIDAD NACIONAL									X
P44	AV. REMIGIO CRESPO Y AV. UNIDAD NACIONAL									X
P45	PASEO RIO MACHANGARA Y CAMINO A PATAMARCA									X
P46	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE ENRIQUE ARIZAGA									X
P47	AV. HURTADO DE MENDOZA Y CALLE YAGUARCOCHA									X
P48	AV. DE LAS AMERICAS Y CALLE HUACAS									X
P49	AV. DE LAS AMERICAS Y AV. HEROES DE VERDELOMA									X
P50	CALLE ERNESTO LOPEZ Y CALLE RAFAEL ESTRELLA									X

Las intersecciones con más coincidencias (x) han sido considerados puntos conflictivos recurrentes en el periodo analizado y son seleccionadas como puntos conflictivos de interés para ser analizados con el MEB, estos puntos son indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Puntos más conflictivos seleccionados.

No.	ID	LOCALIZACION
1	P01	Av. De Las Américas Y Av. Octavio Chacón Moscoso
2	P02	Av. De Las Américas Y Calle Turuhuaico
3	P03	Av. De Las Américas Y Av. Abelardo J. Andrade
4	P04	Av. De Las Américas Y Av. Del Chofer
5	P05	Av. De Las Américas Y Av. Remigio Crespo
6	P07	Av. Nuñez De Bonilla Y Calle Sebastian De Benalcázar
7	P10	Av. De Las Américas Y Calle Carlos Arizaga Vega
8	P12	Av. Héroes De Verdeloma Y Av. Gil Ramirez Dávalos
9	P18	Av. Solano Y Av. 27 De Febrero
10	P20	Av. De Las Américas Y Av. España

Para una adecuada visualización, en la Figura 14 se presentan los puntos conflictivos seleccionados ubicados sobre el mapa del área urbana de la ciudad de Cuenca.

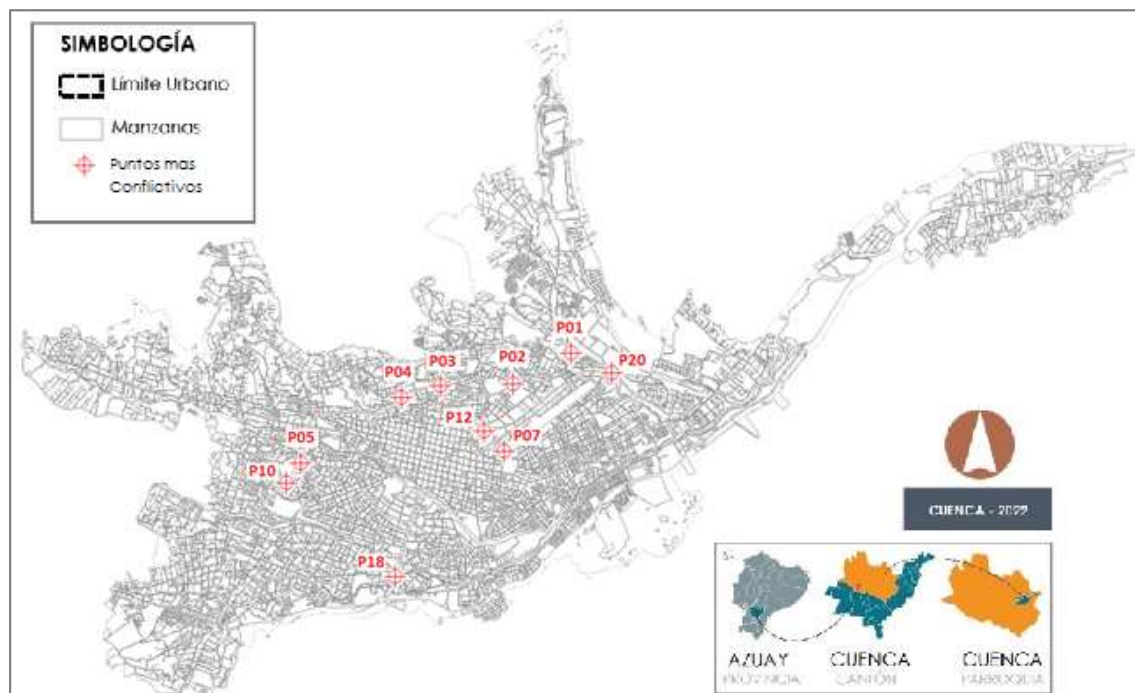


Figura 14. Ubicación de los Puntos más conflictivos seleccionados.

3.6 Aplicación del Método Empírico Bayesiano MEB.

Existen varias metodologías para la aplicación del MEB a siniestros de tránsito y seguridad vial, todo esto en función de la data disponible y los resultados que se desean



conseguir, unos autores utilizan los datos del flujo vehicular en el punto de interés para obtener la tasa o razón de cambio, uno de ellos es Feria y Timaná (2019), quienes en su estudio utilizaron el MEB en la ciudad de Piura-Perú, otros investigadores como es el caso de Rizzi (2003) usan la cantidad de eventos ocurridos por unidad de tiempo, este último es el caso del presente estudio. De la misma manera, para selección de los datos a utilizarse en el proceso, existen propuestas como la segmentación vial en tramos uniformes (Persaud et al., 1999), segmentación en tramos de acuerdo a la configuración de la red vial (Dhanao et al., 2017) (Sorensen, s.f.) y “sliding window” (Sorensen & Elvik, 2007, p. 15), este último utiliza una ventana cuadrada de dimensiones fijas, la misma que es ubicada sobre los tramos o intersecciones con el objetivo de contabilizar los siniestros que quedan dentro de los límites de la misma, las medidas de la ventana varían de acuerdo al criterio del investigador.

Debido al trazado complejo e irregular de la red vial de la ciudad de Cuenca, no es adecuada la segmentación uniforme de las vías o la utilización del método “sliding window”, en este estudio se optó por el uso de una ventana circular con dos diámetros diferentes, 100 metros (m) para intersecciones grandes o con redondeles y 50m para intersecciones simples, usando como centro del círculo el cruce de las vías que llegan a dicha intersección. Con lo antes indicado, del mapeo de la base de datos se extrajeron los registros correspondientes a cada una de las 10 intersecciones de la Tabla 6, dando un total de 157 siniestros distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 6. Distribución de siniestros en los puntos más conflictivos.

No.	ID1	ID2	Localización	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016-2021
1	P01	AyO	Av. de las Américas y Av. Octavio Chacón Moscoso	7	3	5	5	1	3	24.00
2	P02	AyT	Av. de las Américas y Calle Turuhuaico	6	6	7	7	2	0	28.00
3	P03	AyA	Av. de las Américas y Av. Abelardo J. Andrade	7	5	8	3	2	1	26.00
4	P04	AyC h	Av. de las Américas y Av. del Chofer	2	6	2	3	2	1	16.00
5	P05	AyR	Av. de las Américas y Av. Remigio Crespo	3	1	3	3	2	1	13.00
6	P07	AyS	Av. Nuñez de Bonilla y Sebastian de Benalcázar	0	1	2	0	0	1	4.00
7	P10	AyC	Av. de las Américas y Calle Carlos Arizaga Vega	0	2	2	1	0	0	5.00
8	P12	HyG	Av. Héroes de Verdeloma y Av. Gil Ramirez Dávalos	2	2	2	0	0	2	8.00
9	P18	SyP	Av. Solano y Av. 27 de Febrero	1	2	1	7	1	4	16.00
10	P20	AyE	Av. de Las Américas y Av. España	4	4	4	1	3	1	17.00
TOTAL=										157



En la Tabla 7, se presentan los porcentajes de siniestros en las 10 intersecciones analizadas, se observa que las que presentan mayor siniestralidad son: Av. de las Américas y Av. Octavio Chacón, Av. de las Américas y Calle Turuhuaico y Av. de las Américas y Av. Abelardo J. Andrade.

Tabla 7. Porcentajes de siniestros por intersección.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
P01 (AyO)	24,0	15,3	15,3	15,3
P20 (AyE)	17,0	10,8	10,8	26,1
P02 (AyT)	28,0	17,8	17,8	43,9
P03 (AyA)	26,0	16,6	16,6	60,5
P04 (AyCh)	16,0	10,2	10,2	70,7
P05 (AyR)	13,0	8,3	8,3	79,0
P07 (AyS)	4,0	2,5	2,5	81,5
P10 (AyC)	5,0	3,2	3,2	84,7
P12 (HyG)	8,0	5,1	5,1	89,8
P18 (SyP)	16,0	10,2	10,2	100,0
Total	157,0	100,0	100,0	

La causa más común en estos 10 puntos es el consumo del alcohol con 25.5% de siniestros, un dato preocupante ya que, es muy superior a los porcentajes de las demás causas, la siguiente en importancia con 11.50% es conducir desatento a las condiciones de tránsito, también se identifica que el año de mayor siniestralidad es el 2018. Las tablas de resultados completas se pueden encontrar en el Anexo 07 y Anexo 08.

En la Figura 15 se observa que la accidentabilidad es mayor en las intersecciones AyO, AyA y AyT cuyos valores están por arriba de 4 accidentes anuales, mientras que, AyE, AyCh, SyP y AyR se encuentran en un término intermedio con un promedio de 2 a 3 accidentes de tránsito anuales. Finalmente, las intersecciones HyG, AyC y AyS tienen una accidentabilidad de un accidente por año.

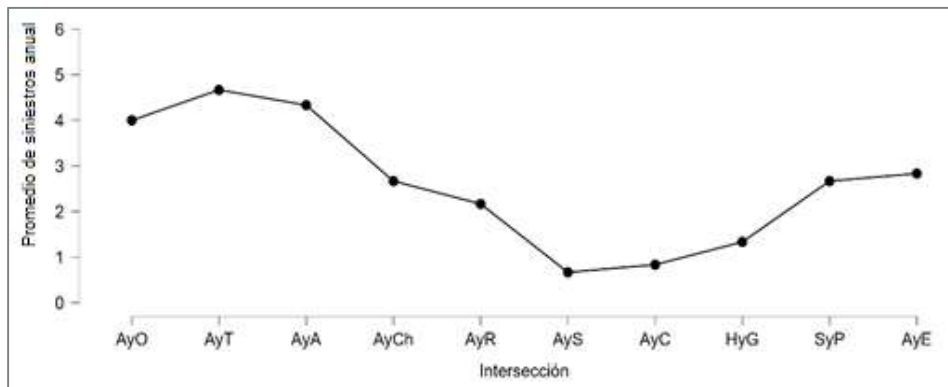


Figura 15. Diagrama de líneas de promedios anuales de siniestros de tránsito.

Debido a las características propias de las variables aleatorias, en este caso los siniestros de tránsito, se presenta el fenómeno estadístico llamado regresión a la media, es decir el promedio anual (línea azul) puede tomar valores por encima y por debajo de la media global (línea negra), pero eventualmente vuelve al valor de la media global, tal como podemos apreciar en la Figura 16, en donde se presenta la gráfica con los datos del caso de estudio. El MEB se considera un método superior debido a que si considera este fenómeno estadístico y no tiene esa limitación, por tanto, se aplica para identificar las localizaciones riesgosas o propensas a sufrir accidentes de tránsito (APL) (APL: Accident Prone Location).

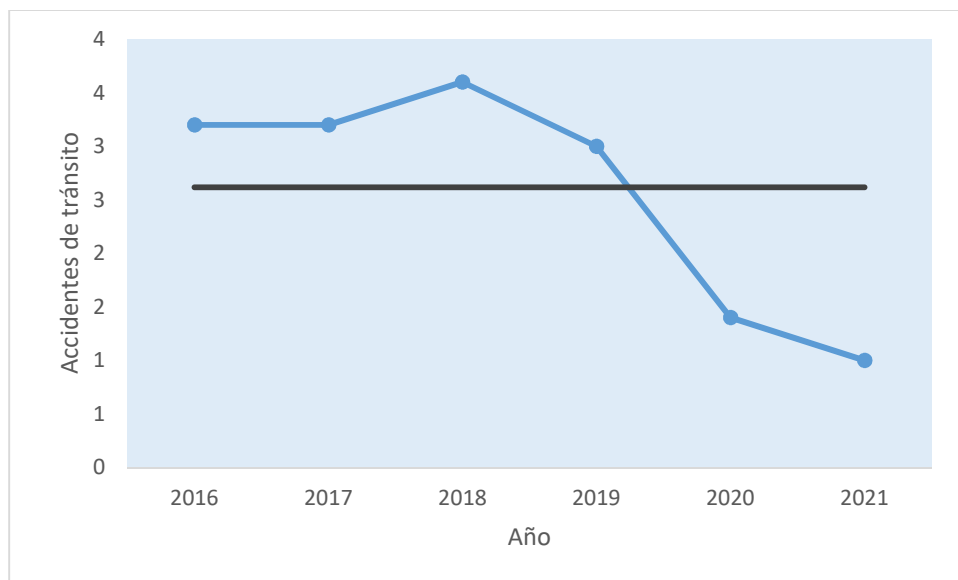


Figura 16. Ilustración del Fenómeno de regresión a la media (datos del estudio).

Para la extracción de los registros de los siniestros en las intersecciones, de acuerdo a algunos autores (Persaud et al., 1999), en función del tamaño de la base de datos se puede hacer uso de dos procedimientos, el primero, hacer uso de todos los registros validados y el segundo, omitir los registros de siniestros referentes a factores o conductas humanas tales como conducir bajo efectos del alcohol, imprudencia del peatón, impericia del conductor, irrespeto a las señales de tránsito e incluso daños mecánicos del vehículo, es decir, utilizar solamente los datos relacionados a problemas en la infraestructura vial, condiciones climáticas o similares, esto debido al potencial informativo que podría tener para implementar mejoras por parte de los ingenieros viales y de transporte; en el caso particular de la ciudad de Cuenca, este tipo de accidentes son los más comunes, además



de que la base de datos no es lo suficientemente grande como para omitir registros de siniestros y por lo indicado anteriormente se sabe que los registros de los siniestros tienen sus deficiencias, no hay certeza absoluta de que todos los siniestros registrados como fallas humanas lo sean realmente, por lo que no es aplicable y se hace uso de toda la información disponible.

El MEB supone la posibilidad de determinar la distribución de probabilidad de manera previa, esta se denomina distribución “a priori”, cada uno de los tramos, localizaciones o en este caso las intersecciones identificadas para ejecutar el análisis van a tener su propia frecuencia particular de accidentes suscitados hacia dónde tenderá la media a largo plazo. La distribución “a priori” puede ser convertida “a posteriori” gracias a los registros de siniestros de tránsito del emplazamiento en particular que se está analizando.

De acuerdo a Rizzi (2003), los accidentes viales como un proceso de Poisson cumplen las propiedades siguientes: la cantidad que se observe de accidentes de tránsito en un determinado intervalo de tiempo no está influenciada por intervalos de tiempos previos, a esto se le conoce como propiedad de incrementos independientes, puesto que esta que esta depende únicamente del largo del intervalo, a esto en cambio se le conoce como propiedad de incrementos estacionarios y finalmente, si este intervalo tiende a cero significa que lo más seguro es que no ocurra ningún accidente o que sólo se presente uno, lo cual se denomina propiedad de orden. En el presente estudio se confirma el cumplimiento de las propiedades indicadas, además, previo al análisis, se verificó que exista una distribución con los parámetros de Poisson, teniendo en cuenta que el promedio de la base de datos es 2,62 ($Z = 0,784$; $p = 0,554$), una vez verificado este supuesto, se procedió con la estadística bayesiana.

Se utilizó el programa JASP V0.12.2 con el que se realizó el Análisis de un Factor (ANOVA) mediante la estadística bayesiana, el mismo que ofrece directamente la probabilidad de que sea verdadera la hipótesis alternativa sobre la hipótesis nula. Los valores a priori son generados proporcionalmente para todos los casos. De este modo, si es que se comparan cuatro grupos, la probabilidad a priori es de 0,25 para cada uno. El factor de Bayes calcula la probabilidad de que se cumpla una hipótesis a partir de los valores a posteriori. La estadística bayesiana, mediante un factor bayesiano (BF_m) demostrará que existe probabilidad de un grupo frente a todos los demás grupos (Goss-Sampson, 2022).



Además del criterio bayesiano, los resultados se ilustran mediante una gráfica de densidad de la distribución de las puntuaciones posteriores. Esta gráfica permite ilustrar las diferencias que existen entre los grupos que están siendo comparados. Esta actividad se complementa con un análisis Post Hoc del factor bayesiano no corregido ($BF_{10, U}$). En este caso, se advierte una comparación de los grupos entre pares.

En la Tabla 8 se presentan los promedios acompañados de las desviaciones estándar con sus respectivos intervalos de confianza al 95%. Se puede observar que la intersección Av. de las Américas y Turuhuaico (AyT) es la que en promedio presenta mayor cantidad de accidentes tránsito, también se puede observar que son frecuentes los accidentes de tránsito en las intersecciones Av. de las Américas y Abelardo J. Andrade (AyA) y Av. de las Américas y Av. Octavio Chacón Moscoso (AyO).

Tabla 8. Estadísticos Descriptivos de los siniestros de los puntos más conflictivos.

Intersección	Media	SD	N	95% Credible Interval	
				Lower	Upper
Av. De las Américas y Turuhuaico Ayt	4.667	2.944	6	1.577	7.756
Av. De las Américas y Abelardo J. Andrade Aya	4.333	2.805	6	1.390	7.277
Av. De las Américas y Octavio Chacón Moscoso AyO	4.000	2.098	6	1.799	6.201
Av. De las Américas y Av. España Aye	2.833	1.472	6	1.289	4.378
Av. De las Américas y Av. del Chofer Aych	2.667	1.751	6	0.829	4.504
Av. Solano y 27 De Febrero, Primero de Mayo Syp	2.667	2.422	6	0.125	5.209
Av. De las Américas y Av. Remigio Crespo Ayr	2.167	0.983	6	1.135	3.198
Av. Héroes de Verdeloma y Gil Ramirez Dávalos Hyg	1.333	1.033	6	0.249	2.417
Av. De las Américas y Carlos Arizaga Vega Ayc	0.833	0.983	6	-0.198	1.865
Av. Nuñez de Bonilla y Sebastian de Benalcázar Ays	0.667	0.816	6	-0.190	1.524

N representa a los años analizados.

Los promedios en sí mismos ofrecen mucha información, sin embargo, no son suficientes para señalar cuál es la probabilidad de que las diez intersecciones estudiadas sean diferentes entre sí. Para hacerlo es necesario recurrir a la estadística inferencial. La hipótesis por probarse es la siguiente:

- Hipótesis alternativa (H_1): Existen diferencias significativas entre las diez intersecciones estudiadas.
- Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas entre las diez intersecciones estudiadas.



En la Tabla 9 se presentan los resultados de la estadística inferencial de la comparación del modelo al emplear el factor de Bayes para demostrar si es que existen diferencias entre las diez intersecciones. La probabilidad a priori $[P(M)]$ de que las dos hipótesis sean verdaderas es de 0,500 (50%) mientras que la probabilidad a posteriori $[P(M|data)]$ apunta a una probabilidad de certeza para la hipótesis alternativa que asciende a un total de 0,938. Al analizar el factor bayesiano $[BF_M]$ se demuestra que existe 15,123 más veces la probabilidad de que la hipótesis de las diferencias entre las diez intersecciones (H_1) sea verdadera que la hipótesis que manifiesta que existe igualdad (H_0). Por lo tanto, se concluye que la hipótesis alternativa es verdadera, es decir, existen diferencias significativas entre las 10 intersecciones analizadas.

Tabla 9. Comparación del modelo (Post Hoc factor bayesiano no corregido).

Models	P (M)	P (M data)	BF _M	BF ₁₀	error %
Intersección	0,500	0,938	15,123	1,000	
Modelo nulo	0,500	0,062	0,066	0,066	0,003

Para ilustrar las diferencias entre las distintas intersecciones se realizó un análisis Post Hoc, este permite comparar a cada intersección con otra. En la Anexo 09 se puede encontrar la tabla de resultados completa de este análisis. Al respecto, la probabilidad a priori de la relación entre cada intersección es de 0,149 (tomando como partida la probabilidad de una hipótesis nula de 0,50), mientras que, la hipótesis alternativa varía dependiendo de la base de datos. En este caso el factor bayesiano no corregido ($BF_{10, U}$) es el que presenta una mejor aproximación para declarar diferencias inter-grupales con valores superiores a 1. Las diferencias más enfáticas ocurren entre la intersección AyO con respecto a AyS, AyC y HyG cuyos factores muestran que son 9, 6 y 3 veces, respectivamente, más probables de presentar diferencias que no hacerlo. Algo similar ocurrió entre la AyT y las AyS, AyC y HyG cuyas probabilidades de diferencias son 5, 4 y 3, respectivamente. Otra diferencia notoria ocurrió entre AyA con respecto a AyS, AyC y HyG tiene probabilidades de diferencias de 5, 4 y 2, respectivamente. AyS presenta otras diferencias notorias con AyE y con AyR con una probabilidad 5 veces mayor que la hipótesis nula.

Se ha elaborado una gráfica de las distribuciones promediadas a posteriori de las diez intersecciones analizadas con la finalidad de visualizar de mejor manera las diferencias. En

la Figura 17 se observa un diagrama de la densidad en el que se advierte que, en los extremos se hallan las diferencias señaladas en el análisis Post Hoc. Así, las intersecciones AyS, AyC y HyG presentan los valores más bajos al lado izquierdo o negativo de la distribución, mientras que AyT, AyA y AyO se ubican en el lado derecho o positivo de la distribución. En un término medio se hallan otras intersecciones como AyE, AyCh, SyP y AyR. Si es que se consideran las barras de la parte superior de las distribuciones se observa que existen diferencias marcadas por los extremos (como el caso de AyT con AyS).

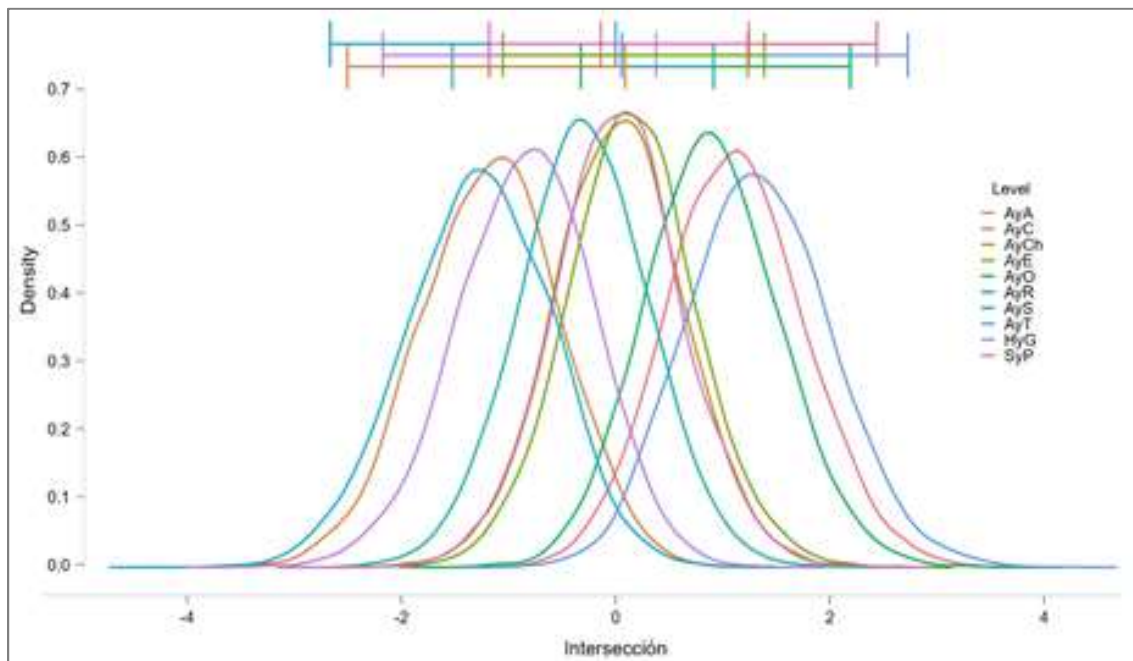


Figura 17. Modelo de distribuciones posteriores promediadas.

Ahora, para identificar y diferenciar las intersecciones con las probabilidades de ocurrencia de siniestros más elevadas, con la ayuda de hojas de cálculo y el software estadístico Minitab 19 (*Data Analysis Software | Statistical Software Package*, 2019), se procede a aplicar el proceso siguiente:

Los accidentes de tránsito como un modelo de Poisson tienen como único parámetro λ y la probabilidad de que ocurran x accidentes ($x = 1, 2, \dots, n$) por unidad de tiempo está dada por:

$$P(x; \lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (1)$$

Dónde:



$P(x; \lambda)$: Probabilidad de que x accidentes ocurran en una intersección, avenida, entre otros

x : Número de accidentes de tránsito

λ : Ocurrencia esperada de accidentes por unidad de tiempo

Un modelo más sofisticado para el estudio de los accidentes de tránsito es el que considera que la varianza del número de accidentes en cada sitio crece a un número mayor que solamente tener en cuenta el valor esperado, del cual se deduce el parámetro de sobredispersión α , si se parte de un modelo de Poisson y dado que los accidentes son eventos aleatorios se plantea un modelo de efectos aleatorios donde los eventos son aleatorios en situaciones distintas e igualmente aleatorias, para ello, dentro de este tipo de modelos se puede personalizar el valor $\lambda = e^c$ por unidad (evento) en cada localización, es decir, $\lambda = e^{c+u} = e^c e^u$, donde:

e^c : Valor esperado de la distribución *a priori* de los de accidentes por unidad de tiempo, λ

e^u : Parámetro de la distribución Gamma, k

Se tiene $k = e^u$ con distribución Gamma *a priori* $Ga_a(k|\alpha, \alpha)$. De manera que la probabilidad de contar x accidentes está dada por una función de distribución binomial negativa:

$$P(x|\alpha) = \int_0^\infty P(x|e^c k) Ga_a(k|\alpha, \alpha) d\lambda = \frac{\Gamma(x+\alpha) \alpha^\alpha [e^c]^x}{\Gamma(\alpha) \Gamma(x+1) (e^c + \alpha)^{x+\alpha}} \quad (2)$$

Con media y varianza:

$$E(x|\alpha) = e^c \text{ y } V(x|\alpha) = e^c \left(\frac{1+e^c}{\alpha} \right) \quad (3)$$

Mediante el teorema de Bayes se consigue la distribución a posteriori de k para cada unidad de análisis:

$$P_d(k|x, \alpha) = \frac{P(x|e^c k) Ga_a(k|\alpha, \alpha)}{P(x|\alpha)} = Ga_d(k|x + \alpha, e^c + \alpha) \quad (4)$$

Con valor esperado y varianza:



$$E(\tilde{x}_n|\alpha, x) = e^c \frac{x_n + \alpha}{e^c + \alpha} \text{ y } V(\tilde{x}_n|\alpha, x) = e^{2c} \frac{x_n + \alpha}{(e^c + \alpha)^2} \quad (5)$$

Cálculo del parámetro α : Obtener el valor de e^c se obtiene al calcular el valor promedio del número de accidentes observado por sitio o localización; es decir, el valor de $E(x|\alpha)$. En relación al valor de α , lo despejamos en la siguiente ecuación:

$$V(x|\alpha) = e^c \left(\frac{1+e^c}{\alpha} \right) \rightarrow \alpha = \frac{E^2(x|\alpha)}{[V(x|\alpha) - E(x|\alpha)]} \quad (6)$$

Donde $V(x|\alpha)$ es la varianza observada en la muestra.

Siempre y cuando $[V(x|\alpha) - E(x|\alpha)] > 0$, en caso contrario se supone que α tiende a infinito, el modelo presenta cero sobredispersión y colapsa a una función Poisson de parámetro λ determinístico.

Para determinar el ranking de peligrosidad se pueden seguir dos criterios (Rizzi, 2003):

1) Criterio tradicional: Se observa la tasa de accidentes de N sitios, obteniéndose su media y su varianza, si el número de accidentes de un sitio n supera el valor de la media más la desviación estándar multiplicado por un parámetro, ω , ($x_n > e^c + \omega\sigma$), entonces el sitio debe ser intervenido.

2) Criterio basado en el paradigma de Bayes: Se observa la tasa de accidentes de N sitios, obteniéndose su media y su varianza, si la probabilidad *a posteriori* de que el número de accidentes de un sitio n supere el valor de la media es superior a un valor δ .

$$Prob \left(\frac{\Gamma(x_n + \alpha) \alpha^\alpha [e^c]^{x_n}}{\Gamma(\alpha) \Gamma(x_n + 1) (e^c + \alpha)^{x_n + \alpha}} > e^c \right) > \delta \quad (7)$$

Este segundo criterio es más robusto: entrega la probabilidad de que un sitio sea peligroso de acuerdo a un estándar pre-establecido. Este tipo de estadísticos tiene un sustento teórico superior, puesto que hace uso de toda la información disponible utilizando el paradigma bayesiano, logrando un procesamiento más eficiente de la misma. (Rizzi, 2013). La variable aleatoria: Número de accidentes de tránsito en una localización dada.



Por las características de la variable aleatoria (número de accidentes de tránsito en una localización dada), se presenta el fenómeno estadístico llamado regresión de la media, los métodos estadísticos más utilizados para el análisis son el del intervalo de confianza y control de calidad, sin embargo, el MEB se considera un método superior debido a que si considera el fenómeno estadístico mencionado y no tiene esa limitación, por tanto, se aplica para identificar las localizaciones riesgosas o propensas a sufrir accidentes de tránsito (APL) (APL: Accident Prone Location).

Se considera un promedio hipotético anual de 3 accidentes entre 2016-2021 exceptuando el año 2020, donde hay frecuencias que suben y bajan alrededor de la media. Como se dijo el teorema de Bayes toma en cuenta este fenómeno estadístico. Entonces:

$$\lambda = 3$$

Distribución Gamma:

$$Ga \sim (\alpha, \theta)$$

Donde:

α : parámetro de forma

$\theta = \frac{1}{\lambda}$: Parámetros de escala

Con media y varianza:

$$Media = \frac{\alpha}{\lambda} \tag{8}$$

$$Varianza = \frac{\alpha}{\lambda^2} \tag{9}$$

$$\alpha = \frac{E^2(x|\alpha)}{[V(x|\alpha) - E(x|\alpha)]} = \frac{3^2}{[3^3 - 3]} = 1,5 \tag{10}$$

$$P_d(k|x_n, \alpha) = Ga_d(k|x_n + \alpha, e^c + \alpha) \tag{11}$$

Donde:

$x_n + \alpha$: Parámetro de forma

$\theta = \frac{1}{e^c + \alpha}$: Parámetros de escala

A continuación en la Tabla 10 se presentan los resultados de la probabilidad de riesgo de siniestros por localizaciones:



Tabla 10. Probabilidad de riesgo de siniestro por localizaciones.

ID2	Localización	Mediana	$x_n + \alpha$	$\frac{1}{e^c + \alpha}$	APL
AyO	Av. de las Américas y Octavio Chacón Moscoso	4,00	25,50	0,18	27,01%
AyT	Av. de las Américas y Turuhuaico	6,00	29,50	0,13	99,64%
AyA	Av. de las Américas y Abelardo J. Andrade	4,00	27,50	0,18	15,52%
AyCh	Av. de las Américas y Av. del Chofer	2,00	17,50	0,29	0,05%
AyR	Av. de las Américas y Av. Remigio Crespo	2,50	14,50	0,25	10,71%
AyS	Av. Núñez de Bonilla y Sebastián de Benalcázar	0,50	5,50	0,50	0,15%
AyC	Av. de las Américas y Carlos Arizaga Vega	0,50	6,50	0,50	0,02%
HyG	Av. Héroes de Verdeloma y Gil Ramírez Dávalos	2,00	9,50	0,29	20,44%
SyP	Av. Solano y 27 de Febrero. Primero de Mayo, 24 de Mayo	1,50	17,50	0,33	0,0003%
AyE	Av. de las Américas y Av. España	3,50	18,50	0,20	43,69%

Se considera la mediana en el criterio 2 con la finalidad de que los resultados sean menos sensibles a valores de accidentes extremos o atípicos, esto en referencia al año 2020 en donde debido a las restricciones de movilidad vehicular, se presentan valores extremos.

En la Figura 18 se presenta el ranking de probabilidad de riesgo de accidentes de tránsito, para establecer la denominación de estas intersecciones como PNs, se debe establecer el parámetro δ con el cual será comparado cada una de las probabilidades calculadas, este valor será asignado por las instituciones o departamentos reguladores de la movilidad en cada una de las ciudades.

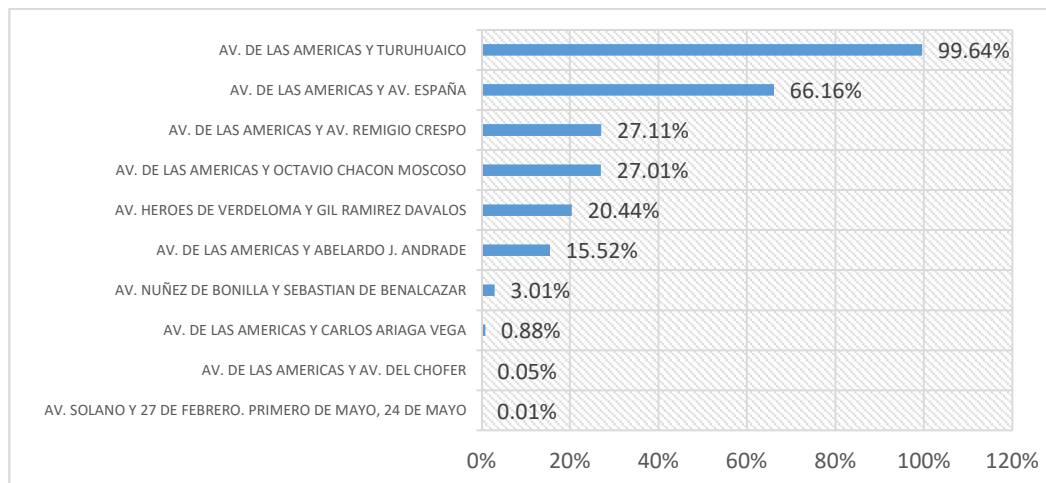


Figura 18. Ranking de probabilidad de riesgo de siniestros de tránsito.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Podemos apreciar que las intersecciones con más probabilidades de ocurrencia de siniestros son: Av. de las Américas y Calle Turuhuaico (AyT) con 99.64%, Av. de la Américas y Av. España (AyE) con 43.69%, Av. de las Américas y Av. Octavio Chacón Moscoso (AyO) con 27.11%, Av. de las Américas y Av. Remigio Crespo (AyR) con 27.01%, Av. Héroes de Verdeloma y Av. Gil Ramirez Dávalos con 20.44% (HyG) y Av. de las Américas y Av. Avelardo J. Andrade (AyA) con 15.52%.



4 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES.

4.1 Conclusiones de la aplicación del MEB.

De las 10 intersecciones más conflictivas identificadas, la Avenida de las Américas aparece en 7 de estas, es decir se presenta como la vía con la mayor cantidad de PCAT y por consiguiente la más conflictiva.

Algunos autores consideran, que para la aplicación del MEB, se debería omitir aquellos siniestros registrados que involucren conductas humanas como por ejemplo conducir bajo los efectos del alcohol, en nuestro caso de estudio, de adoptarse estos criterios, los datos utilizables serían insuficientes.

Algunas de las intersecciones seleccionadas como puntos conflictivos de los Mapas de Calor presentan coincidencias con los puntos sugeridos por la DGM y la EMOV EP.

Al analizar el factor bayesiano se demuestra que existe 15,123 más veces la probabilidad de que la hipótesis de las diferencias entre las diez intersecciones (H_1) sea verdadera que la hipótesis que manifiesta que existe igualdad (H_0). Por lo tanto, se concluye que la hipótesis alternativa es verdadera, es decir, existen diferencias significativas entre las 10 intersecciones analizadas.

De las tres intersecciones con más probabilidades de ocurrencia de siniestros, Av. de las Américas y Calle Turuhuaico (AyT) (99.64%), Av. de la Américas y Av. España (AyE) (43.69%), Av. de las Américas y Av. Octavio Chacón Moscoso (AyO) (27.11%) podemos emitir algunas precisiones, en la primera AyT, el porcentaje de ocurrencia nos indica que es casi seguro que se vuelvan a producir siniestros, duplica el valor de la intersección AyO y triplica los valores de la intersección AyO, esta última se encuentra a la presente fecha en intervención con la construcción de un intercambiador de tráfico lo que sin duda beneficiará la movilidad en ese punto en particular, ahora, debemos preguntarnos por el flujo vehicular que va a circular de manera mucho más ágil en este punto, como afectará a las intersecciones siguientes, en este caso AyT y AyE, se recomienda entonces a las autoridades intervenir de manera rápida en estas intersecciones con el fin de evitar complicaciones mayores, sobre todo en la AyT.



4.2 Conclusiones de la aplicación de la Estadística Descriptiva.

De la aplicación de la estadística descriptiva se ha podido extraer las siguientes conclusiones:

Los vehículos particulares son por mucho los principales involucrados en los accidentes de tránsito, seguido por las motocicletas, cuyo porcentaje ha ido creciendo en el periodo de análisis, lo que es alarmante y claramente se refleja en la realidad de la ciudad.

Las causas más comunes para la ocurrencia de los siniestros se deben a factores o conductas humanas, entre las que están: no respetar las señales de tránsito 21.05%, conducir bajo la influencia del alcohol 19.39% y conducir desatento a las condiciones de tránsito 18.68%.

Las parroquias urbanas presentan mayor siniestralidad que las rurales; las parroquias urbanas con mayor cantidad de siniestros son Yanuncay, Sucre, El Vecino, El Batán y Bellavista, en el caso de las parroquias rurales las que predominan son Ricaurte, El Valle y Baños.

En 2019 la ciudad de Cuenca alcanza 6.75 fallecidos en siniestros de tránsito por cada 100.000 habitantes, esto es por debajo del valor nacional de 20.1 y del promedio regional de 18.39.

Las tipologías más frecuentes en los siniestros son: atropellamiento, choques laterales, estrellamiento y pérdida de pista.

Las parroquias con mayor prevalencia de muertes son Chaucha, Molleturo, Chiquintad, Cumbe y Checa, todas parroquias rurales; un caso muy particular es el de la parroquia Chaucha, en donde de acuerdo a los resultados, todos los accidentes terminan en fallecimientos de los ocupantes.

El caso particular de la parroquia Chaucha, en donde, todos los accidentes ocurridos terminan en fallecimientos de los ocupantes podría deberse a varios factores, entre ellos, que los ACT acuden a los lugares de los siniestros solo si son de gravedad o los implicados en los siniestros no denuncian el hecho a las autoridades, cabe también indicar que los 5 registros de siniestros para esta parroquia, son insuficientes para ser considerados como una muestra confiable, por lo que sería recomendable mejorar esta muestra para futuros estudios.



Para el caso de lesionados por parroquias, en la parroquia Chiquintad se observa que existe un número más alto de lesionados por accidente, en relación a las demás parroquias, el porcentaje de lesionados en la zona urbana es del 0.96% mientras que en la zona rural es del 1.07%, es decir, la diferencia no es tan marcada como en los fallecimientos.

A nivel rural, existe diferencia significativa de los fallecimientos en parroquias, se identifica la parroquia Chaucha como la más prevalente. En lo que respecta a los lesionados, tanto a nivel urbano como rural no presentan diferencias significativas.

Los resultados indican que el arrollamiento es el tipo de siniestro más letal, existe una posibilidad de 60% de morir en un arrollamiento, seguido a este, pero sin diferenciarse significativamente de las demás tipologías están el volcamiento, caída del pasajero y pérdida de pista. En el caso de los lesionados, existen dos tipologías que dejan más heridos por siniestro, estos son el volcamiento y el choque frontal longitudinal, para el caso de arrollamiento, existe 43% de probabilidad de salir solamente lesionado en los demás casos se da el fallecimiento de la víctima. Para la zona urbana, el volcamiento es la tipología que causa más lesionados.

Se determinó que, si un accidente se da el viernes, existe una ligera probabilidad superior de que dé como resultado más fallecidos que si el accidente se diera un día lunes, por el contrario, los primeros días de la semana hay más lesionados en los accidentes que los últimos días de la semana. Por cada vez que un accidente ocurre el fin de semana se aumenta en 0.018 las probabilidades de fallecer, en 0.108 si supera los límites de velocidad y 0.080 si el peatón no transita por las aceras

Un dato interesante de este proceso ha sido que, superar los límites de velocidad, los peatones que no transitan por las aceras y los accidentes durante el fin de semana son más significativos que el consumo del alcohol como causantes de fallecimientos.

En el análisis de lesionado por parroquias, Chiquintad genera lo que en estadística se conoce como ruido en los datos, el porcentaje de lesionados es más elevado sin ninguna razón aparente, podría tratarse de igual manera que el caso de la parroquia Chaucha, que los ACT solamente acuden cuando el siniestro es de gravedad o que los involucrados en siniestros leves no comuniquen del percance a las autoridades.



4.3 Recomendaciones.

De los resultados obtenidos en el presente estudio, se pueden emitir las siguientes recomendaciones:

Capacitar a los ACT encargados de registrar los datos de los siniestros sobre la información primordial que no puede ser omitida y/o modificada.

Implementar un sistema de registro de partes de tránsito que no dependa de los datos móviles de los ACT; para el caso de un estudio posterior, encargar la fiscalización de la toma de datos al investigador del proyecto.

Realizar la unificación del sistema usado por la EMOV EP para el registro de los partes de accidentes de tránsito con los de la Fiscalía del Azuay, esto con el fin de evitar duplicidad de los datos.

Realizar una revisión de las causas preestablecidas para el registro de los siniestros por parte de los ACT, se pudo identificar duplicidad en las causas con variaciones como tildes o palabras adicionales, además de causas confusas y/o muy generales como es el caso de “rebasar vehículos en movimiento”.

Considerar la inversión de recursos en temas que si bien no tienen un impacto inmediato en estos PCAT, a largo plazo van a ser los que mejores resultados entreguen, esto es la implementación de la educación y seguridad vial desde las escuelas, esto con la finalidad de formar mejores conductores y peatones desde tempranas edades.

A nivel de la ciudad de Cuenca, a criterio del autor de este trabajo, los problemas de tránsito y siniestralidad de la ciudad no se encuentran primordialmente en la infraestructura vial, señalización o radares, también se trata de un problema que debe ser abordado desde el punto de vista social y sobre todo cultural.

4.4 Limitaciones.

Muchos de los siniestros de tránsito ocurridos, estarían siendo registrados en una base de incidentes conjuntamente con los “cuasi” accidentes, debido a la clasificación previa por parte de los ACT, perdiéndose muchos de los datos en la base de datos de siniestros requeridos para este tipo de estudios.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Las causas indicadas en las bases de datos utilizadas en el presente documento son, de acuerdo con los ACT, causas probables, es decir a criterio del agente que realice el registro del siniestro, por lo que la capacitación en este caso es indispensable para mejorar la calidad de los registros.



5 BIBLIOGRAFÍA.

Abbes, C., Jarrett, D., & Wright, C. (1981). Accidents at blackspots: Estimating the effectiveness of remedial treatment, with special reference to the "regression-to-mean" effect"REGRESSION-TO-MEAN" EFFECT. *TRID*, 22(10).
<https://trid.trb.org/view/180819>

Agencia Nacional de Tránsito. (2018). *Criterios Técnicos Referenciales para Identificación de Puntos Críticos y Negros de Siniestros de Tránsito en el Ecuador*.

Alonso, F., Esteban, C., & Calatayud, C. (2013). *La Gestión de los Puntos Negros en el marco de los Sistemas de Gestión de la Seguridad de infraestructuras viarias*.
https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Alonso-2/publication/260790148_La_gestion_de_los_puntos_negros_en_el_marco_de_los_sistemas_de_gestion_de_la_seguridad_de_infraestructuras_viaras/links/56c45f5b08ae7fd4625a1a45/La-gestion-de-los-puntos-negros

ArcGIS. (6 de Abril de 2022). *About ArcGIS*. Mapping & Analytics Software and Services:
<https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>

Dhanoa, K., Tiwari, G., & Malayath, M. (2017). Methos to Identify Blackspots with Minimal Available Police Data. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 12, 2054-2073. https://www.jstage.jst.go.jp/article/easts/12/0/12_2054/_pdf/-char/ja

Dirección General de Gestión de Movilidad. GAD Municipal del Cantón Cuenca. (4 de Abril de 2022). <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/direcci%C3%B3n-general-de-gesti%C3%B3n-de-movilidad>

EMOV EP. (4 de Abril de 2022). *Comprometidos por una movilidad responsable*.
<https://www.emov.gob.ec>

Feria, R., & Timaná, J. (2019). El método de Bayes aplicado en la identificación de las localizaciones más propensas a sufrir accidentes de tránsito. *ECIPERU*.
<https://revistaeciperu.com/wp-content/uploads/2019/01/20080009.pdf>

Goss-Sampson, M. A. (Marzo de 2022). *Statistical Analysis in JASP 0.16.1: A Guide for*



- Students*. <https://jasp-stats.org/jasp-materials/>
- JASP. (6 de Abril de 2022). *JASP - A Fresh Way to Do Statistics*. JASP - Free and User - Friendly Statistical Software: <https://jasp-stats.org/>
- Mesa, L., Rivera, M., & Romero, J. (2011). Descripción general de la Inferencia Bayesiana y sus aplicaciones en los procesos de gestión. *La Simulación al Servicio de la Academia*(2), 1-28. <https://docplayer.es/2789401-Descripcion-general-de-la-inferencia-bayesiana-y-sus-aplicaciones-en-los-procesos-de-gestion.html>
- OpenStreetMap. (30 de Marzo de 2022). *OpenStreetMap*. <http://www.openstreetmap.org/copyright/es>
- Ortiz, G. (17 de Marzo de 2022). *Gabrielortiz.com*. <http://ww1.gabrielortiz.com>
- Pardillo, J. (1995). *Desarrollo de una metodología de planificación y evaluación de actuaciones para la mejora de la seguridad en la circulación vial con aplicación de las técnicas de análisis estadístico Bayesiano*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid], Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/467/>
- Persaud, B., Lyon, C., & Nguyen, T. (1999). Empirical Bayes Procedure for Ranking Sites for Safety Investigation by Potential for Safety Improvement. *SAGE Journals*, 1665(1), 7-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3141/1665-02>
- Rizzi, L. (2003). *Fotorradares y seguridad vial: un análisis empírico Bayesiano*. <https://sochitrان.cl/static/upload/archivos/sochitrان/4186/12/1461710791.pdf>
- Sorensen, M. (s.f.). *From black spots to grey road sections in road safety management-Is it the righth way?* . 20th ICTCT WORKSHOP.
- Sorensen, M., & Elvik, R. (2007). Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks. *TRID*. <http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/2007/919-2007/919-2007-nett.pdf>
- SPSS Statistics. (6 de Abril de 2022). *SPSS Statistics-España*. IBM: <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics>
- United Nations. (n.d.). *Department of Economic and Social Affairs. Disability*. #Envision2030



Goal 11: Sustainable Cities and Communities:

<https://www.un.org/development/desa/disabilities/envision2030-goal11.html>

Vision Zero Network. (2021). *What is Vision Zero?* <https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero>

Abbes, C., Jarret, D., & Wright, C. (1981, octubre). *Accidents at blackspots: Estimating the effectiveness of remedial treatment, with special reference to the " regression-to-mean" effect* "REGRESSION-TO-MEAN" EFFECT. <https://trid.trb.org/view/180819>

AEADE. (s. f.). <https://www.aeade.net/normativa-sobre-seguridad-vehicular/>. Recuperado 19 de abril de 2022, de <https://www.aeade.net/normativa-sobre-seguridad-vehicular/>

Agencia Nacional de Transito. (2018). *Criterios Técnicos Referenciales para Identificación de Puntos Críticos y Negros de Siniestros de Tránsito en el Ecuador.*

Ahmed, A.-K., & Kasi Tashin. (2022). *Empirical Bayes application on low-volume roads: Oregon case study.* 9.

Alonso, F., Esteban, C., & Calatayud, C. (2013). 7 La Identificación de los puntos negros. En *La Gestión de los Puntos Negros en el marco de los Sistemas de Gestión de la Seguridad de Infraestructuras Viarias* (Febrero 2013, pp. 74-157). ETRASA - Editorial Tráfico Vial, S.A.

Castro Estrada, E. A., & Agüero Valverde, J. (2014). *Aplicación del Método Bayes Empírico en Análisis de Seguridad Vial: El Caso de la Ruta 32 en Costa Rica.*

CDCespanol. (2016, julio 6). *Mortalidad por choques en EE. UU.: Comparación.* Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/spanish/signosvital/seguridadvehiculos/index.html>

Censos, I. N. de E. y. (s. f.). *Proyecciones Poblacionales.* Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado 18 de junio de 2022, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>

Data Analysis Software | Statistical Software Package. (2019). [WwwSite. https://www.minitab.com/content/www/websites/en-us/products/minitab.html](https://www.minitab.com/content/www/websites/en-us/products/minitab.html)

Feria Torres, R. F., & Timana Rojas, J. A. (2019). *El Método de Bayes Aplicado en la*



Identificación de las Localizaciones más Propensas a Sufrir Accidentes de Tránsito.

6.

Fu, C., & Sayed, T. (2021). *Multivariate Bayesian hierarchical Gaussian copula modeling of the non-stacionary traffic conflict extremes for crash estimation.*

Guo, X., Wu, L., Zou, Y., & Lee, F. (2019). *Comparative Analysis of Empirical Bayes and Bayesian Hierarchical Models in Hotspot Identification.*

<https://www.latinncap.com/es/resultados>. (s. f.). <https://www.latinncap.com/es/resultados>.

Recuperado 19 de abril de 2022, de <https://www.latinncap.com/es/resultados>

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (s. f.). Recuperado 27 de abril de 2022, de <http://www.lnec.pt/pt/>

Miranda-Moreno, L. F., & Fu, L. (2007, enero 21). *Traffic Safety Study: Empirical Bayes or Full Bayes?* (N.º 07-1680). Article 07-1680. <https://trid.trb.org/view/801811>

Mortalidad provocada por lesiones por accidentes de tránsito (por cada 100 000 personas) | Data. (2019).

<https://datos.bancomundial.org/indicador/SH.STA.TRAF.P5?end=2019&start=2019&view=map>

Rizzi, L. I. (2003). *Fotorradares y Seguridad Vial: Un Análisis Empírico Bayesiano.* 13.

Rodríguez, J., Grijalva, G., Martínez, Soto, A., & Rodríguez, S. (2014). *Análisis bayesiano para la evaluación del nivel de riesgo en carreteras y uso del análisis de jerarquía de procesos (ahp) en la elección de rutas.*

Shapefiles—Portal for ArcGIS | ArcGIS Enterprise. (s. f.). Recuperado 28 de abril de 2022, de <https://sisfor.osinfor.gob.pe/osinfor/help/es/portal/latest/use/shapefiles.htm>

Subsecretaria del Sistema de la Calidad de la Productividad. (2017). *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034 (4R) “Elementos mínimos de Seguridad en Vehículos Automotores” MIPRO.* <https://www.aeade.net/normativa-sobre-seguridad-vehicular/>

Xuesong, W., Yingying, P., Minming, Y., & Jinghui, Y. (2021). *Meso-level hotspot identification for suburban arterials.* 11.



6 GLOSARIO DE TERMINOS.

ACT

Agentes Civiles de Transito, 11

ANT

Agencia Nacional de Transito, 11

DGM

Direccion de Gestion de Movilidad, 10

EMOV EP

Empresa Publica de Movilidad, Transito y Transporte de Cuenca, 11

FB

Full Bayes, 14

GAD

Gobierno Autonomo Descentralizado, 13

HSM

Hiigway Safety Manual, 15

MBJ

Modelo Bayesiano Jerarquico, 14

MEB

Metodo Empirico Bayesiano, 11

ODS

Objetivos de desarrollo Sostenible, 10

ONU

Organizacion de las Naciones Unidas, 10

OSM

Open Street Map, 18

PCAT

Puntos de Concentracion de Accidentes de Transito, 10

PN

Punto Negro, 10

PNs

Puntos Negros, 10

PT

Partes de Transito, 18

VC

Vision Cero, 10



UNIVERSIDAD DE CUENCA

7 ANEXOS.