

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SINIESTROS DE TRÁNSITO EN EL ÁREA URBANA DE CUENCA, ECUADOR. PERIODO 2018-2020

Paul Esteban Bravo Lopez  

Facultad de Ciencias de la Administración – IERSE. Universidad del Azuay
Av. 24 de Mayo, Cuenca, Ecuador
pbravo@uazuay.edu.ec

RESUMEN

La presente investigación consiste en el análisis de una problemática relacionada con los siniestros de tránsito que afectan a la población de la ciudad de Cuenca, Ecuador, generando cuantiosos daños, inseguridad vial y, peor aún, pérdida de vidas. Debido a que la siniestralidad suele ser categorizada, se planteó como objetivo de esta investigación, el análisis de choques de vehículos (con heridos y sin heridos) a nivel espacio-temporal durante el periodo 2018-2020 (por año) y en el periodo bianual 2019-2020. Se utilizaron diversas herramientas de análisis espacial y temporal implementadas íntegramente en *software* libre (QGIS y R). El aporte de esta investigación consistió en analizar los siniestros especificados de manera lineal, con lo cual fue posible determinar los tramos viales urbanos que contaron con un mayor índice de los siniestros en análisis de manera visual mediante mapas como resultado del análisis espacial, mediante relojes de datos para el análisis temporal, y mostrando los valores de concentración de siniestros por año mediante el *Nearest Neighbor Index* (NNI). Se espera difundir los resultados de esta investigación a las instituciones competentes en tránsito, a fin de aportar en la mejora de la calidad de vida peatonal y de mitigar la ocurrencia del siniestro en análisis, además que sirva de impulso para fomentar adecuadas campañas de concientización y prevención. Se considera también que el estudio aporta a la difusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente al ODS 11 que hace alusión a ciudades y comunidades sostenibles, y al ODS 16 Paz, Justicia e Instituciones Sólidas.

Palabras clave: siniestros de tránsito; análisis espacio-temporal; choque de vehículos; ODS.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

COMPARATIVE ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS IN THE URBAN AREA OF CUENCA, ECUADOR. PERIOD 2018-2020

ABSTRACT

This research consists of the analysis of problems related to traffic accidents affecting the population of Cuenca city in Ecuador, which generate considerable damage, road insecurity and, even worse, loss of life. Because the accident rate is usually categorized, the analysis of vehicle crashes (injury and non-injury) at a spatiotemporal level during the period 2018 - 2020 (per year) and in biannual period 2019-2020 was proposed as the objective of this research. Several spatial and temporal analysis tools implemented entirely in free and open-source software were used (QGIS and R). The contribution of this research consists of analysing the specified accidents in a linear way, with which it was possible to determine the urban road sections that had a higher rate of such accidents, in a visual way by means of maps as a result of the spatial analysis, through data clocks for temporal analysis, and considering values of accident concentration per year by means of the Nearest Neighbor Index (NNI). The research results are expected to be disseminated to the competent traffic institutions, in order to contribute to the improvement of quality of pedestrian life and mitigate the occurrence of the accident under analysis, as well as to serve as an impulse to promote appropriate awareness and prevention campaigns. We also consider that this study contributes to the dissemination of the Sustainable Development Goals (SDG), specifically SDG 11 Sustainable Cities and Communities, and SDG 16, Peace, Justice and Strong Institutions.

Keywords: traffic accident, spatiotemporal analysis, vehicle collision, SDG.

1. Introducción

El transporte vehicular ha sido un elemento de desarrollo preponderante, que ha facilitado avances ostensibles en varios aspectos, a saber: económico, logístico, de traslados, entre otros. Al hablar de transporte vehicular, es necesario hacer alusión a las redes viales y a los vehículos que ruedan sobre ellas, ya que representan, en ciertos países como Ecuador, la más accesible e importante forma de desplazamiento (Hinojosa *et al.*, 2019).

Como preámbulo es necesario indicar que, según Diario El Comercio (Quito, Ecuador) (2020) en el año 2020, de los 2 403 651 vehículos matriculados, 75.8 % fueron automóviles y el porcentaje restante (24.2 %), motocicletas. A nivel global según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los países de ingresos bajos y medios tienen las tasas más altas de mortalidad por accidentes, lo cual, lamentablemente representa aproximadamente un 90 % de víctimas mortales (OMS, 2010). En el contexto anterior cabe destacar las grandes pérdidas económicas y humanas que resultan de los accidentes de tránsito, las cuales afectan directamente la economía de los países antes referidos. Así mismo se debe resaltar que cerca de la mitad de las personas mueren en redes viales, con lo cual se las puede considerar como usuarios vulnerables de las vías (OMS, 2010). La importancia de esta problemática se refleja en el interés de las organizaciones como la OMS y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), a través de planes conjuntos aplicados a nivel del orbe como por ejemplo el “Plan Mundial Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030” que describen las medidas que se requieren para alcanzar la meta de mejorar la seguridad vial, convocando a los gobiernos para aplicar un enfoque integrado de sistemas seguros (OPS, 2021).

A nivel nacional, en Ecuador, y de acuerdo con el Anuario de Estadística de Transporte (ANET) generado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), los accidentes de tránsito se evidencian

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

en cifras que resultan impactantes. En la serie histórica entre los años 2010 y 2020, se registraron 302 933 siniestros de tránsito en general, siendo el año 2014 el que mayor cantidad presentó (12.8 %), y 2020 el de menor cantidad (5.6 %). Esto refleja una aparente disminución de ocurrencia de siniestros de esta clase a lo largo del periodo analizado (INEC, 2021). Lo anterior puede observarse con datos mostrados en este mismo anuario: en el año 2020, diez provincias concentraron más del 90 % de los siniestros, de las cuales, en la provincia de Azuay, cuya capital es Cuenca, ocurrieron 2037 siniestros: 1249 en 2019 y 788 en 2020, con una disminución de 36.9 % (INEC, 2021). Por otra parte, el número de víctimas durante el mismo rango de tiempo antes descrito (2010-2020) fue de 229 601, de las cuales el 90.8 % correspondieron a heridos y el 9.2 % a fallecidos. Así mismo, con base en el rango de tiempo anterior, se registraron 34 186 fallecidos. De ellos el 68.4 % murieron en el lugar del accidente y el porcentaje restante (31.6 %) en centros de salud como hospitales u otros relacionados. Estas cifras reflejan el gran impacto que generan estos siniestros.

Un aspecto no menor, consiste en que cada institución con competencias de tránsito genera, administra y procesa su propia información. En este sentido, los datos mostrados en los anteriores párrafos son procesados por el INEC, cuya fuente de información es la Agencia Nacional de Tránsito de Ecuador (ANT). En esta investigación, los datos analizados corresponden a los registros del Servicio Integrado de Seguridad ECU-911 (SIS ECU-911). Debido a esto, es posible intuir las posibles diferencias generadas en los resultados de los análisis; lo cual impide generar estudios que reflejen la situación con mayor exactitud y que debería considerarse como una mejora necesaria que incidirá directamente en una mejor gestión y análisis de los siniestros de tránsito.

Los accidentes de tránsito pueden definirse como sucesos eventuales o imprevistos con causas o sin estas, que ocurren sobre todo en redes viales, generando impactos negativos en vías, infraestructura, entes naturales, vehículos en sí, e integridad de las personas, que, dependiendo de la gravedad del suceso, puede llegar al peor escenario que es causar muertes. En este contexto, el Observatorio Iberoamericano de Seguridad Vial (OISEVI) define a un “siniestro de tránsito” como un hecho de tránsito que implica al menos un vehículo en movimiento, se suscite en una vía accesible para la población (pública o privada) y genere al menos una persona herida o muerta (INEC, 2021). Siendo analíticos se podría pensar que los accidentes de tránsito no lo son como tal (es decir accidentes), debido a que no siempre son imprevistos, ya que, en la mayoría de los casos, surgen de la omisión de algún reglamento (por ejemplo, irrespeto de señales de tránsito, límites de velocidad o cantidad de alcohol permitida que ha ingerido un conductor); con lo cual, desde nuestro punto de vista, sería más idóneo considerarlo como un “siniestro” debido a que este no implicaría causalidad; más bien destaca lo funesto del evento como tal. Si bien en este trabajo se han utilizado indistintamente ambos términos, se ha dado preferencia al término “siniestro” con base en el análisis anterior.

Para disminuir los siniestros de tránsito es necesario entender cómo (causa), dónde (espacio) y cuando (tiempo) ocurren (Xie & Yan, 2013). La principal ventaja de este método es que permite una mejor comprensión y, por ende, la forma más idónea de prevenirlos o mitigarlos. Por ejemplo, si se conocieran con la mayor certeza posible los tramos y horas críticas, las instituciones competentes podrían implementar métodos de control como patrullajes de una manera más eficiente, lo cual incide directamente en ahorro de recursos, mejora de procesos operativos, entre otros. Esto se haría evidente, por ejemplo, al comparar los resultados de estos análisis con las horas y zonas de mayor tráfico, como una forma de confirmarlo.

El objetivo de esta investigación consiste en analizar los siniestros especificados de manera lineal, es decir adaptar la visualización de la concentración a los ejes viales (líneas) con el fin de determinar los tramos viales urbanos que cuentan con un mayor índice de los siniestros en análisis, de manera visual mediante

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

mapas como resultado del análisis espacial, relojes de datos para el temporal y calculando los valores de agrupamiento (concentración) de siniestros por año, mediante *Nearest Neighbor Index* (NNI). Se espera difundir los resultados de investigación a las instituciones competentes en tránsito, a fin de contribuir con ellos como una herramienta para la toma de decisiones en esta problemática y así, tratar de mejorar la calidad de vida peatonal y mitigar la ocurrencia del siniestro en análisis, además que sirva de impulso para fomentar adecuadas campañas de concientización y prevención. Se ha considerado también aportar a la difusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 11 que hace alusión a ciudades y comunidades sostenibles, y el ODS 16 Paz, Justicia e Instituciones Sólidas.

2. Breve revisión de estado del arte

Como se mencionó en la introducción, la problemática concerniente a siniestros de tránsito genera consecuencias nefastas a nivel mundial. En este sentido, diversos trabajos de investigación aplicados a lo largo de distintas zonas del mundo y con diferentes metodologías, permiten contar con una idea de la importancia que tiene el análisis espacio-temporal para tratar de mitigarla e incluso, prevenirla. De acuerdo a lo anterior, se realizó una sucinta revisión del estado del arte y a continuación, se indican brevemente diversos estudios enfocados en el análisis de siniestros de tránsito, mediante la aplicación de tecnologías de la información geográfica (TIG).

Para iniciar, se destaca el trabajo de Hinojosa *et al.* (2019), quienes analizaron espacialmente accidentes viales considerando también variables de tiempo (hora del día, día de la semana y mes del año) además de atributos geográficos, sobre el riesgo que los accidentes de tránsito generan en la población en Toluca (México) en el periodo 2000-2005 (seis años), aplicando fundamentalmente Densidad de Kernel (*Kernel Density Estimation*, KDE). Los resultados han permitido identificar zonas de riesgo dentro de la ciudad de estudio. De manera similar, en un país americano, Bonfim *et al.* (2018) analizaron la distribución espacial de accidente de transporte terrestre con información del Servicio Móvil de Urgencia en una zona específica del noreste de Brasil para el año 2015 mediante la aplicación de Densidad de Kernel. El análisis se elaboró de acuerdo a diversos tipos de accidentes, es decir accidentes de vehículo o motocicleta y atropellos. Los resultados mostraron que el análisis espacial es un método útil para identificación la concentración de accidentes de forma eficaz.

Por otra parte, Gómez-Barroso *et al.* (2015) realizaron un análisis espacial de accidentes de tráfico con víctimas mortales en carreteras de España peninsular, durante el periodo 2008-2011, con el objetivo de estimar las zonas de mayor densidad de accidentes de tránsito en carretera con víctimas mortales a 24 horas por km². De manera similar a los trabajos anteriores, se aplicó densidad de Kernel para la obtención de un mapa con una resolución de un kilómetro cuadrado, con lo cual se conocieron las zonas con mayor densidad en la zona de estudio. Así mismo, Xie & Yan (2008; 2013) aplicaron KDE convencional y una densidad de Kernel adaptada a redes viales denominada NetKDE en un sector de Kentucky (EEUU) con datos del año 2005. Además, analizaron la autocorrelación espacial de los accidentes de tránsito para la detección de puntos críticos, mediante el índice de Moran. En este trabajo de cierta forma se ha dado a conocer que la densidad de Kernel común (KDE) no es idónea para el análisis de accidentes de tránsito a nivel de redes viales, principalmente debido a que no se ajusta a un patrón lineal como lo es el de las vías. En este sentido y con base en el trabajo de Tom-Jack *et al.* (2019) que, si bien se elaboró con datos delictuales, pone de relieve la importancia de considerar el concepto de *hot streets*, el cual mejora el nivel de precisión para observar patrones espaciales a nivel de calle.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

Anderson (2009) aplicó KDE para estudiar los patrones espaciales de accidentes de tránsito con lesionados y *K-means clustering* para identificar puntos críticos similares a los generados con KDE en Londres con datos desde 1999 a 2003. Con ello se evaluó la solidez de los resultados y su aplicación en campañas de seguridad vial. Erdogan *et al.* (2008) examinaron puntos críticos de accidentes de tránsito en carreteras de una región de Turquía (Afyonkarahisar), aplicando KDE, obteniendo como resultado que muchos lugares problemáticos fueron cruces de caminos, entre otros y concluyendo, además, con base en los resultados, que los SIG pueden utilizarse como sistemas de gestión para el análisis de accidentes y detección de puntos críticos.

Finalmente, es importante destacar el trabajo de Novoa *et al.* (2009) quienes evaluaron la efectividad de distintas intervenciones de seguridad vial, resaltando que dichas intervenciones deberían implementarse únicamente si cuentan con una evidencia de efectividad. El trabajo contiene una revisión de distintos métodos aplicados para fomentar la seguridad vial, orientados a reducir el impacto de diversos siniestros como colisiones y sus causas (lesiones y fallecidos). Esta revisión incluyó 54 estudios, con lo cual los autores llegaron a la conclusión que las intervenciones que pueden calificarse como efectivas, son aquellas que reducen el riesgo de accidentabilidad sin depender del conocimiento del usuario. Además, afirman taxativamente que, las intervenciones basadas en educación vial no resultan efectivas para reducir las consecuencias negativas de los siniestros de tránsito (principalmente personas heridas o fallecidas).

Como se ha reflejado en esta breve revisión, la gran mayoría de investigaciones han aplicado KDE de forma convencional para determinar puntos críticos de siniestros de tránsito. Si bien KDE es una técnica eficaz que permite visualizar fácilmente patrones de concentración de eventos puntuales; es necesario que, para el caso de siniestros de tránsito, esta densidad se ajuste de mejor manera a la entidad lineal correspondiente a ejes viales. A continuación, se detalla una nueva metodología, la cual es inédita para la zona de estudio, en la que se muestra la concentración de siniestros de acuerdo a las características antes mencionadas, con el fin de detectar de una mejor manera los tramos viales con mayor concentración de choques en Cuenca, Ecuador, en distintos periodos de tiempo. Se espera generar un aporte para contribuir en la mejora de los procesos operativos para mitigar esta problemática, aplicando intervenciones efectivas que contribuyan a ello y fomenten una cultura de prevención.

3. Materiales, datos y métodos

3.1 Características de la zona de estudio

La ciudad de Cuenca, ubicada en la parte sur de Ecuador, es capital de la provincia de Azuay y es la tercera en importancia a nivel nacional debido a su connotación cultural, turística y económica. Según el INEC la población del cantón, el cual incluye parroquias urbanas y rurales, es de aproximadamente 603 000 habitantes (INEC, 2017). En cuanto a la vialidad, el área urbana cuenta con una longitud aproximada de 1103 km de vías, las cuales son competencia del Municipio de la ciudad (Flores, 2013). A nivel cantonal, es decir incluyendo la vialidad que conecta las parroquias rurales, la longitud vial es de aproximadamente 1263 km; de las cuales 12.09 % corresponden a vías de tipo primario; 2.56 % a vías de tipo secundario; 23.78 % a vías de tipo terciario y 61.57 % a vías de tipo vecinal (Flores, 2013). En este sentido, es importante destacar que aproximadamente 85 % de las vías corresponden a los tipos terciario y vecinal, lo cual implica un estado precario para la circulación vehicular (Flores, 2013).

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

Dentro de la zona urbana, existen importantes arterias que conectan los diferentes sectores de la ciudad. Estas vías presentan alta circulación y por ende tráfico elevado sobre todo en las denominadas “horas punta” que coinciden con la realización de actividades laborales o educativas. En este contexto se puede destacar a la Avenida de Las Américas, que conecta la ciudad de sur a norte. Por otra parte, la Avenida Circunvalación Sur (también denominada autopista Cuenca–Azogues, por el aumento del límite de velocidad a la que pueden circular los vehículos) es también una importante vía que conecta a la ciudad de Cuenca con ciudades cercanas como Azogues y forma parte de la carretera Panamericana. Debido al irrespeto de los límites de velocidad establecidos, esta vía suele ser escenario de bastantes siniestros de tránsito. Dentro de la ciudad existen otras avenidas y calles de menor circulación, que sin embargo presentan problemáticas de alto tráfico y, por ende, altos índices de siniestralidad. La Figura 1 muestra el área urbana de la ciudad de Cuenca, resaltando algunas de sus vías principales.

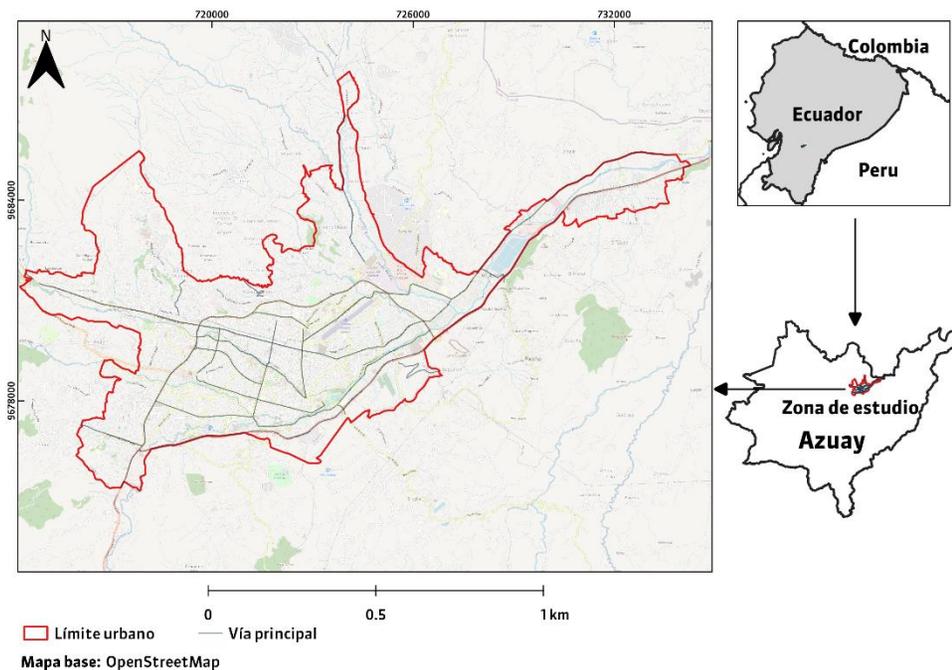


Figura 1. Área urbana de la ciudad de Cuenca, resaltando sus vías principales

Fte. Elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca.

3.2 Información utilizada

La información de las diferentes bases de datos tiene características particulares de acuerdo con los métodos de levantamiento aplicados por cada institución. Por lo tanto, es fundamental mencionar que cada una de ellas estructura su información de manera distinta, lo cual hace necesario que, para cada análisis realizado, se elijan las variables convenientes centradas específicamente en: (i) información geográfica disponible: coordenadas; información administrativa (cantón y parroquia) y zona (urbana o rural); (ii) información del evento en sí: tipo de evento y categoría e (iii) información temporal: fecha y hora.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

Como se mencionó en la Introducción, la información utilizada en esta investigación se ha tomado de la base de datos correspondiente al SIS ECU911, la cual es de gran extensión pues contiene emergencias de todo tipo registradas a nivel provincial (tanto de Azuay, como de Cañar), con una ingente cantidad de registros correspondientes al cantón Cuenca. La estructura de la base de datos es muy complicada, pues posee un gran número de variables, siendo imprescindible filtrar la información de acuerdo con el análisis requerido. Un atributo digno de destacar de esta base de datos es que todos sus registros están georreferenciados; sin embargo, no se cuenta con información adicional del evento en sí, lo cual limita los resultados del análisis y por ello, estos registros se utilizaron para realizar análisis generales. En este contexto, los registros considerados para esta investigación se incluyeron en la base de datos dentro de las subcategorías “Choques con heridos” y “Choques sin heridos” registrados dentro de la zona urbana de Cuenca. Como dato adicional se debe mencionar que las subcategorías previamente mencionadas se registran como tal a partir de julio de 2018.

Como aspecto relevante es importante mencionar que el SIS ECU-911 ha puesto a disposición de la Universidad del Azuay la información que recolecta, con el objetivo de establecer procesos técnicos y académicos interinstitucionales. En este sentido, la información recolectada por el SIS ECU911 corresponde a las emergencias percibidas por la población, procesadas mediante llamadas de emergencia, con lo cual se puede considerar a esta institución como un PSAP (*Public Safety Answering Point*) debido a su modalidad de operación y a que está bajo la responsabilidad del Gobierno Nacional (Corral-De-Witt *et al.*, 2018).

3.3 Métodos de análisis espacial

Luego de analizar la información disponible, verificando las variables importantes, el tipo de entidad geográfica que representa (puntos) y cómo se distribuyó en el espacio; fue necesario establecer los métodos que permitan determinar los patrones de concentración espacio-temporal en la zona de estudio, mediante el uso de SIG para la visualización de datos, análisis de eventos y la toma de decisiones adecuadas con base en los análisis elaborados. De manera general los métodos se clasifican de acuerdo con criterios de análisis espacial, interpolación y *mapping cluster* (Ansari & Kale, 2014); también de acuerdo a la clasificación brindada por Eck *et al.* (2005) denominada “análisis de patrones de puntos”, que utiliza métodos estadísticos globales, los cuales permiten comprender de mejor manera los patrones generales en el conjunto de puntos examinado. Con base en lo antes mencionado y luego de un análisis inicial del siniestro de tránsito en estudio, se aplicaron específicamente los métodos *Nearest Neighbor Index* (NNI) y *Graduated Line Map*, los cuales serán descritos brevemente a continuación.

3.3.1 Análisis inicial de la problemática en estudio

La elección del evento en estudio se debe principalmente a que es un fenómeno con amplia ocurrencia a nivel cantonal, tanto a nivel urbano como rural, además de que los siniestros de tránsito son eventos que causan conmoción en la ciudadanía. Con base en la cantidad de registros encontrados en la base de datos de denuncias, es posible aseverar lo antes mencionado, para lo cual, luego de un análisis de los registros correspondientes al revisar la cantidad de siniestros registrados a lo largo de los periodos de tiempo planteados en este estudio, se obtuvieron interesantes resultados que se reflejan en la Tabla 1. En este sentido, vale la pena recalcar que los registros correspondientes al año 2018 corresponden únicamente al segundo semestre de 2018 (julio–diciembre) debido a que la categorización de choques con y sin heridos se realizó desde este semestre en las bases de datos del SIS ECU-911. Ante esta situación para el análisis

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

bianual se utilizaron únicamente registros de los años 2019 y 2020, con el fin de contar con periodos completos de información.

3.3.2 Nearest Neighbor Index (NNI)

Este índice se obtiene como resultado del *Nearest Neighbor Analysis* (NNA) que básicamente permite determinar si un evento está más agrupado de lo que se podría esperar por casualidad. En este análisis se mide la distancia (denominada como *R Random*) de cada punto a su vecino y se determina la distancia media, la cual se compara con la distancia media que se espera en una distribución aleatoria (Bruce & Smith, 2011). El índice generado (NNI) posee una interpretación simple con base en un valor de uno (1), el cual indica que las distancias esperadas en una distribución aleatoria y las medidas en una distribución real no tienen ninguna discrepancia (Bruce & Smith, 2011). Valores mayores a 1 indican que los eventos están más dispersos de lo que se esperaría en una distribución aleatoria y valores menores a 1 indican que los eventos están más concentrados (agrupados) de lo que cabría esperar en una distribución aleatoria. Este índice también puede evaluarse mediante un test de significancia cuya regla general indica que cuanto más negativo sea el puntaje Z (*Z-Score*) obtenido, más confianza se puede tener en el resultado de NNI, considerando que, para muestras de menor tamaño, el puntaje Z será menor que para muestras más grandes (Eck *et al.*, 2005). El cálculo de NNI se realizó mediante el *software* QGIS¹ y los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 3.

3.3.3 Graduated Line Maps

Mediante este método, es posible representar el número de eventos a lo largo de capas lineales (polilíneas) (Rossy, 2019); lo cual es ideal para un análisis más certero de siniestralidad de tránsito. Básicamente los eventos se proyectan sobre los segmentos lineales más cercanos a su ubicación, únicamente si la distancia entre estos es menor a un umbral configurable (Rossy, 2019). Con ello es posible generar una especie de *hot streets* (Tom-Jack *et al.*, 2019) cuya diferencia radical con KDE se basa en la detección, con mayor facilidad, de los tramos viales con una mayor cantidad de choques. Esto permite que las instituciones competentes en asuntos de tránsito tomen medidas adecuadas con un mayor nivel de certeza y especificidad. La aplicación de este método se realizó mediante QGIS utilizando el complemento Visualist (Rossy, 2019) y, como se mencionó anteriormente, la proyección de eventos lineales sobre los segmentos viales se realiza con base en un umbral configurable, que en el caso de esta investigación fue de 10 metros, debido principalmente al valor de anchura de los segmentos viales correspondientes a las avenidas más amplias de la ciudad.

3.3.4 Análisis espacio-temporal

¹ El algoritmo *Nearest Neighbor Index* aplicado en QGIS considera la extensión de la capa de puntos analizada, más no la extensión de la red vial o del límite municipal.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

El método aplicado consistió en la obtención de resultados considerando primeramente variables temporales, con el fin de determinar los periodos de tiempo (días y horas) de mayor concentración de choques, mediante relojes de datos (*data clocks*) elaborados con el lenguaje de programación R; sin embargo, la importancia de conocer la variabilidad del evento delictual a lo largo del tiempo y espacio, hizo necesario que se elaboren análisis adicionales basados en periodos de tiempo definidos específicamente de acuerdo a la disponibilidad de información, tomando como base los registros correspondientes a los diferentes periodos de tiempo (anuales y bianual) para la elaboración de análisis generales. Como primera aproximación se puede observar la cantidad de registros de acuerdo con los periodos temporales definidos para esta investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad de choques por día de la semana de acuerdo con periodos anuales.

Día	2018*	2019	2020	Total bianual (2019-2020)
Domingo	114	231	192	423
Lunes	217	383	320	703
Martes	184	389	341	730
Miércoles	230	400	347	747
Jueves	205	405	350	755
Viernes	214	390	418	808
Sábado	189	368	368	736
Total anual	1353	2566	2336	4902

Fte. Elaboración propia sobre datos de la información de siniestros de tránsito de la ciudad de Cuenca, Ecuador, 2018-2020. SIS ECU-911.

* Para el análisis del año 2018 se utilizaron solamente datos del semestre julio-diciembre, por esa razón no fueron considerados en el periodo de tiempo bianual.

La importancia de conocer métodos y herramientas que permitan visualizar cómo los incidentes cambian dinámicamente es un aspecto esencial en el análisis de emergencias (Brunsdon *et al.*, 2007). En este sentido, combinar el análisis espacial con análisis temporal, permite identificar problemas a través de su distribución, con un potencial mucho mayor. También es importante mencionar en este contexto, la definición de granularidad temporal, la cual es importante para verificar cambios temporales en los datos espaciales y comprender mejor la dinámica del fenómeno en estudio (Brunsdon *et al.*, 2007; Corral-De-Witt *et al.*, 2018), lo que podría contribuir en la realización de operaciones más efectivas por parte de las instituciones encargadas de la problemática correspondiente. La granularidad temporal además permite verificar como varía la distribución del fenómeno analizado, con lo cual se mejora su comprensión; y debido a ello, en esta investigación a más de determinar los aspectos temporales esenciales, es decir días, horas y fechas en los que el evento analizado presentó más concentración, el análisis temporal se utilizó para determinar el día de la semana y la hora más crítica de siniestralidad en cuanto al evento analizado. Con ello se elaboró un procedimiento de análisis espacial mucho más específico, el cual se detallará en la sección de resultados. Desde nuestro punto de vista, este análisis permitirá definir de una manera más exhaustiva los tramos viales más críticos, con lo cual los operativos de control podrían ejecutarse de una manera óptima debido a su alto nivel de especificidad.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

4. Descripción y análisis de resultados.

El primer resultado relevante obtenido al analizar los registros correspondientes ha permitido determinar que la mayoría de choques ocurridos en el área urbana de Cuenca no tienen heridos (76.5 %); no obstante, es llamativo que, con el avance del tiempo, la cantidad de choques con heridos presente un incremento considerable. Lo antes mencionado se refleja en la Tabla 2, en la cual se evidencia que, de 2019 a 2020 la cantidad de choques con heridos aumentó significativamente (más del doble de eventos), lo cual es preocupante.

Tabla 2. Cantidad de choques con y sin heridos de acuerdo a periodos anuales.

Año	Choques con heridos	Choques sin heridos	Total
2018*	172	1181	1353
2019	356	2210	2566
2020	936	1400	2336
Total	1464	4791	6255

Fte. Elaboración propia sobre datos de la información de siniestros de tránsito de la ciudad de Cuenca, Ecuador, 2018-2020. SIS ECU-911.

Por otra parte, al observar los resultados de la Tabla 1, es posible analizar los días que mayor frecuencia de choques presentaron. En este sentido, durante el segundo semestre de 2018, el día con mayor frecuencia del siniestro en estudio fue el miércoles con 230. En el periodo 2019, el día con mayor cantidad de choques fue el jueves con 405. En el periodo 2020, el día con mayor cantidad de siniestros fue el viernes con 418; siendo este mismo día el que mayor cantidad de eventos presentó durante el periodo bianual con una frecuencia de 808.

4.1 Nearest Neighbor Index (NNI)

Los resultados de este análisis han reflejado de manera general, que los choques suscitados en el área en estudio presentan concentración al considerar los valores de NNI y Puntaje Z, los cuales se reflejan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del análisis Nearest Neighbor Index (NNI)

Nearest Neighbor Analysis (NNA)

Año	Puntos	Distancia media observada	Distancia media esperada	Valor de NNI	Puntaje Z
2018*	1353	50.64	186.43	0.27	-51.26
2019	2566	28.62	139.47	0.21	-77.03
2020	2336	27.69	150.64	0.18	-75.47
2019-2020	4902	14.14	103.99	0.14	-115.73

Fte. Elaboración propia sobre datos de la información de siniestros de tránsito de la ciudad de Cuenca, Ecuador, 2018-2020. SIS ECU-911.

* Para el análisis del año 2018 se utilizaron solamente datos del semestre julio-diciembre

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

Los resultados mostrados anteriormente, permiten intuir que, cuando se tiene una mayor cantidad de puntos como en el caso del análisis bianual (2019-2020), los valores reflejan mayor concentración, pues el valor de NNI es menor. Además, en todos los periodos de tiempo analizados, tanto el valor de NNI como el puntaje Z reflejan concentración del evento en estudio, ya que todos los valores del primero (NNI) son menores a uno; mientras que los correspondientes al segundo (*Z-score*) son negativos.

4.2 Graduated Line Maps

Los resultados obtenidos muestran diferentes patrones de concentración en los distintos ejes viales de la ciudad. Si bien existen lugares de mayor ocurrencia de choques por año, la cantidad de estos es variable. Además, es importante mencionar que, para una mejor visualización, los mapas correspondientes cuentan con una coloración que permite resaltar la cantidad de choques por eje vial; mostrando en color blanco las calles y avenidas con menor frecuencia del evento analizado y en color rojo, las que cuentan con mayor frecuencia de choques. En este sentido, detectar las vías con mayor cantidad de ocurrencia del siniestro en estudio es relativamente fácil, ya que se diferencian notablemente en cada mapa. Se tiene como factor común que, en todos los periodos de tiempo analizados, la zona sur es la que cuenta con los ejes viales con mayor frecuencia de choques. La Figura 2 muestra el mapa correspondiente al segundo semestre de 2018; la Figura 3, el mapa correspondiente al periodo 2019; la Figura 4, el mapa correspondiente al periodo 2020 y la Figura 5, el mapa correspondiente al periodo bianual 2019-2020.



Figura 2. Graduated line map de choques ocurridos en el segundo semestre de 2018
Fte. Elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca y registros del SIS ECU911.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>



Figura 3. Graduated line map de choques ocurridos en el periodo 2019

Fte. Elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca y registros del SIS ECU911.

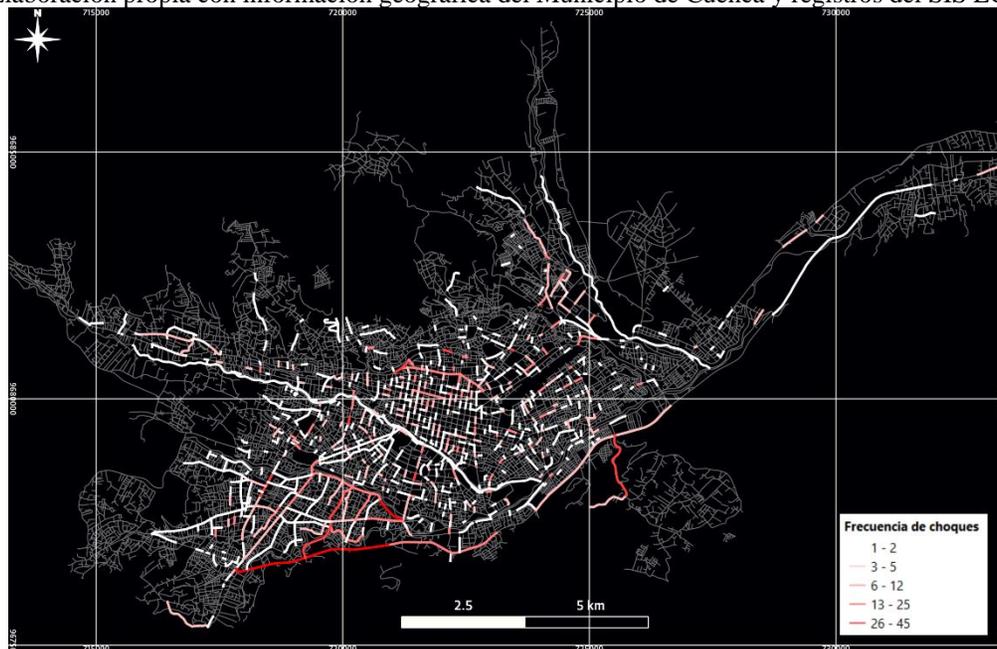


Figura 4. Graduated line map de choques ocurridos en el periodo 2020

Fte. elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca y registros del SIS ECU911.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>



Figura 5. Graduated line map de choques ocurridos en el periodo bianual 2019-2020

Fte. Elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca y registros del SIS ECU911

4.3 Análisis espacio-temporal

Los productos obtenidos como resultados de este análisis son relojes de datos (también denominados *data clocks*) semanales para verificar la hora y día de la semana de mayor incidencia del evento en estudio. Con base en estos productos se determinó el día y rango horario más crítico del periodo bianual, con lo cual se generaron los *graduated line maps* correspondientes y con ello se especificó el análisis con mayor certeza, determinando los tramos viales con mayor frecuencia de choques en los periodos definidos. Finalmente se detectó a nivel anual cuales fueron los meses con mayor cantidad de ocurrencia de choques a lo largo de los periodos analizados.

4.3.1 Relojes de datos (*data clocks*)

Estos elementos permitieron determinar de forma semanal, el día y la hora de la semana con mayor incidencia del siniestro analizado, resultando muy útiles para determinar los periodos temporales más críticos mostrados en el análisis del apartado 4.3.2. A continuación se muestran los relojes de datos por cada periodo de tiempo analizado: segundo semestre de 2018 (Figura 6); año 2019 (Figura 7); año 2020 (Figura 8) y periodo bianual (Figura 9).

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

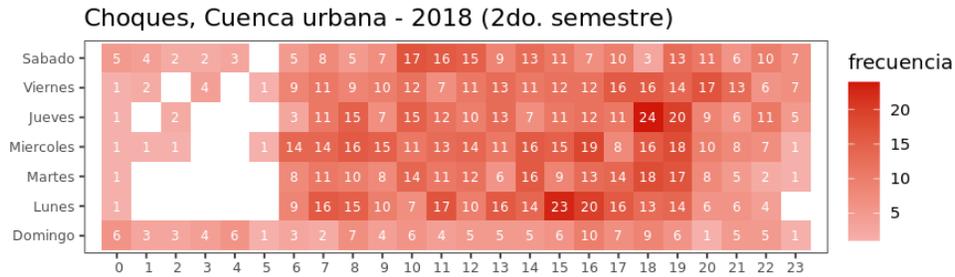


Figura 6. Reloj de datos semanal de choques ocurridos en el segundo semestre de 2018 en la red vial urbana de Cuenca.

Fte: Elaboración propia con registros del SIS ECU911.

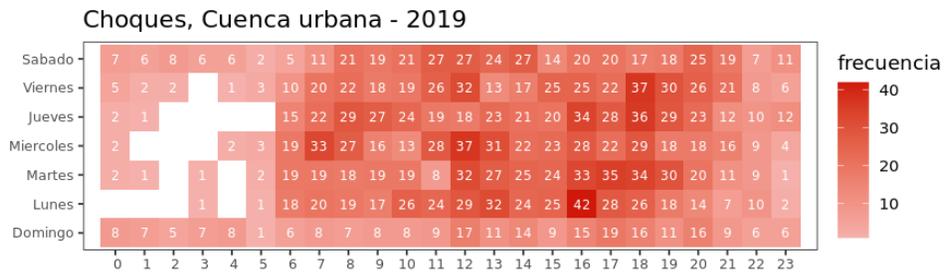


Figura 7. Reloj de datos semanal de choques ocurridos en el periodo 2019 en la red vial urbana de Cuenca.

Fte. Elaboración propia con registros del SIS ECU911.

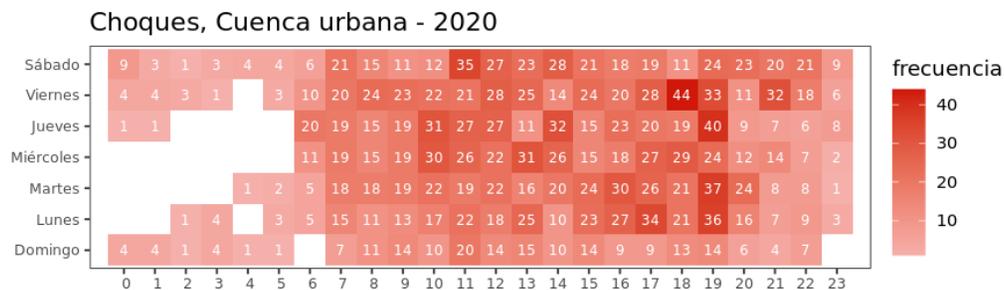


Figura 8. Reloj de datos semanal de choques ocurridos en el periodo 2020 en la red vial urbana de Cuenca.

Fte. Elaboración propia con registros del SIS ECU911.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

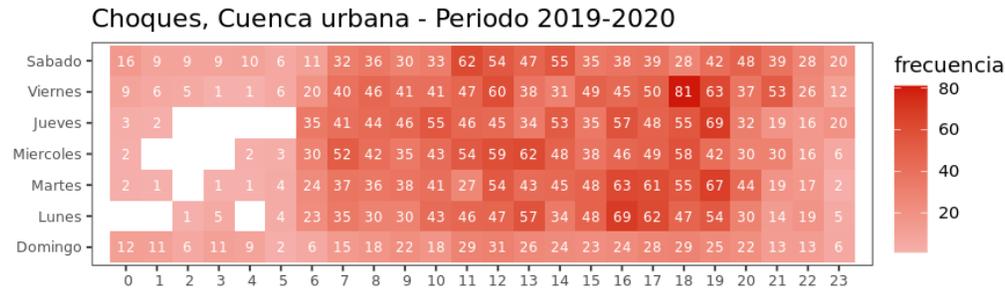


Figura 9. Reloj de datos semanal de choques ocurridos en el periodo 2020 en la red vial urbana de Cuenca.

Fte. Elaboración propia con registros del SIS ECU911.

Varios hallazgos se dilucidaron de los elementos anteriores. En primer lugar, durante el segundo semestre de 2018, el periodo de tiempo con mayor frecuencia de choques correspondió al jueves entre 18:00 y 19:00 con 24 choques. En el periodo 2019, el periodo de tiempo con mayor frecuencia del siniestro en estudio correspondió al lunes entre las 16:00 y 17:00 con 42 choques. En el periodo 2020, el periodo de tiempo con mayor frecuencia de choques correspondió al viernes entre 18:00 y 19:00 con 44 choques. En el periodo bianual (2019-2020), el rango de tiempo con mayor frecuencia de choques correspondió al viernes entre 18:00 y 19:00 con 81 choques. Finalmente, se determinó que los choques analizados de forma semanal y con base en todos los periodos de tiempo analizados presentan menor concentración en horas de la madrugada, específicamente entre 01:00 y 06:00.

4.3.2 *Graduated line maps* (día y horario más crítico)

Para una detección más idónea de los ejes viales con mayor concentración de choques por periodo de tiempo analizado, la Tabla 4 muestra la información relacionada con las calles específicas y sus intersecciones (en algunos casos indicando sectores de referencia) con la frecuencia de choques suscitados en cada una. Se puede observar que, las avenidas con mayor cantidad de tráfico como la Av. De las Américas, Av. Circunvalación Sur y Av. Primero de Mayo, presentan en ciertos sectores, una frecuencia variable pero elevada del siniestro en estudio durante todos los periodos analizados.

Con la determinación de los periodos más críticos, es decir el día y el horario con mayor accidentabilidad, fue posible elaborar *graduated line maps* de dichos periodos, con el objetivo de aumentar la exhaustividad del análisis elaborado. En tal contexto, se utilizaron los datos del periodo bianual (2019-2020) especificados en el apartado 4.3.1 (viernes, 18:00-19:00). La variación de la siniestralidad a nivel de los ejes viales se muestra en la Tabla 5, la cual refleja que, en el periodo más amplio, es decir al analizar los registros de todo el día (viernes), las calles y avenidas con mayor cantidad de siniestros coinciden con las zonas críticas resultantes al analizar los periodos completos. Estas zonas corresponden a tramos de las avenidas: Circunvalación Sur, Primero de Mayo y De las Américas (Figura 10). Por otra parte, al analizar el rango horario (18:00-19:00) aparece un nuevo tramo vial que presenta accidentabilidad elevada, aunque se mantiene las zonas críticas antes mencionadas (Figura 11). Es evidente que, con los resultados obtenidos a nivel espacial y temporal, los procedimientos operativos de las instituciones competentes mejorarían ostensiblemente, e incluso permitirían que dichas instituciones analicen estos tramos para verificar las posibles falencias existentes que inciden en la alta siniestralidad de estos.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

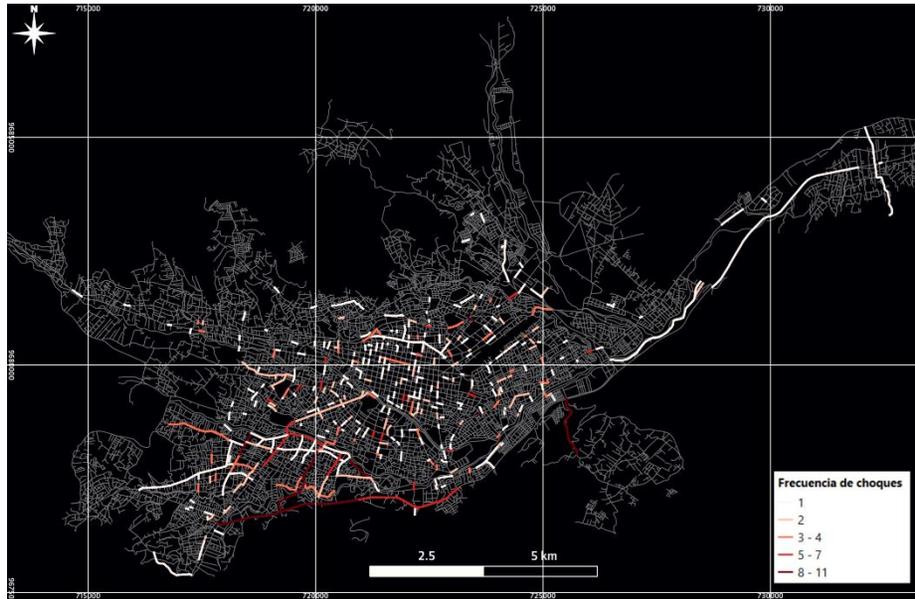


Figura 10. Graduated line map de choques ocurridos en el periodo 2019-2020 (viernes)

Fte. Elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca y registros del SIS ECU911.

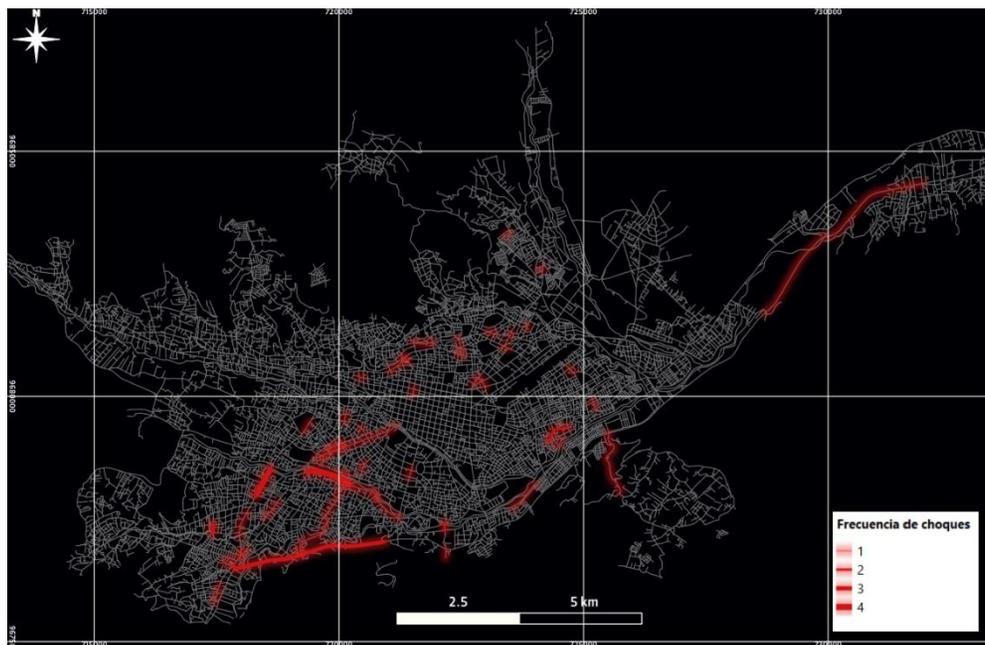


Figura 11. Graduated line map de choques. Periodo 2019-2020 (viernes 18:00-19:00)

Fte. Elaboración propia con información geográfica del Municipio de Cuenca y registros del SIS ECU911.

Tabla 4. Intersecciones viales con mayor cantidad de choques por cada periodo analizado

Año	Intersección	Choques
-----	--------------	---------

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

2018*	Av. Turuhuayco entre Av. De las Américas y calle El Obrero	17
	Av. 1ero. de Mayo entre Av. Felipe II y Av. Solano (sector Tres Puentes)	16
	Av. De las Américas entre calle Luis Cordero y Av. Turuhuayco	15
	Av. Circunvalación Sur entre Panamericana Sur y Camino a Turi	12
2019	Av. 1ero de Mayo entre Av. Felipe II y Av. Solano (sector Tres Puentes)	33
	Av. Turuhuayco entre Av. De las Américas y calle El Obrero	32
	Av. De las Américas entre Av. Don Bosco y Av. 1ero. de Mayo	25
	Av. Unidad Nacional entre Av. Remigio Crespo y calle Del Batán (sector redondel Los Tótems)	22
2020	Av. 1ero de Mayo entre Av. Felipe II y Av. Solano (sector Tres Puentes)	45
	Av. Circunvalación Sur entre Panamericana Sur y Camino a Turi	38
	Carretera Cruce de Monay-Paccha (a partir del redondel del hospital José Carrasco Arteaga)	25
	Av. De las Américas entre calle Luis Cordero y Av. Turuhuayco	21
2019-2020	Av. 1ero de Mayo entre Av. Felipe II y Av. Solano (sector Tres Puentes)	78
	Av. Circunvalación Sur entre Panamericana Sur y Camino a Turi	58
	Av. Turuhuayco entre Av. De las Américas y calle El Obrero	51
	Av. De las Américas entre Av. Don Bosco y Av. 1ero. de Mayo	46

* Para el análisis del año 2018 se utilizaron solamente datos del semestre julio-diciembre.

Tabla 5. Intersecciones viales con mayor cantidad de choques en día y hora más crítica

Periodo	Intersección	Choques
---------	--------------	---------

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

2019-2020 Viernes	Av. 1ero. de Mayo entre Av. Felipe II y Av. Solano (sector Tres Puentes)	11
	Av. De las Américas entre Av. Don Bosco y Av. 1ero. de Mayo	11
	Av. Turuhuayco entre Av. De las Américas y calle El Obrero	9
	Av. Circunvalación Sur entre Panamericana Sur y Camino a Turi	9
	Carretera Cruce de Monay-Paccha (a partir del redondel del hospital José Carrasco Arteaga)	9
	Av. Paseo de los Cañaris entre calles Pablo Palacio y Camilo Ponce	9
2019-2020 Viernes 18:00-19:00	Av. 1ero de Mayo entre Av. Loja y Av. Doce de Octubre	4
	Av. De las Américas entre Av. Don Bosco y Av. 1ero. de Mayo	4
	Calle Vicente Mideros entre las calles cantón Buena Fe y Juan Pio Montúfar	3
	Av. Circunvalación Sur entre Panamericana Sur y Camino a Turi	3

+

4.3.3 Frecuencia mensual de choques por periodo

Con este análisis se determinaron los meses de mayor accidentabilidad por cada periodo de tiempo. Para ello se utilizaron únicamente los periodos anuales completos (2019 y 2020), además del periodo bianual (2019-2020). La Figura 12 muestra que en el periodo 2019, el mes con mayor cantidad de choques fue noviembre con una frecuencia de 241; mientras que el mes con menor frecuencia de este evento fue agosto con 175. Durante el periodo 2020, el mes con mayor frecuencia de siniestros fue diciembre con 283 y el mes con menor frecuencia del siniestro analizado fue abril con 70. Finalmente, en el periodo bianual el mes con mayor frecuencia de choques fue diciembre con 479 y el mes con menor cantidad de siniestros fue abril con 308.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

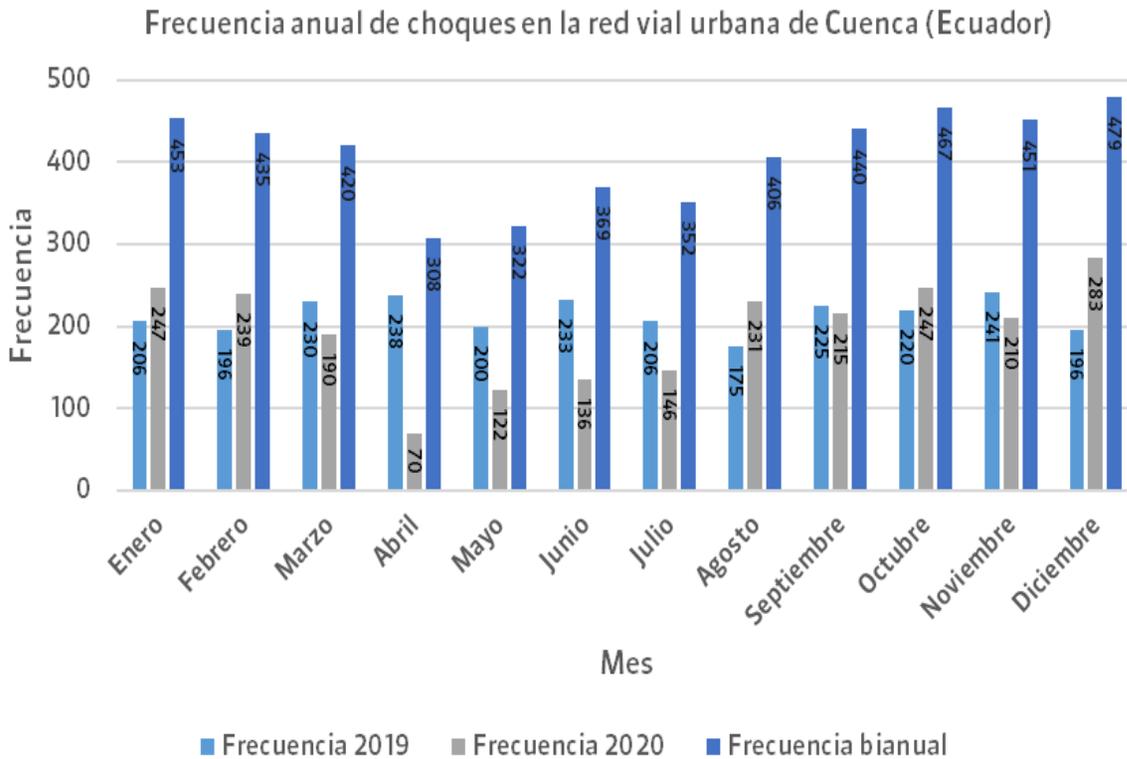


Figura 12. Frecuencia mensual de choques para los periodos de tiempo 2019, 2020 y bianual.

Fte. Elaboración propia con registros del SIS ECU911.

5. Discusión y valoración de hallazgos

Con base en los resultados encontrados, se puede afirmar que, en el área urbana de Cuenca, los choques registrados durante los periodos de tiempo analizados se presentan con mayor frecuencia en tramos específicos de avenidas muy transitadas, a saber: Avenida de Las Américas; Avenida Primero de Mayo y Avenida Circunvalación Sur. Este primer hallazgo permitiría mejorar ostensiblemente los procesos operativos de las instituciones competentes en tránsito, ya que posibilita elaborar análisis con mayor profundidad acerca de las causas por las que dichos tramos presentan mayor frecuencia de siniestralidad; además de enfocar los operativos en dichos tramos. Si bien estas causas pueden ser de diversa índole, se asume que podrían ser algunas como: señalización indebida, irrespeto de límites de velocidad, mal estado de la calzada, entre otras.

Por otra parte, es muy llamativo que la diferencia de registros correspondientes a choques sea mínima, ya que en 2019 se presentaron solamente 230 choques más que en 2020. Se debe considerar que, durante los meses de marzo a mayo de 2020, se determinaron, a nivel nacional, restricciones de movilidad generadas por la pandemia de COVID-19. En este sentido, se refleja una gran disminución de accidentes sobre todo en abril de 2020, cuya frecuencia (70 choques) es la menor para todos los periodos analizados. Así mismo,

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

se debe destacar que la cantidad de choques con heridos aumentó de manera alarmante de 2019 a 2020 con más del doble de casos (ver Tabla 2); lo cual es un aspecto que no debe ser pasado por alto.

Esta investigación presenta diferencias marcadas con otras similares, pues como se ha mencionado, la mayoría de ellas han utilizado KDE convencional para determinar la concentración de los puntos correspondientes a los siniestros registrados en diferentes lugares y en periodos de tiempo distintos. Por ejemplo Erdogan *et al.* (2008) en una región de Turquía; Bonfim *et al.* (2018) en Olinda (Pernambuco), Brasil o Hinojosa *et al.* (2019) en Toluca, México. Si bien KDE es una metodología sumamente útil, es necesario presentar resultados con mayor exactitud a nivel lineal (ya que las vías se representan como líneas) para una determinación más certera de focos de siniestralidad. Otros interesantes estudios con enfoque similar, aunque con análisis más exhaustivos son los de Anderson (2009) quien además de aplicar KDE, implementó *K-Means clustering* para determinar si los eventos analizados están agrupados; o el de Gómez Barroso *et al.* (2015) con su estudio de densidad de accidentes de tráfico con víctimas mortales en la red de carreteras de España peninsular a una amplia resolución (1 km²). Todas las investigaciones mencionadas contribuyen en gran manera al análisis de siniestralidad de tránsito, sin embargo, no pueden ser comparadas con la elaborada en el presente estudio, ya que esta presenta un nuevo enfoque metodológico que permite determinar a nivel de vía (calle, avenida o carretera) la frecuencia de choques, facilitando la visualización y por ende la detección de tramos específicos con mayor nivel de ocurrencia del evento en estudio.

Por otra parte, las investigaciones elaboradas por Xie & Yan (2008; 2013) resultan más completas en cuanto a la metodología de análisis, ya que aplican diversos métodos que permiten profundizar la detección de zonas críticas. Los puntos a destacar de estas investigaciones, aplicadas en zonas de Kentucky (EEUU) son: (i) La aplicación de un tipo de KDE específicamente adaptado a redes viales, denominado NetKDE (Okabe *et al.*, 2009), que, de manera similar a los resultados de la presente investigación, permite detectar tramos viales con alta incidencia de puntos correspondientes a siniestros de tránsito, aunque con una exhaustividad mayor. (ii) La determinación de autocorrelación espacial mediante el índice de Moran, con lo cual fue posible verificar la estrecha relación espacial existente entre los siniestros ocurridos en la zona de estudio. En tal contexto, se refleja lo mencionado anteriormente: KDE no es la técnica más idónea para representar problemas relacionados con siniestros de tránsito, debido a que estos ocurren en vías cuyo patrón es eminentemente lineal.

Adicionalmente se ha evidenciado concentración en los siniestros correspondientes a todos los periodos analizados, la cual se refleja mediante los resultados del *Nearest Neighbor Index* (NNI) que se muestra en la Tabla 3. Esta concentración es determinante, pues para cada periodo incluidos el semestral y bianual, los resultados son menores a uno y relativamente cercanos a cero. De acuerdo a Chainey (s.f.) estos valores reflejan agrupamiento o concentración, lo cual implica que los choques analizados a nivel urbano presentan esta característica, es decir están agrupados. Para complementar lo antes mencionado y confirmar la afirmación generada al interpretar NNI, se ha analizado el valor del Puntaje-Z, el cual ha presentado valores negativos en todos los periodos analizados (Tabla 3). De acuerdo con la literatura cuanto más negativo sea el valor de este puntaje, mayor confianza se debe tener en el valor obtenido de NNI (Eck *et al.*, 2005); además de reflejar claros indicios de significancia estadística en el resultado (Chainey, s.f.); aunque esta cuestión, en lo posible, debería analizarse con mayor amplitud.

Los relojes de datos han contribuido de manera eficiente en la determinación de los periodos temporales de ocurrencia del siniestro analizado. En este sentido, se pudo determinar que el horario crítico de acuerdo con los periodos investigados es variable; es decir no se encontró un patrón temporal fijo de ocurrencia de choques; aunque al analizar el periodo bianual, el cual cuenta con mayor cantidad de registros, se obtuvo

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

que el viernes entre las 18:00 y 19:00 fue el periodo de tiempo con mayor cantidad de choques ocurridos. Esto coincide con los elevados niveles de tráfico que se presentan en las denominadas “horas punta” en las avenidas más transitadas de la ciudad. Por otra parte, también se detectó que, en horas de la madrugada (01:00 a 06:00) la ocurrencia de choques disminuyó ostensiblemente. Por otra parte, analizando también el periodo bianual, se encontró que diciembre fue el mes con mayor cantidad de choques, lo cual se intuye, puede ser debido a la alta afluencia vehicular por cuestiones de movimiento comercial.

Como aspecto importante se debe destacar que, si bien esta investigación presenta una metodología útil y es pionera en la zona de estudio, se limita únicamente a la información relacionada con la ubicación de los choques ocurridos en el área urbana de Cuenca, su periodo temporal de ocurrencia y su categorización básica (choques con y sin heridos). En este sentido, es importante contar con fuentes de información adicionales, que permitan obtener mejores resultados para los análisis planteados. Por ejemplo, se podrían analizar detalles de las víctimas (genero, edad), detalles de los vehículos (tipo) y con ello ampliar la exhaustividad del análisis elaborado. Sin embargo, esta investigación es útil como punto de partida, pues con la detección de tramos específicos, es posible implementar análisis detallados en dichas zonas para tomar las medidas correspondientes que permitan mitigar la ocurrencia de estos eventos; considerando que, con un mayor grado de especificidad, es posible tomar medidas óptimas para el tratamiento de los siniestros en estudio.

En cuanto a las medidas que deberían implementarse por parte de las instituciones competentes en tránsito, es recomendable revisar el amplio estudio elaborado por Novoa *et al.* (2009) para tener clara la idea de que no cualquier medida presenta efectividad en este contexto. Es de suma importancia mencionar que las intervenciones de seguridad pueden orientarse hacia diversos factores como individuos, vehículos, entornos físicos o incluso legislación, con base en los criterios de la Matriz de Haddon; o en distintas fases del siniestro, es decir antes, durante y después del mismo; con lo cual es posible darse cuenta lo complejo que puede resultar este asunto. Sin embargo, es taxativa la afirmación que los autores antes citados mencionan respecto a la efectividad de las medidas útiles para tratar esta problemática: no se puede implementar una medida sin analizar los efectos que esta pueda tener en el medio a aplicar. Además, es importante recalcar que las intervenciones de seguridad deben centrarse en los factores relacionados con el vehículo o con la infraestructura vial y no en el individuo, sin dejar de considerar que la regulación y legislación también es importante, aunque dependen del cumplimiento de los usuarios involucrados (conductores y peatones).

Para elaborar investigaciones a futuro, es necesario considerar varios aspectos que permitirán ampliar la metodología de análisis y, por ende, contar con resultados más sofisticados que posibiliten comprender de mejor manera cuando y donde se agrupan los eventos analizados (Williamson *et al.*, 2001). En este sentido, a más de los análisis centrados en características de víctimas o vehículos anteriormente detallados, es posible pormenorizar el análisis temporal, estudiando la siniestralidad en periodos de tiempo definidos (día, tarde, noche, madrugada, fin de semana). Así mismo se podría considerar un tipo distinto de siniestro (como atropellos) o analizar la incidencia de niveles de alcohol y su relación con la concentración espacial de siniestros de tránsito. Por otra parte, es necesario implementar métodos adicionales de análisis que permitan reforzar los hallazgos. Por ejemplo: determinar con mayor certeza la significancia estadística de las zonas con elevada frecuencia de eventos, o estudiar la autocorrelación espacial para determinar la relación espacial existente entre los siniestros registrados. Finalmente, es necesario aplicar nuevas metodologías de análisis mediante el uso de herramientas novedosas como SANET (*Spatial Analysis on a Network*) (Okabe & Sugihara, 2012); muy útil para contar con mejores resultados. La importancia de elaborar estos estudios radica en que, es necesario contar con elementos que evidencien la alta siniestralidad

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

ocurrida en la zona de estudio y pueda replicarse en otros lugares, con el objetivo de erradicar o al menos mitigar la frecuencia con la que estos eventos ocurren y con ello las pérdidas sensibles que los mismos causan.

6. Conclusiones

La presente investigación ha permitido determinar zonas de alta incidencia de un siniestro de tránsito en particular como son los choques vehiculares. En este sentido, se debe resaltar que el nivel de especificidad espacial y temporal es de suma relevancia para la detección de patrones de puntos de una manera óptima. En este estudio aplicado a la red vial urbana y analizado en diferentes periodos de tiempo, se demostró la variabilidad espacio-temporal que el siniestro analizado presentó. Un hallazgo importante que debe mencionarse es que, si bien en 2020 la emergencia sanitaria generada por la pandemia de COVID-19, la cual implicó medidas draconianas de confinamiento, reduciendo la movilidad vehicular por al menos dos meses; la cantidad de registros en comparación con el año anterior (2019) no fue significativamente menor. La mejora de procedimientos operativos de las instituciones correspondientes requiere de evidencias, las cuales se obtienen con la implementación de investigaciones como la elaborada en este trabajo, a fin de verificar la variabilidad espacio-temporal mencionada previamente y con ello optimizar la asignación de recursos y por ende mejorar la capacidad de toma de decisiones en cuanto a medidas preventivas y de mitigación. Con respecto a las medidas que se deberían tomar, también deben ser meditadas y orientadas hacia vehículos y entornos físicos, con el objetivo de fomentar una cultura de responsabilidad en los conductores y peatones y así disminuir la frecuencia con la que estos siniestros ocurren en la zona. Se debe tener en cuenta que, si bien esta investigación muestra resultados interesantes y pioneros en la zona, podría mejorar al contar con una cantidad mayor de información relacionada con características de individuos, vehículos y entorno. Esto pone en evidencia, la necesidad de que las instituciones recolecten la mayor cantidad de información posible al momento de registrar los diversos siniestros de tránsito que ocurren, lamentablemente, con mucha frecuencia. Se reitera la importancia de que las instituciones competentes fomenten una cultura de prevención y tengan en cuenta estudios de esta clase para mejorar sus procesos operativos y así mitigar de mejor manera esta problemática que es causante de pérdidas de diversa índole.

7. Agradecimientos

Se agradece a la Universidad del Azuay y su Vicerrectorado de Investigaciones por financiar este proyecto y al Servicio Integrado de Seguridad ECU-911 por facilitar la información utilizada para elaborar esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis and Prevention*, 41(3). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.014>
- Ansari, S. M., & Kale, K. (2014). Methods for crime analysis using GIS. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(12), 1330-1336.

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

Bonfim, C. V. D., Silva, A. G. S. D., Araújo, W. M. D., Alencar, C., & Furtado, B. M. A. (2018). Análisis de la distribución espacial de los accidentes de transporte terrestre atendidos por el Servicio Móvil de Urgencia (SAMU-192), en un municipio de la región nordeste de Brasil. *Salud colectiva*, 14, 65-75. doi: 10.18294/sc.2018.1211

Brunsdon, C., Corcoran, J. & Higgs, G. (2007). Visualising space and time in crime patterns: A comparison of methods. *Computers, Environment and Urban Systems*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2005.07.009>

Chainey, S. (s.f.). *Spatial significance hotspot mapping using the Gi* statistic*. University College London (UCL) – Jill Dando Institute of Crime Science. Recuperado el 24 de febrero de 2022 de <https://t.ly/hlDK>

Corral-De-Witt, D., Carrera, E. V., Muñoz-Romero, S. & Rojo-Álvarez, J. L. (2018). Statistical, spatial and temporal mapping of 911 emergencies in Ecuador. *Applied Sciences* (Switzerland). doi: <https://doi.org/10.3390/app8020199>

Diario El Comercio (2020). *El número de motos aumentó siete veces en 10 años; revise el crecimiento del parque automotor en Ecuador*. Quito, Grupo El Comercio. [Consulta: 14-06-2022]. Disponible en www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/ecuador-aumento-motos-siete-veces.html

Eck, J., Chainey, S., Cameron, J., & Wilson, R. (2005). *Mapping crime: Understanding hotspots*.

Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M. (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis and Prevention*, 40(1). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.05.004>

Flores, E. (2013). *La Ordenación de la red vial del cantón Cuenca*. Tesis de Maestría. Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Gómez-Barroso, D., López-Cuadrado, T., Llácer, A., Palmera Suárez, R., & Fernández-Cuenca, R. (2015). Análisis espacial de los accidentes de tráfico con víctimas mortales en carretera en España, 2008-2011. *Gaceta Sanitaria*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2015.02.009>

Hinojosa Reyes, R., Varela Sánchez G., Campos Alanís, J. (2019): “Población en riesgo: Análisis espacio – temporal de accidentes viales mediante el uso de herramientas SIG en el municipio de Toluca, Estado de México, 2000 - 2005”, *GeoFocus*, 23, p. 49-69. ISSN: 1578-5157. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.584>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2017). *Conozcamos Cuenca a través de sus cifras*. INEC, Gobierno de la República del Ecuador. [Consulta: 21-06-2022]. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/conozcamos-cuenca-a-traves-de-sus-cifras/>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2021). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2020*. INEC, Ecuador en cifras. [Consulta: 14-06-2022]. Disponible en https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2020/2020_ANET_PPT.pdf

Novoa, A. M., Pérez, K., & Borrell, C. (2009). Efectividad de las intervenciones de seguridad vial basadas en la evidencia: una revisión de la literatura. *Gaceta Sanitaria*, Vol. 23. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2009.04.006>

Bravo López, P. E. (2022). Análisis comparativo de siniestros de tránsito en el área urbana de Cuenca, Ecuador. Periodo 2018-2020, *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (Artículos)*, 30, 49–72. <https://dx.doi.org/10.21138/GF.785>

Okabe, A., Satoh, T., & Sugihara, K. (2009). A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(1), 7-32. <https://doi.org/10.1080/13658810802475491>

Okabe, A., & Sugihara, K. (2012). *Spatial analysis along networks: statistical and computational methods*. John Wiley & Sons.

Organización Mundial de la Salud OMS. (2010). “Capítulo 3: Situación de la seguridad vial en el mundo”, en Organización Mundial de la Salud: *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción*. Ginebra, World Health Organization, pp. 11- 14. ISBN 978 92 4 356384 8.

Organización Panamericana de la Salud OPS. (2021). *Semana de la Seguridad Vial: OMS Presentó plan Mundial Para reducir 50 % Las Muertes Y traumatismo en 2030*. Quito, Grupo El Comercio. [Consulta: 14-06-2022]. Disponible en www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/ecuador-aumento-motos-siete-veces.html

Rossy, Q. (2019) *Visualist: a spatial analysis plugin for crime analysts*. Ecole des sciences criminelles, Lausanne. <https://plugins.qgis.org/plugins/visualist/>

Tom-Jack, Q. T., Bernstein, J. M., & Loyola, L. C. (2019). The role of geoprocessing in mapping crime using hot streets. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. <https://doi.org/10.3390/ijgi8120540>

Williamson, D., McLafferty, S., McGuire, P., Ross, T., Mollenkopf, J., Goldsmith, V., & Quinn, S. (2001). Tools in the spatial analysis of crime. In A. Hirschfield & K. Bowers (Eds.), *Mapping and analysis of crime data* (pp. 187–202). London: Taylor and Francis.

Xie, Z., & Yan, J. (2008). Kernel Density Estimation of traffic accidents in a network space. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(5). <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.05.001>

Xie, Z., & Yan, J. (2013). Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: An integrated approach. *Journal of Transport Geography*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.05.009>