

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS

**FACTORES QUE INCIDEN EN LA FATALIDAD DE LOS
ACCIDENTES DE TRÁNSITO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PAÚL ANDRÉS APOLO VITERI

paul.apolo@epn.edu.ec

ANDREA VALERIA RECALDE AMAGUAYO

andrea.recalde@epn.edu.ec

DIRECTORA: YASMÍN SALAZAR MÉNDEZ, Ph.D

yasmin.salazar@epn.edu.ec

Quito, agosto 2020

DECLARACIÓN

Nosotros, Paúl Andrés Apolo Viteri y Andrea Valeria Recalde Amaguayo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Paúl Andrés Apolo Viteri

Andrea Valeria Recalde Amaguayo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paúl Andrés Apolo Viteri y Andrea Valeria Recalde Amaguayo, bajo mi supervisión.

Yasmín Salazar Méndez, Ph.D

Directora

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haber sido mi guía durante toda mi vida universitaria, y por otorgarme fuerza, sabiduría y constancia. Gracias por siempre haberme mantenido en el camino correcto.

A la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional del Ecuador, institución que me acogió y otorgó los medios necesarios para la realización de esta tesis. Una gratitud especial a todas las personas que laboraron ahí durante nuestra estadía, especialmente, al Coronel Luis Palacios, quien siempre nos apoyó en cada paso que dábamos.

A mi directora de tesis, PhD Yasmín Salazar, por todo su apoyo, guía y enseñanza. Siempre nos mantuvo dando lo mejor de nosotros, aún cuando hubo dificultades. Gracias por siempre creer en nosotros.

A mis padres, Ángel y Sonia, por ser mi ejemplo e inspiración día tras día. Ustedes me enseñaron el significado del sacrificio y el trabajo. Gracias por haberme inculcado los mejores valores, por apoyarme siempre, y por todo su amor.

A mis hermanos, Carlos y Kevin, por haber estado siempre a mi lado cuando los he necesitado y ser mi compañía durante todo mi trayecto.

A Nathaly, mi compañera de vida, por llenar de felicidad mis días. Tú me enseñas día tras días lo bonita que puede ser la vida. Gracias por compartir conmigo y ser mi motivo para querer ser mejor siempre.

A Angelito, mi hermano y ángel en el cielo, quien estoy seguro que me acompaña y protege en cada paso que doy.

Paúl

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por todas las bendiciones que cada día recibo. Gracias por darme siempre más de lo que necesito.

A mis padres, Ramiro y Rita, por su amor, su entrega y su cuidado, por guiarme, y apoyarme en cada una de las metas que me propongo. Gracias por enseñarme que con dedicación y esfuerzo todo se puede alcanzar.

A mis hermanos, Sebastián y Ariel, quienes son el mejor regalo que la vida me pudo dar. Mis pequeños, gracias por su amor ustedes hacen este camino más sencillo y divertido.

A mis abuelitos, Juan y Victoria, por apoyarme y consentirme. Su amor, su cuidado y su dedicación son el mejor tesoro que conservo en mi corazón.

A mis tíos, Diego, Mayra y Byron, por ayudarme siempre, y por ser ejemplos en mi vida.

A mis primos, Adriana, Nathaly, Camila, Anahí, y Diego, cómplices de travesuras. A su lado todo momento es siempre más divertido.

A Yasmín Salazar, mi directora de tesis, por sus valiosas enseñanzas, su tiempo y su paciencia durante la realización de este trabajo. Muchas gracias por la confianza y el apoyo que me brindó.

A la DNCTSV, por la oportunidad concedida, por brindarnos los medios necesarios para la realización de este trabajo.

A mis amigas, Jaimy, Jéssica, Carolina y Erika, por permitirme aprender junto a ustedes, por compartir su tiempo y su conocimiento. A mi amigo, Ricardo, aunque el tiempo que nos conocemos es corto, las risas, las experiencias, y las palabras de aliento nunca faltaron.

A mis amigos del laboratorio, por compartir sus experiencias y su conocimiento, porque con ustedes todo proyecto y actividad es un aprendizaje continuo.

A Isabel Montesdeoca, ACI, por su tiempo y su acompañamiento. Por los consejos y conocimiento, elementos esenciales para mi desarrollo personal y profesional.

Andrea

DEDICATORIA

A mi familia, por siempre haber querido verme llegar lejos y volar alto. Este trabajo es fruto de todas sus enseñanzas, amor y apoyo.

Paúl

DEDICATORIA

*Para mis dos mamás Rita y Victoria,
por todo el amor brindado,
por siempre velar por mi bienestar
por siempre creer en mí,
por invertir su tiempo en mis ilusiones.
Para mi papá y mis hermanos.
¡Todo lo que tengo es por y para ustedes!*

¡Lo logramos!

Andrea

CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	2
Preámbulo	3
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Justificación	7
1.3 Objetivo general	8
1.4 Objetivos específicos	8
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA	9
2.1 Los accidentes de tránsito	9
2.2 Efectos de los accidentes de tránsito	10
2.2.1 Sobre el aspecto económico agregado	10
2.2.2 Sobre la salud	11
2.2.3 Sobre el aspecto socioeconómico individual	14
3 DATOS Y METODOLOGÍA	17
3.1 Descripción de los datos	17
3.2 Metodología	19
3.3 Descripción de las variables	25
3.3.1 Variable dependiente	25
3.3.2 Variables independientes	26
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Mapa de la red vial estatal: competencia de la Policía Nacional	18
3.2	Número y proporción de conductores accidentados por severidad y año . . .	25
3.3	Proporción de conductores involucrados en accidentes fatales por edad y sexo	26
3.4	Frecuencia de conductores accidentados por severidad, edad y sexo	27
3.5	Porcentaje de conductores accidentados por severidad, sexo y año	27
3.6	Severidad de los accidentes por el número de conductores identificados . . .	28
3.7	Las 15 causas más frecuentes de accidentes de tránsito durante el periodo 2016-2019	29
3.8	Proporción de conductores accidentados por severidad y causa del accidente	30
3.9	Proporción de conductores accidentados por severidad y tipo de vehículo . .	31
3.10	Proporción de conductores accidentados por severidad y factor relacionado con el choque	32
3.11	Función de densidad del número de conductores accidentados por severidad y día	32
3.12	Porcentaje de conductores accidentados por severidad y periodo de la semana	33
3.13	Función de densidad del número de conductores accidentados por hora y severidad	34
3.14	Proporción de conductores accidentados por severidad y tipo de carretera . .	35
3.15	Proporción de conductores accidentados por severidad y condición de la vía	35
3.16	Proporción de conductores accidentados por severidad y zona del accidente	36
3.17	Número de conductores accidentados por severidad y año	37
4.1	Magnitud de los efectos marginales sobre la fatalidad	39
4.2	Efectos marginales por la edad y sexo	40
4.3	Efectos marginales por la edad y periodo del día	42

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Variables seleccionadas para el modelo	24
3.2	Causas de accidentes de tránsito consideradas por la Policía Nacional	29
3.3	Categorías de los tipos de vehículos	31
4.1	Resultados de las estimaciones	38
5.1	Prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras - Accidentes fatales	50
5.2	Prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras - Accidentes no fatales . .	50
5.3	Efectos marginales del modelo	51
5.4	Resultados de la prueba de Breusch - Pagan	52
5.5	Resultados de la prueba de Ramsey RESET	52
5.6	Prueba F para las variables relacionadas con el factor humano	53
5.7	Prueba F para las variables relacionadas con el factor vehículo	53
5.8	Prueba F para las variables relacionadas con el factor vía	53

RESUMEN

Los accidentes de tránsito cuestan alrededor del 3 % del PIB de un país. Según la Organización Mundial de la Salud, cada año mueren cerca de 1,3 millones de personas, y, entre 20 y 50 millones de personas padecen traumatismos no mortales. El 93 % de las muertes por accidente de tránsito se producen en países de ingresos bajos y medianos. En el caso de Ecuador, en el año 2018, los accidentes de tránsito fueron la sexta causa de muerte. El número de accidentes en el país ha disminuido durante el periodo 2016 - 2019; sin embargo, el número de fallecidos ha incrementado. La severidad de las lesiones causadas por los accidentes trae como consecuencia diversos tipos de pérdidas: de capital, de productividad, de calidad de vida. También a esta lista se pueden citar cambios en la estructura familiar. El presente estudio analiza los factores que inciden en la probabilidad de que un accidente de tránsito sea catalogado de tipo fatal, para lo cual se utilizan las bases de datos de accidentes de tránsito de la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional del Ecuador, periodo enero 2016 – abril 2019. Para esto, se realiza la estimación de un modelo logit. Los resultados sugieren que los conductores hombres tienen una mayor probabilidad de estar involucrados en accidentes de tránsito de tipo fatal. Con respecto al tipo de vehículo, el uso de motocicletas presenta una mayor probabilidad de generar accidentes de tipo fatal comparado con el resto de tipos de vehículo. Además, si el conductor se accidentó en la noche la probabilidad de que el siniestro resulte fatal incrementa.

Palabras clave: Modelo logit; Muertes por accidentes de tránsito; Fatalidad de los accidentes de tránsito.

ABSTRACT

Traffic accidents cost around 3 % of a country's GDP. According to the World Health Organization, about 1.3 million people die every year, and between 20 and 50 million people suffer non-fatal injuries. The 93 % of road deaths occur in low and middle income countries. In the case of Ecuador, road traffic accidents were the sixth cause of death in 2018. The number of accidents in the country has decreased during the period 2016 - 2019; however, the number of deaths has increased. The severity of injuries caused by accidents results in various types of losses: capital, productivity, quality of life. Changes in family structure can also be cited from this list. This study analyzes the factors that influence the likelihood of a traffic accident being classified as a fatal one, using road traffic accident databases of the Dirección Nacional de Control de Tránsito Y Seguridad Vial (DNCTSV), for the period January 2016 - April 2019. For this purpose, a logit model is estimated. The results suggest that male drivers have a higher likelihood of being a victim of fatal traffic accidents. In respect of vehicle types, the use of motorcycles has a higher probability of generating fatal traffic accidents than all other types of vehicles. Also, if the driver was in an accident at night, the likelihood of fatality increases.

Keywords: Logit model; Traffic accidents deaths; Injury severity.

PREÁMBULO

Los accidentes de tránsito son un serio problema de salud a nivel mundial, al punto que, en el año 2018, fueron la principal causa de muerte de niños y jóvenes adultos entre 5 y 29 años (Organización Mundial de la Salud, 2018). Además, existen estudios que sugieren que los accidentes de tránsito tienen un efecto negativo sobre la economía del país. Si se presentan altas tasas de mortalidad por accidentes de tránsito, el Producto Interno Bruto (PIB) real per cápita de los países puede reducirse (Fumagalli et al., 2017).

Con respecto al individuo, si la víctima sobrevive al accidente puede presentar lesiones que afectarán su calidad de vida en el corto y largo plazo. Además, si el individuo sufre heridas graves puede perder su trabajo lo que puede generar dificultades financieras para la víctima y su familia.

El análisis de los factores y circunstancias bajo las cuales ocurren los accidentes de tránsito de tipo fatal permite generar información útil para el mejoramiento de la seguridad vial del país y para el diseño de políticas públicas. Varios estudios han sido llevados a cabo para identificar las variables que podrían influir sobre la frecuencia y la severidad de los accidentes. Sin embargo, como lo señalan Savolainen, Mannering, Lord, y Quddus (2011), los factores que afectan a la frecuencia podrían ser diferentes de los que influyen a la severidad del siniestro; por tanto, deberían ser estudiados por separado.

Por lo antes mencionado, el presente estudio tiene como objetivo establecer los factores que influyen en el nivel de severidad de un accidente de tránsito, distinguiendo entre los siguientes tipos: fatal y no fatal. Para esto se utilizan las bases de datos de accidentes de tránsito proporcionadas por la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional del Ecuador, perteneciente al periodo enero 2016 - abril 2019. Se estima un modelo de elección discreta para analizar los factores que inciden en la fatalidad del accidente de tránsito.

La investigación consta de cinco capítulos. En el Capítulo 1 se aborda la problemática relacionada a los accidentes de tránsito y sus principales consecuencias. Adicionalmente, se justifica la relevancia del estudio y se incluyen los objetivos de la investigación.

El Capítulo 2 corresponde a la revisión de la literatura sobre los accidentes de tránsito. Inicialmente, se detallan los estudios que señalan la pérdida de productividad y capital humano debido a la severidad de los siniestros. A continuación, se incluyen investigaciones que analizan el impacto que tienen los accidentes sobre la salud y, consecuentemente, sobre el aspecto socioeconómico de los individuos que han sido víctimas de un accidente de tránsito.

En el Capítulo 3 se realiza la descripción de los datos y de la metodología utilizada. En la primera sección, se describen las bases de datos de accidentes de tránsito proporcionadas por la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional. Posteriormente, se describe la metodología utilizada la cual corresponde a un modelo logit. Asimismo, se realiza el análisis de estadística descriptiva de las variables utilizadas en el modelo.

El Capítulo 4 contiene los resultados obtenidos de la estimación del modelo logit. El modelo analiza la incidencia de cada una de las variables asociadas a los factores humano, vehículo y vía, en la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tipo fatal.

Finalmente, en el Capítulo 5 se incluyen las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de los resultados del estudio.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que los países se desarrollan, las tasas de mortalidad suelen disminuir; particularmente, existe una reducción de las muertes producidas por enfermedades que afectan a los más jóvenes (Kopits & Cropper, 2003). Sin embargo, las muertes por accidentes de tránsito constituyen una excepción a ese patrón de comportamiento, pues, el crecimiento de vehículos automotores que acompañan al desarrollo económico, en general, trae consigo un aumento de los accidentes de tránsito (Karacasu, Ergül, & Altin Yavuz, 2014).

Los accidentes de tránsito son un serio problema para la salud pública. A nivel mundial, cada año mueren cerca de 1,3 millones de personas, y, entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales (Organización Mundial de la Salud, 2017). En la mayoría de los países, los accidentes de tránsito siguen incrementando. Las estadísticas mundiales señalan que para el año 2000 los accidentes de tránsito eran la décima causa de muerte; en cambio, para el 2016 pasaron a ser la octava causa de muerte.

En Ecuador, los siniestros de tránsito en el año 2000 fueron la quinta causa de muerte; mientras que, para 2016 pasaron a ser la sexta causa de muerte (*Estadísticas Vitales INEC*, 2017). Según la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial de la Policía Nacional (2018) existieron aproximadamente 3160 muertes por año a causa de los accidentes de tránsito.

En lo que respecta al ámbito económico individual, los accidentes de tránsito generan un considerable costo económico para las víctimas y sus familiares (Másilková, 2017). Estas pérdidas se generan a partir de los costos de tratamientos médicos, así como por la pérdida de productividad de aquellos individuos que, por causa del accidente, sufren algún tipo de discapacidad (Mayou & Bryant, 2003). Asimismo, los demás miembros de la familia, en algunos casos, deben tomarse un tiempo de sus actividades productivas para cuidar de las víctimas (Blincoe et al., 2002).

La economía del país se ve afectada debido a que la población en edad de trabajar presenta la mayor proporción de fallecidos y discapacitados debido a los siniestros (Fumagalli et al., 2017). Para reducir el impacto económico de los accidentes, mediante una gestión

eficaz de la seguridad vial, es necesario identificar los factores que están relacionados con los accidentes de tránsito (Garrido, Bastos, de Almeida, & Elvas, 2014). Para lograr este objetivo se debe vincular las características del accidente con la severidad de las lesiones de los usuarios de las carreteras (Christoforou, Cohen, & Karlaftis, 2010).

Dentro de la literatura existen estudios que proponen varios modelos para analizar la gravedad de las lesiones de los accidentes de tránsito (Rifaat & Chin, 2007), los cuales han considerado variables como las características demográficas, el comportamiento de las personas, factores ambientales, condiciones de la carretera, y características técnicas del propio vehículo. Por ejemplo, los estudios de Al-Ghamdi (2002), Khattak, Kantor, y Council (1998) y Savolainen et al. (2011) consideraron los factores: humano, vehículo y vía. De la revisión de la literatura se evidencia que este tipo de estudios han sido realizados en Singapur, Arabia Saudita, Alemania, Estados Unidos, Reino Unido, Australia, Francia y Hong Kong (Christoforou et al., 2010).

Según se desprende de la revisión de la literatura realizada, para mejorar la seguridad vial y reducir el número de muertes por accidentes de tránsito es necesario analizar y comprender cada uno de los factores que están asociados a la probabilidad de que un accidente sea de tipo fatal. Por esta razón, en este trabajo se analizan los factores que afectan a la severidad de un accidente de tránsito en Ecuador. Los resultados del estudio pueden ser tomados en cuenta para el diseño de medidas orientadas a mejorar la seguridad vial y para la reducción del número de muertes y personas lesionadas a causa de accidentes de tránsito en el Ecuador. Para esto, se estimará un modelo logit usando los datos de accidentes de tránsito ocurridos en la red vial estatal que se encuentra bajo control de la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional, durante el periodo enero 2016 – abril 2019. Según nuestro conocimiento, no se han realizado estudios similares para el Ecuador hasta la fecha.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los analistas de políticas públicas han supuesto que las lesiones por accidentes de tránsito inciden negativamente sobre la economía, mucho más allá del impacto que tienen sobre los hogares de las personas involucradas. Sin embargo, hasta ahora no se ha podido evidenciar este perjuicio empíricamente (Fumagalli et al., 2017). Los accidentes de tránsito son la principal causa de muerte de niños y jóvenes adultos de 5 a 29 años. Además, la parte de la población económicamente activa de entre 15 a 64 años también es severamente afectada por este problema de salud pública (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Wang et al. (2016), Marquez, Banjo, Chesheva, y Muzira (2010) señalan que las diferencias de la proporción de siniestros que se da entre sexos también podrían ser económicamente significativas: los hombres son los principales afectados a causa de los accidentes de tránsito, lo que reduce la fuente de ingresos de muchos hogares. Asimismo, Miller y Luchter (1988) sugieren que los accidentes de tránsito causan una alta proporción de años de trabajo perdidos y de muertes infantiles en los países en vías de desarrollo, lo que se traduce en pérdidas de capital humano.

A nivel individual, Másilková (2017) señala las consecuencias de los accidentes de tránsito dentro de las cuales están: las afectaciones a la salud y la pérdida de bienestar social y económica sobre el accidentado y su familia. En ocasiones, los individuos pierden su empleo, lo que resulta en la disminución de sus ingresos y capacidad financiera para cubrir sus gastos.

Dado el impacto que tiene un accidente de tránsito sobre la salud del individuo, es importante reconocer que factores aumentan o disminuyen la probabilidad de sufrir lesiones graves. Las muertes y las lesiones ocasionadas por los accidentes de tránsito son temas de prioridad, no solo para la salud pública, sino también a nivel económico, ya que la seguridad vial es un requisito necesario para un desarrollo económico estable y sostenible (Banco Mundial, 2017).

Muchos países de bajos y medios ingresos han tenido pocos avances en identificar los grupos más afectados, la causa o estrategias públicas para reducir el número de víctimas de accidentes de tránsito (Marquez et al., 2010). Identificar los factores que incrementan la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito de tipo fatal es necesario para reducir las lesiones causadas. Disminuir el número de fallecidos no es solo un avance para la salud pública de una nación, puesto que esta disminución incrementa el bienestar individual

y estimula el crecimiento económico (Fumagalli et al., 2017). Los accidentes de tránsito cuestan a la mayoría de países el 3 % de su PIB (Organización Mundial de la Salud, 2017).

Los accidentes de tránsito representan un grave problema de salud pública; sin embargo, abordar este inconveniente también en términos económicos podría ser transformador, tanto entre los responsables de realizar políticas públicas como entre los encargados de proteger la salud y el bienestar de la población. Asimismo, la economía del país puede beneficiarse, debido a que altas tasas de mortalidad pueden reducir la inversión (Bloom, Canning, & Jamison, 2004).

1.3 OBJETIVO GENERAL

Analizar los factores que inciden sobre la probabilidad de que un accidente sea catalogado de tipo fatal en Ecuador, con la base de datos de accidentes de tránsito de la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional, durante el periodo enero 2016 – abril 2019.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de las variables asociadas al factor humano sobre la fatalidad de los accidentes de tránsito.
- Determinar el efecto de las variables asociadas a los factores vehículo y vía sobre la fatalidad de los accidentes de tránsito.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo se define a los accidentes de tránsito; así como, los elementos que acompañan la discusión en torno a la controversia que surge entre las diferentes concepciones sobre este tema. Adicionalmente, se abordan los accidentes de tránsito desde una perspectiva económica considerando las consecuencias que estos provocan tanto a nivel agregado como individual.

2.1 LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Según la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial de la Policía Nacional (2018), un accidente de tránsito es un suceso eventual, fortuito, involuntario, que ocurre en vías o lugares públicos o privados abiertos al tránsito vehicular y peatonal, y que ocasiona personas fallecidas, lesionadas o heridas y daños materiales en vehículos, vías o infraestructura.

Asimismo, autores como Medina, Medina, y Escobar (2017) señalan que un accidente de tránsito se define como un acontecimiento donde participan los tres elementos que conforman el tránsito: humanos, vías y vehículos. En relación a los individuos, se asocian factores como la edad y sexo. Con respecto a la vía, existen condiciones adversas propias del camino como: el tipo de calzada, las condiciones de la vía y los factores climáticos que también aportan la probabilidad de ocurrencia de un accidente de tránsito. Referente a los vehículos, se analizan factores asociados al tipo del vehículo y al estado en el que se encuentra.

En la actualidad, se discute sobre el correcto uso de la palabra “accidente” debido a que implica que el hecho sea considerado como fortuito o azaroso; por tanto, se podría decir que es algo inevitable y que los individuos deberían resignarse a su ocurrencia (Mendo, 2018). Según Delen, Sharda, y Bessonov (2006) existen factores que podrían disminuir la probabilidad de ocurrencia de estos siniestros. No obstante, y a pesar del reconocimiento de elementos asociados con los accidentes de tránsito, estos llegan sin previo aviso y, en segundos, pueden cambiar para siempre la vida de los individuos y de sus familias.

2.2 EFECTOS DE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Según la Organización Mundial de la Salud (2017), cada año mueren cerca de 1,3 millones de personas en las carreteras del mundo entero, y, entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales, lo cual representa una importante carga económica y de salud para los países.

2.2.1 Sobre el aspecto económico agregado

Los accidentes de tránsito representan la mayor causa de mortalidad y discapacidad en el largo plazo entre las personas de 15 a 29 años; asimismo, significan un número importante de víctimas entre la población en edad de trabajar, con edades comprendidas entre los 15 y 64 años (Organización Mundial de la Salud, 2015). Las marcadas diferencias de sexo también podrían tener un impacto económico: tres de cada cuatro muertes en las vías son de hombres, la fuente primaria de ingresos monetarios para los hogares en muchas sociedades (Wang et al., 2016; Marquez et al., 2010).

Los países de ingresos bajos y medios son los que presentan mayores tasas de mortalidad a causa de accidentes. Por ejemplo, en 2015 estos países presentan una tasa de 34 por 100 000 habitantes, mientras que para los 35 países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) la tasa era de 8 por 100 000 habitantes (Organización Mundial de la Salud, 2018). Además, las poblaciones de los países en desarrollo se encuentran en mayor peligro de muerte debido a su incapacidad de pagar u obtener acceso a una atención de salud apropiada, de esta forma, los habitantes de estos países son afectados desproporcionalmente por las consecuencias de las lesiones (Bambarem, 2004).

La Organización Mundial de la Salud (2016), realizó un análisis para ocho países de Asia Oriental, con el cual concluyó que los accidentes tienen un efecto negativo para las economías de países de bajos y medianos ingresos, con pérdidas en el PIB que van desde el 1.03 % en la República de Corea al 2,9 % en Vietnam. En América Latina, el costo económico por accidentes de tránsito representa entre el 1,5 % al 3.9 % del PIB (Bhalla, Diez-Roux, Taddia, De la Peña Mendoza, & Pereyra, 2013). Con respecto al Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, este podría reducirse entre 7 % y 22 % en un periodo de 24 años en los

países que no invierten en seguridad vial (Fumagalli et al., 2017).

La economía de un país en vías de desarrollo también sufriría cambios en la estructura de su mercado laboral por las pérdidas de capital humano a causa de los accidentes. De esta forma, los niveles de producción de estos países disminuyen debido a que los accidentes pueden provocar que un individuo padezca una discapacidad temporal o permanente (Blincoe et al., 2002). Asimismo, Miller y Luchter (1988) señalaron que los accidentes de tránsito causan una alta proporción de años de trabajo perdidos y de muertes infantiles en los países en vías de desarrollo, lo que se traduce en pérdidas de capital humano y se incurren en costos que la economía de un estado debe asumir.

Bloom et al. (2004) analizaron como la salud influye en el PIB, y determinaron que un año adicional de esperanza de vida incrementaría el PIB per cápita de un país en aproximadamente 4 %. Además, proponen que, para continuar con la tendencia de crecimiento, no solo se debe invertir en salud sino también en temas relacionados con esta (e.g., educación, suministros de agua, y transferencia de alimentos, entre otros).

Las muertes y las lesiones ocasionadas por accidentes de tránsito son temas de prioridad, no solo para la salud pública, sino también a nivel económico, ya que la seguridad vial es un requisito necesario para un desarrollo económico estable y sostenible (Fumagalli et al., 2017).

2.2.2 Sobre la salud

Másilková (2017) establece que las consecuencias más relevantes posteriores a un accidente de tránsito son los cambios en la salud y en el bienestar de los individuos, el impacto social que deben afrontar las víctimas, así como las dificultades financieras para cubrir todos sus gastos, ya que en ocasiones pierden su empleo.

Los trabajos realizados por Bull (1985) y Mayou y Bryant (2003) señalan que la consecuencia más trágica de un accidente de tránsito es el fallecimiento de la víctima, seguido por daños graves a la salud o algún tipo de discapacidad temporal o permanente. Si la persona sobrevive al accidente, en ciertos casos, debe cambiar su forma de vida. Por ejemplo, las personas con “lesiones graves en la cabeza, quemaduras severas y tetraplejia” no presentan una buena calidad de vida, ni un futuro productivo para contribuir a la sociedad (Miller & Luchter, 1988). Adicionalmente, se pueden presentar reacciones psicológicas, emocionales

y comportamentales que deben ser tratadas por especialistas (Watts, Anson, & Battistel, 1997).

Fumagalli et al. (2017) mencionan que el estado de salud de la población es directamente proporcional a la productividad y al desarrollo de la sociedad en la que se desenvuelve. La salud es una parte fundamental del individuo para desempeñar una actividad productiva. Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (2016) señala que un buen estado de salud debe contemplar la parte física y mental, las cuales contribuyen a un estado óptimo de las personas para vivir y trabajar.

El estado mental de una persona después de un accidente de tránsito se debilita, al menos por un tiempo. La presencia del “Trastorno de estrés postraumático” es una de las consecuencias psicológicas más comunes (Üzümçüoğlu et al., 2016). Este trastorno presenta un impacto negativo sobre la salud mental, que genera bajas expectativas de recuperación por parte de las víctimas, y para combatirlo es necesaria la intervención de especialistas como psicólogos y psiquiatras (Heron-Delaney, Warren, & Kenardy, 2017).

La parte física de un individuo se puede ver afectada por lesiones temporales o permanentes que se traducen en algún tipo de discapacidad (Mayou, Ehlers, & Bryant, 2002). Esta incapacidad restringe ciertas actividades en el trabajo y en la vida cotidiana; por ejemplo, en el caso de las personas que deben utilizar silla de ruedas (Másilková, 2017). Las discapacidades más graves no permiten que los individuos se reinserten en el mercado laboral luego de un siniestro (National Academy of Sciences, 1966).

Para la recuperación de una persona, el soporte emocional de familiares y amigos es primordial. Si la persona que sufrió un accidente de tránsito cuenta con una pareja, y recibe su apoyo durante el periodo de recuperación, esto podría tener un impacto positivo en la salud debido a la disminución en el nivel de estrés que puede generar. En el caso de que el individuo cuente con el apoyo de su empleador se incrementan las posibilidades de retornar al trabajo a pesar de que la víctima aún presente cierto tipo de dolencia (Prang, Berecki-Gisolf, & Newnam, 2015).

La gravedad del accidente de tránsito, y otros factores externos, determinan el tipo de lesiones que sufren las personas. El estado físico de los individuos después de un siniestro, usualmente, es categorizado de la siguiente manera: no lesionado, lesionado leve, lesionado grave, y fatal (Delen et al., 2006; Manner & Wunsch-Ziegler, 2013; Savolainen et al., 2011).

En el área de la investigación de la severidad de los accidentes de tránsito se han realizado esfuerzos continuos para estudiar la relación entre el tipo de lesión y un conjunto de variables explicativas, donde usualmente se incluyen: características del conductor (e.g., edad y género), particularidades relacionadas con el vehículo (e.g., tipo de automotor, años de uso y el número de vehículos involucrados en el accidente), características de la vía (e.g., tipo de camino, control de intersecciones y localización), y características del accidente (e.g., causas del siniestro) (Garrido et al., 2014).

Realizando una revisión de estudios previos, Christoforou et al. (2010) encontraron que, en su gran mayoría, los resultados que presentan dichos estudios son consistentes. Al reseñar los hallazgos de 28 investigaciones, los autores señalan que los factores que más aumentan la severidad de los accidentes son:

- La avanzada edad del conductor o del pasajero.
- Manejar bajo el efecto de sustancias estupefacientes o psicotrópicas.
- Colisiones frontales de vehículos.
- Colisiones entre vehículos pesados y motocicletas.
- Poca luminosidad.
- Carreteras con curvaturas verticales y horizontales.
- Área de localización del accidente (rural).
- El exceso de velocidad.

Asimismo, Christoforou et al. (2010) señalan que el uso de protecciones, como un casco o el cinturón de seguridad, está asociado a la reducción de la severidad de las lesiones. Otras variables como el género, tipo de intersección, condiciones de la superficie de la vía, posición y forma de sentarse, clima y características comunes del tráfico dan lugar a resultados conflictivos, en otros estudios, las conclusiones son contrarias a lo expuesto.

En resumen, los estudios acerca la severidad de los accidentes de tránsito tienen la intención de analizar la influencia de variables como las características del conductor, el tipo de vehículo, características del siniestro, el camino, clima y condiciones del tráfico sobre el nivel de gravedad de las lesiones. Dado el impacto que tiene el accidente de tránsito sobre la salud del individuo, es importante reconocer que factores aumentan o disminuyen la

probabilidad de sufrir lesiones graves. Para este propósito, se han utilizado varios enfoques metodológicos, siendo los modelos probit y logit los más utilizados.

Autores como Shibata y Fukuda (1994), Al-Ghamdi (2002) y Garrido et al. (2014) realizaron estudios para determinar los factores potenciales de riesgo sobre la fatalidad de los accidentes de tránsito mediante el uso de modelos de variable dependiente cualitativa (i.e., tipo logit o probit). Los resultados señalan que existen variables de relevancia al momento de medir la severidad de un siniestro de tránsito. Además, la identificación de estas variables clave podría ayudar a focalizar los recursos de control y prevención que emiten las agencias reguladoras de seguridad vial.

Otros autores utilizan metodologías diferentes para analizar los factores de riesgo sobre la severidad de los accidentes de tránsito (Chang & Wang, 2006; Das, Pande, Abdel-Aty, & Santos, 2008; Huang, Chin, & Haque, 2008). Savolainen et al. (2011) ofrecen una completa revisión acerca de esta literatura puntualizando las fortalezas y debilidades de cada uno de los enfoques metodológicos frecuentemente usados para analizar los datos de la severidad de los accidentes de tránsito. Los autores concluyen que el uso de una correcta metodología puede depender en una gran proporción del conjunto de datos, el número de observaciones, la cantidad y calidad de las variables explicativas, entre otras.

2.2.3 Sobre el aspecto socioeconómico individual

Los accidentes de tránsito dejan consecuencias tanto para las personas afectadas así como para sus familias. En general, las víctimas sufren una pérdida de productividad debido a sus lesiones (Guria, 1990). Asimismo, Mayou y Bryant (2003) señalan que la mayoría de muertes y discapacidades, ocasionadas por accidentes de tránsito, corresponden a personas en edad de trabajar, quienes deben enfrentar problemas en el ámbito laboral y financiero junto con sus familias.

La pérdida de la productividad está relacionada con la pérdida del empleo de las víctimas; por lo tanto, son sus familiares los que asumen los costos de hospitalización, tratamiento, rehabilitación y cualquier procedimiento médico que implique un costo futuro para la recuperación de la víctima (Ghee, Silcock, Astrop, & Jacobs, 1997).

Después de un accidente, la víctima se encuentra incapaz de trabajar, por lo que sus ingresos disminuyen, esta situación se agrava si la víctima era el sostén económico de sus

familiares, quienes sufren grandes cambios en su estructura familiar y económica para hacer frente a su nueva realidad (Blincoe et al., 2002). El impacto económico de un accidente en el ámbito familiar representa pérdidas económicas tales como la pérdida de ingresos tanto presentes como futuros (Air, McFarlane, & Psychother, 2003).

Según el Informe Mundial sobre la Discapacidad de 2011, la tasa de ocupación de personas con discapacidad en edad de trabajar es baja, mientras que la tasa de desempleo es mucho mayor en comparación con la tasa de desempleo de las personas sin discapacidad. Con respecto a los salarios, las personas con discapacidad que trabajan suelen ganar menos que sus contrapartes sin discapacidad. Asimismo, existen diferencias salariales entre mujeres y hombres con discapacidad, las mujeres con discapacidad ganan menos que los hombres (Organización Mundial de la Salud, 2011). Lo antes mencionado sugeriría que las personas con discapacidad presentan desventajas dentro del mercado laboral.

En este aspecto, se analiza además, la pérdida en la calidad de vida de la víctima y de su entorno familiar, ya que el accidente es una experiencia traumática que acarrea un cambio repentino en su vida cotidiana (Másilková, 2017). La pérdida de la calidad de vida a nivel individual significa que el individuo ha perdido la capacidad de vivir una vida plena, que incluye la oportunidad de retornar al trabajo (Rissanen, Berg, & Hasselberg, 2017).

Según Kenardy, Heron-Delaney, Warren, y Brown (2015), las personas que sufrieron lesiones leves, posteriores a un accidente, tienen mayor propensión a regresar a su trabajo. Sin embargo, conforme va incrementando el dolor y la presencia de estrés postraumático, acompañado de depresión y ansiedad, las personas presentan menores incentivos de retornar a sus actividades laborales. Rissanen et al. (2017) mencionan que las variables más significativas para predecir que una víctima de un accidente de tránsito se mantenga o no en el mercado laboral, después de sufrir un accidente de tránsito, son que la víctima haya sido conductor o pasajero, tener un diagnóstico psiquiátrico, un alto nivel de discapacidad, un elevado grado de dolor, bajas expectativas sobre su retorno al trabajo, depresión o ansiedad.

Cuando las mujeres y los jóvenes pretenden retornar a sus lugares de trabajo, las lesiones físicas son examinadas más de cerca dada su mayor vulnerabilidad socioeconómica. En el caso de que no logren retornar a sus mismos puestos de trabajo esto se convierte en un factor adicional para que su salud mental se vea afectada (Harms & Talbot, 2007).

Una solución para que los individuos retornen a sus lugares de trabajo es la intervención

de los trabajadores sociales, quienes, plantean estrategias adaptativas positivas para la reinserción laboral (Watts et al., 1997). Sin embargo, en algunos casos, el grado de discapacidad puede ser tan complejo que, en términos económicos, dicha condición es un “destino peor que la muerte” en el sentido de que el costo social total excede el valor de la vida (Guria, 1990).

Una vez identificados los principales efectos de los accidentes de tránsito tanto a nivel agregado como individual, es imperioso determinar el impacto de los factores asociados con las características del conductor, del vehículo y del medio ambiente, sobre los accidentes de tránsito. Es así como, los hacedores de políticas públicas podrían tomar decisiones orientadas a reducir la frecuencia y la gravedad de los accidentes, y con ello reducir las consecuencias económicas y sociales que estos dejan.

3 DATOS Y METODOLOGÍA

En este capítulo se describen aspectos relacionados con la base de datos y las variables utilizadas en este trabajo. Además, se presenta la metodología utilizada para la estimación del modelo que tiene como objetivo determinar las variables que inciden para que un accidente de tránsito sea catalogado de tipo fatal.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

En el presente estudio se emplean las bases de datos de accidentes de tránsito proporcionadas por la Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial (DNCTSV) de la Policía Nacional del Ecuador, pertenecientes al período enero 2016 – abril 2019. Estas bases de datos cuentan con información *in situ*; es decir, en el momento en el que sucede el siniestro se evalúa el estado del individuo situándolo en una de cuatro categorías (desconocido, ileso, herido o fallecido). Si el cuadro de salud empeora, o pasa a otro estado después de realizar la evaluación inicial, los datos pasan a formar parte de las estadísticas del Sistema de Salud Pública.

La DNCTSV es el organismo técnico de la Policía Nacional que diseña políticas operativas y ejecuta estrategias orientadas a la reducción de los accidentes de tránsito y sus consecuencias. Esta entidad recolecta la información sobre los accidentes de tránsito mediante el uso de los Formularios de Registro de Accidentes de Tránsito (FRAT), unifica y, posteriormente, genera las bases de datos que son almacenadas en el Sistema Informático Integrado de la Policía Nacional del Ecuador (SIIPNE 3W).

Las bases de datos empleadas cuentan con información de los individuos involucrados en el accidente, los vehículos que participaron en el siniestro y las características de la vía (i.e., elementos que forman parte del triángulo de seguridad). Para el periodo de análisis, se cuenta con información de 15,435 accidentes, los cuales involucran a 35,431 personas y 24,531 vehículos. La información de todas las personas no se encuentra disponible debido a que, en algunos casos, los conductores huyen del lugar del accidente llevándose o abandonando su vehículo; por tanto, para realizar el análisis únicamente se toma la información de los conductores que si han podido ser identificados. La muestra de conductores

accidentados disponible para trabajar contiene 14,484 observaciones.

Los datos sobre accidentes de tránsito corresponden a siniestros que se originan sobre las vías en las que la Policía Nacional tiene ámbito de intervención y control operativo. En la figura 3.1 se muestran los ejes viales que son competencia de la Policía Nacional, y estos corresponden al 78% de toda la red vial estatal. La Comisión de Tránsito del Ecuador y agentes civiles, en el caso del Distrito Loja, poseen la competencia del 22% restante de las carreteras estatales. La red vial estatal está compuesta por todas las carreteras que permiten la conexión entre provincias, y son administradas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Figura 3.1: Mapa de la red vial estatal: competencia de la Policía Nacional



Fuente: Anuario Estadístico de Accidentes de Tránsito y Víctimas (2018), DNCTSV
Elaborado por: Autores

3.2 METODOLOGÍA

La literatura reporta que existe una variedad de metodologías que pueden aplicarse para analizar la severidad de los accidentes de tránsito (Khattak et al., 1998); sin embargo, esta dependerá de la naturaleza de la variable dependiente.

Para el análisis de los factores que determinan la ocurrencia de los accidentes de tránsito y, en particular, aquellos que influyen para que un accidente sea caracterizado de tipo fatal, es común utilizar una variable dependiente binaria. Por tal razón, en este trabajo se estimará un modelo logit. Esta metodología ha sido utilizada por diversos estudios como los de Shibata y Fukuda (1994), Khattak et al. (1998), Al-Ghamdi (2002), Savolainen et al. (2011)

La estimación del modelo logit corresponde a la siguiente especificación:

$$P(y = 1|x) = G(\beta_0 + \beta_1x_1 + \cdots + \beta_kx_k) = G(\beta_0 + x\beta), \quad (3.1)$$

La ecuación 3.1 hace referencia a la forma de un modelo de respuesta binaria. G es una función que asume valores estrictamente entre cero y uno, $0 < G(z) < 1$, para todos los números reales Z . Se escribe $x\beta$ con el fin de representar la relación lineal entre los estimadores β_j y las variables independientes x_i , la cual es $x\beta = \beta_1x_1 + \cdots + \beta_kx_k$.

La literatura describe varias funciones no lineales para la función G , a fin de asegurar que las probabilidades estén entre cero y uno (Wooldridge, 2006). En el presente estudio se utiliza la **metodología logit**, por tanto, G es la función logística:

$$G(z) = \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)} = \Lambda(z), \quad (3.2)$$

que está entre cero y uno para todos los números reales Z . Esta es la función de distribución acumulada (fda) para una variable aleatoria logística estándar.

Esta elección de G asegura que la ecuación 3.1 esté estrictamente entre cero y uno para todos los valores de los parámetros. La función G de la ecuación 3.2 es una función creciente. Esta aumenta con más rapidez en $z = 0$, $G(z) \rightarrow 0$ a medida que $z \rightarrow -\infty$, y $G(z) \rightarrow 1$ a medida que $z \rightarrow \infty$.

El modelo logit se deriva de un modelo de variable latente subyacente, por lo que, la proba-

bilidad de ocurrencia de un evento dependerá de una variable latente o inobservable (y^*), determinada por:

$$y^* = \beta_0 + x\beta + e, y = 1[y^* > 0], \quad (3.3)$$

Wooldridge (2006) introduce la notación $1[\cdot]$ para definir un resultado binario. La función recibe el nombre de *función de indicador*, que asume el valor de uno si el evento dentro de los corchetes es verdadero y de cero caso contrario. Por tanto, y es uno si $y^* > 0$ y y es cero si $y^* \leq 0$. Se supone que e es independiente de x y que e tiene la distribución logística estándar. e se distribuye simétricamente en torno a cero, lo cual significa que $1 - G(z - z) = G(z)$ para todos los números reales Z .

A partir de la ecuación 3.3 y de los supuestos establecidos, se puede calcular la probabilidad de respuesta para y :

$$\begin{aligned} P(y = 1|x) &= P(y^* > 0|x) = P[e > -(\beta_0 + x\beta)|x] \\ &= 1 - G[-(\beta_0 + x\beta)] = G(\beta_0 + x\beta), \end{aligned} \quad (3.4)$$

lo cual es exactamente lo mismo que la ecuación 3.1.

En los modelos de elección binaria, el mayor objetivo es explicar los efectos de las x_j sobre la probabilidad de ocurrencia $P(y = 1|x)$. La ecuación que forma a la variable latente sugiere que solo importa el efecto de cada x_j sobre y^* . En este sentido, la variable latente y^* rara vez tiene una unidad de medición definida. Por tanto, el tamaño de cada β_j no es, por sí misma, de mucha utilidad (comparando con el modelo de probabilidad lineal). En general, se desea calcular el efecto de x_j sobre la probabilidad de éxito $P(y = 1|x)$; sin embargo, este proceso se dificulta por la característica no lineal de $G(\cdot)$ (Wooldridge, 2006).

Así, si x_j es una variable aproximadamente continua, su efecto parcial sobre $p(x) = P(y = 1|x)$ se obtiene de la derivada parcial:

$$\frac{\partial p(x)}{\partial x_j} = g(\beta_0 + x\beta)\beta_j, \quad \text{donde } g(z) \equiv \frac{dG}{dz}(z). \quad (3.5)$$

El efecto parcial de x_j sobre $p(x)$ depende de x a través de la cantidad positiva $(\beta_0 + x\beta)$, lo cual significa que el efecto parcial siempre tiene el mismo signo que β_j . Después de las estimaciones del modelo, Greene (2000) sugiere realizar un análisis de correcta

especificación revisando los siguientes aspectos: heterocedasticidad y variable omitida.

La heterocedasticidad se genera cuando la varianza del término de error no es constante; por lo que, si no se corrige podría ocasionar estimadores no eficientes (Greene, 2000). La prueba de Breusch-Pagan se utiliza para determinar la presencia de heterocedasticidad, donde se analiza si la varianza esperada de los residuos depende de las variables independientes. Por tanto, la prueba establece la hipótesis nula, H_0 , que indica si la varianza es homocedástica y la hipótesis alternativa, H_1 , caso contrario.

Si la hipótesis nula es rechazada, el modelo se encuentra bajo heterocedasticidad y, los errores estándar de los estimadores están sesgados. Por lo que, los estimadores dejan de ser eficientes; para corregir este problema existen varias alternativas, una de ellas es correr el modelo con errores estándar robustos, que consiste en sacar la raíz cuadrada del estimador de la varianza (Gujarati & Porter, 2010).

La omisión de variable relevante causa un problema en la estimación del modelo logit similar al que se tiene en la estimación del modelo clásico. En el modelo de regresión lineal, si el modelo real es $y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon$ y se omite x_2 , el estimador β_1 será sesgado e ineficiente, a menos que x_1 y x_2 sean ortogonales. Yatchew y Griliches (1985) examinaron el mismo problema al estimar un modelo logit, donde encontraron que si se omite x_2 de un modelo que contiene x_1 y x_2 , (i.e., $\beta_2 \neq 0$) entonces,

$$plim \hat{\beta}_1 = c_1 \beta_1 + c_2 \beta_2, \quad (3.6)$$

donde c_1 y c_2 son funciones complejas con parámetros desconocidos. Esto implica que aunque la variable omitida no esté correlacionada con la incluida en el modelo, el estimador de la variable incluida será inconsistente. Wooldridge (2006) sugiere realizar la prueba de Ramsey RESET para detectar de forma general la especificación incorrecta de formas funcionales. La idea de la prueba es la siguiente, si el modelo original es $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \mu$ y sea \hat{y} el valor ajustado obtenido de su estimación por MCO, se considera la siguiente ecuación ampliada:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \delta_1 \hat{y}^2 + \delta_2 \hat{y}^3 + error \quad (3.7)$$

La hipótesis nula es que la ecuación 3.7 está correctamente especificada; por tanto, el

estadístico F de la prueba de hipótesis $H_0 : \delta_1 = 0, \delta_2 = 0$ sería la prueba de RESET. La prueba F se realiza cuando se desea probar si un grupo de factores no tiene relación sobre y , considerando que se controla otro grupo de factores (Wooldridge, 2006). Para obtener la prueba para el caso general, se considera un modelo no limitado o restringido con k variables independientes como se detalla a continuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_k x_k + \mu; \quad (3.8)$$

el número de parámetros en el modelo no limitado es $k + 1$. Se supone que se desea probar q restricciones; es decir, la hipótesis a probar sería la siguiente: q de las variables de la ecuación 3.8 son nulas. Simplificando la notación, se supone que dichas q variables son las últimas de la lista de variables independientes x_{k-q+1}, \dots, x_k (donde el orden de las variables carece de importancia). La hipótesis nula es:

$$H_0 : \beta_{k-q+1} = 0, \dots, \beta_k = 0 \quad (3.9)$$

la cual impone q restricciones de exclusión a la ecuación 3.8. La hipótesis alternativa de la expresión 3.9 es que al menos uno de los coeficientes que se especifican es diferente de 0. El modelo restringido se lo obtiene imponiendo las restricciones bajo H_0 de la manera siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_{k-q} x_{k-q} + \mu. \quad (3.10)$$

Para analizar el efecto de cada uno de los factores sobre la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tipo fatal se estima el modelo cuya forma funcional se detalla a continuación:

$$\begin{aligned} fatal_i = & \beta_0 + \beta_1 edad_i + \beta_2 edad_i^2 + \beta_3 sexo_i + \beta_4 num_conductores_i + \beta_5 causa_acc_i + \\ & \beta_6 tipo_vh_i + \beta_7 factor_choque_i + \beta_8 periodo_semana_i + \beta_9 periodo_dia_i + \\ & \beta_{10} tipo_via_i + \beta_{11} condicion_via_i + \beta_{12} zona_acc_i + \beta_{13} año_i + e_i \end{aligned} \quad (3.11)$$

Con $i = 1, \dots, 14484$ observaciones

Donde:

$$fatal_i = \begin{cases} 1 & \text{Si en el accidente de tránsito del conductor } i \text{ falleció al menos una persona} \\ 0 & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

β_0 : Término constante.

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{13}$: Estimadores.

e_i : Término de error.

$edad_i$: Edad del conductor i .

$edad_i^2$: Edad al cuadrado del conductor i .

$sexo_i$: Indica el sexo del conductor i .

$num_conductores_i$: Número de conductores involucrados en el accidente del conductor i .

$causa_acc_i$: Causa del accidente del conductor i .

$tipo_vh_i$: Tipo de vehículo usado por el conductor i .

$factor_choque_i$: Factor que intervino en el choque del conductor i .

$periodo_semana_i$: Periodo de la semana en donde se accidentó el conductor i .

$periodo_dia_i$: Periodo del día en donde se accidentó el conductor i .

$tipo_via_i$: Tipo de carretera en donde se accidentó el conductor i .

$condicion_via_i$: Condiciones de la vía cuando el accidente del conductor i se produjo.

$zona_acc_i$: Zona donde ocurrió accidente del conductor i .

Adicionalmente, se coloca el año de ocurrencia del accidente de tránsito. A continuación, en la tabla 3.1 se detallan las variables que intervienen en el modelo propuesto.

Tabla 3.1: Variables seleccionadas para el modelo

Variable	Naturaleza	Descripción
<i>fatal</i>	Dummy	1 si el accidente del conductor fue fatal, 0 caso contrario.
<i>edad</i>	Continua	La edad del conductor.
<i>edad</i> ²	Continua	La edad del conductor elevada al cuadrado.
<i>sexo</i>	Dummy	1 si el sexo del conductor es masculino*, 0 caso contrario.
<i>num_conductores</i> ⁺	Categórica	Número de conductores identificados en el accidente.
<i>1_conductor</i>	Dummy	1 si se identificó hasta 1 conductor, 0 caso contrario.
<i>2_conductores</i> *	Dummy	1 si se identificaron 2 conductores, 0 caso contrario.
<i>3_mas_conductores</i>	Dummy	1 si se identificaron 3 o más conductores, 0 caso contrario.
<i>causa_acc</i> ⁺	Categórica	Causa por la que ocurrió el accidente del conductor.
<i>falta_at_condiciones</i> *	Dummy	1 falta de atención a las condiciones, 0 caso contrario.
<i>estado_embriaguez</i>	Dummy	1 estado de embriaguez, 0 caso contrario.
<i>falta_at_conduccion</i>	Dummy	1 falta de atención a la conducción, 0 caso contrario.
<i>exceso_velocidad</i>	Dummy	1 exceso velocidad, 0 caso contrario.
<i>otras</i>	Dummy	1 otra causa, 0 caso contrario.
<i>tipo_vh</i> ⁺	Categórica	Tipo de vehículo que el conductor usó en el accidente.
<i>tipo_motocicleta</i>	Dummy	1 si se accidentó en una motocicleta, 0 caso contrario.
<i>tipo_liviano</i> *	Dummy	1 si se accidentó en un vehículo liviano, 0 caso contrario.
<i>tipo_especial</i>	Dummy	1 si se accidentó en un vehículo especial, 0 caso contrario.
<i>tipo_pesado</i>	Dummy	1 si se accidentó en un vehículo pesado, 0 caso contrario.
<i>factor_choque</i> ⁺	Categórica	Factor que intervino en el accidente del conductor.
<i>factor_persona</i>	Dummy	1 si intervino alguna persona, 0 caso contrario.
<i>factor_vh</i> *	Dummy	1 si intervinieron solo vehículos, 0 caso contrario.
<i>factor_otro</i>	Dummy	1 si intervino algún otro factor, 0 caso contrario.
<i>periodo_semana</i>	Dummy	1 si el conductor se accidentó el fin de semana, 0 caso contrario.
<i>periodo_dia</i> ⁺	Categórica	Periodo del día donde se accidentó el conductor.
<i>dia_06 – 12</i>	Dummy	1 si se accidentó entre las 06h00-12h00, 0 caso contrario.
<i>dia_12 – 18</i> *	Dummy	1 si se accidentó entre las 12h00-18h00, 0 caso contrario.
<i>noche_18 – 23</i>	Dummy	1 si se accidentó entre las 18h00-23h00, 0 caso contrario.
<i>noche_23 – 06</i>	Dummy	1 si se accidentó entre las 23h00-06h00, 0 caso contrario.
<i>tipo_via</i>	Dummy	1 si el accidente ocurrió en carretera empedrada, lastrado o de tierra, 0 caso contrario.
<i>condicion_via</i>	Dummy	1 si el conductor se accidentó en una vía seca, 0 caso contrario.
<i>zona_acc</i>	Dummy	1 si el conductor se accidentó en una zona rural, 0 caso contrario.

⁺ Variable categórica desagregada en variables tipo dummy

* Categoría base

Elaborado por: Autores

3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1 Variable dependiente

Fatal: esta variable señala si el accidente en donde estuvo involucrado el conductor i es considerado de tipo fatal o no fatal. El accidente tiene una severidad “fatal” si al menos una persona relacionada con el accidente (e.g., conductor, pasajero o transeúnte) falleció en ese momento y “no fatal” caso contrario.

$$fatal_i = \begin{cases} 1 & \text{Si en el accidente de tránsito del conductor } i \text{ falleció al menos una persona} \\ 0 & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

En la figura 3.2 se observa que el número de conductores involucrados en accidentes fatales durante el periodo 2016 y 2018 no presenta una gran variación. Sin embargo, el número de conductores envueltos en accidentes no fatales va decreciendo conforme transcurren los años. Esta relación indicaría que, aunque se observa una reducción en el número total de accidentes, la proporción de accidentes fatales está incrementando.

Figura 3.2: Número y proporción de conductores accidentados por severidad y año



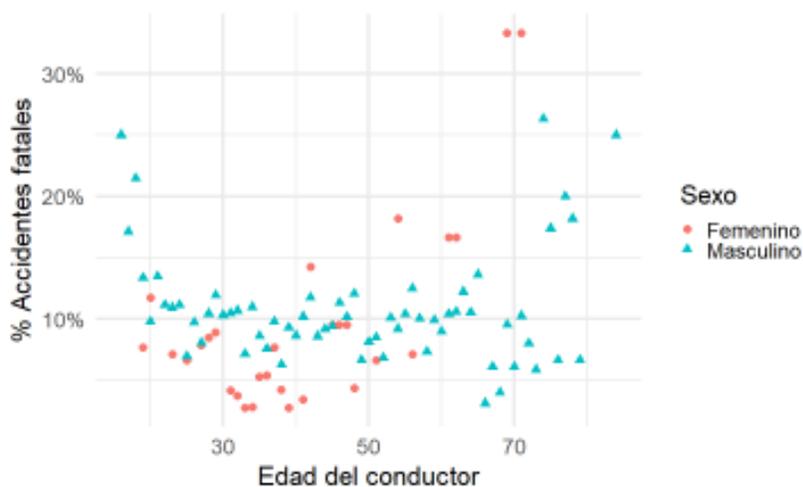
Elaborado por: Autores

3.3.2 Variables independientes

Edad: número de años cumplidos por el conductor del vehículo en el momento del accidente. Para el análisis, el rango de edad está comprendido entre los 16 años, edad permitida para obtener un permiso de conducción de vehículos motorizados, hasta los 87 años, ya que para edades mayores existe muy poca o nula frecuencia de accidentes.

Edad²: variable equivalente a la edad de los conductores elevado cuadrado. Al-Ghamdi (2002) señala que para cuantificar el efecto de la edad y la probabilidad de estar envuelto en un accidente de tránsito severo se debe agregar esta variable, la cual muestra el comportamiento de los individuos frente a decisiones que conllevan cierto nivel de riesgo.

Figura 3.3: Proporción de conductores involucrados en accidentes fatales por edad y sexo



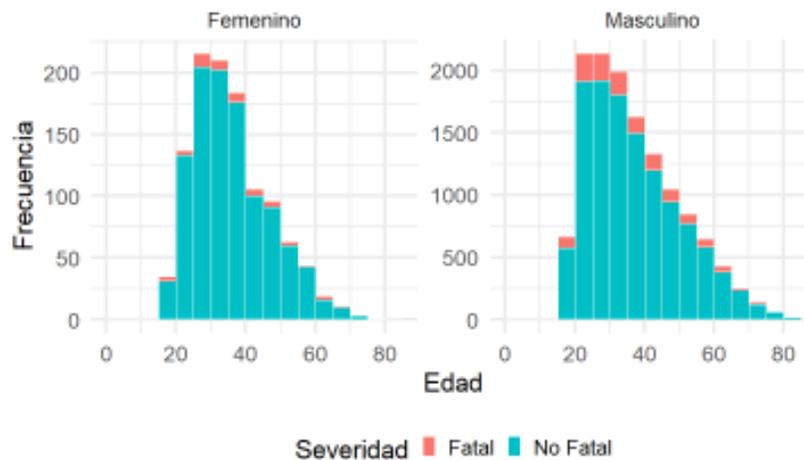
Elaborado por: Autores

En la figura 3.3 se evidencia que, tanto los conductores muy jóvenes como los adultos mayores, tienen un mayor porcentaje de accidentes fatales. Los conductores menores a 20 años pueden presentar una conducta impulsiva y poca experiencia al momento de conducir (McCartt, Shabanova, & Leaf, 2003); mientras que, los adultos mayores presentan una reducción en la fuerza, la coordinación, el tiempo de reacción, la capacidad de concentración y la audición (Abou-Raya & ElMeguid, 2009). Para la edad comprendida entre los 20 a los 50 años, el porcentaje de conductores envueltos en accidentes fatales tanto para hombres como para mujeres es menor al 15%. A partir de los 50 años este porcentaje tiene una tendencia creciente, aunque con mayor variabilidad.

Sexo: al analizar los datos sobre el sexo del conductor y la proporción de accidentes de tipo fatal se observa que, en general, las mujeres tienen una menor proporción de siniestros de tipo fatal. A partir de los 53 años, esta relación cambia y es mayor que la proporción de accidentes fatales de los hombres; sin embargo, estos son casos raros.

La figura 3.4 muestra la distribución de los accidentes de los conductores hombres y mujeres en intervalos de 5 años de edad. El histograma señala que las mujeres se accidentan con mayor frecuencia cuando tienen entre 25 a 35 años; mientras que, los hombres se accidentan con mayor frecuencia entre los 20 a 30 años. Además, se observa que, en el caso de las mujeres la frecuencia de accidentes fatales y no fatales es menor en comparación con la frecuencia de accidentes de los hombres.

Figura 3.4: Frecuencia de conductores accidentados por severidad, edad y sexo



Elaborado por: Autores

Figura 3.5: Porcentaje de conductores accidentados por severidad, sexo y año

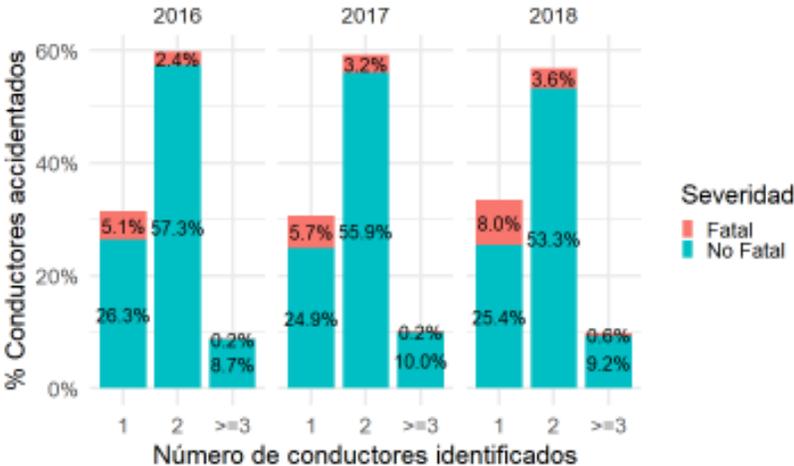


Elaborado por: Autores

En la figura 3.5 se observa que del total de conductores que se accidentan año tras año, un porcentaje pequeño (alrededor del 4 % al 9,5 %) corresponden a mujeres. Además, se muestra que el número de mujeres involucradas en un accidente de tránsito de tipo fatal es relativamente menor a comparación de los hombres. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (2017) los hombres tienen una mayor probabilidad de morir en un accidente de tránsito con relación a las mujeres.

Número de conductores identificados en el accidente: variable que muestra el número de conductores que se identificaron en el accidente de tránsito.

Figura 3.6: Severidad de los accidentes por el número de conductores identificados



Elaborado por: Autores

Mediante la figura 3.6 se puede observar que, durante todos los años, el menor porcentaje de conductores envueltos en accidentes fatales corresponde a accidentes con tres o más conductores identificados. Esta proporción sugiere que, mientras más conductores se accidenten en un mismo siniestro (i.e., colisiones múltiples) se observará una menor fatalidad en ese accidente de tránsito. En accidentes con un solo conductor se tienen alrededor de un 5,1 % a 8 % de siniestros fatales; mientras que, para accidentes con tres o más conductores los accidentes fatales disminuyen a menos de 1 %.

Esta variable se utiliza como proxy del número de vehículos involucrados en el accidente de tránsito y mostraría, *a priori*, que mientras más vehículos se encuentren involucrados en el accidente de tránsito menor será la severidad del mismo.

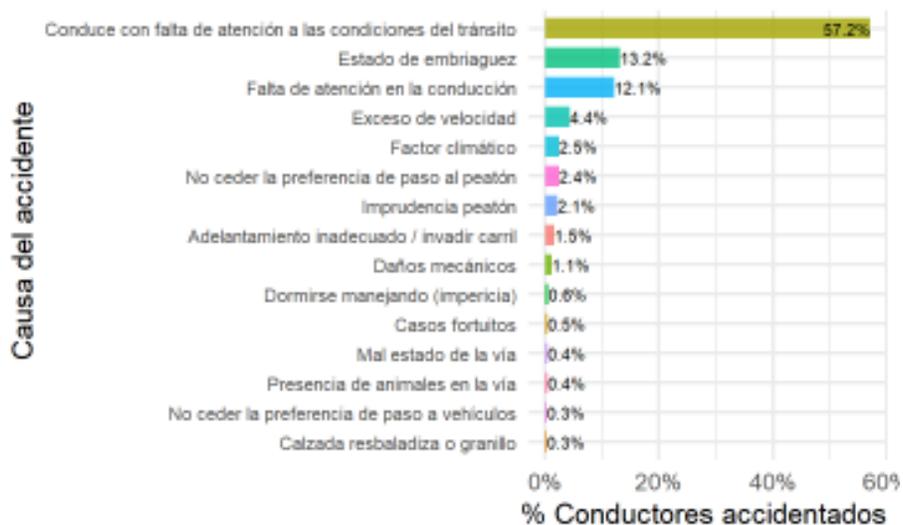
Causa del accidente: variable que indica el motivo por el cual se generó el accidente de tránsito. En la tabla 3.2 se detallan todas las causas que considera y registra la Policía Nacional. A partir de estas causas, se determinan las razones por las cuales puede ocurrir un accidente de tránsito.

Tabla 3.2: Causas de accidentes de tránsito consideradas por la Policía Nacional

Causas	
Adelantamiento inadecuado / invadir carril	Falta de señalización
Bajarse o subirse de vehículos en movimiento	Imprudencia peatón
Calzada resbaladiza o granillo	Mal estacionamiento
Casos fortuitos	Mal estado de la vía
Conduce con falta de atención a las condiciones	No ceder la preferencia de paso al peatón
Conducir en contravía	No ceder la preferencia de paso a vehículos
Daños mecánicos	No guardar la distancia lateral
Dormirse manejando (impericia)	No respetar las señales manuales del agente
Encandilamiento	No respetar las señales de tránsito
Estado de embriaguez	Obstáculos en la vía
Exceso de velocidad	Peso y volumen del vehículo
Factor climático	Presencia de animales en la vía
Falta de atención en la conducción	Transita bajo influencia del alcohol (peatón)
Fallas de iluminación en la vía	

Elaborado por: Autores

Figura 3.7: Las 15 causas más frecuentes de accidentes de tránsito durante el periodo 2016-2019

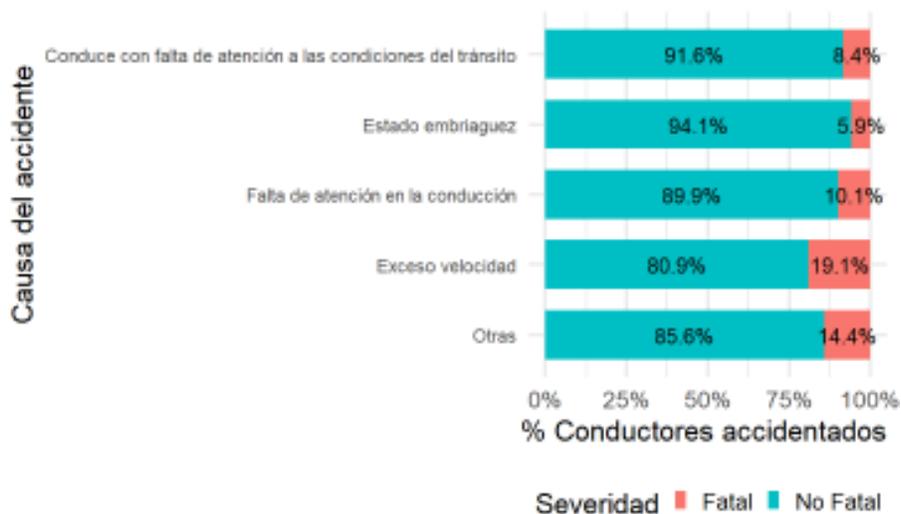


Elaborado por: Autores

En la figura 3.7 se puede observar las causas más frecuentes por las cuales se accidentan los conductores en las vías de Ecuador. Para el desarrollo del trabajo, se consideró las cuatro principales causas de accidentes de tránsito en función de su frecuencia. La conducción con falta de atención a las condiciones del tránsito es la principal causa de accidentes con un 57.2%. Las causas de estado de embriaguez, falta de atención en la conducción y

exceso de velocidad son las siguientes en el ranking; sin embargo, se observa que tienen una frecuencia mucho menor en comparación con la primera. Las demás causas tienen una frecuencia menor al 2.6 %, por tanto, para su análisis las mismas fueron agrupadas en la variable “otras”.

Figura 3.8: Proporción de conductores accidentados por severidad y causa del accidente



Elaborado por: Autores

En la figura 3.8 se evidencia que existe una mayor proporción de conductores envueltos en accidentes fatales debido al exceso de velocidad. El porcentaje de conductores con accidentes fatales es similar para las dos causas de falta de atención (conducir con falta de atención a las condiciones del tránsito y falta de atención en la conducción), lo que sugiere que tiene el mismo efecto no prestar atención a las condiciones de tránsito que a la conducción en sí. Cabe recalcar que las vías sobre las que tiene competencia la Policía Nacional corresponden a carreteras interprovinciales. Esta razón podría justificar lo que se observa en el gráfico, el cual señala una baja proporción de conductores con accidentes fatales cuando se encuentran en estado de embriaguez.

Tipo de vehículo: variable que agrupa a los vehículos en categorías según sus características técnicas y comerciales. Las categorías son las que a continuación se detalla en la tabla 3.3, en donde se presentan los siguientes grupos: motocicletas, vehículos especiales, livianos y pesados.

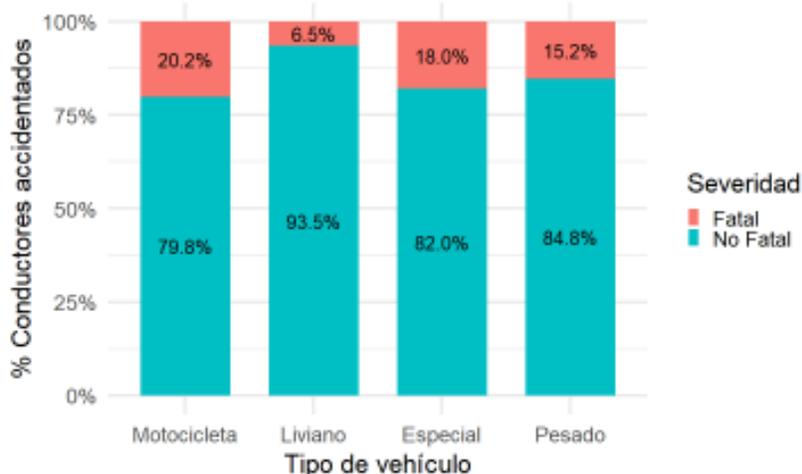
Tabla 3.3: Categorías de los tipos de vehículos

Tipo de vehículo	Categoría
Motocicleta	Motocicleta
Automóvil	Liviano
Camioneta	Liviano
Jeep	Liviano
Vehículo utilitario	Liviano
Especial	Especial
Vehículo especial	Especial
Autobús	Pesado
Camión	Pesado
Omnibus	Pesado
Tanquero	Pesado
Tráiler	Pesado
Unidad de carga y remolque	Pesado
Volqueta	Pesado

Elaborado por: Autores

En la figura 3.9 se evidencia que la mayor proporción de conductores involucrados en un accidente fatal están asociados al uso de motocicletas (20 %) seguido por la conducción de vehículos especiales (18 %), pesados (15 %) y finalmente los vehículos livianos (7 %).

Figura 3.9: Proporción de conductores accidentados por severidad y tipo de vehículo

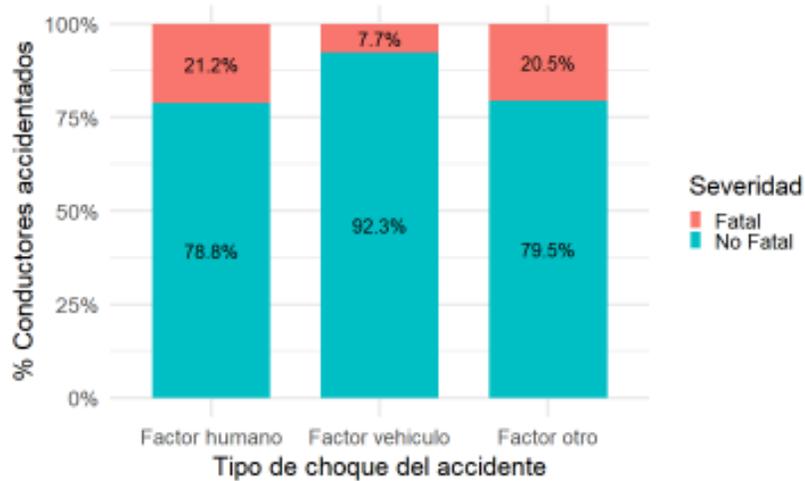


Elaborado por: Autores

Factor relacionado con el choque: variable que muestra si el tipo de choque que sufrió el conductor estuvo relacionado con un factor humano (e.g., arrollamiento, atropellamiento, entre otros), solo con el factor vehículo (e.g., volcamiento, choque frontal, choque lateral) o con algún otro factor (e.g., choque con animales, objetos).

En la figura 3.10 se observa que existe una menor proporción de conductores con accidentes fatales cuando el accidente se relaciona solo con el vehículo. Esto sugiere que en los accidentes donde interviene un factor externo al vehículo habría una mayor fatalidad.

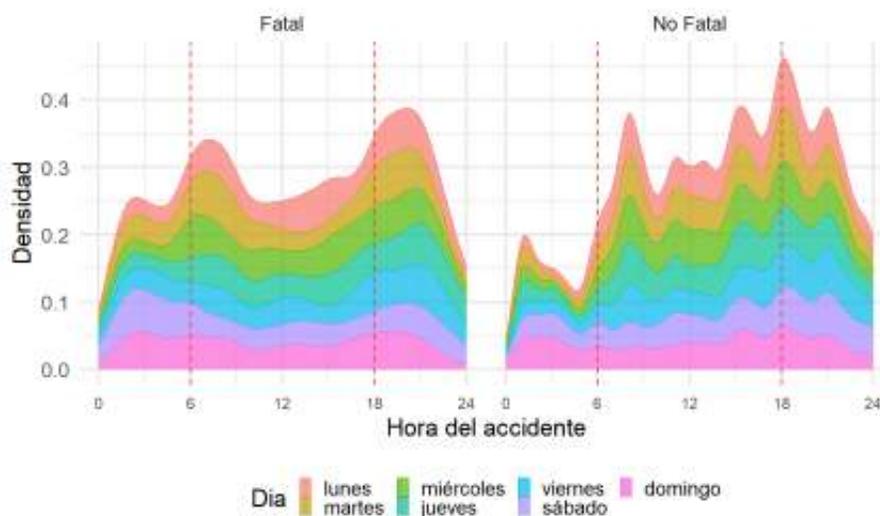
Figura 3.10: Proporción de conductores accidentados por severidad y factor relacionado con el choque



Elaborado por: Autores

Periodo de la Semana: variable dummy que hace relación al día en el cual ocurrió el accidente. Christoforou et al. (2010), después de analizar varios trabajos, concluyen que los siniestros que ocurren el fin de semana tienen una mayor probabilidad de ser más severos. En la figura 3.11 se puede observar el comportamiento de los accidentes de tránsito durante cada día de la semana y por su severidad.

Figura 3.11: Función de densidad del número de conductores accidentados por severidad y día



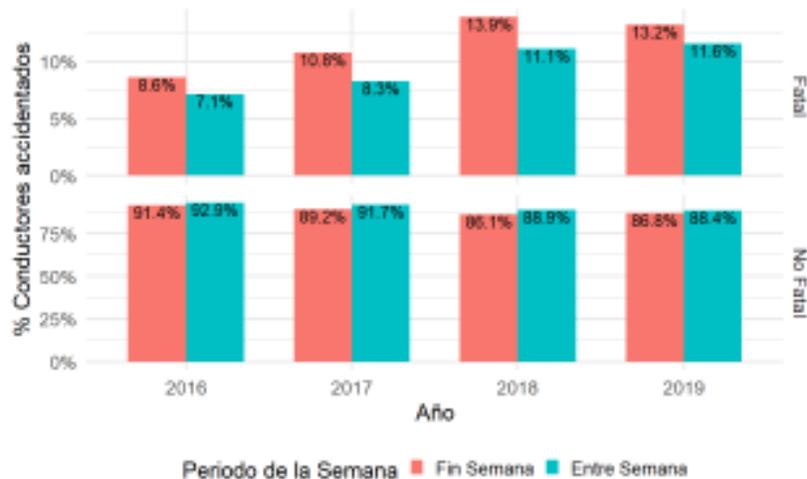
Elaborado por: Autores

El número de conductores accidentados de lunes a jueves tienen un comportamiento muy similar tanto como en los accidentes fatales como en los no fatales. En ambas gráficas se puede observar cómo, a partir del viernes, va cambiando la tendencia del número de con-

ductores accidentados produciéndose un incremento en las colas de las distribuciones. Esto significa que el número de conductores que se accidentan durante la noche y madrugada (18h00-06h00) se incrementa a partir del viernes.

Los días fueron agrupados según su comportamiento, para lo cual se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras para todas las combinaciones posibles de días y diferenciando a los accidentes por su severidad. Por ejemplo, se realizó la prueba para analizar si el número de conductores involucrados en accidentes fatales ocurridos durante los días lunes y miércoles tienen la misma distribución. Los resultados de las pruebas (ver anexo A) señalan que, para los accidentes no fatales, de lunes a jueves existe la misma distribución. Por otro lado, los resultados de los accidentes fatales indican que los días de lunes a viernes provienen de la misma distribución. Por tanto, los días se agruparon en dos periodos: i) de lunes a viernes (entre semana) y ii) sábado y domingo (fin de semana); pues, considerando únicamente a los accidentes fatales se encontró una semejanza entre estos días.

Figura 3.12: Porcentaje de conductores accidentados por severidad y periodo de la semana



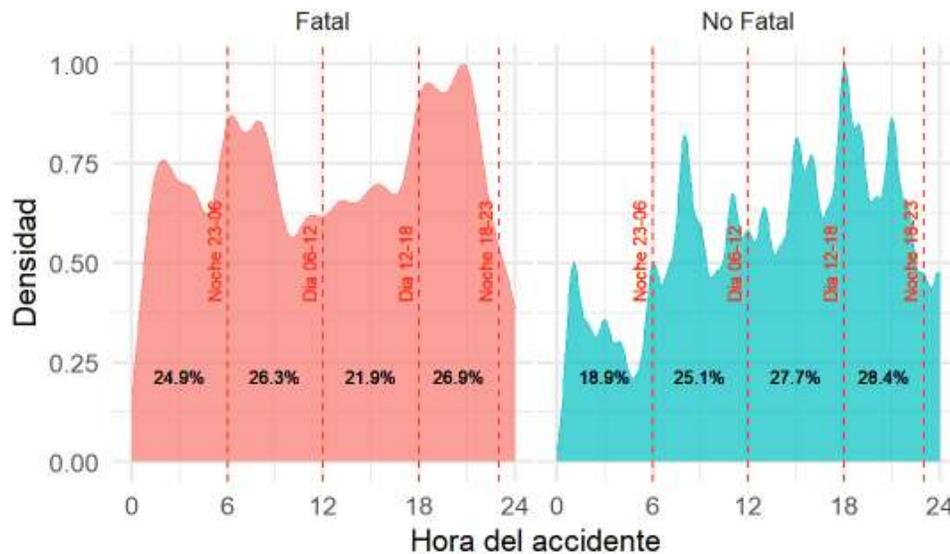
Elaborado por: Autores

En la figura 3.12 se muestra el porcentaje de conductores con accidentes fatales y no fatales con respecto al periodo de la semana. Por ejemplo, en el año 2019, se observa que de todos los conductores accidentados durante el fin de semana, el 13,2% de ellos tuvieron un siniestro de tipo fatal. La frecuencia relativa sirve para normalizar el gráfico y poder comparar sobre la misma medida, ya que en una categoría se tiene una mayor cantidad de datos que en la otra. El gráfico muestra que, en general, durante los fines de semana existe un mayor porcentaje de conductores con accidentes fatales.

Periodo del día: variable que muestra en que hora del día el conductor se accidentó. La variable se separó en cuatro periodos: i) desde las 06h00 hasta las 12h00, ii) desde las 12h00 hasta las 18h00, iii) desde las 18h00 hasta las 23h00 y, iv) desde las 23h00 en adelante. Este procedimiento se lo realizó tomando en cuenta las diferentes partes del día (mañana, tarde, noche y madrugada) y la frecuencia de conductores accidentados de cada periodo.

En la figura 3.13 se observa que el porcentaje de conductores accidentados para cada área se distribuye casi de igual manera para todos los periodos, a excepción de uno en ambos gráficos de densidad. Existe una proporción relativamente menor de conductores involucrados en accidentes no fatales desde las 23h00 hasta las 06h00, para el caso de los accidentes fatales durante este mismo periodo esta proporción aumenta. Por otro lado, durante el periodo que va desde las 12h00 hasta las 18h00 la proporción de conductores con accidentes no fatales es mayor a la proporción de conductores con accidentes fatales del mismo periodo.

Figura 3.13: Función de densidad del número de conductores accidentados por hora y severidad



Elaborado por: Autores

El gráfico de densidad muestra que la mayor parte de los accidentes no fatales se da durante las horas más transitadas del día, mientras que los accidentes fatales están más distribuidos durante todas las horas. Se debe considerar que durante el periodo que va desde las 23h00 hasta las 06h00 circulan menos vehículos. No obstante, la proporción de conductores involucrados en accidentes fatales es considerable durante dicho periodo.

Tipo de vía: variable binaria que muestra el tipo de vía sobre la cual ocurrieron los accidentes de tránsito. Se consideran dos tipos de vía dentro del estudio, en una categoría están las carreteras empedradas, lastradas o de tierra y en la otra están las carreteras de adoquín, pavimento u hormigón.

Figura 3.14: Proporción de conductores accidentados por severidad y tipo de carretera

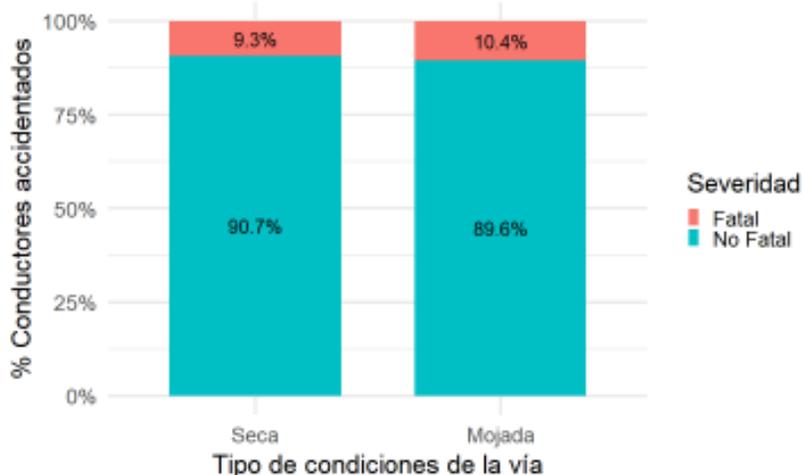


Elaborado por: Autores

En la figura 3.14 muestra que las vías empedradas, lastradas o de tierra tienen un 24% de conductores envueltos en accidentes fatales. Mientras que, en las vías adoquinadas, asfaltadas o de hormigón la proporción de conductores en accidentes fatales se reduce al 9%.

Condición de la vía: indica si el accidente de tránsito ocurrió en una vía seca o en alguna otra condición (e.g., húmeda, mojada, con granizo o gravilla).

Figura 3.15: Proporción de conductores accidentados por severidad y condición de la vía



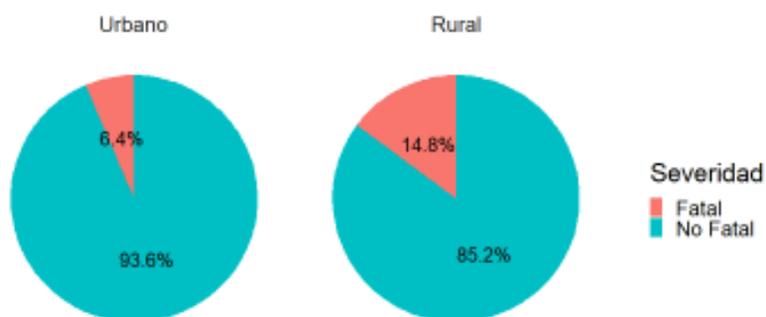
Elaborado por: Autores

En la figura 3.15 se muestra que sobre las vías secas se presenta un 9% de conductores involucrados en accidentes fatales. Para las vías húmedas, mojadas, con granizo o gravilla el porcentaje de conductores con accidentes fatales es del 10%.

Zona del accidente: muestra el área en que ocurrió el accidente. Esta se divide según la clasificación de zonas urbanas y rurales de la DNCTSV de la Policía Nacional.

La figura 3.16 muestra que en las zonas rurales existen un 15% de conductores relacionados con accidentes fatales, en contraste con las zonas urbanas donde este porcentaje disminuye a un 6%. Se presenta un mayor número de conductores con accidentes de tránsito fatales en la zona rural, sugiriendo que existe menores medidas preventivas o de control de accidentes en estos lugares.

Figura 3.16: Proporción de conductores accidentados por severidad y zona del accidente



Elaborado por: Autores

Año del accidente: muestra en que año el conductor sufrió el accidente de tránsito. En la figura 3.17 se puede observar la evolución del número de conductores involucrados en accidentes fatales y no fatales. De la misma forma que la figura 3.2, se observa que el número de conductores envueltos en accidentes fatales se ha mantenido constante; mientras que, el número de conductores envueltos en accidentes no fatales ha decrecido con el tiempo.

Figura 3.17: Número de conductores accidentados por severidad y año



Elaborado por: Autores

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, en la tabla 4.1 se presentan los resultados de la estimación del modelo logit propuesto para el análisis de las variables que inciden sobre la probabilidad de que el accidente de tránsito de un conductor sea fatal.

Tabla 4.1: Resultados de las estimaciones

	<i>Variable dependiente:</i>	
	Fatal	
<i>constante</i>	-3.995***	(0.318)
<i>edad</i>	-0.034***	(0.013)
<i>edad</i> ²	0.0004***	(0.0001)
<i>sexo</i>	0.330**	(0.146)
<i>1_conductor</i>	1.091***	(0.073)
<i>3_mas_conductores</i>	-0.463***	(0.165)
<i>estado_embriaguez</i>	-0.178	(0.116)
<i>falta_at_conduccion</i>	0.156	(0.103)
<i>exceso_velocidad</i>	0.806***	(0.118)
<i>otras</i>	0.163*	(0.090)
<i>tipo_motocicleta</i>	1.020***	(0.079)
<i>tipo_especial</i>	0.862***	(0.279)
<i>tipo_pesado</i>	0.777***	(0.086)
<i>factor_persona</i>	0.552***	(0.111)
<i>factor_otro</i>	0.146	(0.097)
<i>periodo_semana</i>	0.190***	(0.063)
<i>dia_06-12</i>	0.290***	(0.087)
<i>noche_18-23</i>	0.271***	(0.086)
<i>noche_23-06</i>	0.589***	(0.095)
<i>tipo_via</i>	0.611***	(0.141)
<i>condicion_via</i>	0.098	(0.083)
<i>zona_acc</i>	0.859***	(0.065)
<i>año_2017</i>	0.226***	(0.076)
<i>año_2018</i>	0.546***	(0.079)
<i>año_2019</i>	0.480***	(0.132)
Observaciones	14,484	
McFadden's R ²	0.15	
Count R ²	0.905	

Nota: Errores estándar entre paréntesis
*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Elaborado por: Autores

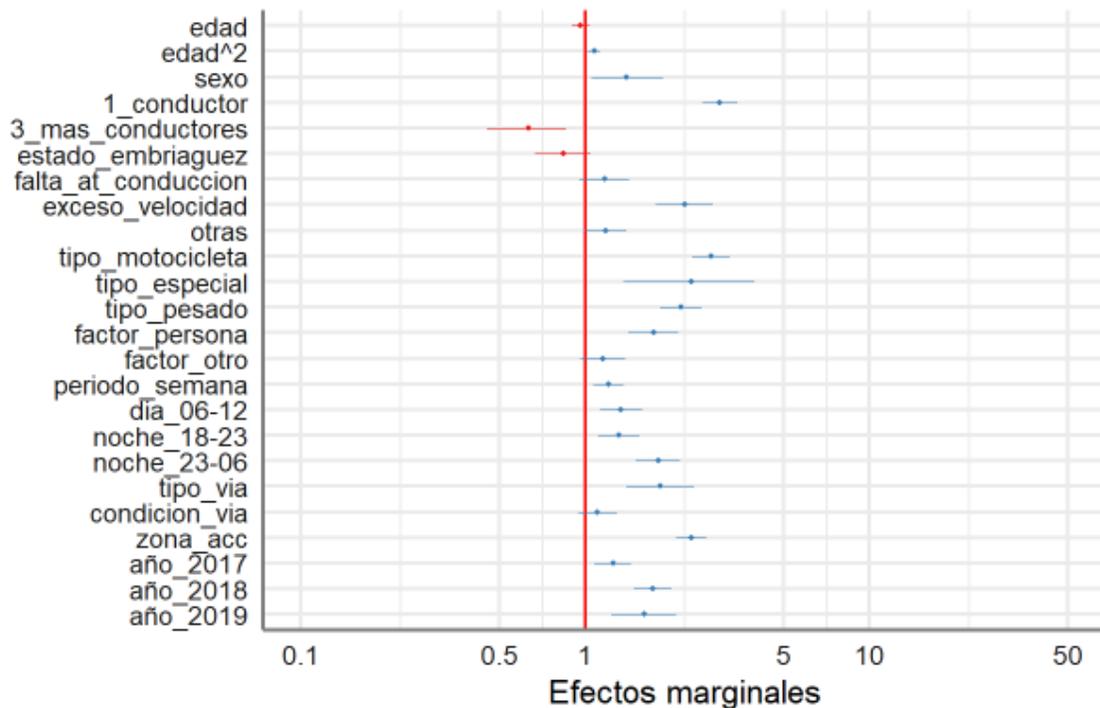
Los efectos marginales se encuentran en el anexo B del presente estudio. Los resultados de análisis de post-estimación se presentan en el anexo C, donde se encontró que el modelo presenta heterocedasticidad y para corregirla se estimó el modelo con errores robustos. Además, el modelo presenta omisión de variable relevante; sin embargo, todas las variables disponibles, que sugería la revisión de la literatura, fueron consideradas y los resultados de

las estimaciones son consistentes con los hallazgos de la literatura previa, lo que hace suponer que no existe un problema de sesgo en los estimadores.

En general, se observa que, los tres factores que se relacionan con un accidente de tránsito (i.e., factor humano, vehículo y vía) tienen un efecto significativo a la hora de determinar el grado de severidad de un siniestro. Para esto, se realizó un análisis de significancia conjunta (prueba F) de cada uno de los factores (ver anexo D).

En cuanto a la magnitud de los efectos marginales de cada variable, en la figura 4.1 se puede visualizar cuáles son los factores que tienen un mayor impacto sobre la probabilidad de que el conductor se vea involucrado en un accidente de tipo fatal. De manera general, se observa que, variables como el tipo de vehículo o el número de conductores muestran un mayor efecto sobre la fatalidad de un siniestro. Por otro lado, factores como la edad del conductor o la condición de la vía inciden sobre la probabilidad de que un accidente sea de tipo fatal.

Figura 4.1: Magnitud de los efectos marginales sobre la fatalidad



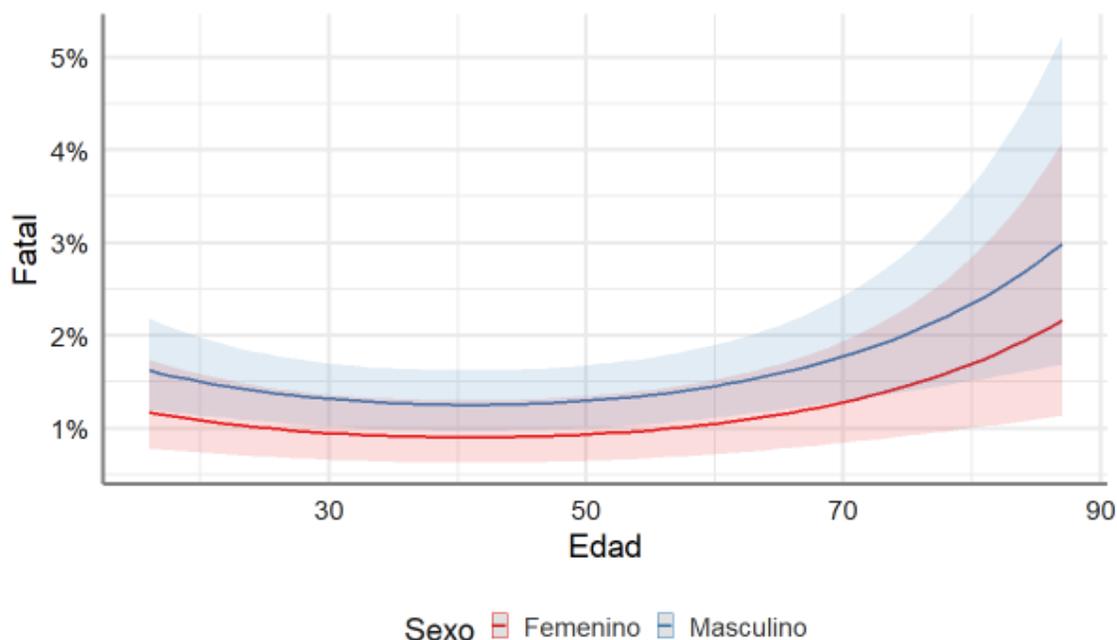
Elaborado por: Autores

Con respecto a los individuos, la variable que más peso tiene para determinar la fatalidad de un accidente de tránsito es el número de conductores identificados en el accidente. Esto sugiere que los accidentes de uno o dos vehículos son más severos que aquellos donde se accidentan múltiples vehículos. Este resultado era esperado debido a lo mostrado en el

análisis de estadística descriptiva. en donde se observó que el menor porcentaje de conductores con accidentes fatales provenía de accidentes con 3 o más conductores identificados. Este resultado concuerda con Garrido et al. (2014), debido a que los accidentes en donde intervienen múltiples vehículos la probabilidad de que sean de tipo fatal disminuye.

La edad del conductor es un predictor significativo al momento de analizar la severidad en los accidentes de tránsito (Delen et al., 2006). Los resultados señalan que la edad tiene un efecto negativo sobre la severidad de los accidentes. Sin embargo, Al-Ghamdi (2002) sugiere que para el análisis del efecto de la edad se debe incluir una expresión cuadrática, dado que esta señala una relación polinómica, la cual muestra que el efecto sobre la fatalidad de los accidentes de tránsito varía en función de la edad, como se observa a continuación:

Figura 4.2: Efectos marginales por la edad y sexo



Elaborado por: Autores

En la figura 4.2 se muestran los efectos marginales en función de la edad y el sexo del conductor. El color rojo identifica a las mujeres, mientras que el color azul a los hombres. Además, los efectos marginales (la línea roja y azul) se encuentran dentro de un intervalo de confianza al 95%. Es importante aclarar que la mezcla de colores que se observa en la figura corresponde a la sobreposición de los intervalos de confianza de ambos efectos marginales.

Se puede observar en la figura 4.2 que a partir de los 16 años el aumento de la edad tiene

un efecto negativo sobre la fatalidad de los siniestros de tránsito, hasta llegar alrededor de los 42 años. A partir de esa edad, su aumento tiene un efecto positivo y hace que sea más probable que ocurra un accidente fatal. Al respecto, Ghee et al. (1997) señalan que los conductores jóvenes (entre 20 a 40 años) y con experiencia tienen una probabilidad menor de verse envueltos en accidentes de tipo fatal en comparación con conductores mayores a los 50 años, para los cuales dicha probabilidad incrementa. Las personas con una edad avanzada son más propensas a que fallezcan, dada la naturaleza de sus lesiones (Bull, 1985).

La diferencia entre los grupos (masculino y femenino) sugiere que los conductores hombres tienen una mayor probabilidad de verse envueltos en accidentes de tipo fatal en comparación con las mujeres. Este resultado concuerda con el estudio realizado por Abdelwahab y Abdel-Aty (2001). Garrido et al. (2014), Shankar, Mannering, y Barfield (1996) manifiestan que este resultado se debe a que los conductores hombres pueden ser intrínsecamente más arriesgados al momento de conducir y tomar más riesgos que las mujeres. Con respecto a la aversión al riesgo, la literatura sugiere que las mujeres, son más renuentes a correr riesgos en comparación con los hombres y este comportamiento también se evidenciaría en la salud física y la seguridad (Hersch, 1996; Barsky, Juster, Kimball, & Shapiro, 1997; Pacula, 1997; Harrant & Vaillant, 2008).

La Organización Mundial de la Salud (2016) manifiesta que los hombres menores a 25 años tienen el 73% de probabilidad de estar involucrados en defunciones por accidentes de tránsito; es decir, tienen tres veces más probabilidades de morir en un accidente en comparación con las mujeres jóvenes. Específicamente, en la base de datos utilizada para el presente trabajo, aproximadamente el 92% de los conductores envueltos en accidentes de tipo fatal son hombres. El alto número de conductores hombres relacionados con accidentes fatales implica pérdidas más graves en el hogar, en el caso de que los conductores fueran la única fuente de ingresos para el hogar y dada la naturaleza de sus lesiones.

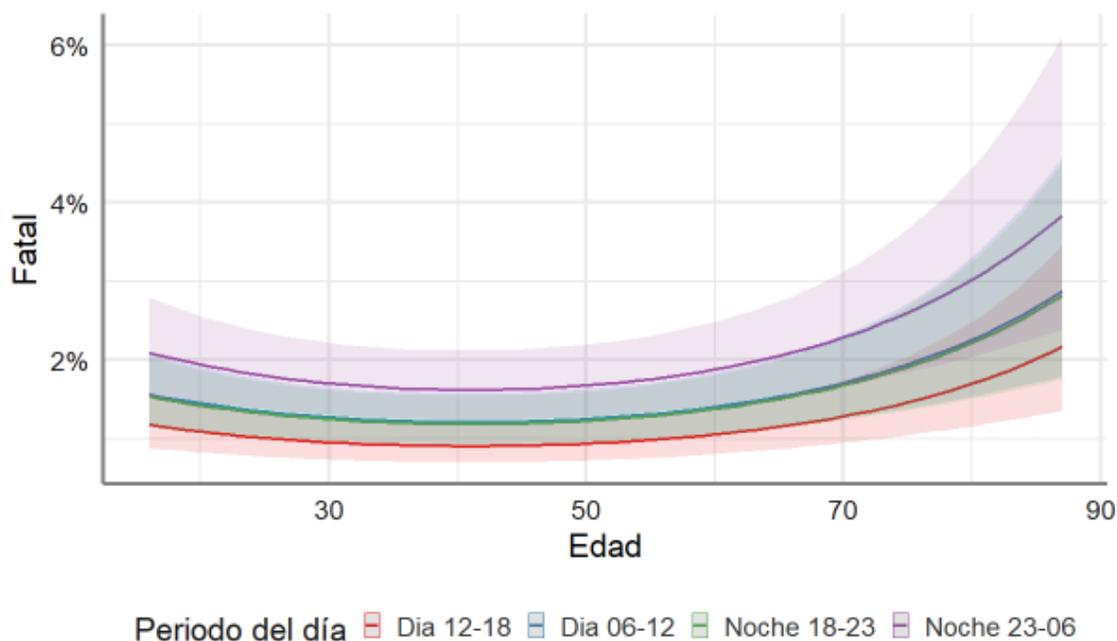
En lo que concierne al factor vehículo, se analiza principalmente el tipo de vehículo usado en el accidente. Las categorías de esta variable son: motocicletas, vehículos pesados, especiales y livianos (categoría base). Si se compara cada categoría con el tipo de vehículo liviano, cada una de las ellas tienen un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre la probabilidad de que un accidente sea considerado de tipo fatal.

El uso de motocicletas tiene un efecto mayor sobre la severidad del accidente a compa-

ración de los vehículos livianos. Los automóviles son más seguros ya que poseen más elementos para salvaguardar la integridad de los conductores como los cinturones de seguridad o las bolsas de aire (Karacasu et al., 2014). La Organización Mundial de la Salud (2009) manifiesta que el uso del cinturón de seguridad reduce la probabilidad de morir entre un 40 a 50 % en un accidente de tránsito. Los conductores de vehículos pesados presentan una mayor probabilidad de involucrarse en accidentes de tipo fatal comparados con los livianos, esto concuerda con los hallazgos de (Manner & Wünsch-Ziegler, 2013).

El factor vía presenta múltiples variables que inciden de manera significativa en la fatalidad (e.g., tipo de carretera, zona de ocurrencia o tiempo en el que se dio lugar el accidente). Con respecto al tipo de carretera, si esta es empedrada, lastrada o de tierra la probabilidad de que alguien resulte muerto en un accidente de tránsito se incrementa a comparación con una vía de adoquín, pavimento u hormigón. Estos resultados sugieren que este tipo de vía no presenta las condiciones de seguridad adecuadas para conducir de forma segura y evitar accidentes de tránsito (Karacasu et al., 2014).

Figura 4.3: Efectos marginales por la edad y periodo del día



Elaborado por: Autores

En la figura 4.3 se muestran los efectos marginales en función de la edad y el periodo del día. El efecto marginal de cada periodo del día se encuentra diferenciado por colores. El área sombreada de cada efecto marginal corresponde a su intervalo de confianza al 95 %.

El valor de los efectos de cada periodo se encuentran cercanos entre sí, lo que causa que los intervalos de confianza se sobrepongan y se mezclen los colores de cada periodo.

Si un accidente de tránsito tiene lugar durante la noche la probabilidad de que sea de tipo fatal se incrementa. Este resultado se debe a que los conductores experimentan mayores niveles de cansancio y sueño, esta fatiga aumenta si se ha conducido por un largo periodo de tiempo (Khattak et al., 1998; Garrido et al., 2014); así mismo, la falta de visibilidad también puede ser un factor que condicione la capacidad de reacción de los conductores. Además, varios factores como la calidad de iluminación y señalización de la vía inciden de mayor forma sobre el conductor en la noche que en el día. Los puntos mencionados con anterioridad son consistentes con lo que se observa en la figura 4.3, donde se muestra que accidentarse a altas horas de la noche (desde las 23h00 hasta las 06h00) tiene una mayor probabilidad de resultar fatal.

En lo que respecta a las causas de los accidentes, donde el principal resultado sugiere que si el conductor se accidentó en estado de embriaguez, no existe una diferencia estadísticamente significativa sobre la fatalidad comparando con un accidente causado por conducir con falta de atención a las condiciones del tránsito. Esto podría estar relacionado al tipo de recolección de los datos, ya que como se mencionó en el Capítulo 3 esta es *in situ*. Entonces, se podría observar un sesgo en esta variable debido a que no se puede obtener información exacta de la causa del accidente por no contar inmediatamente con un peritaje y reporte mortuario. Además, existe un porcentaje de conductores no identificados que huyen del lugar del accidente que también podrían estar asociados al estado de embriaguez. Asimismo, cabe destacar que la mayoría de los accidentes en jurisdicción de la Policía Nacional se encuentran fuera de zonas urbanas. Esto podría reducir el impacto de la variable de estado de embriaguez sobre la fatalidad; ya que, se esperaría encontrar un mayor número de conductores bajo estado de embriaguez dentro de las vías urbanas.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente investigación se analizan los factores que inciden sobre la probabilidad de que un accidente de tránsito sea fatal. El análisis fue realizado para Ecuador, periodo enero 2016 - abril 2019. El estudio se enfoca en el análisis de las características del conductor y el tipo de vehículo conducido, así como en de las condiciones y características de la vía en la que sucedió el accidente.

En general, se observa que, los tres factores que se relacionan con un accidente de tránsito presentan un efecto significativo en el momento de determinar el grado de severidad del siniestro. En consecuencia, la ocurrencia de un accidente de tránsito responde a una multi-causalidad. Por tanto, las medidas que se tomen para reducir el número de accidentes no deben estar solo orientadas hacia los conductores sino también al estado y tipo de vehículo, y a las condiciones de la vías y la señalización de estas. Asimismo, se pueden implementar operativos durante la noche y los fines de semana debido a que los accidentes de tipo fatal se incrementan durante estos periodos.

Para futuras investigaciones se podría extender el estudio considerando las vías que están bajo la competencia de la Agencia Nacional de Tránsito con los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs). Además, se podría realizar una comparación de los factores que inciden en la fatalidad de los accidentes de tránsito dentro de las ciudades y en la red vial estatal. También, sería importante dar un seguimiento al estado de salud de las víctimas del accidente para contar con información mas precisa de las consecuencias del accidente.

Finalmente, la prevención de muertes y lesiones, mediante intervenciones en el tema de seguridad vial, pueden elevar el bienestar social, conseguir beneficios para la salud pública y la economía en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelwahab, H. T. & Abdel-Aty, M. A. (2001). Development of artificial neural network models to predict driver injury severity in traffic accidents at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1746(1), 6-13.
- Abou-Raya, S. & ElMeguid, L. A. (2009). Road traffic accidents and the elderly. *Geriatrics & gerontology international*, 9(3), 290-297.
- Air, T. M., McFarlane, A. C., & Psychother, D. (2003). Posttraumatic stress disorder and its impact on the economic and health costs of motor vehicle accidents in South Australia. *J Clin Psychiatry*, 64(2), 175-181.
- Bambarem, C. (2004). Características epidemiológicas y económicas de los casos de accidentes de tránsito atendidos en el Hospital Nacional Cayetano Heredia. *Revista Médica Herediana*, 15(1), 30-36.
- Barsky, R. B., Juster, F. T., Kimball, M. S., & Shapiro, M. D. (1997). Preference parameters and behavioral heterogeneity: An experimental approach in the health and retirement study. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2), 537-579.
- Bhalla, K., Diez-Roux, E., Taddia, A. P., De la Peña Mendoza, S. M., & Pereyra, A. (2013). The costs of road injuries in Latin America 2013. *Inter-American Development Bank*.
- Blincoe, L. J., Seay, A. G., Zaloshnja, E., Miller, T. R., Romano, E. O., Luchter, S., Spicer, R. S., et al. (2002). *The economic impact of motor vehicle crashes, 2000*. United States. National Highway Traffic Safety Administration.
- Bloom, D. E., Canning, D., & Jamison, D. T. (2004). Health, wealth, and welfare. *Finance and development*, 41, 10-15.
- Bull, J. (1985). Disabilities caused by road traffic accidents and their relation to severity scores. *Accident Analysis & Prevention*, 17(5), 387-397.
- Chang, L.-Y. & Wang, H.-W. (2006). Analysis of traffic injury severity: An application of non-parametric classification tree techniques. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 1019-1027.
- Christoforou, Z., Cohen, S., & Karlaftis, M. G. (2010). Vehicle occupant injury severity on highways: an empirical investigation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1606-1620.

- Das, A., Pande, A., Abdel-Aty, M., & Santos, J. B. (2008). Characteristics of urban arterial crashes relative to proximity to intersections and injury severity. *Transportation research record*, 2083(1), 137-144.
- Delen, D., Sharda, R., & Bessonov, M. (2006). Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 434-444.
- Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Vial de la Policía Nacional. (2018). *Anuario Estadístico de Accidentes de Tránsito y víctimas*. Policía Nacional del Ecuador. Quito.
- Fumagalli, E., Bose, D., Marquez, P., Rocco, L., Mirelman, A., Suhrcke, M., & Irvin, A. (2017). *The High Toll of Traffic Injuries: Unacceptable and Preventable*. World Bank.
- Garrido, R., Bastos, A., de Almeida, A., & Elvas, J. P. (2014). Prediction of road accident severity using the ordered probit model. *Transportation Research Procedia*, 3, 214-223.
- Al-Ghamdi, A. S. (2002). Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 729-741.
- Ghee, C., Silcock, D., Astrop, A., & Jacobs, G. (1997). Socio-economic aspects of road accidents in developing countries. *TRL Report*, 247.
- Greene, W. H. (2000). Econometric analysis 4th edition. *International edition*, New Jersey: Prentice Hall, 201-215.
- Gujarati, D. & Porter, D. (2010). Econometría (quinta edición). México: McGRAW-HILL/Interamericana Editores, SS DE CV.
- Guria, J. C. (1990). Length of hospitalization—an indicator of social costs of disabilities from traffic injuries. *Accident Analysis & Prevention*, 22(4), 379-389.
- Harms, L. & Talbot, M. (2007). The aftermath of road trauma: Survivors' perceptions of trauma and growth. *Health & Social Work*, 32(2), 129-137.
- Harrant, V. & Vaillant, N. G. (2008). Are women less risk averse than men? The effect of impending death on risk-taking behavior. *Evolution and Human Behavior*, 29(6), 396-401.
- Heron-Delaney, M., Warren, J., & Kenardy, J. A. (2017). Predictors of non-return to work 2 years post-injury in road traffic crash survivors: Results from the UQ SuPPORT study. *Injury*, 48(6), 1120-1128.
- Hersch, J. (1996). Smoking, seat belts, and other risky consumer decisions: Differences by gender and race. *Managerial and decision economics*, 17(5), 471-481.

- Huang, H., Chin, H. C., & Haque, M. M. (2008). Severity of driver injury and vehicle damage in traffic crashes at intersections: a Bayesian hierarchical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 45-54.
- Karacasu, M., Ergül, B., & Altin Yavuz, A. (2014). Estimating the causes of traffic accidents using logistic regression and discriminant analysis. *International journal of injury control and safety promotion*, 21(4), 305-313.
- Kenardy, J., Heron-Delaney, M., Warren, J., & Brown, E. (2015). The effect of mental health on long-term health-related quality of life following a road traffic crash: results from the UQ SuPPORT study. *Injury*, 46(5), 883-890.
- Khattak, A. J., Kantor, P., & Council, F. M. (1998). Role of adverse weather in key crash types on limited-access: roadways implications for advanced weather systems. *Transportation research record*, 1621(1), 10-19.
- Kopits, E. & Cropper, M. (2003). *Traffic fatalities and economic growth*. The World Bank.
- Manner, H. & Wünsch-Ziegler, L. (2013). Analyzing the severity of accidents on the German Autobahn. *Accident Analysis & Prevention*, 57, 40-48.
- Marquez, P. V., Banjo, G. A., Chesheva, E. Y., & Muzira, S. (2010). Confronting 'Death on Wheels': Making Roads Safe in ECA.
- Másilková, M. (2017). Health and social consequences of road traffic accidents. *Kontakt*, 19(1), e43-e47.
- Mayou, R. A. & Bryant, B. (2003). Consequences of road traffic accidents for different types of road user. *Injury*, 34(3), 197-202.
- Mayou, R. A., Ehlers, A., & Bryant, B. (2002). Posttraumatic stress disorder after motor vehicle accidents: 3-year follow-up of a prospective longitudinal study. *Behaviour research and therapy*, 40(6), 665-675.
- McCartt, A. T., Shabanova, V. I., & Leaf, W. A. (2003). Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 311-320.
- Medina, D., Medina, M., & Escobar, C. A. (2017). Accidentes de tránsito. Rescate in situ.
- Mendo, J. M. (2018). El Reglamento Nacional del sistema de emisión de licencias de conducir en el control de las evaluaciones a los conductores, y su contribución contra los accidentes de tránsito en Lima Metropolitana, 2017.
- Miller, T. R. & Luchter, S. (1988). *The socio-economic impacts of injuries resulting from motor vehicle crashes*. SAE Technical Paper.

- National Academy of Sciences. (1966). Accidental death and disability: The neglected disease of modern society, 44. Recuperado desde <https://www.ems.gov/pdf/1997-Reproduction-AccidentalDeathDissability.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Global status report on road safety: time for action*. Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad*. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Global status report on road safety 2015*. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Estimaciones de Salud Global 2016: Muertes por causa, edad, sexo, por país y por región, 2000-2016*. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *OMS | 10 datos sobre la seguridad vial en el mundo*. World Health Organization. World Health Organization. Recuperado desde <https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Global status report on road safety 2018: Summary*. Organización Mundial de la Salud.
- Estadísticas Vitales INEC*. (2017). INEC. Quito. Recuperado desde http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion%7B%5C_%7Dy%7B%5C_%7DDemografia/Nacimientos%7B%5C_%7DDefunciones/2017.pdf
- Pacula, R. L. (1997). Economic modelling of the gateway effect. *Health Economics*, 6(5), 521-524.
- Prang, K.-H., Berecki-Gisolf, J., & Newnam, S. (2015). Recovery from musculoskeletal injury: the role of social support following a transport accident. *Health and quality of life outcomes*, 13(1), 97.
- Rifaat, S. M. & Chin, H. C. (2007). Accident severity analysis using ordered probit model. *Journal of advanced transportation*, 41(1), 91-114.
- Rissanen, R., Berg, H.-Y., & Hasselberg, M. (2017). Quality of life following road traffic injury: A systematic literature review. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 308-320.
- Savolainen, P. T., Mannering, F. L., Lord, D., & Quddus, M. A. (2011). The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1666-1676.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1996). Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis & Prevention*, 28(3), 391-401.
- Shibata, A. & Fukuda, K. (1994). Risk factors of fatality in motor vehicle traffic accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 26(3), 391-397.

- Üzümcüoğlu, Y., Özkan, T., Lajunen, T., Morandi, A., Orsi, C., Papadakaki, M., & Chliaoutakis, J. (2016). Life quality and rehabilitation after a road traffic crash: A literature review. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 40, 1-13.
- Wang, H., Naghavi, M., Allen, C., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Carter, A., . . . Coates, M. M., et al. (2016). Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The lancet*, 388(10053), 1459-1544.
- Watts, R., Anson, D., & Battistel, L. (1997). Social work intervention in acute care after road trauma. *Australian Social Work*, 50(2), 29-34.
- Wooldridge, J. M. (2006). Introduction to econometrics: A modern approach. *Michigan State University. USA*.
- Yatchew, A. & Griliches, Z. (1985). Specification error in probit models. *The Review of Economics and Statistics*, 134-139.

ANEXOS

ANEXO A. PRUEBAS DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DE DOS MUESTRAS

Tabla 5.1: Prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras - Accidentes fatales

Prueba de Kolmogorov-Smirnov a un nivel de confianza del 95%

Día	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
lunes	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0				
martes	No se rechaza H0	Se rechaza H0	No se rechaza H0				
miércoles	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0				
jueves	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0				
viernes	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0				
sábado	Se rechaza H0	No se rechaza H0	No se rechaza H0				
domingo	Se rechaza H0	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	No se rechaza H0	No se rechaza H0

Elaborado por: Autores

Tabla 5.2: Prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos muestras - Accidentes no fatales

Prueba de Kolmogorov-Smirnov a un nivel de confianza del 95%

Día	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo
lunes	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0			
martes	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0			
miércoles	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0			
jueves	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0			
viernes	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0	No se rechaza H0	Se rechaza H0	Se rechaza H0
sábado	Se rechaza H0	No se rechaza H0	Se rechaza H0				
domingo	Se rechaza H0	No se rechaza H0					

Elaborado por: Autores

ANEXO B. EFECTOS MARGINALES DEL MODELO ESTIMADO

Tabla 5.3: Efectos marginales del modelo

	<i>Variable dependiente:</i>	
	Fatal	
<i>constante</i>	-0.237***	(0.018)
<i>edad</i>	-0.002***	(0.001)
<i>edad</i> ²	0.000***	(0.000)
<i>sexo</i>	0.017**	(0.007)
<i>1_conductor</i>	0.079***	(0.006)
<i>3_mas_conductores</i>	-0.023***	(0.007)
<i>estado_embriaguez</i>	-0.010*	(0.006)
<i>falta_at_conduccion</i>	0.010	(0.007)
<i>exceso_velocidad</i>	0.066***	(0.013)
<i>otras</i>	0.010*	(0.006)
<i>tipo_motocicleta</i>	0.085***	(0.008)
<i>tipo_especial</i>	0.074**	(0.032)
<i>tipo_pesado</i>	0.060***	(0.008)
<i>factor_persona</i>	0.041***	(0.009)
<i>factor_otro</i>	0.009	(0.006)
<i>periodo_semana</i>	0.012***	(0.004)
<i>dia_06-12</i>	0.018***	(0.006)
<i>noche_18-23</i>	0.017***	(0.006)
<i>noche_23-06</i>	0.041***	(0.008)
<i>tipo_via</i>	0.047***	(0.014)
<i>condicion_via</i>	0.006	(0.005)
<i>zona_acc</i>	0.057***	(0.005)
<i>año_2017</i>	0.014***	(0.005)
<i>año_2018</i>	0.037***	(0.006)
<i>año_2019</i>	0.034***	(0.011)

Nota:

Errores estándar entre paréntesis

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Elaborado por: Autores

ANEXO C. PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL MODELO

Tabla 5.4: Resultados de la prueba de Breusch - Pagan
Prueba de Breusch-Pagan

H_0 : Varianza constante

$\chi^2(1) = 591.52$

Prob $>\chi^2 = 0.000$

Elaborado por: Autores

Tabla 5.5: Resultados de la prueba de Ramsey RESET
Prueba de Ramsey RESET

H_0 : Modelo está correctamente especificado

$\chi^2(1) = 188.13$

Prob $>\chi^2 = 0.000$

Elaborado por: Autores

ANEXO D. PRUEBA F PARA CADA FACTOR RELACIONADO CON EL ACCIDENTE DE TRÁNSITO

Sea el modelo no restringido

$$\begin{aligned} fatal = & \beta_0 + \beta_1 edad + \beta_2 edad^2 + \beta_3 sexo + \beta_4 1_conductor + \beta_5 3_mas_conductores + \\ & \beta_6 estado_embriaguez + \beta_7 falta_at_conduccion + \beta_8 exceso_velocidad + \beta_9 otras + \\ & \beta_{10} tipo_motocicleta + \beta_{11} tipo_especial + \beta_{12} tipo_pesado + \beta_{13} factor_persona + \\ & \beta_{14} factor_otro + \beta_{15} periodo_semana + \beta_{16} dia_06 - 12 + \beta_{17} noche_18 - 23 + \\ & \beta_{18} noche_23 - 06 + \beta_{19} tipo_via + \beta_{20} condicion_via + \beta_{21} zona_acc + \beta_{22} año_2017 + \\ & \beta_{23} año_2018 + \beta_{24} año_2019 \end{aligned}$$

Tabla 5.6: Prueba F para las variables relacionadas con el factor humano
Prueba F factor humano

$$H_0 : \beta_1 = 0, \beta_2 = 0, \beta_3 = 0, \beta_4 = 0, \beta_5 = 0$$

$$\chi^2(5) = 288.12$$

$$\text{Prob } > \chi^2 = 0.000$$

Elaborado por: Autores

Tabla 5.7: Prueba F para las variables relacionadas con el factor vehículo
Prueba F factor vehículo

$$H_0 : \beta_{10} = 0, \beta_{11} = 0, \beta_{12} = 0, \beta_{13} = 0, \beta_{14} = 0$$

$$\chi^2(5) = 246.58$$

$$\text{Prob } > \chi^2 = 0.000$$

Elaborado por: Autores

Tabla 5.8: Prueba F para las variables relacionadas con el factor vía
Prueba F factor vía

$$H_0 : \beta_{15} = 0, \beta_{16} = 0, \beta_{17} = 0, \beta_{18} = 0, \beta_{19} = 0, \beta_{20} = 0, \beta_{21} = 0$$

$$\chi^2(7) = 261.23$$

$$\text{Prob } > \chi^2 = 0.000$$

Elaborado por: Autores