

**FACTORES DE RIESGO QUE AFECTAN LA
SEVERIDAD DE LOS ACCIDENTES DE TRAFICO
EN ÁREAS URBANAS. EL CASO DE CARTAGENA,
COLOMBIA**

ELABORADO POR:
CARMELO JOSÉ DIAZ ESCOBAR

*INFORME REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE
MASTER EN INGENIERÍA CIVIL-ÉNFASIS EN VÍAS Y TRANSPORTES*

DIRECTOR

VICTOR MANUEL CANTILLO MAZA I.C. Msc Ph.D

CODIRECTOR
LUIS GABRIEL MÁRQUEZ I.T.V MSC.

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**



BARRANQUILLA, JUNIO DE 2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO 1

FIRMA

JURADO 2

FIRMA

DEDICATORIAS

A Dios quien me dio la vida y nunca me desampara, a mis padres por su apoyo moral y porque nunca perdieron la fe, a mis hermanos por su amor y apoyo incondicional, a mis sobrinos queridos.

AGRADECIMIENTOS

Me siento profundamente agradecido con mi profesor y director de tesis, Dr. Víctor Cantillo, en primera instancia por brindarme la oportunidad de iniciar estos estudios de postgrado. Gracias por su dedicación y apoyo durante esta investigación, sin su comprensión, colaboración y aliento hubiera desfallecido en la intención de alcanzar esta meta. Este estudio no hubiera sido posible sin su ayuda y su guía.

También quiero expresar mis agradecimientos al MSc. Luis Gabriel Márquez por todo su apoyo y colaboración, sus aportes y sus recomendaciones fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	9
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
1.2. CONTRIBUCIONES DE LA INVESTIGACION.....	12
2. CONTEXTUALIZACION DEL PROBLEMA	13
2.1. EL PROBLEMA DE LA ACCIDENTALIDAD VIAL EN AREAS URBANAS	13
2.2. SITUACION A NIVEL MUNDIAL	13
2.3. LA ACCIDENTALIDAD VIAL EN COLOMBIA.....	18
2.4. LA ACCIDENTALIDAD VIAL EN CARTAGENA DE INDIAS.....	22
2.5. REVISIÓN DE LA LITERATURA	27
3. ENFOQUE METODOLOGICO-ANALISIS DE SEVERIDAD DE ACCIDENTES DE TRAFICO	33
3.1. MODELOS DE ELECCION DISCRETA	34
3.2. FACTORES DE RIESGO.....	35
3.3. ELASTICIDADES.....	37
4. CASO DE ANÁLISIS	39
4.1. LOCALIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO.....	39
4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS	42
4.3. VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA MODELACIÓN	45
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1. ESTIMACIÓN DE MODELOS	49
5.2. ELASTICIDADES.....	52
5.3. CONTRAMEDIDAS.....	53
5.3.1. Reducir los Límites de Velocidad.....	53
5.3.2. Tolerancia cero por Violaciones de Tráfico Relacionadas con Peatones	54
5.3.3. Campaña de concientización sobre la seguridad de los peatones.....	55
5.3.4. Mejorar la seguridad de la motocicleta	55
6. CONCLUSIONES	56
7. BIBLIOGRAFIA	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: DEFINICIÓN DE MUERTE POR TRAUMATISMOS OCASIONADOS POR LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO, SEGÚN EL TIEMPO TRANSCURRIDO ENTRE EL SUCESO Y LA DEFUNCIÓN, REGIÓN DE LAS AMÉRICAS.	15
FIGURA 2.2: CASOS DE MUERTES POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO 2005-2015.	19
FIGURA 2.3: CASOS DE HERIDOS POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO 2005-2015.	19
FIGURA 2.4: TASAS DE MUERTOS Y HERIDOS POR 100.000 HAB, COLOMBIA, 2005-2015.....	20
FIGURA 2.5: TASAS DE MORTALIDAD Y MORBILIDAD CARTAGENA 2010-2015.....	23
FIGURA 2.6: TASAS DE MUERTES POR 100.000 HAB SEGÚN EL GÉNERO PARA LOS AÑOS 2010 A 2015.....	23
FIGURA 2.7: TASAS DE LESIONADOS POR 100.000 HAB SEGÚN EL GÉNERO PARA LOS AÑOS 2010 A 2015.....	24
FIGURA 2.8: SEVERIDAD DE LOS ACCIDENTES SEGÚN RANGO DE EDAD PARA EL PERIODO ENTRE 2010 Y 2012. 25	
FIGURA 2.9: GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES POR CONDICIÓN DE USUARIO, 2010-2012.....	25
FIGURA 2.10: MUERTES SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO, CARTAGENA 2010-2012.....	26
FIGURA 2.11: HERIDOS SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO, CARTAGENA 2010-2012.....	27
FIGURA 4.1: LOCALIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO	40
FIGURA 4.2: SISTEMA VIAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS	41

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 COMPARACIÓN DE PRINCIPALES CAUSAS DE MORTALIDAD A NIVEL MUNDIAL AÑOS 2004 Y 2030...	16
TABLA 1.2: ACTIVIDADES RECOMENDADAS POR PLAN MUNDIAL PARA EL DECENIO DE ACCIÓN PARA LA SEGURIDAD VIAL.....	17
TABLA 1.1.1.3: TASAS DE MORTALIDAD Y MORBILIDAD CARTAGENA, 2010-2015.....	22
TABLA 1.4: MUERTES Y HERIDOS SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO INVOLUCRADO EN EL HECHO, CARTAGENA 2010-2012.....	26
TABLA 1.5: RESUMEN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE SEVERIDAD DE ACCIDENTES.....	31
TABLA 3.1: RESUMEN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE SEVERIDAD DE ACCIDENTES.....	36
TABLA 1.1: COMPOSICIÓN SISTEMA VIAL CARTAGENA DE INDIAS.....	40
TABLA 1.2: DISTRIBUCIÓN DE LOS ACCIDENTES POR SEVERIDAD.....	43
TABLA 1.3: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES.....	45
TABLA 1.3: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES (CONTINUACIÓN).....	46
TABLA 1.3: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES (CONTINUACIÓN).....	47
TABLA 1.4: VARIABLES INDEPENDIENTES SELECCIONADAS PARA EL MODELADO.....	48
TABLA 5.1: MODELOS ESTIMADOS.....	50
TABLA 5.2: PSEUDO-ELASTICIDADES.....	52

RESUMEN

Las muertes por accidentes de tránsito son en Colombia la segunda causa de muertes violentas. Sin embargo, debido a la firma de un acuerdo de paz y el creciente número de muertes en accidentes de tránsito, es posible que las muertes por accidentes de tráfico a corto plazo sean la causa principal de muertes violentas en el país, particularmente en las áreas urbanas. En este estudio nos centramos en dar cuenta de los principales factores que afectan la severidad de los accidentes de tránsito en las áreas urbanas, tomando a Cartagena como un caso de estudio. Examinamos en detalle tres niveles de severidad: fatal, lesión y solo daños materiales. Se consideran factores de riesgo en varias dimensiones, incluyendo la víctima, vehículo, infraestructura vial, tráfico y control, día y hora, y factores ambientales. Nuestro enfoque de modelado considera modelos de elección discreta, logit multinomial, anidado y ordenado para identificar adecuadamente los principales factores de riesgo que afectan a los niveles de gravedad. Encontramos que los hombres, las personas mayores de 60 años, el límite de velocidad de más de 40 km / h, la presencia de puente peatonal, las vías colectoras, los accidentes donde estén involucrados vehículos pesados (camiones y autobuses), los cruces peatonales, el uso de suelo industrial y un accidente con motocicletas, son los factores de riesgo más significativos que aumentan los accidentes fatales. La reducción de los límites de velocidad, la tolerancia cero para las infracciones de tráfico relacionadas con los peatones, una campaña de concientización sobre la seguridad de los peatones y la mejora de la seguridad de las motocicletas son las contramedidas que propusimos. Dado a que las autoridades hacen esfuerzos significativos para invertir en puentes peatonales, proponemos una investigación adicional sobre los accidentes de tráfico en las calles donde existe esta infraestructura, ya que ocurren eventos más severos cerca de ellos.

Palabras claves: Severidad del accidente de tráfico; Modelo multinomial; Modelo logit anidado; Modelo logit ordenado; Contramedidas.

1. INTRODUCCION

En Colombia, el número de homicidios supera el número de muertes por accidentes de tránsito, que ocupan el segundo lugar entre las causas de muertes violentas. Sin embargo, no sólo el número de muertes sino también el número de lesiones debidas al tráfico han estado creciendo continuamente desde 2005. Hoy en día, el asunto de la seguridad vial se ha convertido en una preocupación constante para las autoridades locales porque el porcentaje de muertes en las zonas urbanas alcanza el 58.28%, mayor que en las carreteras rurales. El problema de las lesiones en accidentes de tránsito también tiene connotaciones predominantemente urbanas, ya que el 93,57% de los casos ocurrieron en áreas urbanas, mientras que las áreas rurales concentraron sólo el 6,43% (Vargas, 2016). Durante el año 2015, el Instituto Nacional de Medicina Legal registró 52.690 casos derivados de accidentes de tráfico, de los cuales 45.806 fueron lesiones y 6.884 fueron mortales, siendo el número más alto en los últimos 15 años. En comparación con el año anterior, el número de muertes aumentó 7,53%, mientras que el número de lesiones aumentó 3,70% (Vargas, 2016). Aunque el Instituto Nacional de Medicina Legal no registra los accidentes causados por daños a la propiedad, los registros oficiales sugieren que el número de estos accidentes de tráfico también ha aumentado. Es por esta razón que existe una creciente preocupación en las autoridades colombianas por lo que hay que hacer para reducir los índices de accidentes en todas las principales ciudades.

Debido a la firma del acuerdo de paz en Colombia, se espera una importante reducción en el número de muertes violentas en los próximos años. Esto nos lleva a creer que, como consecuencia de no tomar medidas, más pronto que tarde, el número de víctimas mortales de tráfico será la causa principal de muertes violentas en el país. Precisamente en Cartagena, donde se firmó el acuerdo de paz, utilizando un enfoque de análisis espacial para identificar secciones homogéneas, Cantillo et al. (2016) estudió los principales factores que afectan la frecuencia del accidente de tráfico en la ciudad. En cuanto al tipo de vehículo, mostraron que las motocicletas tienen un efecto marginal más alto en la frecuencia de choque que los autobuses y camiones. En cuanto a las variables de infraestructura de carreteras, encontraron que hay más accidentes en secciones de dos vías. Además, con respecto a las variables relacionadas con el medio ambiente, también concluyeron que las secciones ubicadas en el uso comercial del suelo tienden a tener una mayor frecuencia de choque de tráfico. Aunque dicha investigación proporcionó algunas ideas iniciales sobre las acciones que el Departamento Administrativo de Tránsito y

Transporte podría tomar para reducir la frecuencia del accidente de tránsito, no tomó en cuenta la gravedad de los accidentes de tránsito en la ciudad.

Sin embargo, para reducir las muertes y las lesiones en accidentes de tránsito, se necesita una mejor comprensión entre la relación de la gravedad del accidente y los factores de riesgo.

Este trabajo se centrará en dar cuenta de los principales factores que afectan la severidad de los accidentes de tránsito en contextos urbanos, tomando a Cartagena como un caso de estudio, para proporcionar contramedidas en función de la gravedad para ayudar a mitigar el problema de los accidentes de tránsito. De acuerdo con la disponibilidad de información, primero ordenamos los accidentes en tres categorías de gravedad: Fatales, con lesiones y accidentes con solo daños a la propiedad (Ratanavaraha y Suangka, 2014). A continuación, buscamos identificar los factores que contribuyen a la gravedad del accidente de tránsito con consideraciones amplias de las características de las víctimas, tipos de vehículos, características de la infraestructura vial, características del tráfico y control, el período del día y algunas características del entorno utilizando modelos multinomiales, logit anidado y ordenados (Train, 2009). También presentamos y comparamos los efectos directos de pseudo-elasticidad de las variables en las categorías de gravedad del accidente (Ulfarsson y Mannering, 2004; Eluru et al., 2008). Por último, hacemos algunas recomendaciones alentando a las autoridades a emprender acciones diferenciadas para prevenir los accidentes de tráfico de acuerdo con la gravedad.

Organizamos el trabajo de la siguiente manera. En base a los enfoques de modelización de la gravedad de los accidentes de tránsito reportados en la literatura, la sección 2 comienza con nuestro enfoque de modelado, explica los principales factores de riesgo que afectan los niveles de gravedad y muestra cómo obtener e interpretar la pseudo elasticidad directa. La Sección 3 describe los datos y presenta las variables independientes seleccionadas para el modelado. La sección 4 presenta y discute las estimaciones del modelo, las pseudo-elasticidades y las contramedidas recomendadas. Finalmente, la sección 5 resume los hallazgos significativos del estudio, concluye el trabajo y presenta líneas de investigación adicional.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta investigación es desarrollar modelos estadísticos que permitan identificar los factores influyentes en la severidad de accidentes ocurridos en el área urbana de la ciudad de Cartagena de Indias, utilizando modelos discretos.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar una revisión de la literatura para identificar los esquemas metodológicos propuestos para la modelación de la severidad de accidentes en áreas urbanas de tal modo que se pueda comprender cuales son los enfoques más adecuados y establecer una comparación con los enfoques a utilizar.
- Realizar un análisis estadístico y descriptivo de los datos recopilados sobre los accidentes ocurridos en la ciudad de Cartagena de Indias entre los años 2010 y 2012 los cuales fueron obtenidos de la corporación Fondo de Prevención Vial, de tal forma que se pueda tener una idea clara de la problemática de la accidentalidad en el lugar de estudio.
- Construir la base de datos con la información de accidentalidad entre los años 2010 y 2012 geo-referenciando cada accidente y ubicándolo en la malla vial donde ocurrió y complementando la información con datos de las características geométricas y de operación de cada uno de los tramos de vías donde ocurrieron los accidentes, así como información propia de los accidentes como entes involucrados tipos de vehículos, severidad de las lesiones etc., de tal forma que se describa completamente las características de todos los accidentes ocurridos por tramos específicos.

1.2. CONTRIBUCIONES DE LA INVESTIGACION

Los hallazgos encontrados al finalizar esta investigación deben ser capaces de proporcionar a las entidades encargadas de la seguridad vial en la ciudad de Cartagena de Indias, una orientación en cuanto a los principales factores que influyen en la severidad de los accidentes en las vías urbanas, de tal forma que puedan establecerse políticas de contramedidas que permitan la reducción de la problemática de la accidentalidad vial y los altos costos que genera esta externalidad. Para lograr este propósito, en resumen, esta investigación tendrá las siguientes contribuciones:

- Analizar los diferentes modelos estimados para la identificación de los factores influyentes en el nivel de severidad de los accidentes en el área urbana de la ciudad de Cartagena de Indias.
- Desarrollo de los modelos estadísticos utilizando enfoques de modelación discretos (logit Multinomial MLN, Logit anidado NL y Logit ordinal OL) para la severidad de los accidentes, utilizando las bases de datos de accidentalidad de los años 2010 al 2012 proporcionada por la corporación Fondo de Prevención Vial, combinada con datos relacionados con las características geométricas y operacionales de las vías.
- Proponer una serie de contramedidas en función de la severidad para ayudar a mitigar el problema de los accidentes de tránsito en la ciudad de Cartagena.

2. CONTEXTUALIZACION DEL PROBLEMA

2.1. EL PROBLEMA DE LA ACCIDENTALIDAD VIAL EN AREAS URBANAS

La accidentalidad vial es un problema que ha ido creciendo a pasos agigantados en los últimos años. Tan sólo hace poco más de medio siglo era impensable que figurara como una de las principales causas de muerte. El rápido crecimiento del parque vehicular y la falta de medidas para organizar su circulación han hecho que la accidentalidad vial sea considerada como un problema de salud pública a nivel mundial. En la última década muchos países se han dado cuenta de la gravedad de este problema, por lo que han realizado varios estudios e implantado medidas para contrarrestarlo.

La accidentalidad vial en áreas urbanas es considerado un problema complejo y multicausal que requiere de políticas serias y consistentes, que estén lideradas por el más alto nivel de la administración pública, que contemple una organización institucional fuerte, con recursos suficientes y permanentes para diseñar y desarrollar estrategias a mediano y largo plazo, de tal manera que los resultados obtenidos a partir de los programas y proyectos interinstitucionales que se apliquen sean soportados y argumentados técnicamente con base en diagnósticos que evidencien los factores que contribuyen a la generación de los accidentes viales en las áreas urbanas.

2.2. SITUACION A NIVEL MUNDIAL

Según la Organización Mundial de la Salud todos los años fallecen más de 1,2 millones de personas en las vías de tránsito del mundo, y entre 20 y 50 millones sufren traumatismos no mortales. En la mayoría de las regiones del mundo, esta epidemia de accidentes de tránsito sigue aumentando, siendo los países de ingresos bajos y medianos los que presentan mayores tasas de letalidad por accidentes de tránsito (21,5 y 19,5 por 100 000 habitantes, respectivamente) mientras que los países de ingresos altos (10,3 por 100 000). Según el informe sobre la situación mundial de la seguridad vial realizado en 2009 más del 90% de las víctimas mortales de los accidentes de tránsito que ocurren en el mundo corresponde a países de ingresos bajos y medianos, que tan sólo tienen el 48% de los vehículos del

mundo¹. Existe una clara diferencia en la problemática de la seguridad vial entre los países con ingresos altos y aquellos de economías más pobres, mientras que en los países con ingresos altos las víctimas mortales se concentran en los ocupantes de un vehículo, en los países con ingresos bajos y medianos los casos notificados de defunción corresponden a aquellos conocidos colectivamente como “usuarios vulnerables de las vías de tránsito” estos usuarios corresponden a peatones, ciclistas y motociclistas lo que pone de manifiesto que en los países de ingresos bajos y medianos no se hace lo suficiente para satisfacer las necesidades de estos grupos vulnerables los cuales representan la mayoría de usuarios de las vías en estos países.

Una de las falencias para abordar el tema de la seguridad vial de una manera integral y eficaz tiene que ver con la calidad y cobertura de los datos sobre traumatismos por accidentes de tránsito que los países recolectan y comunican. Ejemplo de esto es la sub-notificación de los accidentes de tránsito en muchos países y más aún cuando se tratan de traumatismos no mortales, lo que genera un problema grave para el análisis técnico de la problemática. Además la falta de consenso a nivel mundial o incluso a nivel de las regiones de un mismo país, en lo que respecta a la utilización armónica de la terminología para poder realizar comparaciones genera también una dificultad. Un claro ejemplo de esto lo representa la definición de “muerte por accidente de tránsito” el cual es considerado de forma distinta en cada país. Por ejemplo en algunos países se considera muerte por accidentes de tránsito a las ocurridas incluso hasta 30 días después del choque mientras que en otros se considera cualquier tiempo después del choque, otros por su parte incluyen en esas muertes las que ocurren dentro de las 24h después del accidente, ver figura 2.1.

¹*Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2009* (www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009).

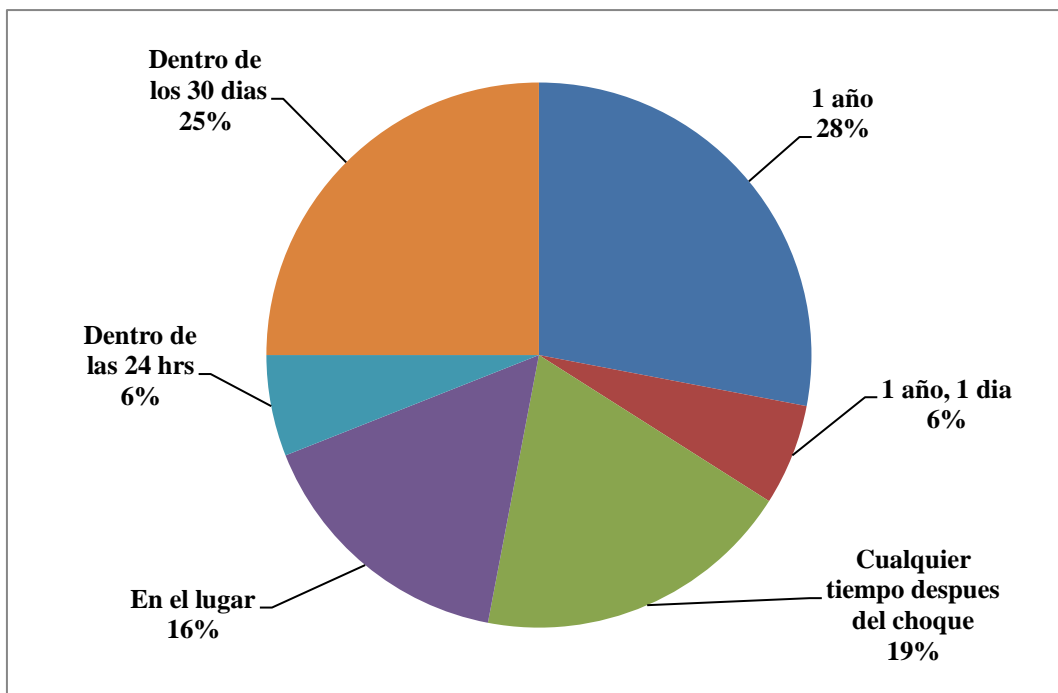


Figura 2.1: Definición de muerte por traumatismos ocasionados por los accidentes de tránsito, según el tiempo transcurrido entre el suceso y la defunción, región de las Américas.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud “Informe sobre el Estado de la Seguridad Vial en la Región de las Américas” Washington, D.C.: © 2009

Si bien aunque las tasas de accidentalidad en los países de ingresos altos se han estabilizado o han disminuido en las últimas décadas, los datos indican que en la mayor parte de los países la epidemia mundial de traumatismos por accidentes de tránsito sigue aumentando. La preocupación es tal que la Organización Mundial de la Salud prevé que los traumatismos por accidentes de tránsito aumentaran para pasar a ser la quinta causa principal de mortalidad en 2030, sino se adoptan medidas inmediatas y eficaces, ver tabla 2.1, lo que tendrá como resultado unos 2.4 millones de víctimas mortales en todo el mundo por año. Ello se debe, en parte al rápido aumento del mercado de vehículos de motor sin que haya mejoras suficientes en las estrategias de seguridad vial ni la planificación del uso del territorio.

Tabla 2.1 Comparación de principales causas de mortalidad a nivel mundial años 2004 y 2030

Año 2004		Año 2030	
Nº DE ORDEN	PRINCIPALES CAUSAS	Nº DE ORDEN	PRINCIPALES CAUSAS
1	Enfermedad isquémica del corazón	1	Enfermedad isquémica del corazón
2	Enfermedad cerebrovascular	2	Enfermedad cerebrovascular
3	Infecciones de las vías respiratorias inferiores	3	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
4	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	4	Infecciones de las vías respiratorias inferiores
5	Enfermedades diarreicas	5	Traumatismos por accidentes de tránsito
6	VIH/sida	6	Cánceres de la tráquea, bronquios y pulmón
7	Tuberculosis	7	Diabetes mellitus
8	Cánceres de la tráquea, bronquios y pulmón	8	Enfermedad cardíaca hipertensiva
9	Traumatismos por accidentes de tránsito	9	Cáncer del estómago
10	Prematuridad y bajo peso al nacer	10	VIH/sida
11	Infecciones neonatales y otras	11	Nefritis y nefrosis
12	Diabetes mellitus	12	Lesiones autoinfligidas
13	Paludismo	13	Cirrosis del hígado
14	Enfermedad cardíaca hipertensiva	14	Cáncer colorrectal
15	Asfixia del nacimiento y traumatismo del nacimiento	15	Cáncer del esófago
16	Lesiones autoinfligidas	16	Violencia
17	Cáncer del estómago	17	Alzheimer y otras demencias
18	Cirrosis del hígado	18	Cirrosis del hígado
19	Nefritis y nefrosis	19	Cáncer de mama
20	Cáncer colorrectal	20	Tuberculosis

Fuente: Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2009 (www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009).

Las Naciones Unidas en su informe sobre la crisis mundial de la seguridad vial correspondiente a 2009, señala que pese a los datos probatorios de que cada vez hay mayor conciencia sobre los asuntos de seguridad vial y mayor compromiso para solucionarlas, la voluntad política y los niveles de financiación distan de guardar proporción con la escala del problema. Si bien la atención a la problemática de la seguridad vial no es un tema reciente las respuestas internacionales en atención a esta situación han tomado un impulso en la última década. Así la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó en marzo de 2010 mediante la Resolución 64/255 el período 2011-2020 “Decenio de Acción para la Seguridad Vial” con el objetivo general de estabilizar y, posteriormente disminuir las cifras estimadas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo. En dicha resolución, la ONU pide a los Estados Miembros que realicen acciones en materia de seguridad vial especialmente en los ámbitos de la gestión de la seguridad vial, infraestructura vial, la seguridad de los vehículos, el comportamiento de los usuarios de las

vías, la educación para la seguridad vial y la atención después de los accidentes. De manera general en las actividades planteadas durante el decenio alientan a los países a que, dentro del marco jurídico de sus gobiernos locales y nacionales, ejecuten las actividades de conformidad con los cinco pilares siguientes, ver tabla 2.2.

Tabla 2.2: Actividades Recomendadas por Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial

Actividades Nacionales Recomendadas				
Pilar 1 Gestión de la seguridad vial	Pilar 2 Vías de tránsito y movilidad más seguras	Pilar 3 Vehículos más seguros	Pilar 4 Usuarios de vías de tránsito más seguras	Pilar 5 Respuesta tras los accidentes

Fuente: ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020.* http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/spanish.pdf.

En el pilar 1 se promueve alentar la creación de alianzas multisectoriales y la designación de organismos coordinadores que tengan capacidad para elaborar estrategias, planes y metas nacionales en materia de seguridad vial y para dirigir su ejecución, basándose en la recopilación de datos y la investigación probatoria para evaluar el diseño de contramedidas y vigilar la aplicación y la eficacia.

El pilar 2 tiene como objetivo aumentar la seguridad intrínseca y la calidad de protección de las redes de carreteras en beneficio de todos los usuarios de las vías de tránsito, especialmente de los más vulnerables (por ejemplo, los peatones, los ciclistas y los motociclistas), mediante la aplicación de evaluaciones de la infraestructura vial y el mejoramiento de la planificación, el diseño, la construcción y el funcionamiento de las carreteras teniendo en cuenta la seguridad.

Las actividades del pilar 3 buscan alentar el despliegue universal de mejores tecnologías de seguridad pasiva y activa de los vehículos, combinando la armonización de las normas mundiales pertinentes, los sistemas de información a los consumidores y los incentivos destinados a acelerar la introducción de nuevas tecnologías.

En el pilar 4 se plantea Elaborar programas integrales para mejorar el comportamiento de los usuarios de las vías de tránsito. Observancia permanente o potenciación de las leyes y normas en combinación con la educación o sensibilización pública para aumentar las tasas de utilización del cinturón de seguridad y del casco, y para reducir la conducción bajo los efectos del alcohol, la velocidad y otros factores de riesgo.

Las actividades propuestas en el pilar 5 se enfocan en incrementar la capacidad de respuesta a las emergencias originadas por los accidentes de tránsito y mejorar la capacidad de los sistemas de salud y de otra índole para brindar a las víctimas tratamiento de emergencia apropiado y rehabilitación a largo plazo.

2.3. LA ACCIDENTALIDAD VIAL EN COLOMBIA

Según el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, los accidentes de tránsito se han constituido en la segunda causa de muerte violenta en Colombia durante la última década. Entre los años 2005 y 2014 más de 58000 colombianos murieron y más de 413000 vieron afectada su calidad de vida por causa de sufrir una lesión en un accidente de tránsito. En los últimos años, los accidentes de tránsito en promedio aportan 1,5 veces más muertes que la problemática del conflicto armado. Con estas cifras se evidencia que el país se encuentra frente a un problema de salud pública que reclama especial atención por parte de todos los actores involucrados y sobre todo prioridad política para de reducir el número ciudadanos muertos, lesionados y los cuantiosos costos que generan los accidentes de tránsito en las vías colombianas.

El INMLCF registro para el año 2015 un total de 52690 casos atendidos por accidentes de transporte, de los cuales 6884 corresponden a lesiones fatales (13.06%) y las lesiones no fatales ascienden a 45806 personas lesionadas (86.94%). En términos de tasas por 100.000 habitantes, la de Colombia para el año 2015 es de 14.28 muertes. Este indicador comparado con cifras internacionales ubica a Colombia entre el valor medio de la región europea (10.3) y la región de las Américas (16.1). Un aspecto preocupante es que en el año 2015 se presentó el valor más alto en los últimos diez años de acuerdo con el histórico de tasas. Lo que pone de manifiesto un retroceso en la lucha contra el flagelo de la seguridad vial en la última década cuyo mejor registro se presentó 11 años atrás en el año 2005, con un valor de 12.9 muertes por cada 100.000 habitantes, en el territorio colombiano ver figura 2.2.

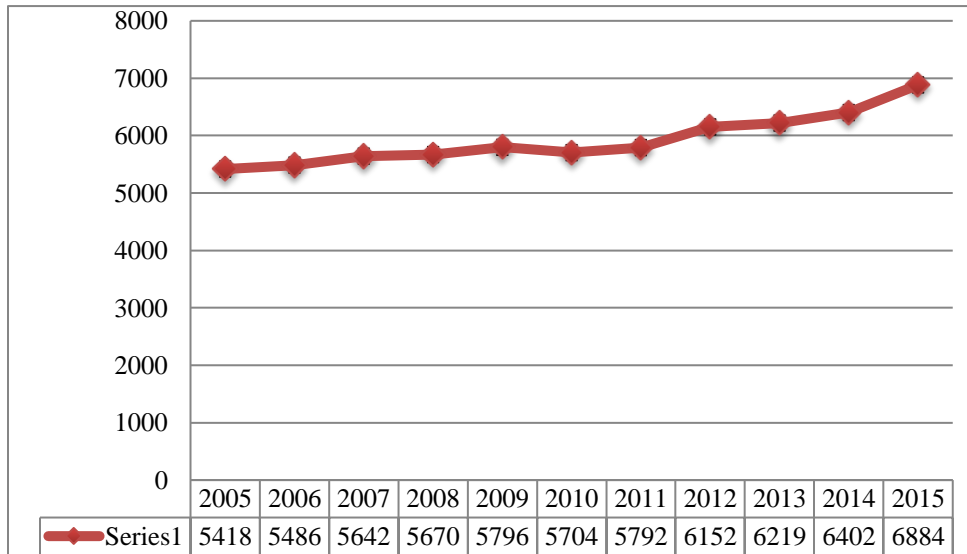


Figura 2.2: Casos de muertes por accidentes de tránsito 2005-2015.

Fuente: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses / Centro de Referencia Nacional sobre Violencia / Sistema de Información Red de Desaparecidos y Cadáveres / Sistema de Información Nacional de Estadísticas Indirectas

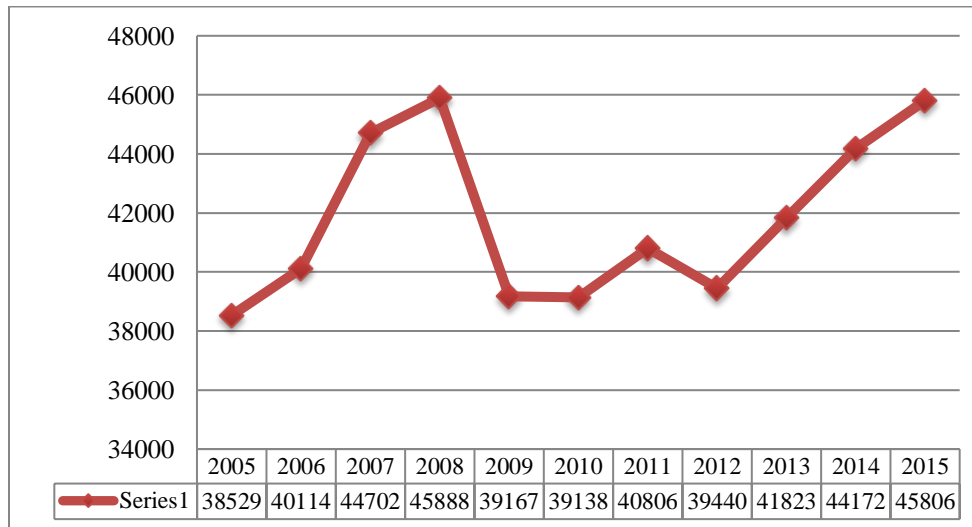


Figura 2.3: Casos de heridos por accidentes de tránsito 2005-2015.

Fuente: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses / Centro de Referencia Nacional sobre Violencia / Sistema de Información Red de Desaparecidos y Cadáveres / Sistema de Información Nacional de Estadísticas Indirectas

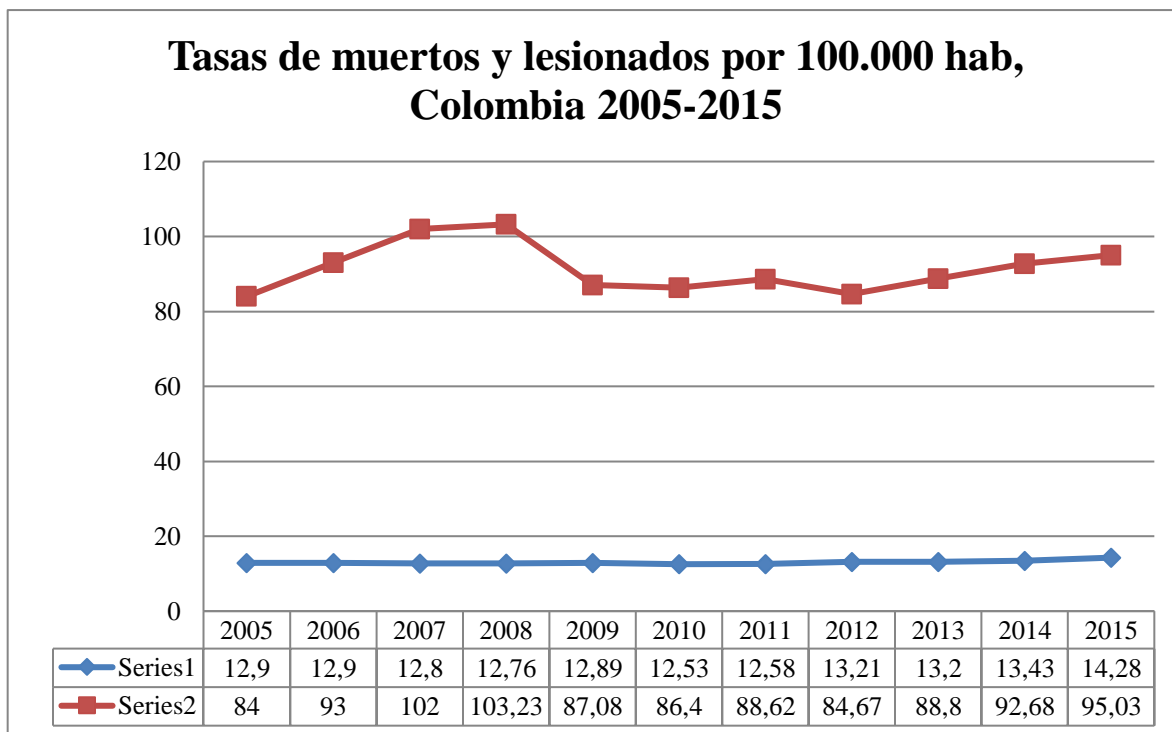


Figura 2.4: Tasas de muertos y heridos por 100.000 hab, Colombia, 2005-2015.
Fuente: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses / Centro de Referencia Nacional sobre Violencia / Sistema de Información Red de Desaparecidos y Cadáveres / Sistema de Información Nacional de Estadísticas Indirectas

Estos datos nos muestran que diariamente mueren en el país un promedio de 16 personas Figura 2.2 y resultan heridos 113 por hechos relacionados con accidentes de tránsito; se puede ver que en el periodo total se registraron 65165 muertes y 459585 lesionados Figura 2.3.

El análisis de víctimas no fatales presenta incrementos incluso mayores a los de fatalidades; durante el año 2015 el aumento de heridos por accidentes de transporte fue de 3.70% comparado con el año 2014 y de 18.88% con respecto a 2005. En el 2015 el número de lesionados por accidentes de transporte informado al INMLCF es el segundo registro más alto de la última década, por debajo tan solo del año 2008.

El análisis en términos de tasas no reviste una aproximación del fenómeno de inseguridad vial completo porque, entre otras razones, el reporte de heridos por accidentes de transporte es un proceso de discusión continuo a nivel mundial dada la complejidad de la valoración y por supuesto de la definición del concepto de herido o lesionado. Estas diferencias se aprecian en diferentes niveles gubernamentales e incluso no gubernamentales de una

región; por tanto, son una limitante las diferentes formas de conteo para un análisis riguroso, acertado y comparable sobre víctimas no fatales de la accidentalidad vial.

Con base en lo anterior, lo registrado por los sistemas de información del INMLCF infiere una tasa de lesionados que no presenta mayores variaciones en la última década, con una estabilidad de valores cercanos a los 90 heridos por cada 100.000 habitantes, exceptuando los registros atípicos presentados en los años 2007 y 2008 (Figura 2.4).

Si bien los registros históricos de accidentalidad en Colombia muestran la gravedad de la problemática, el país ha venido trabajando para contrarrestar esta situación y mediante políticas de estado como la ley 769 de 6 de Agosto de 2002, mediante la cual se expide el Código Nacional de Tránsito, este en su artículo 4, parágrafo 1 expresa que “El Ministerio de Transporte deberá elaborar un plan nacional de seguridad vial para disminuir la accidentalidad en el país que sirva además como base para los planes departamentales, metropolitanos, distritales y municipales de control de piratería e ilegalidad”. Como antecedentes concretos sobre planes de seguridad vial el ministerio de transporte adopto mediante la resolución 4101 de diciembre 28 de 2004, el plan nacional de seguridad vial 2004-2008 como un documento de política nacional. El Plan tenía por objetivo la reducir el número de accidentes, muertos y lesionados en las vías del territorio Colombiano, mediante la fijación de una política pública de seguridad vial orientada al mejoramiento permanente de la calidad de vida y la seguridad de los ciudadanos en el proceso de la movilidad. Para lograr estos objetivos el plan establece los mecanismos de planificación e intervención dándole tratamiento a la accidentalidad bajo el concepto de riesgo, para esto considera que los diferentes factores que contribuyen se clasifican bajo la perspectiva de la amenaza y la vulnerabilidad. El plan plantea tres escenarios de intervención que son:

- Grandes áreas urbanas: donde los más vulnerables son los peatones.
- Áreas urbanas de tamaño intermedio: donde los motociclistas y peatones son más vulnerables.
- Áreas rurales o zonas suburbanas: donde los más vulnerables son los pasajeros y peatones.

2.4. LA ACCIDENTALIDAD VIAL EN CARTAGENA DE INDIAS

Para tener una visión general de la información de accidentalidad de la ciudad de Cartagena para el periodo de estudio, se realizó una descripción detallada de los datos utilizados mediante gráficos y tablas que nos permiten tener un panorama más general de la distribución de los accidentes y de los índices utilizados para su análisis.

En la tabla 2.3 se muestran las tasas de mortalidad y morbilidad por 100.000 hab para la ciudad de Cartagena en los años 2010 a 2015. Se puede ver un aumento consecutivo en las tasas de muertos (6.67, 7.64, 8.69, 9.81 y 12.22 por 100.000 hab) entre los años 2010 y 2014 respectivamente y luego una disminución en el año 2015 con respecto al año 2014. Por su parte la tasa de lesionados por 100000 hab disminuyo consecutivamente entre los años 2010 y 2012 y entre los años 2013 y 2015 aumento pasando de 68.67 a 73.21 por 100000 hab.

Tabla 1.1.2.3: Tasas de mortalidad y morbilidad Cartagena, 2010-2015

Año	muertos	heridos	Tasas	
			mortalidad	morbilidad
2010	63	688	6.67	72.86
2011	73	665	7.64	69.58
2012	84	579	8.69	59.90
2013	96	672	9.81	68.67
2014	121	696	12.22	70.29
2015	97	725	9.68	73.21

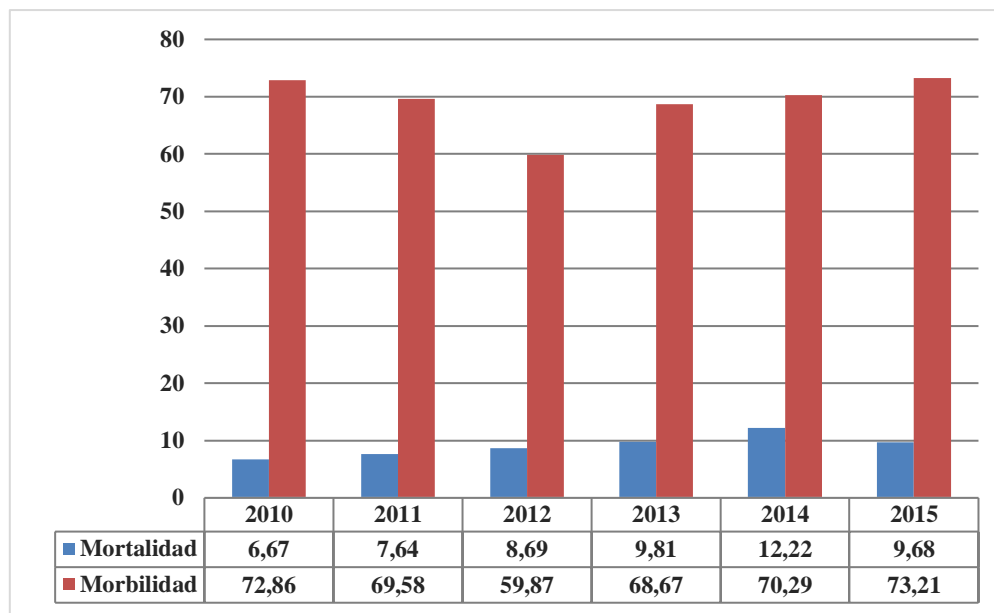


Figura 2.5: Tasas de mortalidad y morbilidad Cartagena 2010-2015

En las Figura 2.6 y Figura 2.7, se muestran las tasas de muertes y lesionados de acuerdo a el género para los años entre 2010 y 2015, se puede notar que en promedio mueren 6 hombres por cada mujer y la relación de lesionados es de 2 hombres a 1 mujer por cada 100000 habitantes. Esto nos da una clara idea de la influencia que tiene el género en la severidad de los accidentes.

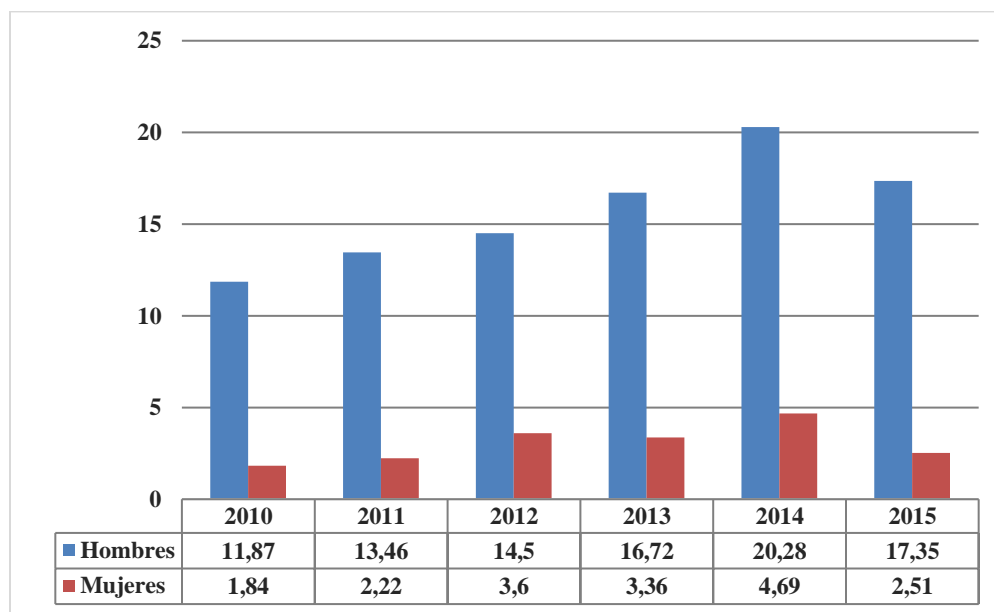


Figura 2.6: Tasas de muertes por 100.000 hab según el género para los años 2010 a 2015

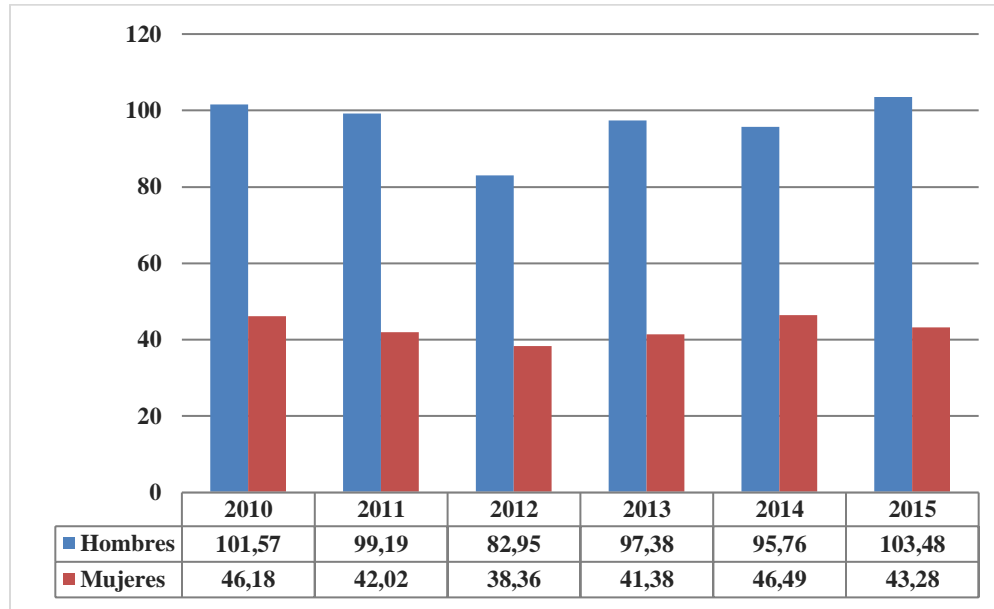


Figura 2.7: Tasas de lesionados por 100.000 hab según el género para los años 2010 a 2015

De acuerdo a la Figura 2.8, el mayor número de accidentes fatales, no fatales y solo daños en Cartagena se presenta en el rango de edad entre 25 y 64 años, seguido por los menores de 25 años y por último están la población mayor a 64 años de edad que según los datos son los que menos sufren accidentes. En cuanto a la condición de la víctima que sufrió el accidente, la Figura 2.9 muestra que los usuarios conductores son los que presentan más muertes y lesiones seguidos por los peatones y por último están los pasajeros.

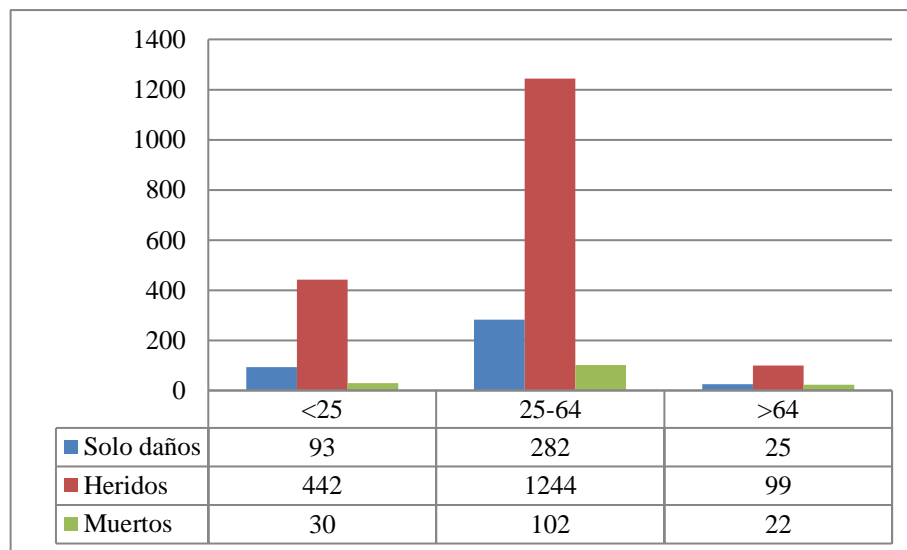


Figura 2.8: Severidad de los accidentes según rango de edad para el periodo entre 2010 y 2012.

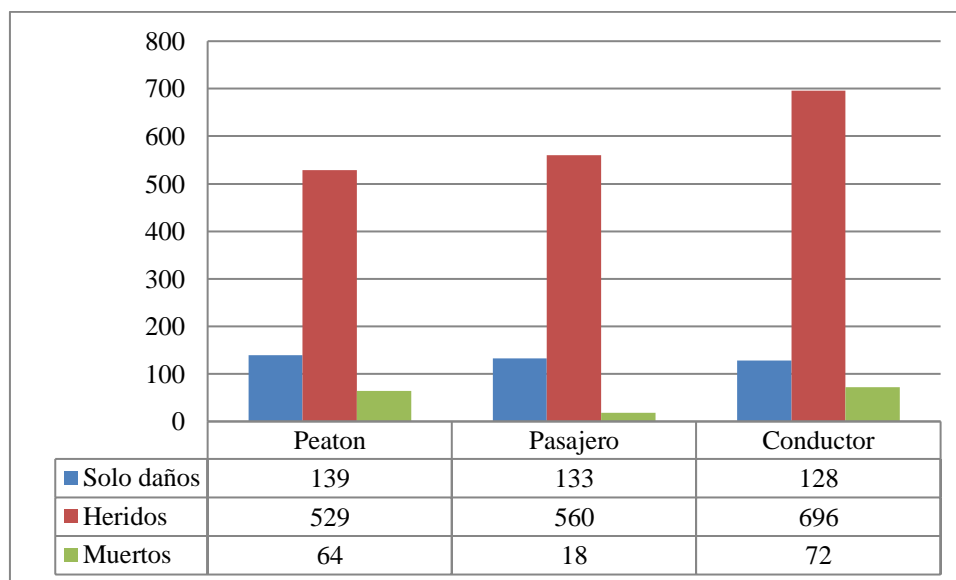


Figura 2.9: Gravedad de los accidentes por condición de usuario, 2010-2012

En relación con el tipo de vehículo involucrado en el accidente, en el 53%, 66% y 60% de los casos para los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente se identificó como vehículo actor una motocicleta en los resultados de muertes, igualmente para las lesiones no fatales fue el vehículo con más porcentaje de participación. El vehículo con menos porcentaje fue la bicicleta ver la Tabla 2 y Figura 2.10 y Figura 2.11. Estos datos confirman que los motociclistas se convierten en un factor de riesgo importante para la frecuencia y severidad de los accidentes de tránsito, (Mannering y Grodsky, 1995).

Tabla 2.4: Muertes y heridos según tipo de vehículo involucrado en el hecho, Cartagena 2010-2012

Vehículo	2010				2011				2012			
	Muertos	%	Heridos	%	Muertos	%	Heridos	%	Muertos	%	Heridos	%
Auto	10	23.26	114	17.92	10	17.86	125	20.26	10	18.18	114	21.43
Bus o Camión	10	23.26	118	18.55	8	14.29	77	12.48	12	21.82	71	13.35
Motocicleta	23	53.49	382	60.06	37	66.07	400	64.83	33	60.00	332	62.41
Bicicleta	0	0.00	22	3.46	1	1.79	15	2.43	0	0.00	15	2.82

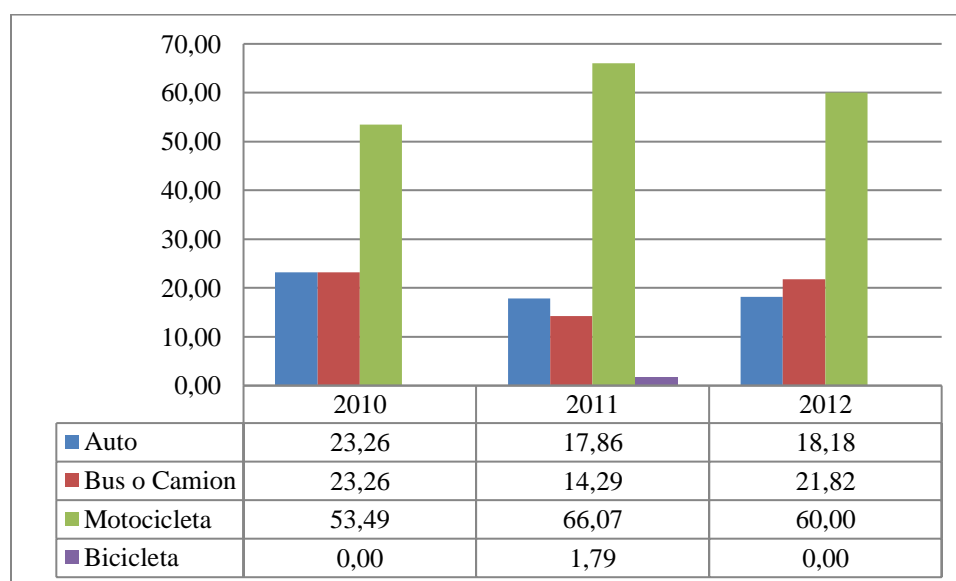


Figura 2.10: Muertes según tipo de vehículo, Cartagena 2010-2012

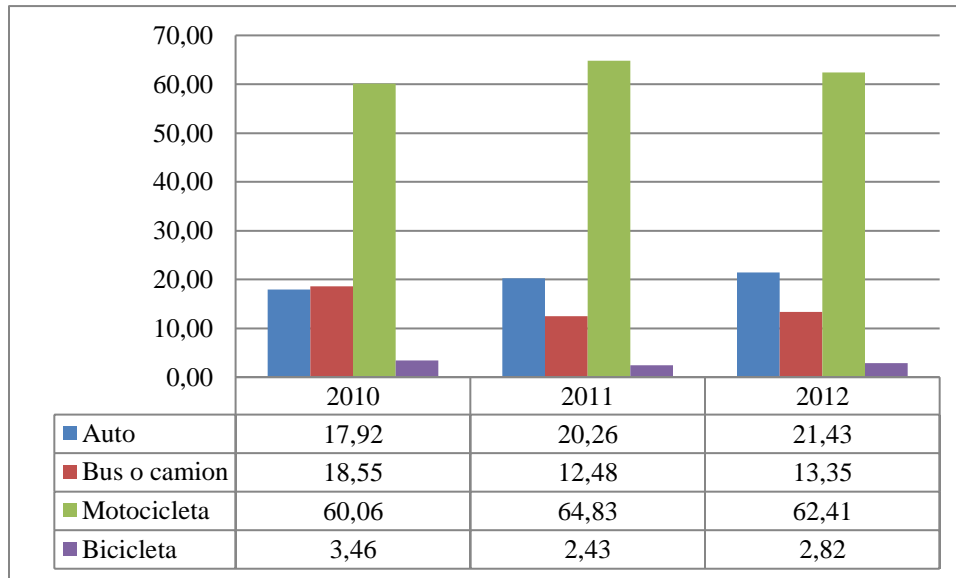


Figura 2.11: Heridos según tipo de vehículo, Cartagena 2010-2012

2.5. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En cuanto a los enfoques metodológicos varias estructuras de modelos han sido propuestas para la modelación de severidad de accidentes de tránsito. Los enfoques Logit Anidados (NL, Nested Logit) y Logit Multinomial (MNL, Multinomial Logit) han sido ampliamente utilizados en el análisis de datos de severidad en accidentes de tránsito debido a la flexibilidad en términos de la captura de los efectos de las variables independientes comparados con los modelos de respuesta ordenada Probit, (Patil et al., 2012).

Por su parte dado que en muchas bases de datos de reporte de accidentes la gravedad del choque se presenta en tres o más categorías, como fatal, incapacitante, solo daños materiales, el nivel de gravedad se puede considerar como una variable ordinal. Lo que permite modelar la severidad de los accidentes utilizando modelos de respuesta ordenada. Los más comúnmente utilizados son los modelos Logit Ordenada (OL), Probit Ordenado (OP).

A continuación, se realiza un recuento de las principales investigaciones llevadas a cabo durante las últimas décadas, centradas en la modelación de la severidad de accidentes de tráfico.

O'Donnell y Connor (1996) evaluaron las probabilidades de cuatro niveles de gravedad de las lesiones en función de los atributos del conductor y se comparan las especificaciones OL y OP. Sus resultados sugieren que la gravedad de las lesiones aumenta con la velocidad, la antigüedad del vehículo, la edad de los ocupantes, el sexo femenino, los niveles de alcohol en la sangre más de 0.08 por ciento, el no uso de cinturón de seguridad, tipo de colisión (por ejemplo, choques de frente), y los viajes en camión de carga ligera. Y, de acuerdo con su comparación de los efectos, la posición del asiento de víctimas de accidentes fue de lo más relevante (por ejemplo, el asiento trasero izquierdo del vehículo se encontró que era más peligroso) y el género menos relevante.

Shankar et al. (1996) presentó una formulación logit anidado como un medio para determinar la gravedad de los accidentes en las carreteras rurales, dado que se haya producido un accidente. Llegaron a la conclusión de que un modelo logit anidado, que representó variables no observadas comunes entre los daños materiales y los posibles accidentes con lesiones, siempre proveían mejor ajuste estructural para la distribución observada de severidad de accidentes.

(Duncan et al, 1998) examinaron el impacto de diversos factores sobre las lesiones de los ocupantes de vehículos de pasajeros implicados en colisiones traseras de camión-vehículo de pasajeros y demostró el uso del modelo probit ordenado en el complejo problema de la seguridad vial. Llegaron a la conclusión de que el modelo probit ordenado es flexible ya que permite a las probabilidades de severidad de la lesión variar de manera diferente en todas las categorías.

(Chang y Mannering, 1999) utilizó enfoques logit anidado para estudiar la severidad de las lesiones condicionado a diferentes ocupaciones de vehículos. Los resultados de este estudio demostraron que el modelo logit anidado, que fue capaz de tener en cuenta los efectos de ocupación de los vehículos e identificar una amplia gama de factores que influyen en las lesiones de los ocupantes, es un enfoque metodológico prometedor.

(Klop y Khattak, 1999) exploraron el efecto de un conjunto de variables relacionadas con las carreteras, el ambiente y el choque en la severidad de las lesiones en bicicleta utilizando el modelo probit ordenado. Los resultados del modelo muestran que las variables que

aumentan significativamente la gravedad de la lesión incluyen grado de la recta, grado de la curva, oscuridad, niebla y límite de velocidad.

(Quddus et al, 2002) utilizaron un modelo probit ordenado para examinar los factores que afectan a la severidad de las lesiones de los accidentes de motocicleta y la gravedad de los daños a las motocicletas y los vehículos implicados en esos accidentes. Llegaron a la conclusión de que los factores que conducen a una mayor probabilidad de que los daños del vehículo y de la motocicleta incluyen algunos factores similares y otros diferentes.

(Adbel-Aty, 2003) analizó la gravedad de las lesiones del conductor en lugares como, las secciones de carreteras, intersecciones señalizadas y plazas de peaje utilizando el modelo probit ordenado. Este estudio ilustra las similitudes y diferencias en los factores que afectan la severidad de lesiones en las diferentes locaciones.

Holdridge et al. (2005) analizaron el desempeño en el servicio de equipos de carretera en todo el sistema de la Ruta Estatal urbana en el estado de Washington mediante el desarrollo de modelos multivariados logit anidados de severidad de las lesiones en choques con objeto fijo. Los modelos mostraron la contribución de los extremos delanteros de las barandas hacia las lesiones mortales y también indicó la importancia de proteger los vehículos de choques con los postes rígidos y troncos de árboles.

(Gkritza y Mannering, 2008) demostraron un enfoque logit mixto que se puede utilizar para comprender mejor el uso de cinturones de seguridad en vehículos de uno y múltiples ocupantes. Llegaron a la conclusión de que el modelo logit mixto puede proporcionar una comprensión mucho más completa de la interacción de las numerosas variables que se correlacionan con el uso de cinturón de seguridad.

(Milton et al, 2008) analizaron las distribuciones de la severidad de las lesiones de los accidentes en los segmentos de carretera, y el efecto que el tráfico, la carretera y las características climáticas tienen sobre estas distribuciones mediante un modelo logit mixto. Sus resultados mostraron que el modelo logit mixto tiene una promesa considerable como herramienta metodológica en la programación de la seguridad vial.

(Wang y Abdel-Aty, 2008) examinaron la severidad de las lesiones de choques por giro a la izquierda mediante un modelo logit ordenado. Este estudio encontró que ni el volumen total de la aproximación, ni todo el volumen de la intersección, sino más bien los movimientos específicos de los vehículos afectaban significativamente la severidad de las lesiones.

(Eluru et al, 2008) desarrollo un modelo logit mixto ordenado para examinar la severidad de las lesiones por accidentes de tránsito en peatones y ciclistas. Ellos concluyeron que el modelo mixto ordenado no produce estimaciones inconsistentes de los efectos de algunas variables como si lo hace el modelo probit ordenado. El análisis también sugirió que el patrón general y la magnitud relativa de los efectos de elasticidad de los determinantes de la severidad de las lesiones son similares para los peatones y ciclistas.

(Pai et al, 2009) estimaron modelos logit mixtos para investigar los factores que contribuyen a la violación del derecho de vía de los motoristas en los diferentes tipos de accidentes. Se encontró que el derecho de vía motocicletas 'tenía más probabilidades de ser violada en las carreteras no urbanizadas, y en condiciones deficientes de iluminación.

Estudios conducidos por Haleem y Abdel-Aty (2010) utilizaron los enfoques probit ordenado, probit binario y logit anidado para examinar la severidad de las lesiones en accidentes de tránsito en intersecciones no semaforizadas. Ellos encontraron que comparando el enfoque desagregado probit binario con el desagregado probit ordenado, el primero producía mejores resultados y que por su sencillez podrían ser utilizados para modelar la severidad de las lesiones en accidentes en intersecciones no semaforizadas. Por otra parte, el enfoque logit anidado no mostro ninguna mejora con respecto a los modelos probit.

RenHu et al. (2010) Encontraron que el modelo logit generalizado es un enfoque metodológico apropiado para explorar los factores claves que afectan significativamente la severidad de los accidentes en un paso a nivel, en particular el modelo logit generalizado con selección de variable paso a paso proporcionaba una mejor idea de los factores claves que contribuían significativamente en el grado de severidad de las colisiones.

En lo que respecta a la zona de estudio, (P. Garcés, 2010), investigó los factores influyentes en la ocurrencia de colisiones de tránsito en el área urbana de Cartagena de Indias utilizando enfoques bayesianos empíricos. Ella concluyó que la aproximación bayes empírica era adecuada para estimar la frecuencia esperada de accidentes y la identificación de sectores potencialmente peligrosos.

Kim et al. (2010) aplicó un modelo logit mixto para analizar la gravedad de la lesión de peatones en accidentes de peatones-vehículos para hacer atender a la posible heterogeneidad no observada. Se encontró que varios factores aumentan el nivel de lesión fatal significativamente, incluyendo la oscuridad, conducir ebrio, y el exceso de velocidad. Ellos encontraron que el efecto de la edad de los peatones se distribuye normalmente a través de las observaciones, y que en los peatones de mayor edad, la probabilidad de lesión fatal aumentó sustancialmente.

La Tabla 2.5 muestra un resumen de los modelos de elección discreta de uso común. Se presentan las ventajas y limitaciones, así como los supuestos importantes de estos modelos.

Tabla 2.5: Resumen de modelos de predicción de severidad de accidentes

TIPO DE MODELO	INVESTIGACIONES ANTERIORES	VENTAJAS	LIMITACIONES	SUPUESTOS
Logit Multinomial	Chang and Mannering (1999) Ulfarsson and Mannering (2004) Khorashadi et al. (2005) Kim et al. (2007) Savolainen and Mannering (2007) Malyshkina and Mannering (2010) Rifaat et al. (2011) Park (2012) Çelik and Oktay (2014) Weiss et al. (2014) Ye and Lord (2014)	Fácilmente interpretable; Permite coeficientes de variables que varían entre diferentes categorías	Susceptible a correlación de efectos no observados de un nivel de gravedad de la lesión a la siguiente (propiedad IIA); No reconoce el ordenamiento de los resultados de severidad de lesiones	Los términos de error deberían ser Independiente e Idénticamente distribuidos
Probit Multinomial	Winston et al. (2006)			
Logit Anidado	Shankar et al. (1996) Chang y Mannering (1999) Lee and Mannering. (2002) Holdridge et al. (2005)	Libera el supuesto IIA	No reconoce el ordenamiento de los resultados de severidad de	Los términos de error tienen distribución de valor extremo

			lesiones	generalizado (GEV)
Logit Ordenado	Donnell and Cornor (1996) Wang and Abdel-Aty (2008) Park et al. (2012) Prato and Kaplan (2014) Lu et al. (2016)	Reconoce el ordenamiento de los resultados de severidad de lesiones	El cambio en los umbrales está restringido a moverse en la misma dirección	Supuesto de pendiente paralela
Probit Ordenado	Duncan et al. (1998) Klop and Khattak (1999) Quddus et al. (2002) Kockelman and Kweon (2002) Adbel-Aty (2003) Zajac and Iván (2003) Abdel-Aty and Keller (2005) Oh (2006) Park et al. (2012) Garrido et al. (2014) Ye and Lord (2014)	Reconoce el ordenamiento de los resultados de severidad de lesiones	El cambio en los umbrales está restringido a moverse en la misma dirección	Supuesto de pendiente paralela
Logit Mixto	Eluru et al. (2008) Gkritza and Mannering (2008) Milton et al. (2008) Pai et al. (2009) Kim et al. (2010) Morgan and Mannering (2011) Haleem and Gan (2013) Kim et al. (2013) Weiss et al. (2014) Ye and Lord (2014)	Es altamente flexible que elimina las limitaciones de logit estándar	No reconoce el ordenamiento de los resultados de severidad de lesiones	

3. ENFOQUE METODOLOGICO-ANALISIS DE SEVERIDAD DE ACCIDENTES DE TRAFICO

Según Chang y Mannering (1999), por lo general, el nivel de lesión sufrido por el ocupante del vehículo más gravemente herido define la gravedad de un accidente de tránsito. A pesar de que existen varios arreglos de la gravedad (véase por ejemplo Lee y Mannering, 2002), la clasificación estándar en accidentes fatales, de lesiones y de daño a la propiedad es ampliamente utilizada en el análisis de la gravedad del accidente (Ratanavaraha y Suangka, 2014). Claramente, el nivel de severidad es un resultado discreto; Por lo tanto, un modelo de elección discreta es un método apropiado para modelarlo (Holdière et al., 2005, Oh, 2006, Park et al., 2012, Çelik y Oktay, 2014, Prato y Kaplan, 2014, Lu et al., 2016).

Formalmente, la probabilidad de que el accidente de tráfico n sea la gravedad i se obtiene determinando la probabilidad de que se produzcan resultados discretos dado que el accidente ha ocurrido (1).

$$P_n(i) = P(S_{in} \geq S_{jn}) \quad (1)$$

Donde, $P_n(i)$ es la probabilidad de que una categoría de gravedad de accidente i ocurre en un accidente observado n , y S_{in} es una función que determina la gravedad del accidente n . Como de costumbre, esta función puede ser linealizada de la forma (2).

$$S_{in} = ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n + \varepsilon_{in} \quad (2)$$

Donde ASC_i es la constante específica alternativa, β_i es un vector de coeficientes a estimar, \mathbf{X}_n es un vector de características medibles (factores de riesgo) que determinan la severidad, y ε_{in} es un término de error que influye en la severidad del accidente. Con J niveles de gravedad, como mucho $J - 1$ categorías pueden entrar en el modelo, con uno de ellos normalizado a cero porque las características medibles \mathbf{X}_n no varían con las categorías de gravedad.

3.1. MODELOS DE ELECCION DISCRETA

Al suponer que los términos de error ε_{in} tienen distribución de valor extremo generalizados, se puede derivar un modelo logit multinomial (MNL) para estimar la probabilidad de una categoría de gravedad de accidente (3).

$$P_n(i) = \frac{\exp(ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n)}{\sum_j \exp(ASC_j + \beta_j \mathbf{X}_n)} \quad (3)$$

En este caso, se supone que los términos de error ε_{in} son independientes en cada una de las categorías de gravedad. Por lo tanto, si algunas categorías de gravedad comparten efectos no observados (es decir, tienen alteraciones correlacionadas), las suposiciones de derivación del modelo MNL son violadas y se producirán graves errores de especificación (Lee y Mannering, 2002). Para lidiar con este problema, un modelo de logit anidado (NL), que particiona el conjunto de alternativas en subconjuntos llamados nidos, proporciona una estructura más generalizada para modelar las probabilidades de gravedad del accidente (4).

$$P_n(i) = \frac{\exp(ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n + \theta_i L_{in})}{\sum_j \exp(ASC_j + \beta_j \mathbf{X}_n + \theta_j L_{jn})} \quad (4)$$

Donde L_{in} es el valor inclusivo (log sum) y θ_i es un parámetro a estimar con un valor entre 0 y 1. La probabilidad $P_n(i)$ se puede expresar como la probabilidad de un accidente n teniendo severidad s condicionada a que la gravedad esté en categoría de gravedad i (5).

$$P_n(s|i) = \frac{\exp(ASC_i + \beta_{s|i} \mathbf{X}_n)}{\sum_K \exp(ASC_i + \beta_{k|i} \mathbf{X}_n)} \quad (5)$$

Donde K es el conjunto condicional de categorías de gravedad (condicionado en i), e i es el conjunto incondicional de categorías de gravedad.

Además, si se supone que la gravedad del choque es un conjunto de categorías ordenadas, se pueden utilizar los modelos ordenados. La suposición subyacente es que cada gravedad del accidente i se obtiene a través de un mecanismo de censura que define diferentes categorías, de acuerdo con (6), donde cada severidad observada y_{in} es definida por un conjunto de parámetros de umbral (τ) a estimar.

$$y_{in} = \begin{cases} 1 & \text{if } (-\infty) < S_{in} \leq \tau_1 \\ 2 & \text{if } \tau_1 < S_{in} \leq \tau_2 \\ \dots & \\ C & \text{if } \tau_{(C-1)} < S_{in} \leq \infty \end{cases} \quad (6)$$

Donde C es la categoría de severidad de lesión ordenada más alta. Por lo tanto, la probabilidad de una categoría de gravedad de accidente se puede escribir como (7), donde F es la función de distribución acumulativa.

$$P\{S_{in} \in c|X_n\} = F(\tau_c - \beta_i X_n) - F(\tau_{(c-1)} - \beta_i X_n) \quad (7)$$

Suponiendo que los términos de error siguen una distribución logística y son independientes del conjunto de parámetros, se obtiene el modelo logit ordenado (OL) y la probabilidad de una categoría de gravedad de choque se puede expresar como (8).

$$P\{S_{in} \in c|X_n\} = \frac{1}{1 + e^{(\tau_c - \beta_i X_n)}} - \frac{1}{1 + e^{(\tau_{(c-1)} - \beta_i X_n)}} \quad (8)$$

Donde $\tau_0 = -\infty$ y $\tau_C = \infty$

Dependiendo de las suposiciones para la distribución de los términos de error, pueden formarse otros modelos de gravedad del accidente. El Probit Multinomial (MNP) y el Probit Ordenado (OP) se derivan de la suposición de que los términos de error distribuyen normal multivariado, y el logit mixto (ML) se basa en la suposición de que la porción no observada de S_{in} consiste en una parte que sigue cualquier distribución más a una parte que es de forma independiente e idénticamente distribuida de valor extremo tipo 1 (Gumbel). Realmente no se puede decir que ninguno de estos modelos sea superior a los demás. Posiblemente debido a la integral resultante no tiene una forma cerrada y se evalúa numéricamente a través de la simulación, los modelos MNP, OP y ML son menos utilizados que otros para estudiar la gravedad del accidente.

3.2. FACTORES DE RIESGO

Un accidente de tránsito resulta de una combinación de factores asociados con una variedad de componentes que comprenden víctimas y vehículos, infraestructura vial, medio ambiente, tráfico, control, día y hora, y sus interacciones. En un contexto urbano, el diseño

de la infraestructura, los semáforos y la organización general del control del tráfico vial son factores importantes que influyen en la gravedad de los accidentes de tráfico (Vorko-Jović et al., 2006). Con base en la revisión de la literatura, hemos organizado los principales factores de riesgo en seis grupos: víctima, vehículo, infraestructura vial, tráfico y control, día y hora y medio ambiente (Tabla 3.1). Varios estudios han demostrado que la edad y el género son los factores de riesgo más relevantes asociados con la gravedad del accidente. Asimismo, algunos autores han demostrado el impacto diferenciado del tipo de vehículos sobre la severidad. En cuanto a las características de la infraestructura de carreteras, el tipo de carretera, algunos patrones de calles, la división física entre calzadas, aceras y condiciones de pavimento también parecen estar asociados con la gravedad del accidente. Aunque algunas variables de control no suelen ser determinantes en la gravedad del accidente, incluimos el cruce peatonal, el puente peatonal y los semáforos en las variables de tráfico y control. También consideramos los períodos del día, el día de la semana, la estación y el uso de la tierra como factores de riesgo relacionados con la gravedad del accidente.

Tabla 3.1: Resumen de modelos de predicción de severidad de accidentes

Grupo	Factor de riesgo	Hallazgos previos
Victima	edad	Los jóvenes tienen el doble de probabilidades de ser hospitalizados debido a lesiones graves (de Melo et al., 2017). Los conductores jóvenes tienen una proporción más alta de niveles crecientes de gravedad de lesión (Martensen y Dupont, 2013). Su comportamiento es uno de los factores más relevantes asociados con la mayor gravedad de la lesión (Weiss et al., 2014). Un factor clave que da como resultado severa severidad de lesión del conductor es el conductor de 65 años de edad o más (Yasmin et al., 2014).
	Genero	Los conductores masculinos tienden a ser menos cautelosos que las mujeres (Zhang et al., 2014). También tienen un mayor riesgo de estar involucrados en accidentes más graves (Yan et al., 2005, Yau et al., 2006, Kim et al., 2013)
Vehículo	Tipo	Los camiones son más peligrosos para los ciclistas que para los automóviles en las intersecciones (Bíl et al., 2016). Las motocicletas y los vehículos pesados tienen menos probabilidades de estar involucrados en accidentes de un solo vehículo que los automóviles (Martensen y Dupont, 2013).
Infraestructura vial	Tipo	Las vías locales y arteriales tienen un papel significativo en la gravedad de las lesiones (Eluru et al., 2013). Los caminos curvos aumentan la probabilidad de lesiones mortales (Kim et al., 2007).
	Dirección de la vía	Los patrones callejeros tienen un impacto significativo en la severidad del accidente (Rifaat et al., 2011)
	Separador	La división física entre calzadas es una de las variables más importantes para diferenciar los niveles de gravedad (Martensen y Dupont, 2013).

Grupo	Factor de riesgo	Hallazgos previos
	Anden peatonal	Las aceras tienen un papel significativo en la gravedad de las lesiones (Eluru et al., 2013).
	Condición del pavimento	Las malas condiciones del pavimento conducen a accidentes más graves (Li et al., 2013). La anchura asfaltada de los hombros y la fricción lateral están asociadas con choques más severos (Hosseinpour et al., 2014)
Tráfico y control	Cruce peatonal	Los tratamientos de cruce de caminos pueden mejorar la seguridad de los peatones (Zajac e Ivan, 2003)
	Puente peatonal	La gente prefiere cruzar a través de un paso peatonal señalado que a un puente peatonal a pesar del riesgo más alto (Cantillo et al., 2015)
	semáforos	La probabilidad de lesiones aumenta ligeramente en un cruce sin luces de tráfico (Depaire et al., 2008)
	otros	El flujo de tráfico es una de las variables más importantes para diferenciar los niveles de gravedad (Martensen y Dupont, 2013). Las variables de control no suelen ser eficaces para disminuir las lesiones mortales (Çelik y Oktay, 2014).
Dia y hora	Periodos del día	Perder el control en la oscuridad es un problema importante para ciertos conductores (Clarke et al., 2006). La oscuridad aumenta la probabilidad de lesiones graves (Yau et al., 2006; Rifaat et al., 2011; Martensen y Dupont, 2013). Los periodos del día están aumentando o disminuyendo los factores de riesgo (Khorashadi et al., 2005, Yau et al., 2006).
	Dia de la semana	Los fines de semana tienen una mayor proporción de accidentes de vehículos individuales (Martensen y Dupont, 2013).
Ambiente	Estación	La lluvia tiene un impacto creciente en los choques (Keay y Simmonds, 2006)
	Uso del suelo	El uso de la tierra afecta la probabilidad de accidentes graves (Hosseinpour et al., 2014)

3.3. ELASTICIDADES

Dado que la probabilidad de una categoría de gravedad del accidente es una función de las variables observadas, a menudo es útil saber hasta qué punto estas probabilidades cambian en respuesta a un cambio en algún factor. Para ello, normalmente se calculan las derivadas de las probabilidades de gravedad del accidente. El cambio en la probabilidad de que el accidente de tráfico n sea de gravedad i , dado un cambio en un factor observado, X_{nm} , entrando en la función que determina la gravedad del accidente n es:

$$\frac{\partial P_n(i)}{\partial X_{nm}} = \frac{\partial S_{in}}{\partial X_{nm}} P_n(i)(1 - P_n(i)) \quad (9)$$

Si la función que determina la gravedad del accidente n es lineal en X_n con coeficiente β_i , la derivada se convierte en (10).

$$\frac{\partial P_n(i)}{\partial X_{nm}} = \beta_{im} P_n(i) (1 - P_n(i)) \quad (10)$$

Cuando la variable explicativa es dicotómica, debemos introducir el concepto de pseudo-elasticidad. Según Ulfarsson y Mannering (2004), para evaluar el efecto de las estimaciones de parámetros individuales sobre las probabilidades de gravedad de los accidentes, se pueden computar pseudo-elasticidades directas (11).

$$E_{X_{nm}}^{P_n(i)} = \left[\exp(\beta_{im}) \frac{\sum_I \exp(ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n)}{\sum_I \exp(\Delta(ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n))} - 1 \right] \times 100 \quad (11)$$

Donde $E_{X_{nm}}^{P_n(i)}$ es la pseudo elasticidad directa de la m th variable del vector \mathbf{X}_n , I es el número de categorías de gravedad posibles, $ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n$ es el valor de la función que determina la categoría de severidad cuando X_{nm} es igual a cero, and $\Delta(ASC_i + \beta_i \mathbf{X}_n)$ es el valor después de que X_{nm} ha cambiado de cero a uno.

4. CASO DE ANÁLISIS

4.1. LOCALIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO

La zona de aplicación del presente estudio corresponde a la ciudad de Cartagena, Figura 4.1, localizada en la costa norte de Colombia, en la Región de la Costa Caribe, que tiene una población cercana a un millón de habitantes. El área urbana de Cartagena es la quinta área urbana del país, y las principales actividades económicas incluyen el turismo, así como la industria marítima y petroquímica.

Las estadísticas locales de los últimos años muestran un aumento significativo en el número de muertes y lesiones y una estrecha relación con los volúmenes de motocicletas que circulan en la ciudad (Cantillo et al., 2016). Exhibiendo 97 muertes y 725 heridos en 2015, Cartagena es una de las Diez Ciudades Colombianas con mayor número de muertes y lesiones por accidentes de tránsito. Al igual que en el resto del país, el número de víctimas varía considerablemente, en una proporción de 86 varones por cada 100 accidentes de tránsito (Vargas, 2016).

La tasa de motorización en Cartagena ha aumentado de 62 a 100 coches por 1.000 habitantes, entre 2002 y 2013. El escenario más probable es que la tasa de motorización continuará creciendo de forma gradual y constante en los próximos años debido a la provisión de nueva infraestructura y el crecimiento de la clase media (Villar y Romero, 2014).

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial la ciudad cuenta con un sistema vial que articula el área urbana, área rural y su integración con los sistemas regionales. Este sistema está compuesto por un conjunto de vías nacionales, regionales y subregionales que integran el suelo distrital con la región y el país y al distrito con los diferentes corregimientos y un conjunto de vías arteriales de penetración a la ciudad que a su vez se conectan con sistemas inferiores de vías colectoras y locales. Teniendo en cuenta esto la ciudad cuenta con una red vial aproximada en km-carril de 2048.4 representadas en vías nacionales 4.4%, vías arteriales 14.6%, vías colectoras 8.6% y vías locales 72.4%, ver Tabla 4.1 y Figura 4.2.



Figura 4.1: Localización zona de estudio

El desarrollo y vigilancia de todas las actividades relacionadas con el tránsito y transporte a nivel distrital está a cargo de la secretaria distrital, Departamento Administrativo de Tránsito y Transporte DATT.

Tabla 4.1: Composición sistema vial Cartagena de Indias

TIPO DE VÍA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (KM-CARRIL)	%
V1	Vías nacionales	89.9	4.4
V2A	Transporte Masivo	125.7	14.6
V2A	General	65.2	
V2C	Corredor de carga	80.6	
V2E	Eje ambiental	27	
V3	Vías colectoras	177.1	8.6
V4	Vías locales	72.9	72.4
V5	Vías locales	1409.9	
	TOTAL	2048.3	

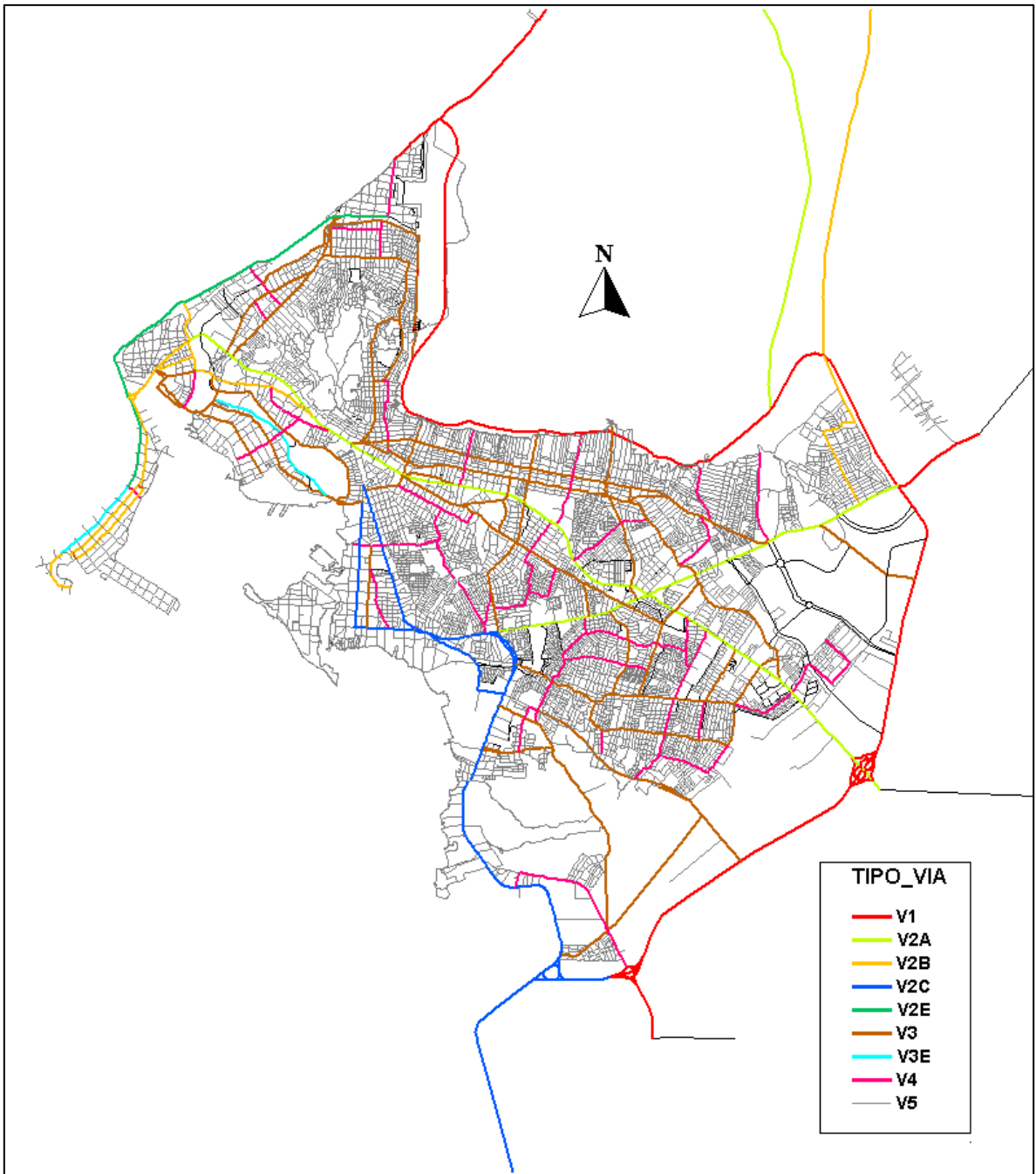


Figura 4.2: Sistema vial del distrito de Cartagena de Indias

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Los datos para el presente estudio fueron obtenidos de los registros de accidentalidad nacional, administrados por la Corporación Fondo de Prevención Vial. La base de datos contenía 2.339 accidentes urbanos registrados entre los años 2010 y 2012, en Cartagena. El número de resultados de accidentes que superan las 2.000 observaciones cumple con las normas para el modelado de la gravedad del accidente (Çelik y Oktay, 2014). La Corporación del Fondo para la Seguridad Vial (Road Safety Fund Corporation) había clasificado los datos brutos en tres categorías: fatales, lesiones y daños materiales, que son las categorías de gravedad en las que comúnmente se mantienen registros oficiales en Colombia. Esta misma clasificación se ha utilizado en investigaciones previas, como se puede ver en Ratanavaraha y Suangka (2014).

La tabla 4.2, muestra la distribución de los accidentes por gravedad para cada una de las características medibles disponibles en la base de datos de accidentes. La base de datos que registró el 6,6% de los accidentes fatales, el 76,3% de los accidentes de lesiones y el 17,1% de los accidentes con daños materiales, presentó niveles significativos de sub-registro de la última categoría, problema típico en Colombia, Sólo se registran los fallos de daños (Márquez, 2010). Es habitual que los datos de accidentes de tránsito sufran efectos de subnotificación, especialmente en el caso de gravedad de las lesiones menores (Kayani et al., 2014), lo cual puede tener un efecto en la estimación (Abdel-Aty, 2003; Yamamoto et al., 2008, Prato y Kaplan, 2014) para los modelos OL y OR que son susceptibles a datos de subnotificación.

Tabla 4.2: Distribución de los accidentes por severidad

Grupo	Característica	Categoría	Fatal		Lesiones		Solo daños materiales		Total	
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Victima	Edad	<25	30	5.3	442	78.2	93	16.5	565	24.2
		25-60	102	6.3	1244	76.4	282	17.3	1628	69.6
		>60	22	15.1	99	67.8	25	17.1	146	6.2
	Genero	Femenino	22	3.0	576	77.8	142	19.2	740	31.6
		Masculino	132	8.3	1209	75.6	258	16.1	1599	68.4
	Condición	Peatones	64	8.7	529	72.3	139	19.0	732	31.3
Pasajero		18	2.5	560	78.8	133	18.7	711	30.4	
conductor		72	8.0	696	77.7	128	14.3	896	38.3	
Vehículo	Tipo	Auto	30	6.2	353	73.1	100	20.7	483	20.6
		Bus o camión	30	7.9	266	70.4	82	21.7	378	16.2
		Motocicleta	93	6.6	1114	78.7	208	14.7	1415	60.5
		Bicicleta	1	1.6	52	82.5	10	15.9	63	2.7
	Número de vehículos involucrados	Uno	82	9.6	645	75.8	124	14.6	851	36.4
	Mas de uno	72	4.8	1140	76.6	276	18.5	1488	63.6	
Infraestructura vial	Tipo	Arterial	75	9.4	538	67.5	184	23.1	797	34.1
		Colectora	29	6.6	319	72.7	91	20.7	439	18.8
		Local	50	4.5	928	84.1	125	11.3	1103	47.2
	Numero de calzadas	1	96	5.9	1290	79.3	241	14.8	1627	69.6
		2	57	8.6	457	69.1	147	22.2	661	28.3
		3	1	2.0	38	74.5	12	23.5	51	2.2
	Sentidos por calzada	Un- sentido	23	4.7	303	62.0	163	33.3	489	20.9
		Dos- sentidos	131	7.1	1482	80.1	237	12.8	1850	79.1
	Número de carriles	1 carril	8	15.1	41	77.4	4	7.5	53	2.3
		2 carriles	101	5.9	1307	76.2	307	17.9	1715	73.3
		3 carriles	26	7.0	285	76.6	61	16.4	372	15.9
		4 carriles	19	9.5	152	76.4	28	14.1	199	8.5
	Separador	No	97	6.0	1292	79.3	241	14.8	1630	69.7
		Yes	57	8.0	493	69.5	159	22.4	709	30.3
	Ancho	<=3.0 m	66	4.4	1088	72.5	347	23.1	1501	64.2
		> 3.0 m	88	10.5	697	83.2	53	6.3	838	35.8
	Ancho de anden	Menor a 1 m	35	12.8	203	74.1	36	13.1	274	11.7
Mayor a 1 m		119	5.8	1582	76.6	364	17.6	2065	88.3	
Condición del pavimento	Bueno	106	5.4	1481	75.6	373	19.0	1960	83.8	
	Pobre	43	14.1	235	77.0	27	8.9	305	13.0	
	Muy pobre	5	6.8	69	93.2	0	0.0	74	3.2	
Trafico control y	Cruce peatonal	No	135	6.6	1591	77.4	330	16.1	2056	87.9
		Si	19	6.7	194	68.6	70	24.7	283	12.1
	Puente peatonal	No	145	6.4	1721	76.0	398	17.6	2264	96.8
		Si	9	12.0	64	85.3	2	2.7	75	3.2
	Semáforos	No	135	6.9	1534	78.7	279	14.3	1948	83.3
		Si	19	4.9	251	64.2	121	30.9	391	16.7
Rutas servicio publico	No	25	4.5	462	82.6	72	12.9	559	23.9	
	Si	129	7.2	1323	74.3	328	18.4	1780	76.1	
Dia y hora	Periodos del día	Madrugada	21	13.1	113	70.6	26	16.3	160	6.8
		Mañana	42	6.1	519	74.9	132	19.0	693	29.6
		Tarde	52	6.3	603	73.2	169	20.5	824	35.2
		noche	39	5.9	550	83.1	73	11.0	662	28.3
	Dia de la semana	Dia de semana	97	6.1	1200	75.4	294	18.5	1591	68.0
Fin de semana		57	7.6	585	78.2	106	14.2	748	32.0	
ambiente	Estación	Invierno	95	7.1	1020	76.1	226	16.9	1341	57.3
		Verano	59	5.9	765	76.7	174	17.4	998	42.7
	Iluminación natural	Luz día	94	6.2	1122	74.0	301	19.8	1517	64.9
		Luz noche	60	7.3	663	80.7	99	12.0	822	35.1
	Uso de suelo	Residencial	50	5.3	742	78.3	156	16.5	948	40.5
Industrial		18	14.2	90	70.9	19	15.0	127	5.4	

		Comercial	3	1.1	57	20.0	225	78.9	285	12.2
		Institucional	78	8.9	799	91.1	0	0.0	877	37.5
		Protección	5	4.9	97	95.1	0	0.0	102	4.4

Algunas características se destacaron sobre las otras. Es evidente que el porcentaje de accidentes fatales se incrementaba con más frecuencia en personas mayores de 60 años. De la misma manera, los varones se involucraron en accidentes fatales seis veces más que en las mujeres. Esto es posiblemente debido a que los hombres tienden a ser menos cautelosos que las mujeres (Zhang et al., 2014) y por lo tanto también tienen un mayor riesgo de estar involucrados en accidentes más graves (Yan et al., 2005; Yau et al., 2006, Kim et al., 2013).

El porcentaje de accidentes para la bicicleta fue mucho menor que con otro tipo de vehículos. La razón principal de este bajo porcentaje es que en contraste con Bogotá, que es una ciudad predominantemente plana y amigable para el ciclismo, Cartagena es una ciudad en la que el ciclismo es muy poco utilizado debido a su clima caliente y la falta de una infraestructura apropiada para bicicletas. Sin embargo, el porcentaje de accidentes fatales en bicicletas fue sustancialmente menor de lo que se había notificado en las otras severidades. En contraste, era común ver más vehículos pesados en accidentes fatales, apoyando los hallazgos de Martensen y Dupont (2013).

De acuerdo con otros estudios en los que condiciones de pavimento pobres y muy pobres coincidieron con accidentes más graves (Li et al., 2013), nuestros datos mostraron que la mala condición del pavimento se asoció con un mayor porcentaje de accidentes de lesiones. Un andén peatonal de más de 1 m de ancho parece estar relacionada con una menor prevalencia de accidentes fatales. Además, en presencia de un puente peatonal, se registró una mayor proporción de accidentes fatales. Aunque esto puede parecer contradictorio, muchas personas prefieren cruzar un paso peatonal a un puente peatonal a pesar del riesgo más alto (Cantillo et al., 2015). En su lugar, en presencia de semáforos, se registró un menor número de accidentes fatales.

Dividimos el día en cuatro períodos de la siguiente manera: madrugada (00:00 a 05:59), mañana (06:00 a 11:59), tarde (12:00 a 17:59) y noche (18:00 a 23:59). En comparación con otros períodos del día, hubo un mayor porcentaje de accidentes mortales en la madrugada. Aunque no hay estaciones en Colombia, hay dos períodos secos y dos períodos lluviosos a lo largo del año. Las estaciones lluviosas suelen ser de abril a junio y de agosto

a noviembre y las estaciones secas de diciembre a enero y de julio a agosto. Nuestros datos no mostraron un efecto evidente de la temporada sobre la gravedad del accidente. Por último, en las zonas de uso de suelo comercial, el porcentaje de accidentes fatales pareció reducirse considerablemente.

4.3. VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA MODELACIÓN

Después de la limpieza y organización de la base de datos de accidentes, un análisis de correlación nos permitió seleccionar las variables explicativas candidatas a ser especificadas en los modelos, excluyendo algunas variables correlacionadas, ver Tabla 4.2. La tabla 4.3, que tiene la misma disposición en la que presentamos inicialmente los factores de riesgo, comprende las variables independientes seleccionadas para el modelado y su codificación. Excepto las variables denominadas "Ancho de separador" y "TPDA" que especificamos como variables continuas, todas las demás se especificaron como variables binarias. Ingresamos la variable TPDA en la base de datos gracias al análisis espacial de Cantillo et al. (2016).

Tabla 4.3: Análisis de correlación de las variables independientes

	<i>PerManana</i>	<i>PerTarde</i>	<i>PerNoche</i>	<i>DiaFinSem</i>	<i>Edad_0a24</i>	<i>Edad_60oMas</i>	<i>SexMascul</i>	<i>VictPeaton</i>	<i>VictConductor</i>	<i>AccChoque</i>	<i>AccAtropello</i>
<i>PerManana</i>	1.000										
<i>PerTarde</i>	-0.479	1.000									
<i>PerNoche</i>	-0.408	-0.463	1.000								
<i>DiaFinSem</i>	-0.100	-0.039	0.090	1.000							
<i>Edad_0a24</i>	-0.093	0.033	0.049	0.014	1.000						
<i>Edad_60oMas</i>	0.051	-0.035	-0.007	0.002	-0.182	1.000					
<i>SexMascul</i>	-0.020	0.015	-0.017	0.021	-0.020	-0.030	1.000				
<i>VictPeaton</i>	-0.036	-0.016	0.075	0.041	0.048	0.122	-0.081	1.000			
<i>VictConductor</i>	0.015	-0.032	-0.007	-0.011	-0.046	-0.057	0.284	-0.407	1.000		
<i>AccChoque</i>	0.020	0.016	-0.053	-0.037	-0.033	-0.217	0.141	-0.619	0.246	1.000	
<i>AccAtropello</i>	-0.035	-0.014	0.069	0.030	0.040	0.229	-0.096	0.698	-0.222	-0.869	1.000
<i>AccVolcam</i>	-0.007	-0.015	-0.045	-0.036	0.001	-0.023	-0.028	-0.028	-0.025	-0.106	-0.042
<i>AccCaidaOcup</i>	0.027	-0.001	-0.006	0.024	-0.007	0.009	-0.102	-0.082	-0.061	-0.334	-0.133
<i>VehBici</i>	0.042	-0.007	-0.040	-0.006	0.011	0.001	0.073	-0.048	0.086	0.084	-0.080
<i>VehBusoCam</i>	0.066	0.009	-0.064	-0.042	0.007	0.054	-0.118	0.019	-0.164	-0.115	0.028
<i>VehMoto</i>	-0.039	0.025	0.030	0.033	-0.020	-0.078	0.097	-0.126	0.180	0.210	-0.186
<i>ViaArteria</i>	0.030	0.036	-0.069	-0.062	-0.074	0.025	0.006	-0.059	-0.006	0.067	-0.066
<i>ViaColect</i>	-0.007	-0.024	0.034	-0.019	-0.010	-0.012	0.004	-0.020	-0.025	-0.024	0.011
<i>SueloProtec</i>	0.013	0.009	-0.013	-0.021	0.016	-0.019	-0.008	-0.033	0.069	0.000	-0.025
<i>SueloInd</i>	0.051	0.009	-0.033	-0.031	-0.021	-0.032	0.074	-0.057	0.078	0.101	-0.094
<i>SueloCom</i>	0.013	0.021	-0.028	-0.037	-0.003	-0.017	-0.022	-0.163	-0.191	0.193	-0.171
<i>SueloInst</i>	0.016	-0.022	0.009	-0.020	-0.041	0.017	-0.001	0.129	0.081	-0.179	0.162
<i>PresSep</i>	0.028	0.041	-0.086	-0.045	-0.046	0.026	0.013	-0.029	-0.021	0.000	-0.018
<i>AnchoCalz</i>	0.037	0.021	-0.058	-0.036	-0.070	0.024	0.001	0.012	0.031	-0.009	0.017
<i>AnchoAnden</i>	-0.005	0.000	-0.005	-0.001	-0.032	0.021	-0.045	0.051	-0.041	-0.066	0.069
<i>PresSem</i>	-0.025	-0.022	0.025	0.012	0.015	0.019	0.048	0.037	0.059	-0.042	0.036
<i>RutaServPub</i>	0.052	-0.013	-0.033	-0.046	-0.016	-0.001	0.022	-0.042	-0.005	0.026	-0.035
<i>PavMalo</i>	-0.021	-0.011	0.033	0.049	0.006	-0.008	-0.008	0.013	0.004	-0.020	0.022

PtePeatxVictPeat	0.001	-0.020	-0.004	-0.013	-0.020	0.067	-0.012	0.196	-0.080	-0.135	0.159
OcEspPubxVictPeat	0.015	-0.024	-0.010	-0.009	-0.010	0.052	-0.037	0.178	-0.073	-0.153	0.177
CruPeatxVictPeat	-0.010	0.000	0.017	-0.019	0.001	0.025	-0.035	0.310	-0.126	-0.209	0.234
TPDA	0.023	0.039	-0.058	-0.041	-0.060	0.040	0.009	-0.015	-0.018	0.027	-0.016
VelMay40kmh	0.030	0.035	-0.060	-0.058	-0.063	0.008	-0.008	-0.068	-0.013	0.072	-0.069

Tabla 4.3: Análisis de correlación de las variables independientes (continuación)

	AccVolcam	AccCaidaOcup	VehBici	VehBusoCam	VehMoto	ViaArteria	ViaColect	SueloProtec	SueloInd	SueloCom	SueloInst
PerManana											
PerTarde											
PerNoche											
DiaFinSem											
Edad_0a24											
Edad_60oMas											
SexMascu											
VictPeaton											
VictConductor											
AccChoque											
AccAtropello											
AccVolcam	1.000										
AccCaidaOcup	-0.016	1.000									
VehBici	-0.012	-0.013	1.000								
VehBusoCam	0.050	0.181	-0.073	1.000							
VehMoto	-0.064	-0.057	-0.206	-0.543	1.000						
ViaArteria	0.028	-0.024	-0.015	0.072	-0.069	1.000					
ViaColect	-0.019	0.039	0.015	-0.032	0.005	-0.386	1.000				
SueloProtec	0.014	0.039	-0.010	0.026	-0.050	0.111	0.032	1.000			
SueloInd	-0.017	-0.019	-0.028	0.043	-0.007	0.220	-0.110	-0.051	1.000		
SueloCom	-0.027	-0.066	0.003	0.010	-0.033	0.158	-0.011	-0.080	-0.089	1.000	
SueloInst	0.019	0.058	-0.003	0.008	0.004	0.242	0.110	-0.165	-0.186	-0.289	1.000
PresSep	0.044	0.019	-0.012	0.057	-0.068	0.632	-0.193	0.091	0.006	0.104	0.285
AnchoCalz	0.023	-0.027	0.003	0.031	-0.038	0.574	-0.167	0.033	-0.004	0.036	0.340
AnchoAnden	0.008	-0.007	0.046	-0.093	0.024	-0.271	0.125	-0.036	-0.425	-0.022	0.137
PresSem	0.000	0.016	0.032	-0.012	-0.017	-0.275	0.033	0.012	0.067	-0.127	-0.152
RutaServPub	0.026	0.010	-0.018	0.058	-0.035	0.416	0.166	0.075	0.130	0.071	0.351
PavMalo	0.021	-0.007	-0.015	0.040	0.016	-0.141	-0.081	-0.039	0.064	-0.060	-0.135
PtePeatxVictPeat	-0.008	-0.026	-0.019	0.063	-0.056	0.095	-0.055	-0.024	-0.027	-0.019	0.131
OcEspPubxVictPeat	-0.007	-0.024	-0.017	0.079	-0.086	0.044	-0.050	-0.022	-0.025	-0.013	0.100
CruPeatxVictPeat	-0.013	-0.030	-0.030	0.020	-0.089	0.134	-0.049	0.033	-0.022	-0.023	0.117
TPDA	0.000	-0.035	-0.009	0.034	-0.049	0.740	-0.195	-0.012	0.067	0.184	0.378
VelMay40kmh	0.028	-0.028	-0.015	0.056	-0.064	0.938	-0.323	0.158	0.232	0.158	0.212

Tabla 4.3: Análisis de correlación de las variables independientes (continuación)

	Pres Sep	Ancho Calz	AnchoAnden	PresSem	RutaServPub	PavMalo	PtePeatxVictPeat	OcEspPubxVictPeat	CruPeatxVictPeat	TPDA	VelMay40kmh
PerManana											
PerTarde											
PerNoche											
DiaFinSem											
Edad_0a24											
Edad_60oMas											
SexMascu											
VictPeaton											
VictConductor											
AccChoque											
AccAtropello											
AccVolcam											
AccCaidaOcup											
VehBici											
VehBusoCam											
VehMoto											
ViaArteria											
ViaColect											
SueloProtec											
SueloInd											
SueloCom											
SueloInst											
PresSep	1.000										
AnchoCalz	0.328	1.000									
AnchoAnden	0.014	-0.036	1.000								
PresSem	0.330	-0.182	-0.023	1.000							
RutaServPub	0.348	0.347	-0.110	0.187	1.000						
PavMalo	0.119	-0.123	-0.172	0.081	-0.179	1.000					
PtePeatxVictPeat	0.131	0.150	-0.027	0.031	0.064	0.021	1.000				
OcEspPubxVictPeat	0.112	0.087	0.026	0.002	0.019	0.019	0.505	1.000			
CruPeatxVictPeat	0.120	0.172	0.052	0.083	0.033	0.033	0.023	0.100	1.000		
TPDA	0.567	0.633	-0.103	0.206	0.449	0.150	0.194	0.107	0.157	1.000	
VelMay40kmh	0.582	0.549	-0.269	0.264	0.402	0.140	0.048	-0.024	0.125	0.697	1.000

Tabla 4.4: Variables independientes seleccionadas para el modelado

Grupo	Característica	Variable	Descripción
Victima	Edad	Edad_0a24	1: Si es 0 a 24, 0 en otro caso
		Edad_60oMas	1: Si es 60 o más, 0 en otro caso
	Genero	SexMascu	1: Si es masculino, 0 en otro caso
Vehículo	Tipo	VehBusoCam	1: Si es Bus o Camión, 0 en otro caso
		VehMoto	1: Si es Moto, 0 en otro caso
		VehBici	1: Si es Bicicleta, 0 en otro caso
Infraestructura vial	Tipo	ViaArteria	1: Si es Arterial, 0 en otro caso
		ViaColect	1: si es Colectora, 0 en otro caso
	Sentidos por calzada	DobSentido	1: Si es doble sentido, 0 en otro caso
		Separador	Ancho de Separador
	Ancho anden	AnchoAnden	1: Si > 1m, 0 en otro caso
	Condición pavimento	PavMalo	1: Si está en mal estado, 0 en otro caso
		PavMuyMalo	1: Si está en muy mal estado, 0 en otro caso
Tráfico control y	Cruce peatonal	CrucePeatDem	1: Si está Demarcado, 0 en otro caso
	Puente peatonal	PuentePeat	1: Si está Presente, 0 en otro caso
	Semáforos	PresSem	1: Si está Presente
	Otros	VelMay40kmh	1: Si es > 40km/h, 0 en otro caso
		TPD	Trafico promedio diario
Dia y hora	Periodo del día	PerManana	1: Si es Mañana, 0 en otro caso
		PerTarde	1: Si es Tarde, 0 en otro caso
		PerNoche	1: Si es Noche, 0 en otro caso
	Dia de la semana	DiaFinSem	1: Si es fin de semana, 0 en otro caso
Ambiente	Estación	EstInvierno	1: Si es invierno, 0 en otro caso
	Uso de suelo	SueloInd	1: Si es Industrial, 0 en otro caso
		SueloCom	1: Si es Comercial, 0 en otro caso
		SueloInst	1: Si es Institucional, 0 en otro caso
		SueloProtec	1: Si es de protección, 0 en otro caso

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variable dependiente, severidad del accidente, fue codificada de la siguiente manera: 1-Muertos, 2-Heridos y 3-Solo daño material. En cuanto a la identificabilidad del modelo, debido a que las características medibles no varían con las categorías de severidad, sólo dos de ellas entraron en los modelos (1-Muertos, 2-Heridos). Por lo tanto, el otro (3-Solo daños materiales) fue normalizado a cero.

5.1. Estimación de modelos

Para la estimación de los modelos se utilizó el software de uso libre, BisonBiogeme (Bierlaire, 2015), un paquete diseñado para estimar los parámetros de modelos de elección discreta usando la estimación de máxima verosimilitud, los resultados de las estimaciones se muestran en la Tabla 5.1. En todos los casos, se presenta el coeficiente estimado y entre paréntesis el valor del estadístico t, que permite evaluar la significancia estadística de cada estimador. Los números 1 y 2 junto a cada variable corresponden a los códigos asignados a cada resultado de severidad.

Basado en la log-verosimilitud en la convergencia de los modelos estimados, encontramos que el modelo MNL ajustó los datos mejor que los modelos NL y OL. Además, en el modelo NL, el parámetro anidado para las gravedades mortales y de lesiones fue estadísticamente igual a uno, indicando que no hay correlación entre los componentes no observados de la función para las gravedades dentro del nido, siendo las probabilidades de NL simplemente MNL (Train, 2009).

Como la severidad solo daños materiales fue la categoría de base, es claro que las estimaciones explican el efecto diferencial de las variables explicativas sobre la función que determina la gravedad del accidente en comparación con la categoría de base. Un signo positivo significa que, comparada con la severidad de solo daños materiales, la variable explicativa contribuye positivamente a la función, aumentando la probabilidad de que tal severidad se produzca. Análogamente, un signo negativo significa que la variable explicativa hace una contribución negativa a la función, disminuyendo la probabilidad de que tal severidad ocurra con respecto a la categoría de base.

Tabla 5.1: Modelos estimados

Grupo	Variable	MNL	NL	OL
Victima	Edad_60oMas_1	1.08 (4.71)	1 (2.97)	-0.529 (-2.73)
	Edad_60oMas_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
	SexMascu_1	1.08 (4.49)	0.993 (2.81)	-0.420 (-3.41)
	SexMascu_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
Vehículo	VehBusoCam_1	0.309 (1.7)	0.303 (1.72)	-0.00254 (-0.01)
	VehBusoCam_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
	VehMoto_1	0.588 (2.64)	0.59 (2.78)	-0.323 (-2.25)
	VehMoto_2	0.506 (2.97)	0.508 (3.01)	
	VehBici_1	-0.913 (2.07)	-0.899 (2.07)	0.0491 (0.13)
	VehBici_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
Infraestructura vial	ViaColect_1	0.478 (3.25)	0.46 (2.99)	0.184 (1.22)
	ViaColect_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
	AnchoAnden_1	-1.9 (-5.17)	-1.86 (-4.95)	0.977 (5.2)
	AnchoAnden_2	-1.38 (-4.88)	-1.38 (-4.9)	
Tráfico y control	CrucePeatDem_1	0.633 (1.85)	0.62 (1.88)	-0.371 (-2.04)
	CrucePeatDem_2	0.431 (1.94)	0.433 (1.95)	
	PuentePeat_1	3.22 (3.47)	3.21 (3.5)	-0.86 (-2.92)
	PuentePeat_2	3.03 (3.54)	3.03 (3.55)	
	PresSem_1	-1.21 (-3.95)	-1.2 (-4.05)	0.804 (5.09)
	PresSem_2	-0.988 (-5.76)	-0.987 (-5.76)	
	VelMay40kmh_1	0.682 (3.38)	0.636 (2.67)	-0.26 (-1.87)
	VelMay40kmh_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
Día y hora	PerManana_1	-0.955 (-3.96)	-0.916 (-3.55)	0.447 (1.87)
	PerManana_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
	PerTarde_1	-0.847 (-3.72)	-0.816 (-3.45)	0.557 (2.35)
	PerTarde_2	0 (Fijo)	0 (Fijo)	
	PerNoche_1	0 (Fijo)	0 (Fijo)	0.0348 (0.15)
	PerNoche_2	0.984 (6.02)	0.958 (5.23)	
Ambiente	SueloInd_1	-1.36 (-3.14)	-1.37 (-3.28)	0.792 (2.86)
	SueloInd_2	-1.62 (-5.18)	-1.61 (-5.15)	
	SueloCom_1	-4.96 (-7.95)	-4.89 (-7.96)	3.90 (21.67)
	SueloCom_2	-4.14 (-20.83)	-4.13 (-20.82)	
Constantes específicas	Cte_Muertos	0.816 (1.75)	1.06 (1.2)	1.970 (6.16)
	Cte_Heridos	3.46 (10.81)	3.47 (10.87)	
Otros parámetros	Nido_1_2	N/A	1.09 (3.54)	N/A
	Tau	N/A	N/A	5.18 (42.02)
	Numero de observaciones:	2339		
	Log verosimilitud final:	-1169.432	-1169.39	-1224.4
	Rho Cuadrado ajustado:	0.535	0.535	0.517

1: Muertos; 2: Heridos; N/A: No aplica

Con respecto a las variables de la víctima que fueron estadísticamente significativas, encontramos que los hombres y las personas mayores de 60 años aumentaron la probabilidad de que el accidente fuera una fatalidad. Los resultados sugieren una mayor propensión al riesgo de mortalidad para este grupo de individuos, lo que puede reflejar que en primer lugar los hombres son más propensos a participar en comportamientos de riesgo que las mujeres. Esto también puede implicar que las personas mayores de 60 años de edad siguen siendo uno de los grupos más vulnerables de usuarios de la carretera en accidentes fatales.

En cuanto a las variables del vehículo, los accidentes que involucran vehículos de camiones tenían más probabilidades de resultar en una fatalidad. Normalmente, un impacto con vehículos pesados tiende a ser contundente, lo que resulta en consecuencias que son más graves para los conductores y pasajeros, así como a los peatones que puedan estar en las inmediaciones. Los choques que implicaban a las motocicletas eran más probables de resultar no sólo en una fatalidad, pero también en lesión. En Cartagena, posiblemente debido a su clima caluroso, así como a un comportamiento muy popular, muchos motociclistas y pasajeros no usan cascos, lo que los hace más propensos a lesiones y la muerte en caso de un accidente. Por el contrario, los accidentes con bicicletas eran menos probables de resultar en una fatalidad, posiblemente debido a la menor velocidad desarrollada por este tipo de vehículo. Además, este hallazgo está en línea con otros estudios que han demostrado que un tráfico más seguro implica más ciclistas y más ciclistas implica menos coches y menos congestión (Kaplan y Prato, 2015).

Los choques que se producen cerca de los puentes peatonales o en los lugares designados para el paso de peatones que se supone es un lugar seguro para peatones cruzar la carretera y donde se les da prioridad son más probables de ser de las categorías de muertes o lesiones. Evidentemente, caminar a lo largo de la calzada representa un riesgo para los peatones, especialmente en los lugares donde hay puentes peatonales porque los conductores de automóviles toman menos precaución bajo la suposición de que los peatones deben usar la infraestructura que se les proporciona. En contraste, los accidentes que ocurren en vías donde hay presencia de andenes peatonales mayores a 1 m de ancho y semáforos en la intersección eran menos probables de ser de estas severidades. Además, si la carretera es de tipo colector o si el límite de velocidad es superior a 40 km / h aumenta la probabilidad de una fatalidad.

Los accidentes ocurridos durante la mañana, tarde o en la noche eran menos propensos a resultar en una fatalidad. Esto sugiere que los accidentes ocurridos durante la madrugada eran más propensos a ser de solo daños materiales o lesiones. Además, la ocurrencia de un accidente en áreas de uso industrial o comercial de la tierra era menos probable que resultara en una fatalidad o en una lesión. Esto puede reflejar, entre otros factores, una menor velocidad de conducción debido a la congestión vehicular en estas áreas que, debido a su uso de suelo, concentran infraestructura dedicada en un área delimitada que atrae a un número significativo de clientes y usuarios.

5.2. Elasticidades

Las estimaciones de los parámetros de la Tabla 5.1 no nos proporcionan directamente el impacto de las variables explicativas sobre las categorías de gravedad del accidente. Por esta razón, además de los coeficientes estimados, se calcularon las pseudo-elasticidades directas, que dan el cambio porcentual promedio de probabilidad cuando una variable explicativa varía de cero a uno (Tabla 5.2). Este cálculo fue necesario para evaluar adecuadamente el impacto relativo de una variable explicativa sobre la gravedad del accidente. Los resultados de la Tabla 6 pueden ser interpretados como el cambio porcentual (incremento para un signo positivo y disminución para un signo negativo) en la probabilidad de las categorías de gravedad del accidente debido al cambio en esa variable explicativa específica.

Tabla 5.2: Pseudo-elasticidades

Grupo	Variable	Elasticidades (%)		
		1-Fatal	2-Injury	3-Property-damage-only
Victima	Edad_60oMas	149.26	-10.94	-5.20
	SexMascu	167.87	-6.17	-3.10
Vehículo	VehBusoCam	29.65	-3.23	26.12
	VehMoto	9.16	0.65	-33.67
	VehBici	-55.42	6.76	-33.67
Infraestructura vial	ViaColect	48.96	-5.15	43.02
	AnchoAnden	-37.85	2.69	252.84
Tráfico y control	CrucePeatDem	20.60	31.89	-77.79
	PuentePeat	53.27	31.89	-77.79
	PresSem	-18.96	0.26	135.68
	VelMay40kmh	82.32	-5.17	-2.53

Dia y hora	PerManana	-57.12	6.84	3.66
	PerTarde	-52.61	6.39	3.30
	PerNoche	-57.22	9.37	-54.07
Ambiente	SueloInd	18.69	-7.77	4178.09
	SueloCom	-70.02	-31.73	4178.09

Se pueden hacer algunas observaciones sobre los efectos de elasticidad de los factores de riesgo presentados en la Tabla 5.2. En primer lugar, las variables más significativas en cuanto al incremento de los accidentes mortales fueron: varones, personas mayores de 60 años, límite de velocidad de más de 40 km / h, puente peatonal, vía de tipo colectora, un accidente con vehículos pesados involucrados, cruces peatonales, uso de suelo industrial y accidentes con motocicletas. En segundo lugar, en lo que respecta al aumento de accidentes con lesiones, los principales factores fueron el cruce peatonal, el puente peatonal, un accidente durante la mañana o la tarde, un accidente con bicicletas, un ancho de andén peatonal de más de 1 m, un accidente con motocicleta y semáforos. Por último, en lo que respecta al incremento de accidentes con solo daños materiales, las variables más significativas fueron los usos de suelo industriales y comerciales, andén peatonal de más de 1 m, semáforos, vías colectoras, accidente con vehículos pesados y accidentes durante la mañana o la tarde.

5.3. Contramedidas

Identificar los factores de riesgo que contribuyen a la gravedad del accidente de tráfico fue importante para identificar intervenciones que puedan reducir los riesgos asociados a esos factores en Cartagena. En investigaciones anteriores, Cantillo et al. (2016) determinó la magnitud, el alcance y las características del problema, estudiando los principales factores que afectan la frecuencia del accidente de tráfico en la ciudad. En esta investigación, identificamos los factores que aumentan el riesgo de accidentes fatales, lesiones y daños a propiedades, y evaluamos qué medidas se pueden tomar para prevenir el problema utilizando la información sobre causas y factores de riesgo para proponer algunas contramedidas.

5.3.1. Reducir los Límites de Velocidad

Encontramos que una de las variables más significativas que influyen en la ocurrencia de accidentes mortales fue el límite de velocidad de más de 40 km / h. Investigaciones

anteriores han demostrado que existe una correlación directa entre un aumento en la velocidad del vehículo y el aumento de la gravedad del accidente. Por ejemplo, Pasanen y Salminvaara (1993) estimaron que una velocidad de 50 km / h aumenta el riesgo de muerte casi ocho veces en comparación con una velocidad de 30 km / h. Dado que incluso pequeñas reducciones en la velocidad son significativas, la reducción de la velocidad del vehículo es una de las maneras más eficaces para reducir la gravedad de los accidentes. Además, una disminución en el límite de velocidad durante condiciones climáticas adversas podría ser eficaz para moderar la gravedad del accidente (Hao y Daniel, 2016).

En Colombia, ha sido común el uso de reductores de velocidad para reducir la velocidad de los vehículos. Sin embargo, recomendamos a las autoridades responsables de Cartagena considerar diferentes soluciones dependiendo de las características del área. Por ejemplo, en el centro histórico de Cartagena, recomendamos tener en cuenta los cruces peatonales texturizados para definir mejor el lugar de cruce de los peatones y, por lo tanto, reducir los conflictos entre peatones y vehículos. En las zonas industriales, donde predomina el tráfico de vehículos pesados, se proponen topes de velocidad o cruces peatonales elevados. En las áreas residenciales, sugerimos el establecimiento de zonas de seguridad comunitarias y la reducción de los límites de velocidad, creando zonas de velocidad de 40 km / h en zonas donde existe una mezcla de peatones y vehículos. Esto también se puede complementar proporcionando tablas de velocidad para reducir las velocidades del vehículo.

5.3.2. Tolerancia cero por Violaciones de Tráfico Relacionadas con Peatones

En Colombia, las autoridades a menudo ignoran y rara vez hacen cumplir las leyes de tránsito relacionadas con los peatones, generando condiciones inseguras para los usuarios de las carreteras de las principales ciudades. Con base en las elasticidades, identificamos dos factores de riesgo que pueden estar relacionados con delitos de tráfico peatonal que producen accidentes mortales y de lesiones: cruce peatonal y puente peatonal. La infracción de tráfico más común cometida por un peatón es probablemente cruzar una carretera en el centro de la cuadra. Las autoridades deben forzar a la gente a usar puentes peatonales y cruzar solamente en cruces peatonales o semáforos marcados para que no se crucen en medio del bloque. Las regulaciones colombianas estipulan que toda persona que contravenga el artículo 58, "Cruzar el camino a través de la calle media y atravesar el tráfico en lugares donde haya pasos de peatones", será sancionada con una multa equivalente a un salario diario mínimo legal vigente.

5.3.3. Campaña de concientización sobre la seguridad de los peatones

La tolerancia cero para las infracciones de tráfico relacionadas con los peatones necesita ser complementada con la educación del conductor en accidentes de tránsito. Aunque algunos conductores lo hacen, en Colombia, no es obligatorio que los vehículos cedan a los peatones en los cruces peatonales, como es el caso en algunos países. Aunque no es obligatorio, siempre es recomendable que los vehículos lo hagan. Como se ve en otros estudios, los conductores a menudo perciben que violar las reglas de tránsito no resultará en un choque o lesión severa (Penmetsa y Pulugurtha, 2017). Por lo tanto, una campaña de sensibilización educar a los conductores sobre la seguridad de los peatones podría ser una manera eficaz de reducir los accidentes de peatones. Por ejemplo, los organismos encargados de hacer cumplir la ley y los organismos locales podrían distribuir documentos para difundir la conciencia y educar a los conductores y peatones. La publicidad podría transmitir mensajes sencillos y eficaces, mientras que los eventos mediáticos podrían ayudar a difundir la aplicación. Un foco fuerte de la campaña es alcanzar las áreas con el mayor número de accidentes en los sitios con los choques más severos.

5.3.4. Mejorar la seguridad de la motocicleta

En Colombia, el gran número de muertes entre motociclistas es motivo de particular preocupación porque las motocicletas están entre los modos de transporte más riesgosos y el número de motocicletas en el país ha ido en aumento. Una motocicleta ofrece a los corredores casi ninguna protección en un accidente y nuestros resultados confirman esta observación. Aunque no ha sido fácil de lograr en Cartagena, los objetivos más importantes para mejorar la seguridad de la motocicleta son reducir el exceso de velocidad, aumentar el uso del casco, reducir el consumo de alcohol y promover el aprendizaje a través de la realización de cursos de motociclistas. Mejorar la seguridad de la motocicleta podría ser complementado con el aumento de la conciencia de los conductores de vehículos de los motociclistas y con educarlos sobre la importancia de compartir la infraestructura de carreteras con las motocicletas.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo ha investigado los principales factores de riesgo que afectan a los accidentes mortales, con lesiones y solo daños a bienes en un área urbana, tomando a Cartagena como un caso de estudio. El objetivo de esta investigación fue modelar las probabilidades de las categorías de gravedad del accidente y saber en qué medida cambian en respuesta a un factor de cambio para proponer algunas contramedidas que ayuden a mitigar el problema de accidentes de tráfico en la ciudad según la severidad. En los hallazgos se encontró que los accidentes de tránsito en Cartagena resultaron de una combinación de factores relacionados con la víctima, el vehículo, la infraestructura vial, el tráfico y el control, el día y la hora, y el medio ambiente. Algunos de estos factores agravaron los efectos del accidente y contribuyeron así a la gravedad del accidente.

Se estimaron modelos logit multinomial (MNL), logit anidado (NL) y logit ordenado (OL) encontrándose que el modelo MNL ajustó los datos mejor que los otros. El modelo OL proporcionó un ajuste significativamente peor a los datos que el modelo MNL posiblemente debido a que el parámetro umbral se fijó a través de las observaciones. Este resultado no nos permitió considerar la naturaleza ordinal de las severidades. Sin embargo, las estimaciones del modelo de NL, en las que el parámetro de nido no fue estadísticamente significativo, nos permitió demostrar que no había correlación entre los componentes no observados de la función para las severidades fatales y de lesiones, de modo que no se violaron los supuestos de derivación del modelo MNL. Sobre la base del mejor modelo se calcularon las pseudo-elasticidades directas para analizar la contribución de cada variable explicativa a las categorías de gravedad del accidente.

Las variables más significativas que aumentaron los accidentes fatales fueron los hombres, las personas mayores de 60 años, el límite de velocidad de más de 40 km / h, el puente peatonal, las vías colectoras, un accidente con vehículos pesados, los cruces peatonales, el uso de suelo industrial y un accidente con motocicletas. Asimismo, los principales factores que incrementaron los accidentes con lesiones fueron el cruce de peatones, el puente peatonal, un accidente durante la mañana o la tarde, un accidente con bicicletas, una andén peatonal de más de 1 m, un accidente con motocicletas y semáforos. Con base en estos hallazgos, las contramedidas que propusimos fueron la reducción de los límites de velocidad, la tolerancia cero para las infracciones de tráfico relacionadas con los peatones,

una campaña de concientización sobre la seguridad de los peatones y la mejora de la seguridad de la motocicleta. Obviamente, también debe haber una inversión en el estado de las carreteras, pero la educación en la cultura de seguridad vial es la clave de todo. Los resultados nos llevan a creer que el cambio de la cultura de conducción en Cartagena requiere un esfuerzo significativo, y la educación, así como la aplicación de la ley, son los componentes clave.

Contrariamente a lo que razonablemente se esperaba, encontramos que tanto el paso de peatones como los puentes peatonales son factores de riesgo significativos que contribuyen a los accidentes fatales y de lesiones. Investigaciones adicionales podrían investigar específicamente la ocurrencia de accidentes de tránsito en áreas donde hay puentes peatonales, porque las autoridades colombianas hacen esfuerzos significativos para invertir en infraestructura para que sea más seguro para las personas cruzar la calle para conectar los principales destinos en las comunidades y parece estar convirtiéndose en un problema de seguridad vial.

Por último, hay que señalar dos limitaciones con respecto al presente estudio. La Corporación Fondo para la Seguridad Vial de donde se obtuvieron los datos sólo clasifica la severidad del accidente en tres categorías, así que, nuestro análisis no fue capaz de cubrir una gama más amplia de severidades de choque. Además, los datos sufren de infravaloración de los accidentes de severidad solo daños materiales, lo que pudo tener un efecto sobre las estimaciones, especialmente para el modelo OL que parece ser más susceptible a los datos de subnotificación. Sin embargo, este estudio proporciona al Departamento Administrativo de Tráfico y Transporte de Cartagena una base para desarrollar contramedidas efectivas para los accidentes de tránsito en el área urbana.

7. BIBLIOGRAFIA

Abdel-Aty, M., 2003, Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models, *Journal of Safety Research*, 34(5), 597–603, doi: 10.1016/j.jsr.2003.05.009

Abdel-Aty, M., Keller, J., 2005, Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections, *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 417–425, doi: 10.1016/j.aap.2004.11.002

Bierlaire, M., 2015, BisonBiogeme: estimating a first model, Technical report TRANSP-OR 150720. Transport and Mobility Laboratory, ENAC, EPFL. <http://biogeme.epfl.ch/documentation/bisonfirstmodel.pdf>

Bíl, M., Bílová, M., Dobiáš, M., Andrášik, R., 2016, Circumstances and causes of fatal cycling crashes in the Czech Republic, *Traffic Injury Prevention*, 17(4), 394–399, doi: 10.1080/15389588.2015.1094183

Cantillo, V., Arellana, J., Rolong, M., 2015, Modelling pedestrian crossing behaviour in urban roads: A latent variable approach, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 56–67, doi: 10.1016/j.trf.2015.04.008

Cantillo, V., Garcés, P., Márquez, L., 2016, Factors influencing the occurrence of traffic accidents in urban roads: A combined GIS-Empirical Bayesian approach, *DYNA*, 83(195), 21–28, doi: 10.15446/dyna.v83n195.47229

Chang, L.-Y., Mannering, F., 1999, Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck- and non-truck-involved accidents, *Accident Analysis & Prevention*, 31(5), 579–592, doi: 10.1016/S0001-4575(99)00014-7

Çelik, A.K., Oktay, E., 2014, A multinomial logit analysis of risk factors influencing road traffic injury severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey, *Accident Analysis & Prevention*, 72, 66–77, doi: 10.1016/j.aap.2014.06.010

Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W., 2006, Young driver accidents in the UK: The influence of age, experience, and time of day, *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 871–878, doi: 10.1016/j.aap.2006.02.013

Depaire, B., Wets, G., Vanhoof, K., 2008, Traffic accident segmentation by means of latent class clustering, *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1257–1266, doi: 10.1016/j.aap.2008.01.007

Eluru, N., Bhat Ch.R., Hensher, D.A., 2008, A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes, *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1033–1054, doi: 10.1016/j.aap.2007.11.010

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, doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.107.

Haleem, K., Gan, A., 2013, Effect of driver's age and side of impact on crash severity along urban freeways: A mixed logit approach, *Journal of Safety Research*, 46, 67–76, doi: 10.1016/j.jsr.2013.04.002

Hao, W., Daniel, J., 2016, Driver injury severity related to inclement weather at highway–rail grade crossings in the United States, *Traffic Injury Prevention*, 17(1), 31–38, doi: 10.1080/15389588.2015.1034274

Holdridge, J.M., Shankar, V.N., Ulfarsson, G.F., 2005, The crash severity impacts of fixed roadside objects, *Journal of Safety Research*, 36(2), 139–147, doi: 10.1016/j.jsr.2004.12.005

Hosseinpour, M., Yahaya, A.S., Sadullah, A.F., 2014, Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads, *Accident Analysis & Prevention*, 62, 209–222, doi: 10.1016/j.aap.2013.10.001

Kaplan, S., Prato, C.G., 2015, A Spatial Analysis of Land Use and Network Effects on Frequency and Severity of Cyclist–Motorist Crashes in the Copenhagen Region, *Traffic Injury Prevention*, 16(7), 724–731, doi: 10.1080/15389588.2014.1003818

Kayani, A., Fleiter, J.J., King, M.J., 2014, Underreporting of Road Crashes in Pakistan and the Role of Fate, *Traffic Injury Prevention*, 15(1), 34–39, doi: 10.1080/15389588.2013.793797

Keay, K., Simmonds, I., 2006, Road accidents and rainfall in a large Australian city, *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 445–454, doi: 10.1016/j.aap.2005.06.025.

Khorashadi, A., Niemeier, D., Shankar, V., Mannering, F., 2005, Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: An exploratory analysis, *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 910–921, doi: 10.1016/j.aap.2005.04.009

Kim, J.-K., Kim, S., Ulfarsson, G.F., Porrello, L.A., 2007, Bicyclist injury severities in bicycle–motor vehicle accidents, *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 238–251, doi: 10.1016/j.aap.2006.07.002

Kim, J.-K., Ulfarsson, G.F., Kim, S., Shankar, V.N., 2013, Driver-injury severity in single-vehicle crashes in California: A mixed logit analysis of heterogeneity due to age and gender, *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1073–1081, doi: 10.1016/j.aap.2012.08.011.

Lee, J., Mannering, F., 2002, Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis, *Accident Analysis & Prevention*, 34(2), 149–161, doi: 10.1016/S0001-4575(01)00009-4

Li, Y., Liu, C., Ding, L., 2013, Impact of pavement conditions on crash severity, *Accident Analysis & Prevention*, 59, 399–406, doi: 10.1016/j.aap.2013.06.028.

Lu, J.J., Xing, Y., Wang, C., Cai, X., 2016, Risk factors affecting the severity of traffic accidents at Shanghai river-crossing tunnel, *Traffic Injury Prevention*, 17(2), 176–180, doi: 10.1080/15389588.2015.1051222

Malyshkina, N.V., Mannering, F.L., 2010, Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents, *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 131–139, doi: 10.1016/j.aap.2009.07.013

Martensen, H., Dupont, E., 2013, Comparing single vehicle and multivehicle fatal road crashes: A joint analysis of road conditions, time variables and driver characteristics, *Accident Analysis & Prevention*, 60, 466–471, doi: 10.1016/j.aap.2013.03.005

Márquez, L., 2010, Methodology for the Assessment of External Costs of Accidents in Transportation Projects, *Ing. Univ. Bogotá (Colombia)*, 14 (1), 161–176. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262010000100008

de Melo, W.A., Jacinto, A.C., Rocha, A.P., Pelloso, S.M., de Barros, M.D., 2017, Age-related risk factors with nonfatal traffic accidents in urban areas in Maringá, Paraná, Brazil, *Traffic Injury Prevention*, 18(2), 157-163, doi: 10.1080/15389588.2016.1235786

Morgan, A., Mannering, F.L., 2011, The effects of road-surface conditions, age, and gender on driver-injury severities, *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1852–1863, doi: 10.1016/j.aap.2011.04.024

Oh, J.T., 2006, Development of severity models for vehicle accident injuries for signalized intersections in rural areas, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 10(3), 219–225, doi: 10.1007/BF02824064

Park, S., Jang, K., Park, S.H., Kim, D.-K, Chon, K.S., 2012, Analysis of Injury Severity in Traffic Crashes: A Case Study of Korean Expressways, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(7), 1280–1288, doi: 10.1007/s12205-012-1527-3

Pasanen, E., Salminvaara, H., 1993, Driving Speeds and Pedestrian Safety in the City of Helsinki, *Traffic Injury and Control*, 34(6), 308–310.

Penmetsa, P., Pulgurtha, S.S., 2017, Risk drivers pose to themselves and other drivers by violating traffic rules, *Traffic Injury Prevention*, 18(1), 63-69, doi: 10.1080/15389588.2016.1177637

Prato, C.G., Kaplan, S., 2014, Bus accident severity and passenger injury: evidence from Denmark, *European Transport Research Review*, 6(1), 17–30, doi: 10.1007/s12544-013-0107-z

Ratanavaraha, V., Suangka, S., 2014, Impacts of accident severity factors and loss values of crashes on expressways in Thailand, *IATSS Research*, 37(2), 130–136, doi: j.iatssr.2013.07.001

Rifaat, S.M., Tay, R., de Barros, A., 2011, Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users, *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 276–283, doi: 10.1016/j.aap.2010.08.024

Savolainen, P., Mannering, F., 2007, Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes, *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 955–963, doi: 10.1016/j.aap.2006.12.016

Train, K., 2009, *Discrete Choice Methods with Simulation*, second edition, Cambridge University Press. Cambridge, New York.

Ulfarsson, G.F., Mannering, F.L., 2004, Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents, *Accident Analysis & Prevention*, 36(2), 135–147, doi: 10.1016/S0001-4575(02)00135-5

Vargas, D.A., 2016, Behavior of deaths and injuries due to transport accidents. Colombia, 2015 (in Spanish), *FORENSIS Datos para la vida*, 17(1), 479–582. <http://www.medicinalegal.gov.co/documents/88730/3418907/8.+ACCIDENTES+DE+TRANSPORTE-1+parte.pdf/5e486319-b05d-4ad5-8a25-5f8576fff729>

Villar, L., Romero, J. V., 2014, *Tendencia Económica. Informe Mensual de Fedesarrollo*. No. 148, Octubre 2014. <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/1693>

Vorko-Jović, A., Kern, J., Biloglav, Z., 2006, Risk factors in urban road traffic accidents, *Journal of Safety Research*, 37(1), 93–98, doi: 10.1016/j.jsr.2005.08.009

Weiss, H.B., Kaplan, S., Prato, C.G., 2014, Analysis of factors associated with injury severity in crashes involving young New Zealand drivers, *Accident Analysis & Prevention*, 65, 142–155, doi: 10.1016/j.aap.2013.12.020

Winston, C., Maheshri, V., Mannering, F., 2006, An exploration of the offset hypothesis using disaggregate data: The case of airbags and antilock brakes, *Journal of Risk and Uncertainty*, 32(2), 83–99, doi: 10.1007/s11166-006-8288-7

Yamamoto, T., Hashiji, J., Shankar, V.N., 2008, Underreporting in traffic accident data, bias in parameters and the structure of injury severity models, *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1320–1329, doi: 10.1016/j.aap.2007.10.016

Yan, X., Radwan, E., Abdel-Aty, M., 2005, Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model, *Accident Analysis & Prevention*, 37(6), 983–995, doi: 10.1016/j.aap.2005.05.001

Yasmin, S., Eluru, N., Bhat, C.R., Tay, R., 2014, A latent segmentation based generalized ordered logit model to examine factors influencing driver injury severity, *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 23–38, doi: 10.1016/j.amar.2013.10.002.

Yau, K.K.W., Lo, H.P., Fung, S.H.H., 2006, Multiple-vehicle traffic accidents in Hong Kong, *Accident Analysis & Prevention*, 38(6), 1157–1161, doi: 10.1016/j.aap.2006.05.002.

Ye, F., Lord, D., 2014, Comparing three commonly used crash severity models on sample size requirements: Multinomial logit, ordered probit and mixed logit models, *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 72–85, doi: 10.1016/j.amar.2013.03.001

Zajac, S.S., Ivan, J.N., 2003, Factors influencing injury severity of motor vehicle–crossing pedestrian crashes in rural Connecticut, *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 369–379, doi: 10.1016/S0001-4575(02)00013-1

Zhang, G., Yau, K.K.W., Gong, X., 2014, Traffic violations in Guangdong Province of China: Speeding and drunk driving, *Accident Analysis & Prevention*, 64, 30–40, doi: 10.1016/j.aap.2013.11.002.