

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Modelos estadísticos de gravedad de choques viales en las rutas  
nacionales de Costa Rica**

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Berny Andrés Madriz Mesén**

Director:

**Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

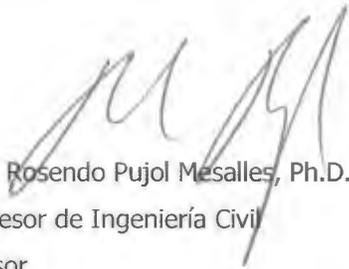
febrero, 2013



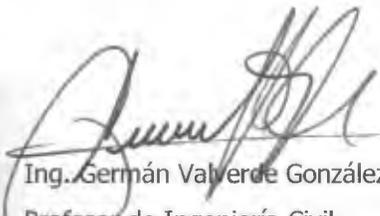
El Trabajo Final de Graduación de Berny Andrés Madriz Mesén, fue revisado y aprobado por las siguientes personas:



Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.  
Profesor de Ingeniería Civil  
Director



Ing. Rosendo Pujol Mesalles, Ph.D.  
Profesor de Ingeniería Civil  
Asesor



Ing. Germán Valverde González, M.B.A., M.Sc.  
Profesor de Ingeniería Civil  
Asesor



Berny Andrés Madriz Mesén  
Estudiante

Fecha: 2013, febrero, 26

El suscrito, Berny Andrés Madriz Mesén, cédula 2-652-628, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A63316, manifiesta que es el autor del Proyecto Final de Graduación Modelos estadísticos de gravedad de choques viales en las rutas nacionales de Costa Rica, bajo la dirección del PhD. Jonathan Agüero Valverde, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Así mismo hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N°6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Agradecimientos**

A mis padres por el apoyo incondicional, los consejos y la paciencia demostrados a lo largo de los años. A mis hermanos por el soporte y entendimiento que solo el núcleo familiar sabe dar. A mis sobrinos por iluminarme la vida. A Herlin por tanto amor y por estar siempre a mi lado. Y a esos amigos verdaderos que con el transcurrir de los años universitarios pasaron a ser hermanos. A Jonathan por la excelente guía y la exigencia de calidad del proyecto.

## Índice

Capítulo 1. Introducción .....	2
1.1. Justificación .....	2
1.2. Objetivos .....	5
1.2.1. Objetivo general .....	5
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Delimitación del problema .....	5
1.3.1. Alcance .....	5
1.3.2. Limitaciones .....	6
Capítulo 2. Descripción de la metodología utilizada .....	7
Capítulo 3. Estadísticas descriptivas y análisis exploratorio de los datos .....	18
Capítulo 4. Resultados de los modelos logit ordenados de gravedad de choques viales .....	36
4.1. Modelos de gravedad de choques viales .....	36
4.1.1. Análisis Marginal del Modelo Final .....	49
4.2. Modelos de gravedad para choques con uso del suelo en la GAM .....	62
4.3. Modelos de gravedad de choques viales según el rol de la persona implicada. ....	70
4.3.1. <i>Modelos de gravedad para ocupantes de vehículos</i> .....	70
4.3.2. <i>Modelos de gravedad para ocupantes de motocicletas</i> .....	76
4.3.3. <i>Modelos de gravedad para peatones</i> .....	79
4.4. Modelos de gravedad por ubicación en carretera de los choques .....	83
4.4.1. <i>Modelos de gravedad para choques en intersecciones de carreteras</i> .....	83
4.4.2. <i>Modelos de gravedad para choques en tramos de carretera</i> .....	89
Capítulo 5. Conclusiones .....	93
Fuentes de información utilizadas .....	97
Apéndice A. Estadísticas descriptivas de modelos específicos .....	99
Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para choques con uso del suelo en la GAM ....	99
Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para ocupantes de vehículos .....	109
Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para ocupantes de motocicletas .....	119
Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para peatones .....	129
Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para choques en intersecciones .....	141
Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para choques en tramos de carretera .....	153

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Características de los choques viales como causa de muerte en 2010.	3
Cuadro 2. Distribución de frecuencias para el tipo de superficie.	18
Cuadro 3. Distribución de frecuencias para el tipo de choque.	19
Cuadro 4. Distribución de frecuencias del rol de la persona implicada en el choque.	20
Cuadro 5. Distribución de frecuencias del alineamiento horizontal de la carretera.	21
Cuadro 6. Distribución de frecuencias del alineamiento tipo de terreno.	21
Cuadro 7. Distribución de frecuencias del género de las personas implicadas en los choques.	22
Cuadro 8. Distribución de frecuencias de la ubicación de los choques.	23
Cuadro 9. Distribución de frecuencias del porcentaje de visibilidad de la carretera.	24
Cuadro 10. Distribución de frecuencias del señalamiento vial.	25
Cuadro 11. Distribución de frecuencias del estado de la carretera.	26
Cuadro 12. Estadísticas descriptivas para el ancho del carril (m).	27
Cuadro 13. Distribución de frecuencias para el ancho del carril (m).	27
Cuadro 14. Estadísticas descriptivas para número de carriles.	28
Cuadro 15. Distribución de frecuencias del número de carriles.	29
Cuadro 16. Estadísticas descriptivas para el ancho del espaldón (m).	29
Cuadro 17. Distribución de frecuencias para el ancho del espaldón (m).	30
Cuadro 18. Estadísticas descriptivas para el TPDA.	31
Cuadro 19. Distribución de frecuencias del TPDA.	31
Cuadro 20. Estadísticas descriptivas para el límite de velocidad (km/h).	32
Cuadro 21. Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).	33
Cuadro 22. Distribución de frecuencias de la hora, el TPDA en esa hora y riesgo relativo.	34
Cuadro 23. Distribución de frecuencias del rango horario.	35
Cuadro 24. Modelo de gravedad con género y variables básicas de la carretera.	36
Cuadro 25. Modelo de gravedad con tipo de choque, género y variables básicas de la carretera.	39
Cuadro 26. Modelo de gravedad con rol de la persona implicada, género y variables básicas de la carretera.	40
Cuadro 27. Modelo de gravedad con rol de la persona implicada y tipo de choque.	41
Cuadro 28. Modelo de gravedad con rol de la persona implicada, tipo de superficie y de choque.	43
Cuadro 29. Modelo de gravedad con rango horario, rol de la persona implicada, tipo de superficie y de choque.	45
Cuadro 30. Modelo de gravedad con alineamientos horizontal y vertical, tipo de superficie y de choque.	47
Cuadro 31. Modelo de gravedad con porcentaje de visibilidad de la carretera,	48
Cuadro 32. Efectos marginales del rango horario en el modelo final.	49
Cuadro 33. Efectos marginales del tipo de superficie en el modelo final.	51
Cuadro 34. Efectos marginales del rol de la persona implicada en el modelo final.	52
Cuadro 35. Efectos marginales del tipo de choque en el modelo final.	53
Cuadro 36. Efectos marginales del género en el modelo final.	55
Cuadro 37. Efectos marginales de la ubicación del choque en el modelo final.	55
Cuadro 38. Efectos marginales del número de carriles en el modelo final.	55
Cuadro 39. Efectos marginales del ancho de carril en el modelo final.	56
Cuadro 40. Efectos marginales del ancho de espaldón en el modelo final.	57
Cuadro 41. Efectos marginales del límite de velocidad en el modelo final.	58
Cuadro 42. Efectos marginales del TPDA en el modelo final.	60
Cuadro 43. Modelo de gravedad de choques en la GAM con variables básicas.	62
Cuadro 44. Modelo de gravedad de choques en la GAM con tipo de choque y variables básicas.	63
Cuadro 45. Modelo de gravedad de choques en la GAM	64
Cuadro 46. Modelo de gravedad de choques con uso del suelo en la GAM y variables básicas.	65

Cuadro 47. Modelo de gravedad de choques con uso del suelo en la GAM y variables básicas.	66
Cuadro 48. Modelo de gravedad de choques con uso del suelo en la GAM para peatones.	67
Cuadro 49. Modelo de gravedad para ocupantes de vehículos y tipo de choque.	70
Cuadro 50. Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles,	72
Cuadro 51. Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles, condición y tipo de superficie.	73
Cuadro 52. Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles y condición del tiempo.	74
Cuadro 53. Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles, con todas	75
Cuadro 54. Modelo de gravedad para ocupantes de motocicletas,	76
Cuadro 55. Modelo de gravedad para ocupantes de motocicletas, tipo de choque, tipo	77
Cuadro 56. Modelo de gravedad para ocupantes de motocicletas, tipo de superficie,	78
Cuadro 57. Modelo de gravedad para peatones y tipo de superficie.	79
Cuadro 58. Modelo de gravedad para peatones, tipo de superficie y	80
Cuadro 59. Modelo de gravedad para peatones, tipo y condición	81
Cuadro 60. Modelo de gravedad para peatones, con todas las variables disponibles.	82
Cuadro 61. Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con tipo de superficie,	84
Cuadro 62. Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con tipo de superficie,	85
Cuadro 63. Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con tipo de choque	86
Cuadro 64. Modelo de gravedad de choques en intersecciones,	87
Cuadro 65. Modelo de gravedad de choques en tramos de carretera,	89
Cuadro 66. Modelo de gravedad de choques en tramos de carretera,	90
Cuadro 67. Modelo de gravedad de choques en tramos de carretera,	91
Cuadro 68. Distribución de frecuencia del uso del suelo.	99
Cuadro 69. Distribución de frecuencia del tipo de choque.	100
Cuadro 70. Distribución de frecuencia del rol de la persona implicada en el choque.	101
Cuadro 71. Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.	101
Cuadro 72. Distribución de frecuencia de la ubicación del choque.	102
Cuadro 73. Estadísticas descriptivas del número de carriles.	103
Cuadro 74. Distribución de frecuencias del número de carriles.	103
Cuadro 75. Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).	104
Cuadro 76. Distribución de frecuencias del ancho de carril (m).	104
Cuadro 77. Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).	105
Cuadro 78. Distribución de frecuencias del ancho de espaldón (m).	106
Cuadro 79. Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).	107
Cuadro 80. Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).	107
Cuadro 81. Estadísticas descriptivas del TPDA.	108
Cuadro 82. Distribución de frecuencias del TPDA.	108
Cuadro 83. Distribución de frecuencias para tipo de superficie.	109
Cuadro 84. Distribución de frecuencias para tipo de choque.	110
Cuadro 85. Distribución de distribución de frecuencias de la condición de la calzada.	111
Cuadro 86. Distribución de frecuencias de la condición del tiempo.	111
Cuadro 87. Distribución de frecuencias del tipo de obstáculo del choque.	112
Cuadro 88. Distribución de frecuencias del género de las personas implicadas en el choque.	113
Cuadro 89. Distribución de frecuencias de la ubicación del choque en carretera.	114
Cuadro 90. Estadísticas descriptivas del número de carriles	114
Cuadro 91. Distribución de frecuencias del número de carriles.	115
Cuadro 92. Estadísticas descriptivas del ancho del espaldón (m).	115
Cuadro 93. Distribución de frecuencias del ancho del espaldón (m).	116

Cuadro 94. Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).	117
Cuadro 95. Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).	117
Cuadro 96. Estadísticas descriptivas del TPDA.	118
Cuadro 97. Distribución de frecuencias del TPDA.	118
Cuadro 98. Distribución de frecuencia del tipo de choque.	119
Cuadro 99. Distribución de frecuencia del tipo de superficie.	120
Cuadro 100. Distribución de frecuencia de la condición del tiempo.	121
Cuadro 101. Distribución de frecuencia de la condición de la calzada.	121
Cuadro 102. Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.	122
Cuadro 103. Distribución de frecuencia de la ubicación del choque.	122
Cuadro 104. Estadísticas descriptivas del número de carriles.	123
Cuadro 105. Distribución de frecuencia del número de carriles.	123
Cuadro 106. Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).	124
Cuadro 107. Distribución de frecuencias del ancho de carril (m).	124
Cuadro 108. Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón.	125
Cuadro 109. Distribución de frecuencias del ancho del espaldón.	126
Cuadro 110. Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).	127
Cuadro 111. Distribución de frecuencias del límite de velocidad.	127
Cuadro 112. Estadísticas descriptivas del TPDA.	128
Cuadro 113. Distribución de frecuencias del TPDA.	128
Cuadro 114. Distribución de frecuencias del tipo de choque.	129
Cuadro 115. Distribución de frecuencias del tipo de superficie.	129
Cuadro 116. Distribución de frecuencias de la condición de la calzada.	130
Cuadro 117. Distribución de frecuencias de la condición del tiempo.	131
Cuadro 118. Distribución de frecuencias del porcentaje de visibilidad de la carretera.	131
Cuadro 119. Distribución de frecuencias del alineamiento horizontal de la carretera.	132
Cuadro 120. Distribución de frecuencias del tipo de terreno.	133
Cuadro 121. Distribución de frecuencias del señalamiento vial.	133
Cuadro 122. Distribución de frecuencias de la persona implicada.	134
Cuadro 123. Distribución de frecuencias de la ubicación del choque.	135
Cuadro 124. Estadísticas descriptivas del número de carriles.	135
Cuadro 125. Distribución de frecuencias del número de carriles.	136
Cuadro 126. Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).	136
Cuadro 127. Distribución de frecuencias del ancho de carril (m).	137
Cuadro 128. Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).	137
Cuadro 129. Distribución de frecuencias del ancho de espaldón (m).	138
Cuadro 130. Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h)	139
Cuadro 131. Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).	139
Cuadro 132. Estadísticas descriptivas del TPDA.	140
Cuadro 133. Distribución de frecuencias del TPDA.	140
Cuadro 134. Distribución de frecuencias del tipo de superficie.	141
Cuadro 135. Distribución de frecuencias del tipo de choque.	141
Cuadro 136. Distribución de frecuencias de la condición de la calzada.	142
Cuadro 137. Distribución de frecuencias del tiempo.	143
Cuadro 138. Distribución de frecuencias del rol de la persona implicada.	143
Cuadro 139. Distribución de frecuencia del tipo de terreno.	144
Cuadro 140. Distribución de frecuencia del alineamiento horizontal.	145

Cuadro 141. Distribución de frecuencia del porcentaje de visibilidad.	145
Cuadro 142. Distribución de frecuencia del señalamiento vial.	146
Cuadro 143. Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.	147
Cuadro 144. Estadísticas descriptivas del número de carriles.	147
Cuadro 145. Distribución de frecuencia del número de carriles.	148
Cuadro 146. Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).	148
Cuadro 147. Distribución de frecuencia del ancho de carril (m).	149
Cuadro 148. Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).	149
Cuadro 149. Distribución de frecuencia del ancho de espaldón (m).	149
Cuadro 150. Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).	150
Cuadro 151. Distribución de frecuencia del límite de velocidad (km/h).	150
Cuadro 152. Estadísticas descriptivas del TPDA.	151
Cuadro 153. Distribución de frecuencia del TPDA.	151
Cuadro 154. Distribución de frecuencias del tipo de superficie.	153
Cuadro 155. Distribución de frecuencias del tipo de choque.	153
Cuadro 156. Distribución de frecuencias de la condición de la calzada.	154
Cuadro 157. Distribución de frecuencias del tiempo.	155
Cuadro 158. Distribución de frecuencias del rol de la persona implicada.	155
Cuadro 159. Distribución de frecuencia del tipo de terreno.	156
Cuadro 160. Distribución de frecuencia del alineamiento horizontal.	157
Cuadro 161. Distribución de frecuencia del porcentaje de visibilidad.	157
Cuadro 162. Distribución de frecuencia del señalamiento vial.	158
Cuadro 163. Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.	159
Cuadro 164. Estadísticas descriptivas del número de carriles.	159
Cuadro 165. Distribución de frecuencia del número de carriles.	160
Cuadro 166. Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).	160
Cuadro 167. Distribución de frecuencia del ancho de carril (m).	161
Cuadro 168. Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).	162
Cuadro 169. Distribución de frecuencia del ancho de espaldón (m).	162
Cuadro 170. Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).	163
Cuadro 171. Distribución de frecuencia del límite de velocidad (km/h).	163
Cuadro 172. Estadísticas descriptivas del TPDA.	164
Cuadro 173. Distribución de frecuencia del TPDA.	164

## Índice de figuras

Figura 1. Mapa de Costa Rica con carreteras nacionales y choques del estudio.....	8
Figura 2. Elección de choques de tramo y de intersección.....	9
Figura 3. Ilustración del método de elección del uso del suelo predominante.....	9
Figura 4. Ilustración de un modelo ordenado con $\mu=0$ . ....	14
Figura 5. Diagrama metodológico del proyecto .....	17
Figura 6. Histograma del tipo de superficie en el que ocurrió el choque. ....	18
Figura 7. Histograma del tipo de choque.....	19
Figura 8. Histograma del rol de la persona implicada en el choque. ....	20
Figura 9. Histograma del alineamiento horizontal de la carretera.....	21
Figura 10. Histograma del tipo de terreno de la carretera. ....	22
Figura 11. Histograma del género de las personas implicadas en los choques.....	22
Figura 12. Histograma de la ubicación de los choques.....	23
Figura 13. Histograma del porcentaje de visibilidad de las carreteras donde ocurrieron los choques. ....	25
Figura 14. Histograma del señalamiento vial.....	25
Figura 15. Histograma del estado de las carreteras donde ocurrieron los choques. ....	26
Figura 16. Histograma del ancho del carril (m). ....	28
Figura 17. Histograma del número de carriles.....	29
Figura 18. Histograma del estado del ancho del espaldón.....	30
Figura 19. Histograma del TPDA.....	32
Figura 20. Histograma del límite de velocidad (km/h).....	33
Figura 21. Histograma de la hora. ....	34
Figura 22. Histograma del rango horario. ....	35
Figura 23. Gráfico del riesgo relativo de choques en Adelaide, Australia.....	42
Figura 24. Gráficos de probabilidades de los rangos horarios. ....	50
Figura 25. Gráficos de probabilidades del tipo de superficie. ....	51
Figura 26. Gráficos de probabilidad del rol de la persona implicada. ....	53
Figura 27. Gráficos de probabilidad del tipo de choque.....	54
Figura 28. Gráficos de probabilidad del número de carriles. ....	56
Figura 29. Gráficos de probabilidad del ancho de carril. ....	57
Figura 30. Gráficos de probabilidad del ancho de espaldón. ....	58
Figura 31. Gráficos de probabilidad del límite de velocidad. ....	59
Figura 32. Gráficos de probabilidad del TPDA. ....	61
Figura 33. Histograma del uso del suelo.....	99
Figura 34. Histograma del tipo de choque.....	100
Figura 35. Histograma del rol de la persona implicada en el choque. ....	101
Figura 36. Histograma del género de la persona implicada en el choque.....	102
Figura 37. Histograma de la ubicación del choque.....	102
Figura 38. Histograma del número de carriles.....	103

Figura 39. Histograma del ancho de carril (m).....	105
Figura 40. Histograma del ancho de espaldón (m).....	106
Figura 41. Histograma del límite de velocidad (km/h).....	107
Figura 42. Histograma del TPDA.....	108
Figura 43. Histograma del tipo de superficie.....	109
Figura 44. Histograma del tipo de choque.....	110
Figura 45. Histograma de la condición de la calzada.....	111
Figura 46. Histograma de la condición del tiempo.....	112
Figura 47. Histograma del tipo de obstáculo del choque.....	113
Figura 48. Histograma del género de las personas implicadas en el choque.....	113
Figura 49. Histograma de la ubicación del choque en carretera.....	114
Figura 50. Histograma del número de carriles.....	115
Figura 51. Histograma del ancho del espaldón.....	116
Figura 52. Histograma del límite de velocidad (km/h).....	117
Figura 53. Histograma del TPDA.....	119
Figura 54. Histograma del tipo de choque.....	120
Figura 55. Histograma del tipo de choque.....	120
Figura 56. Histograma de la condición del tiempo.....	121
Figura 57. Histograma de la condición de la calzada.....	121
Figura 58. Histograma del género de la persona implicada.....	122
Figura 59. Histograma de la ubicación del choque.....	122
Figura 60. Histograma del número de carriles.....	123
Figura 61. Histograma del ancho de carril (m).....	125
Figura 62. Histograma del ancho de carril (m).....	126
Figura 63. Histograma del límite de velocidad.....	127
Figura 64. Histograma del TPDA.....	128
Figura 65. Histograma del tipo de choque.....	129
Figura 66. Histograma del tipo de superficie.....	130
Figura 67. Histograma de la condición de la calzada.....	130
Figura 68. Histograma de la condición del tiempo.....	131
Figura 69. Histograma del porcentaje de visibilidad de la carretera.....	132
Figura 70. Histograma del alineamiento horizontal de la carretera.....	132
Figura 71. Histograma del tipo de terreno.....	133
Figura 72. Histograma del señalamiento vial.....	134
Figura 73. Histograma del género de la persona implicada.....	134
Figura 74. Histograma de la ubicación del choque.....	135
Figura 75. Histograma del número de carriles.....	136
Figura 76. Histograma del ancho de carril (m).....	137
Figura 77. Histograma del ancho de espaldón (m).....	138
Figura 78. Histograma del límite de velocidad (km/h).....	139

Figura 79. Histograma del límite de velocidad (km/h).....	140
Figura 80. Histograma del tipo de superficie.....	141
Figura 81. Histograma del tipo de choque. ....	142
Figura 82. Histograma de la condición de la calzada.....	142
Figura 83. Histograma de la condición del tiempo. ....	143
Figura 84. Histograma del rol de la persona implicada.....	144
Figura 85. Histograma del tipo de terreno. ....	144
Figura 86. Histograma del alineamiento horizontal. ....	145
Figura 87. Histograma del porcentaje de visibilidad.....	146
Figura 88. Histograma del señalamiento vial.....	146
Figura 89. Histograma del género de la persona implicada. ....	147
Figura 90. Histograma del número de carriles.....	148
Figura 91. Histograma del ancho de carril (m). ....	149
Figura 92. Histograma del ancho de espaldón (m). ....	150
Figura 93. Histograma del límite de velocidad (km/h).....	151
Figura 94. Histograma del TPDA.....	152
Figura 95. Histograma del tipo de superficie.....	153
Figura 96. Histograma del tipo de choque. ....	154
Figura 97. Histograma de la condición de la calzada.....	154
Figura 98. Histograma de la condición del tiempo. ....	155
Figura 99. Histograma del rol de la persona implicada.....	156
Figura 100. Histograma del tipo de terreno. ....	156
Figura 101. Histograma del alineamiento horizontal. ....	157
Figura 102. Histograma del porcentaje de visibilidad.....	158
Figura 103. Histograma del señalamiento vial.....	158
Figura 104. Histograma del género de la persona implicada.....	159
Figura 105. Histograma del número de carriles.....	160
Figura 106. Histograma del ancho de carril (m). ....	161
Figura 107. Histograma del ancho de espaldón (m). ....	162
Figura 108. Histograma del límite de velocidad (km/h). ....	163
Figura 109. Histograma del TPDA.....	164

Madriz Mesén, Berny Andrés

Modelos estadísticos de gravedad de choques viales en las rutas nacionales de Costa Rica

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.:

B. Madriz M., 2013

vi, 96, [56]h; ils. col. – 24 refs.

### RESUMEN

Los choques viales son un problema de salud pública para un sector importante de la población costarricense y se debe prestar atención a sus causas y las consecuencias que le generan al país. Según datos del INEC para los años 2010 y 2011 los choques viales, para personas de entre 0 a 44 años, se presentan como la primera causa de muerte en el país, con 393 muertes en 2010 y 370 en 2011.

Entre los resultados más importantes se tiene que entre mayores sean el TPDA, el número y ancho de carril menor es la gravedad. Por otra parte el límite de velocidad tiene una relación creciente con la gravedad de choques viales, lo que quiere decir que entre más alto sea el límite de velocidad mayor es la gravedad de las heridas sufridas por choques viales. El espaldón ha sido un elemento disminuido o inexistente en gran parte de las carreteras costarricenses (65% de los choques ocurrieron en carreteras sin espaldón) y se demostró que un mayor ancho del mismo tiene un efecto importante en la reducción de la gravedad de los choques viales.

Al cuantificar los efectos marginales del rol de la persona implicada en un choque (respecto a los conductores de vehículos) los motociclistas tienen una probabilidad 20% mayor de sufrir heridas graves o la muerte, mientras que los pasajeros de motocicletas tienen probabilidades 189% y 226% mayores de sufrir heridas graves y la muerte, respectivamente.

Los resultados de esta investigación son de importancia para el país y al no haberse realizado estudios similares en Costa Rica esta investigación puede servir como base en este campo y abre otras posibilidades de estudios futuros. En campos como los seguros, regulaciones vehiculares, educación vial y otros, se pueden tomar medidas que mitiguen o reduzcan la gravedad de los choques viales en Costa Rica, tomando como base este estudio. B.M.M

SEGURIDAD VÍAL; CHOQUES VIALES; MODELOS ESTADÍSTICOS LOGIT ORDENADOS;  
GRAVEDAD DE CHOQUES VIALES.

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

Escuela de Ingeniería Civil

## Capítulo 1. Introducción

---

### 1.1. Justificación

Los choques viales y sus problemáticas asociadas tienen un impacto significativo en la salud de la mayoría de los países de Latinoamérica. En Costa Rica durante el primer semestre de 2011 fallecieron 172 personas, 12 más que en ese mismo periodo de 2010, lo que representa un aumento de 7,5% en las muertes por choques de tránsito (diario La Nación, 1 de julio de 2011).

El Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020, de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S en adelante) dice:

*Cada año, cerca de 1,3 millones de personas fallecen a raíz de un choque de tránsito —más de 3000 defunciones diarias— y más de la mitad de ellas no viajaban en automóvil. Entre 20 millones y 50 millones de personas más sufren traumatismos no mortales provocados por choques de tránsito, y tales traumatismos constituyen una causa importante de discapacidad en todo el mundo. El 90% de las defunciones por choques de tránsito tienen lugar en los países de ingresos bajos y medianos, donde se halla menos de la mitad de los vehículos matriculados en todo el mundo. Entre las tres causas principales de defunciones de personas de 5 a 44 años figuran los traumatismos causados por el tránsito. Según las previsiones, si no se adoptan medidas inmediatas y eficaces, dichos traumatismos se convertirán en la quinta causa mundial de muerte, con unos 2,4 millones de fallecimientos anuales.*

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC en adelante) en Costa Rica en los años 2010 y 2011 se dieron 1197 defunciones relacionadas a choques viales, lo que representa el 3,2% de las muertes en el país, para ese periodo.

El Cuadro 1 muestra la posición de los choques viales entre las principales causas de muerte en los años 2010 y 2011 por rangos de edades.

**Cuadro 1.** Características de los choques viales como causa de muerte en 2010.

Rango de edad en años	2010		2011	
	Posición en causas de muerte	Cantidad de defunciones	Posición en causas de muerte	Cantidad de defunciones
0 - 4	Octava	11	Sexta	18
5 - 14	Tercera	15	Cuarta	17
15 - 24	Segunda	136	Segunda	105
25 - 54	Segunda	236	Primera	231
54 - 65	Onceava	140	Sétima	161
65 - +	Vigésimo cuarta	73	Vigésimo sexta	52
Desconocido	-	2	-	0
	$\Sigma=$	613	$\Sigma=$	584

Fuente: Cuadros C4. Total de defunciones por grupos especiales de edades, según grupos de causa de muerte y sexo, INEC 2012.

En 2010 los choques viales ocuparon la segunda causa de muerte para personas con edades entre 15 y 54 años (superada únicamente por los homicidios y lesiones infringidas intencionalmente por otra persona y los de intención no determinada). Para las personas de 54 años o más, la primera causa de muerte fue la enfermedad isquémica del corazón (2415 costarricense murieron por esta causa en 2010). En 2011 para las personas de entre 25 a 54 años se sitúa como la primera causa de muerte.

Se puede ver cuantificado el efecto (pérdidas de vidas humanas) que tienen los choques viales en Costa Rica, pues de 62 causas de muerte se ubicó (en todos los rangos de edades) entre las primeras 26, alcanzando la segunda y primera posición en pérdida de vidas de personas en las edades económica y socialmente más activas. Y aún se desconoce la cantidad de personas que tienen algún tipo de inhabilitación por causa de un choque en las carreteras costarricenses.

Una estadística aún más interesante se obtiene de los datos del INEC presentados en los *Cuadros C1. Total de defunciones generales por grupos de edades, según causa de muerte y sexo*, para los años 2010 y 2011; de donde se extrae que los choques viales, para personas

de entre 0 a 44 años, se presentan como la primera causa de muerte en el país, con 393 muertes<sup>1</sup> en 2010 y 370 en 2011. Sin duda los choques viales son un problema de salud pública para un sector importante de la población costarricense y se debe prestar atención a sus causas y las consecuencias que le generan al país. Para personas de entre 45 a 64 años pasa a ser la tercera causa de muerte (superada por infarto agudo del miocardio y tumor maligno del estómago), finalmente para personas de 65 años y mayores no se encuentra ni siquiera en las primeras 50 causas de muerte (estos cuadros contienen más de 900 causas de muerte distintas).

Gravedad en choques viales se define como: "el daño sufrido por la persona herida con mayor gravedad en un choque" (Milton, Shankar y Mannering, 2008). Una vez que se produce un choque vial es importante conocer cuál fue la gravedad del mismo (si hubo únicamente daños materiales, heridos leves, heridos graves o muertos).

Dado que los choques de tránsito representan elevados costos para el país, (pérdida de vidas humanas, personas heridas, hospitalizadas, inhabilitadas física o emocionalmente y pérdidas materiales) es necesario identificar los factores que propician los choques de tránsito y determinar cuáles son las variables que influyen en la gravedad de los mismos.

En este estudio relacionaron las características de la infraestructura vial de las carreteras nacionales con el aumento en la gravedad de los choques viales, para poder determinar cuál es la influencia que tiene el estado de las carreteras en la gravedad de los choques viales. Costa Rica no cuenta actualmente con estudios sobre la gravedad de los choques de tránsito por lo tanto tampoco se conoce a ciencia cierta si el estado de las carreteras nacionales está provocando mayor gravedad en los resultados de los choques viales.

---

<sup>1</sup> Incluyendo conductores y pasajeros de vehículos de cuatro o más ruedas, motociclistas, ciclistas y peatones.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar estadísticamente cuáles son las variables más influyentes y cuantificar su efecto, en la gravedad de las lesiones de personas implicadas en choques viales en las carreteras nacionales de Costa Rica.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Hacer un análisis exploratorio de la base de datos de choques viales del Consejo de Seguridad Vial (COSEVI en adelante).
- Relacionar los choques viales con la infraestructura de las carreteras nacionales.
- Relacionar los choques viales con el uso del suelo en la Gran Área Metropolitana (GAM en adelante)
- Realizar modelos de gravedad de choques viales, del tipo logit ordenados.
- Cuantificar los efectos marginales de las variables del modelo que presente mejor ajuste estadístico.

## **1.3. Delimitación del problema**

### **1.3.1. Alcance**

- El estudio estadístico se aplica a las vías que tengan la clasificación de Carretera Nacional.
- Se utiliza la base de datos de levantamiento de información general y espacial de choques viales del COSEVI.
- El uso del suelo en escala 1:10 000, se obtuvo de las bases de datos del Plan Regional de Desarrollo Urbano Gran Área Metropolitana (PRUGAM, en adelante), facilitadas por el Programa de Desarrollo Urbano Sostenible de la Universidad de Costa Rica (ProDUS-UCR en adelante).
- Las muertes reportadas son únicamente las que se produjeron en el sitio del choque.

- Se dieron recomendaciones generales sobre medidas de mitigación de gravedad de choques viales.

### **1.3.2. Limitaciones**

- El Inventario de Carreteras contiene información únicamente de la infraestructura en las carreteras nacionales; no se incluyen las cantonales ni caminos privados.
- No todos los oficiales de tránsito cuentan con los dispositivos electrónicos (Sistema de Posicionamiento Global o GPS por sus siglas en inglés) para levantar los choques viales.
- No se conoce cuántas de las personas heridas murieron posteriormente por las lesiones de los choques.
- Hay un sesgo por subjetividad en la definición de herido leve o grave porque el reporte de la gravedad de las heridas de los choques viales, se hace por parte de oficiales de tránsito y no por otros profesionales especializados en salud, por lo que se considera que la distribución por tipo gravedad de los choques viales es constante en el espacio.
- Se calcularon los efectos marginales únicamente para el modelo con mejor ajuste.
- El uso del suelo se limita geográficamente a la GAM.

## Capítulo 2. Descripción de la metodología utilizada

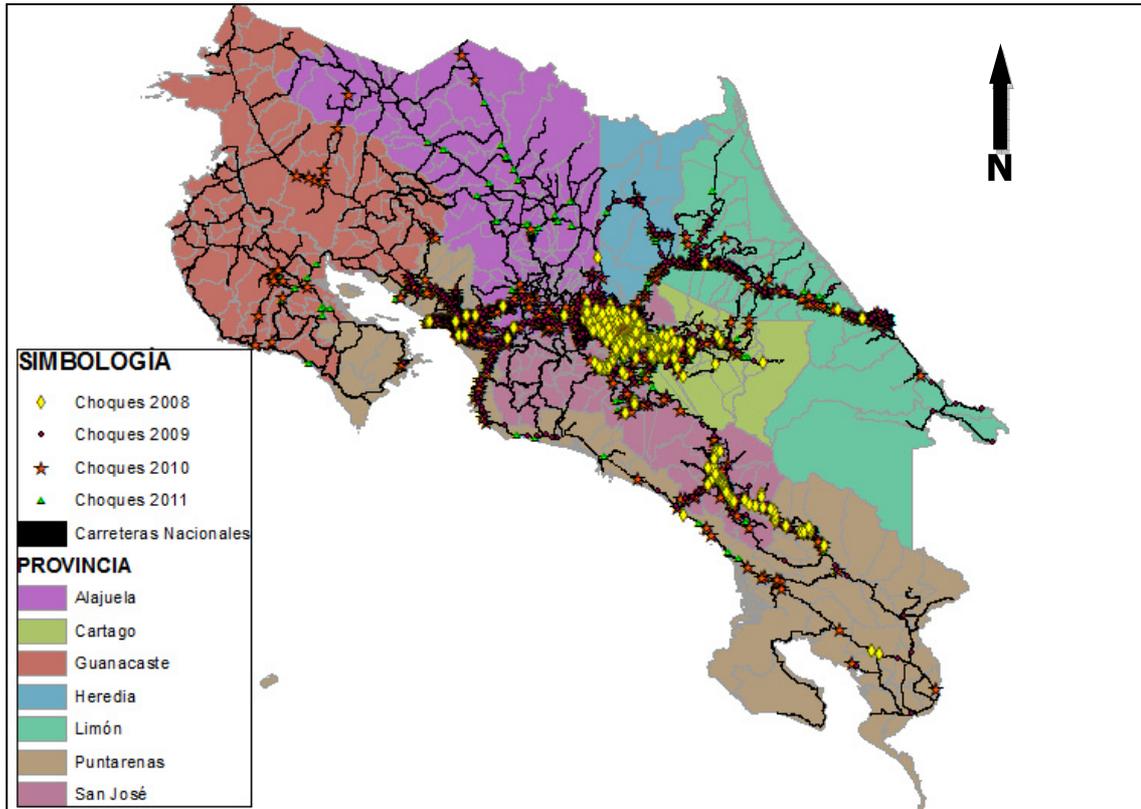
---

Para realizar el proyecto se sigue la metodología descrita en el diagrama de la Figura 5. Ya que toda la información requerida no se encontraba unificada primeramente se interrelacionaron las siguientes bases de datos:

- Base de datos de choques del COSEVI contiene la información del levantamiento del choque como: localización, gravedad, datos de los conductores, entre otros.
- Inventario de Carreteras Nacionales, en esta base de datos se tiene la información de la infraestructura de las carreteras nacionales, cantidad de carriles, ancho de carriles, existencia de espaldones, límite de velocidad, entre otros.
- Uso del suelo en escala 1:10000 de PRUGAM.

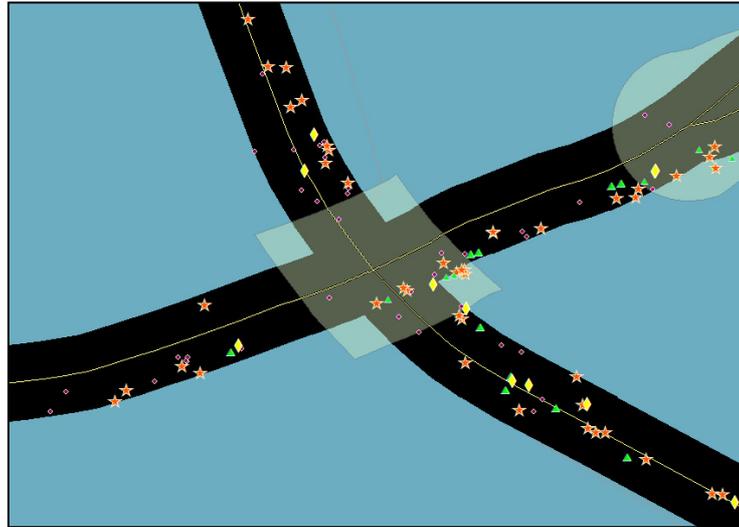
Se utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG) para relacionar la información de las bases de datos mencionadas; mediante relaciones espaciales (ubicación geográfica) de los choques se pueden enlazar las diferentes bases de datos con la unidad estadística correspondiente. Y finalmente se adjuntan los datos del uso del suelo a los choques correspondientes. Así cada boleta de levantamiento tiene los datos sobre la infraestructura de la carretera donde se ubicó el choque y el correspondiente uso del suelo predominante en esa zona.

En la Figura 1 se muestra un mapa de Costa Rica en el que se aprecian las carreteras nacionales y los choques de los cuatro años que incluyen este estudio. Para ligar la información de los tramos de carretera con los choques se crea un perímetro de 50m cada lado de la línea de centro de las calles y se eligieron los choques que quedaron contenidos dentro de este perímetro. Se elige un perímetro de 50m pues es usual que los dispositivos GPS utilizados para hacer los levantamientos de los choques tienen una precisión aproximada de  $\pm 20m$ , entonces se considera que con 50m desde la línea de centro se cubren los choques que ocurrieran en el borde externo de la calle o los que tienen vehículos fuera de la vía.



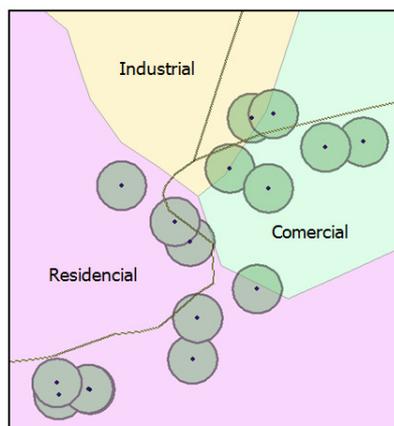
**Figura 1.** Mapa de Costa Rica con carreteras nacionales y choques del estudio

Generalmente en las intersecciones se tienen ensanchamientos por carriles de giro exclusivo, islas canalizadoras y otros elementos que generan un ancho mayor de la superficie, además en estas secciones también se debe cubrir el tema de la precisión de los dispositivos GPS de los oficiales de tránsito. Por esto en los cruces de calles se crea un perímetro de 100m para elegir los choques que se produjeron en las intersecciones, como se muestra en la Figura 2. Una vez que se seleccionan los choques a utilizar se adjunta a cada uno de ellos las características de las carreteras sobre las que ocurrieron.



**Figura 2.** Elección de choques de tramo y de intersección.

Para ligar el uso del suelo con los choques, se crean círculos de 25m de diámetro alrededor de cada choque y se seleccionan los usos de suelo que quedan contenidos en estos círculos, en caso de tener más de un uso en cada círculo se elige como uso del suelo predominante al que tiene mayor área en cada círculo. En los casos en el que las áreas de diferentes usos son iguales se utilizó una escala de atracción de tráfico para determinar cuál es el uso predominante en esos casos la escala es la siguiente: Comercial, Servicios Públicos, Industrial, Residencial, Zonas Verdes, Terrenos no Cultivables, Uso no Urbano; por ejemplo si un círculo tenía 50% del área en uso Comercial y el otro 50% en uso Industrial se determina que el uso predominante es el Comercial por encontrarse antes en la escala de atracción de tráfico. Esta escala se define asignando un valor para cada uso del suelo, según la cantidad de vehículos que atrae, teniendo en la escala primero los usos que atraen más vehículos.



**Figura 3.** Ilustración del método de elección del uso del suelo predominante.

En la información geográfica la unidad es el choque sin embargo cada choque tiene varias boletas pues se hace una por cada persona implicada y para este estudio se utilizan las boletas como unidad estadística. Así que mediante el número de parte se relaciona la información de los choques (carretera, uso del suelo, estado de la calzada, entre otros) con las boletas que contienen información específica de cada persona implicada como el rol en el choque, género, tipo de choque, entre otros. Inicialmente se tienen 121 489 boletas de levantamiento de choques de los años 2008 a 2011, luego de seleccionar los datos válidos para el estudio se tiene una base de datos con 37 688 observaciones, esta reducción se da porque este estudio contempla únicamente los choques ocurridos en las rutas nacionales y la base original tiene choques que ocurrieron tanto en carreteras nacionales, cantonales y privadas; además algunas observaciones tenían valores nulos en algunas de las columnas.

A pesar de que muchos de los datos que se tenían en la muestra inicial no son utilizados en el estudio, la base se considera apropiada y válida pues la variable dependiente (la gravedad de los choques) tiene distribución espacial aleatoria, no hay razones evidentes que hagan pensar que los choques son más graves o menos en una locación geográfica que en otra, por ejemplo no hay evidencia del porque debería ser un choque más grave en Guanacaste que en San José o viceversa. Si bien es cierto que hay muchas variables que intervienen en la gravedad de los choques viales no hay motivos para pensar que la ubicación geográfica en si misma sea influyente en la gravedad de choques viales, por esto la muestra utilizada es adecuada para el estudio.

Una vez que se tiene la base de datos completa con todas las boletas, se hace una exploración y descripción de los datos, con la que se obtienen estadísticas descriptivas tales como: mínimos, máximos, promedio, media, moda, histogramas, entre otras. Como la base de datos no fue desarrollada pensando en la elaboración de estos modelos se pasa por un proceso de selección y clasificación de los datos y variables de interés. Además de determinar cuáles contienen información válida o confiable para incluir en el estudio.

Se busca demostrar estadísticamente cuales son las variables que influyen en la gravedad de los choque viales por lo que claramente se necesita como base la información de los choques, es importante saber cuáles características de la infraestructura vial aumentan la

gravedad de los choques viales y pueden afectar las maniobras de conducción y generar choques más (o menos) graves. Es necesario recalcar que este estudio se centra en la gravedad de los choques viales y no en la frecuencia de ocurrencia de los mismos, no se deben confundir estos enfoques pues tratan temas completamente diferentes.

Para obtener mejores resultados con estudios estadísticos, es necesario conocer las características de los datos disponibles para aplicar el modelo que mejor se ajuste a la información que se tiene, esto para obtener mayor eficiencia en el modelaje que se realiza.

Es necesario notar que la gravedad de los choques viales sigue un orden lógico, de menor gravedad a mayor gravedad:

- 1) Únicamente daños materiales.
- 2) Choque con heridos leves.
- 3) Choque con heridos graves.
- 4) Choque con muertos.

Los choques con menor gravedad son los que dejan únicamente pérdidas materiales, seguidos por los choques con heridos leves, los choques con heridos graves y finalmente la mayor gravedad se da en los choques con pérdida de vidas humanas. La gravedad en choques viales es una variable condicionada a la ocurrencia del choque.

Otra característica que se tiene con las bases de datos de choques viales es que comúnmente se da un mayor reporte de los choques viales, que los implicados consideran, más graves y los choques que se consideran menores o que no tienen mayores afectaciones no se reportan (frecuentemente) ante las autoridades de tránsito correspondientes. Los modelos logit no se ven afectados por este tipo de sesgo, el término de error o perturbación absorbe este sesgo, por lo que no se afecta el modelo por variables no observadas (en este caso los choques leves que no han sido reportados).

Varios son los autores que han utilizado modelos logit ordenados en gravedad de choques viales; algunos ejemplos citados por Milton, Shankar y Mannering, 2008, son: O'Donnell y Connor, 1996; Duncan et al., 1998; Renski et al., 1999; Khattak, 2001; Kockelman y Kweon,

2002. Mucha de la popularidad de estos modelos se basa en que son robustos ante el sesgo por variables no observadas, este es otro motivo del porque se considera válida la muestra obtenida en el proceso de interrelación de bases datos pues a pesar de tener una muestra "relativamente reducida", respecto al total de boletas que se tienen en la base de datos del COSEVI, los modelos tipo logit no sufren problemas de sesgo por las observaciones no incluidas en la muestra.

Los modelos logit ordenados tienen un ajuste más apropiado por el orden lógico que sigue el aumento en la gravedad de los choques viales, además se reconocen como modelos robustos frente a errores provocados por variables no observadas (choques menos graves no reportados y observaciones que quedan fuera de la muestra) además no sufren el problema de la independencia de alternativas irrelevantes, pues la razón entre dos probabilidades de resultados no es independiente de las probabilidades de otros resultados. Por otra parte los modelos logit ordenados permiten que los valores de los parámetros varíen a través de observaciones con lo que se corrigen varias debilidades que presentan otros modelos. Estas son algunas de las ventajas que presentan los logit ordenados y se considera apropiada su aplicación en este estudio.

Los modelos logit ordenados suelen ser criticados por mostrar resultados únicamente cualitativos (una variable produce mayor o menor gravedad del choque que otra) y se dice que sus resultados son limitados por tender hacia los valores extremos, en este caso se tiende a pensar más en choques con personas ilesas y choques con personas muertas. Los valores intermedios de gravedad usualmente no se consideran en los análisis, por esta razón este proyecto presenta un análisis marginal que permita cuantificar los efectos que tienen las variables en el modelo que sea más representativo. Con esto se elimina la problemática de únicamente obtener resultados cualitativos.

A continuación se presenta la aplicación de modelo logit ordenado para gravedad de choques viales que se aplicó en el estudio propuesto. Según Washington, Karlaftis y Mannering (2011), los modelos logit ordenados se derivan definiendo una variable no observada, típicamente especificada como una función lineal por cada observación, tal que:

$$z_{in} = \beta_i X_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

Donde  $z_{in}$  es una función que determina la gravedad de las heridas categoría  $i$  de la persona implicada en la observación  $n$ ,  $X_{in}$  es un vector de variables que determinan el orden discreto para la observación  $n$ ,  $\beta_i$  es un vector de parámetros estimables y  $\varepsilon_{in}$  es un término de perturbación aleatoria.

Usando esta ecuación, los datos ordinales observados "y" para cada observación son definidos de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 y &= 1 \text{ si } z \leq \mu_0 \\
 y &= 2 \text{ si } \mu_0 < z \leq \mu_1 \\
 y &= 3 \text{ si } \mu_1 < z \leq \mu_2 \\
 y &= \dots \\
 y &= I \text{ si } z \geq \mu_{I-1}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Donde  $\mu$  son parámetros que definen "y" con el correspondiente orden entero e  $I$  es el orden entero mayor. En este caso *únicamente daños materiales, heridos leves, heridos graves y muertos* son variables no numéricas que se pueden convertir a valores enteros (1, 2, 3 y 4, respectivamente) sin pérdida alguna de generalidad. Entonces  $I = 4$  se define como el orden de gravedad mayor (muertos) y el orden de gravedad menor es 1 (únicamente daños materiales).

Los términos  $\mu$  son parámetros que se determinan conjuntamente con los parámetros  $\beta_i$ . El problema de estimación se convierte en uno de determinación de probabilidad del orden  $I$  específico para cada una de las observaciones  $n$ . Esta determinación está hecha asumiendo que  $\varepsilon$  sigue una distribución logística (valores extremos). Se modela la probabilidad de que la lesión esté en una categoría menor que la de interés como se muestra en la ecuación 3:

$$P(Y \leq I) = \Lambda(\mu_I - X\beta) = \frac{1}{1 + e^{-(\mu_I - X\beta)}} \tag{3}$$

También es posible modelar la probabilidad de que  $Y$  esté en una categoría particular dada por:

$$P(Y = I) = \Lambda(\mu_I - X\beta) - \Lambda(\mu_{I-1} - X\beta)$$

$$P(Y = I) = \frac{1}{[1+e^{-(\mu_I - X\beta)}]} - \frac{1}{[1+e^{-(\mu_{I-1} - X\beta)}]} \quad (4)$$

Donde:

$\beta_0 = 0$  la constante en el predictor lineal está en cero.

$\mu_0 = -\infty$ .

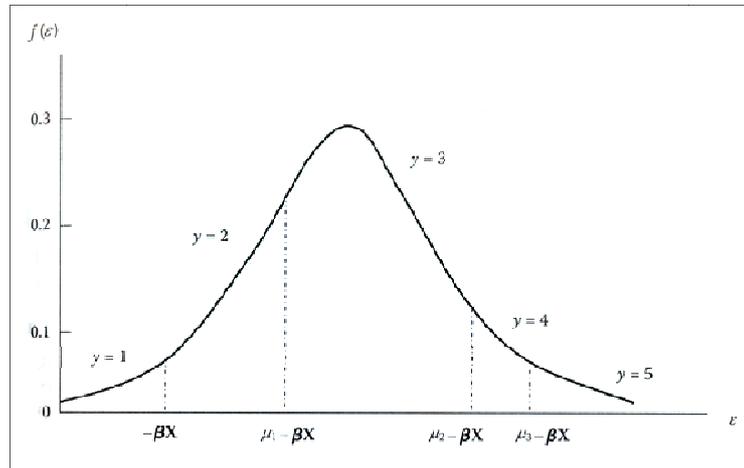
$\mu_I = +\infty$ .

Teniendo que  $\Lambda(x)$  es la distribución de valores extremos de Gumbel:

$$\Lambda(x) = EXP(-e^{-x}) \quad (5)$$

con  $x \in ]-\infty, +\infty[$

En la Figura 4 se muestra un ejemplo con cinco posibles salidas ordenadas.



**Figura 4.** Ilustración de un modelo ordenado con  $\mu=0$ .

Fuente: Washington, Karlaftis y Mannering, 2011.

Para las variables categóricas, los efectos marginales se computan como la diferencia en las probabilidades estimadas con las variables categóricas cambiando de cero a uno, mientras todas las otras variables se igualan a su media. Para variables continuas, los efectos marginales se computan mediante las derivadas parciales:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(Y=1)}{\partial X} &= -\Lambda(-\beta X)\beta' \\ \frac{\partial P(Y=2)}{\partial X} &= [\Lambda(\mu_0 - \beta X) - \Lambda(\mu_1 - \beta X)]\beta' \\ \frac{\partial P(Y=3)}{\partial X} &= [\Lambda(\mu_1 - \beta X) - \Lambda(\mu_2 - \beta X)]\beta' \\ \frac{\partial P(Y=\dots)}{\partial X} &= \dots \\ \frac{\partial P(Y=I)}{\partial X} &= -\Lambda(\mu_{I-2} - \beta X)\beta' \end{aligned} \quad (6)$$

Por otro lado, en cualquier estudio estadístico es necesario tener indicadores que muestren si se están obteniendo resultados con variable con un grado de correlación alta y así determinar que tanto logra modelar el método aplicado la realidad de las situaciones mostradas en los datos. Para la evaluación de la significancia y el ajuste modelos planteados se usa principalmente tres métodos: el pseudo- $R^2$  de McFadden, el criterio de información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) y la prueba de la relación de logaritmo de verosimilitud (Log-likelihood ratio test por su nombre en inglés o Log(likelihood) de forma abreviada).

Para calcular el pseudo- $R^2$  se utiliza la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{L_U}{L_C} \quad (7)$$

Donde:

$L_U$  es el Log(verosimilitud) del modelo sin restringir o modelo con las variables explicativas.

$L_C$  es el Log(verosimilitud) del modelo restringido o modelo constante.

La prueba de la relación de logaritmo de verosimilitud se calcula de la siguiente manera, primero es necesario obtener el valor  $D$ :

$$D = 2(L_R - L_U) \quad (8)$$

Donde:

$L_U$  es el Log(verosimilitud) del modelo sin restringir o modelo con las variables explicativas y  $L_R$  es el Log(verosimilitud) del modelo restringido que se encuentra anidado dentro del modelo sin restringir.

Luego se calcula la probabilidad de que el modelo no represente los datos utilizando la distribución de  $\chi^2$  (chi<sup>2</sup>) el valor de  $P\chi^2(D, M)$  donde  $M$  es la diferencia absoluta entre los grados de libertad de  $L_U$  y  $L_R$ .

Posteriormente se utilizó el programa estadístico llamado "R" para hacer los modelos logit ordenados de gravedad de los choques viales. Con el planteamiento de varios modelos se lograron calibrar los mismos para conocer cuales variables era necesario agregar y cuáles no resultaban significativas en ningún caso.

El pseudo-R<sup>2</sup> de McFadden hace una comparación entre un modelo que no explica nada (constante) y el modelo con variables. Entre más cercano a uno sea pseudo-R<sup>2</sup> mejor será la bondad de ajuste del modelo. Al comparar modelos se tiene que a menor valor de AIC mejor es el ajuste del respectivo modelo estadístico.

En el caso de la prueba de *Log(likelihood)* si el valor de la probabilidad obtenida mediante la distribución chi<sup>2</sup> es cercano a cero se dice que las variables incluidas son significativas en el modelo, caso contrario si chi<sup>2</sup> es cercano a uno. El nivel de confianza aceptado en este estudio es del 95% por lo que valores de *P(ch<sup>2</sup>)* superiores a 0,05 no se consideran significativos. No se debe confundir el valor *P(ch<sup>2</sup>)* incluido en los cuadros de los modelos con el *P(ch<sup>2</sup>)* de las pruebas de Logaritmo de verosimilitud. El valor mostrado en los cuadros representa la significancia del modelo propiamente, mientras que el valor que arroja la prueba de *Log(likelihood)* tiene que ver con la inclusión de nuevas variables en un modelo y su comparación con otro modelo anidado.

En las estadísticas descriptivas se incluye la distribución de frecuencias de cada hora y el porcentaje del TPDA correspondiente a la misma (Cuadro 22), se calcula el coeficiente de Riesgo Relativo (RR<sub>i</sub>) de la hora "i":

$$RR_i = \frac{\%_{hora_i}}{\%_{TPDA_i}} \quad (9)$$

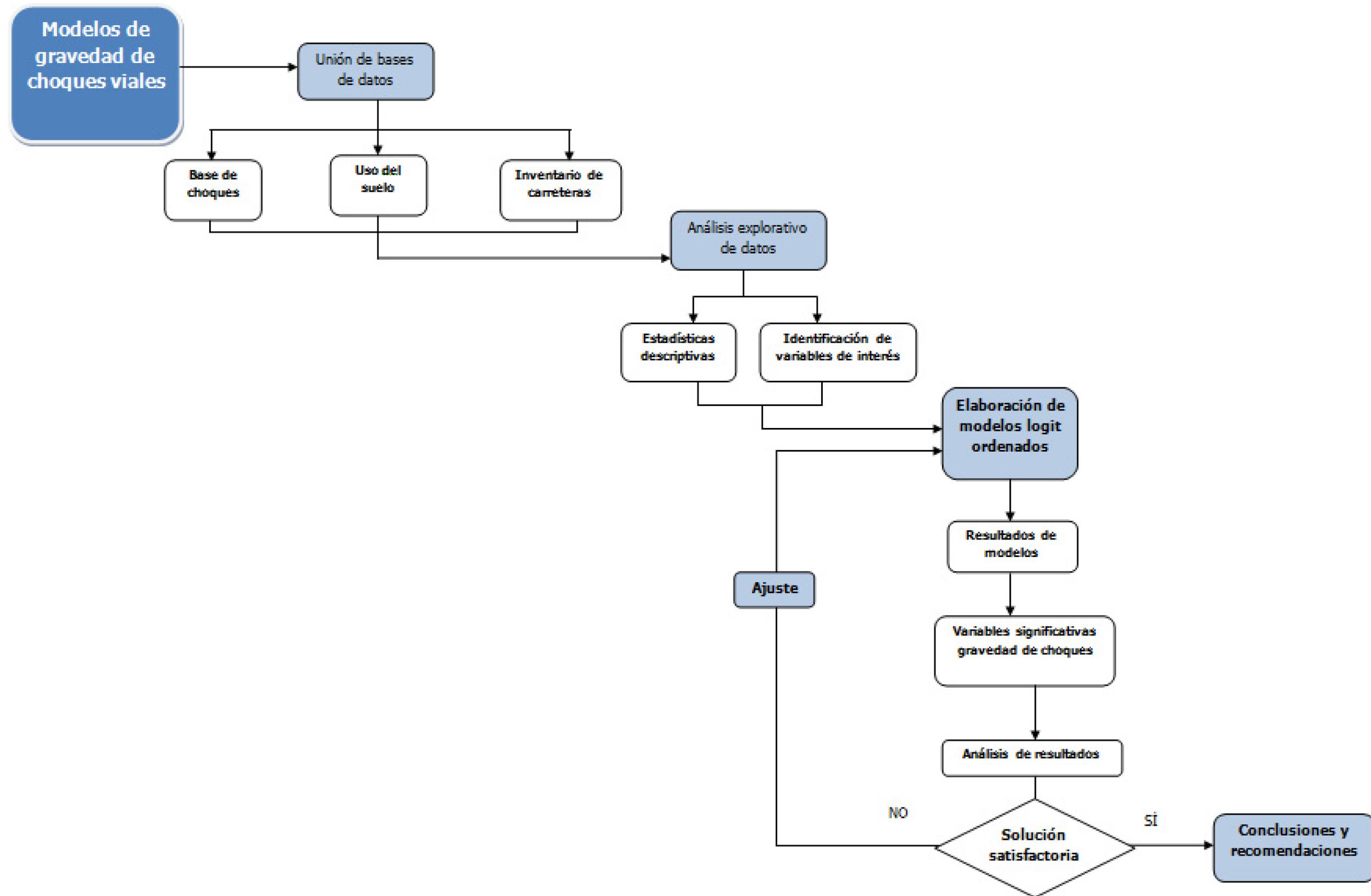


Figura 5. Diagrama metodológico del proyecto

Fuente: Madriz, 2011.

## Capítulo 3. Estadísticas descriptivas y análisis exploratorio de los datos

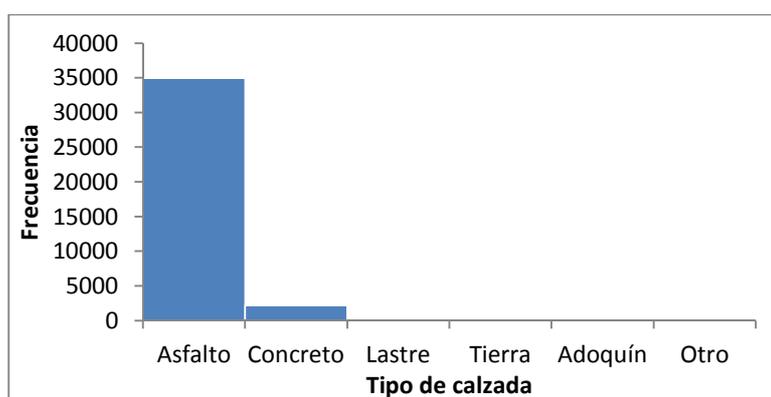
---

Análisis exploratorio se define como el tratamiento estadístico y resumen al que se someten las muestras utilizadas en cualquier investigación científica. Esto con el fin de entender de forma general y con una visión amplia los datos con los que se trabaja. A continuación se presentan las estadísticas descriptivas que se obtuvieron de la base de datos utilizada en los modelos de gravedad de choques viales de la sección 4.1.

La distribución de frecuencias del tipo de superficie se muestra en el Cuadro 2. La Figura 6 muestra el histograma del tipo de superficie.

**Cuadro 2.** Distribución de frecuencias para el tipo de superficie.

<i>Tipo de superficie</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Asfalto	34949	92.7%
Concreto	2164	5.7%
Lastre	201	0.5%
Tierra	291	0.8%
Adoquín	25	0.1%
Otro	58	0.2%
$\Sigma=$	37688	100.0%

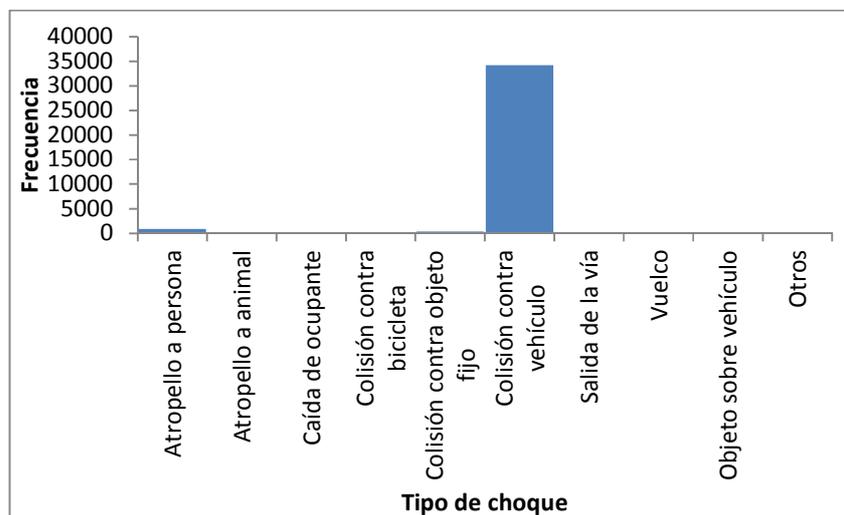


**Figura 6.** Histograma del tipo de superficie en el que ocurrió el choque.

En cada boleta de choque se describe el tipo de choque en el cual se vio afectada la persona implicada; el Cuadro 3 muestra la distribución de frecuencias para el tipo de choque reportado, además en la Figura 7 muestra el histograma del tipo de choque.

**Cuadro 3.** Distribución de frecuencias para el tipo de choque.

<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	1106	2.9%
Atropello a animal	46	0.1%
Caída de ocupante	101	0.3%
Colisión contra bicicleta	360	1.0%
Colisión contra objeto fijo	525	1.4%
Colisión contra vehículo	34424	91.3%
Salida de la vía	350	0.9%
Vuelco	203	0.5%
Objeto sobre vehículo	151	0.4%
Otros	422	1.1%
$\Sigma$ =	37688	100.0%

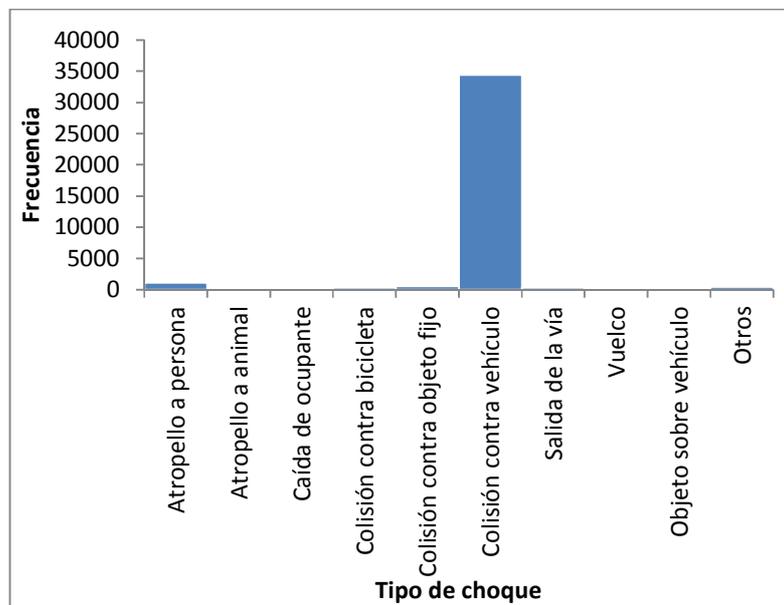


**Figura 7.** Histograma del tipo de choque.

El rol de la persona implicada es un dato importante que se reporta en cada una de las boletas; el Cuadro 3 muestra la distribución de frecuencias para el rol del implicado o implicada. La Figura 8 muestra el histograma de esta variable.

**Cuadro 4.** Distribución de frecuencias del rol de la persona implicada en el choque.

<i>Rol de la persona implicada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Ciclista	76	0.2%
Conductor	35620	94.5%
Dueño de propiedad	29	0.1%
Motociclista	155	0.4%
Peatón	573	1.5%
Pasajero motocicleta	143	0.4%
Pasajero carro	1077	2.9%
Pasajero bicicleta	1	0.0%
Otro	14	0.0%
$\Sigma =$	37688	100.0%

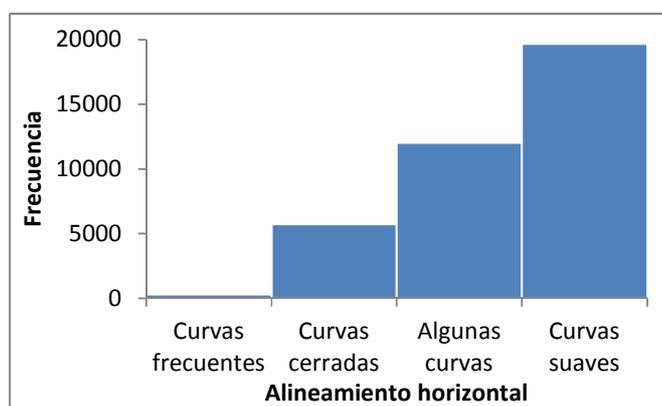


**Figura 8.** Histograma del rol de la persona implicada en el choque.

Otra variable que se tiene en la base de datos es el alineamiento horizontal, su distribución de frecuencias se presenta en el Cuadro 5 y el histograma correspondiente se muestra en la Figura 9.

**Cuadro 5.** Distribución de frecuencias del alineamiento horizontal de la carretera.

<i>Alineamiento horizontal</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Curvas frecuentes	289	0.8%
Curvas cerradas	5728	15.2%
Algunas curvas	12022	31.9%
Curvas suaves	19649	52.1%
$\Sigma=$	37688	100.0%

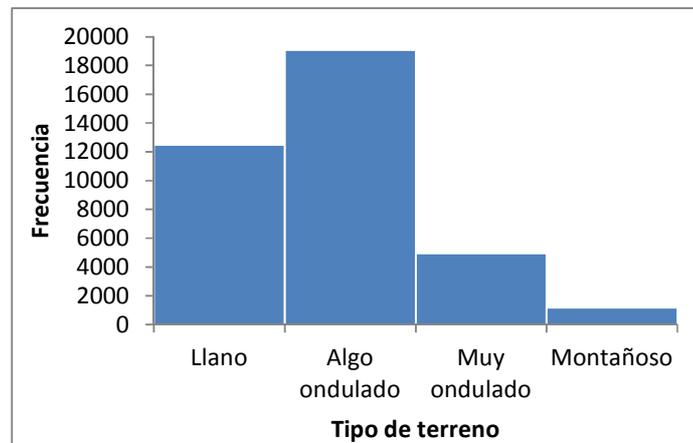


**Figura 9.** Histograma del alineamiento horizontal de la carretera.

La distribución de frecuencias del tipo de terreno de la carretera se presenta en el Cuadro 6 y en la Figura 10 se muestra el histograma correspondiente. Estos datos provienen del inventario de carreteras.

**Cuadro 6.** Distribución de frecuencias del alineamiento tipo de terreno.

<i>Tipo de terreno</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Llano	12489	33.1%
Algo ondulado	19085	50.6%
Muy ondulado	4936	13.1%
Montañoso	1178	3.1%
$\Sigma=$	37688	100.0%

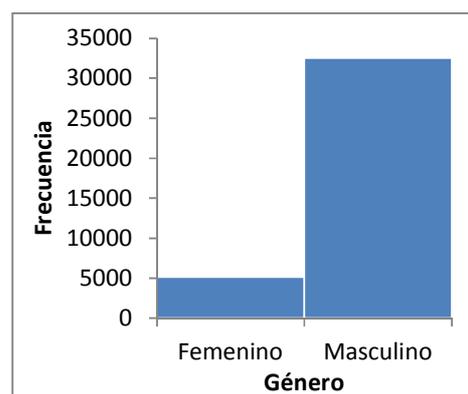


**Figura 10.** Histograma del tipo de terreno de la carretera.

El género de las personas implicadas se reporta en las boletas de choques y su distribución de frecuencias se presenta en el Cuadro 7. El gráfico de la Figura 11 muestra el histograma correspondiente.

**Cuadro 7.** Distribución de frecuencias del género de las personas implicadas en los choques.

<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	5146	13.7%
Masculino	32542	86.3%
$\Sigma =$	37688	100.0%



**Figura 11.** Histograma del género de las personas implicadas en los choques.

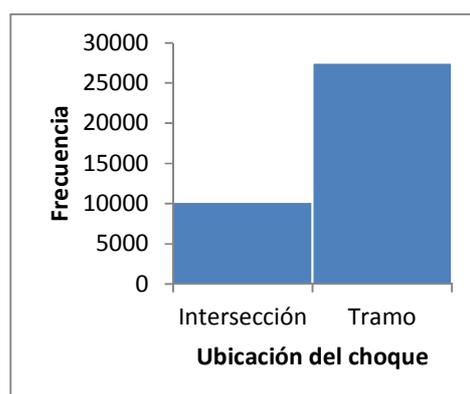
Una de las bases de datos de choques más conocida es la del Sistema de Análisis de Reportes de Fatalidades (FARS por sus siglas en inglés) contiene información de todos los choques en los que hubo personas muertas en los Estados Unidos, la proporción de mujeres, en los choques ocurridos en los años de este estudio, es de 30% mientras que en la base de datos del COSEVI es únicamente del 8.6%. Hay una clara diferencia en estos valores a pesar de que en este estudio se trabaja con una muestra (mientras que FARS tiene una base de datos completa), esta falta de proporcionalidad podría ser una fuente de error para la variable del género.

Se clasifican los choques que ocurrieron en intersecciones de carreteras o en tramos de las mismas, la distribución de frecuencias de la ubicación de los choques se presenta en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Distribución de frecuencias de la ubicación de los choques.

<i>Ubicación del choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Intersección	10194	27.0%
Tramo	27494	73.0%
$\Sigma=$	37688	100.0%

El histograma de la Figura 12 muestra gráficamente la distribución de frecuencias para la ubicación de los choques en las carreteras nacionales de Costa Rica.



**Figura 12.** Histograma de la ubicación de los choques.

El 40% de los choques ocurridos en Estados Unidos durante 2008 se dio en intersecciones de carreteras (National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2010). Nuestra

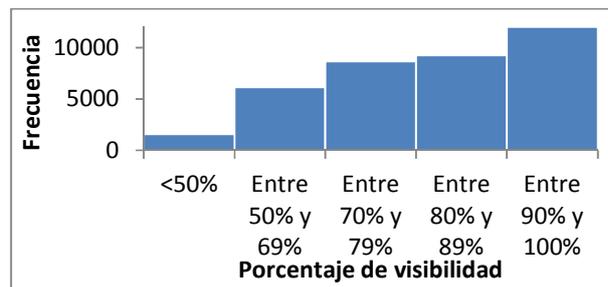
base de datos dice que el 27% de los choques de la muestra ocurrió en intersecciones, por lo que para esta variable los datos del presente estudio tienen similitud con la base estadounidense, por lo que se presume que no se da algún tipo de sesgo por la ubicación de los choques costarricenses.

En las intersecciones se presentan condiciones diferentes a las que se dan en los tramos, el reporte de la NHTSA define como razones críticas de los choques las que se atribuyen directamente al conductor, al vehículo o al entorno, se nombran las siguientes situaciones: desatención, distracciones internas y externas, exceso de velocidad para las condiciones o conducción agresiva, maniobras ilegales, asunciones erróneas de las acciones de los otros, pobre control direccional, chofer dormido, entre otros. Además se tienen las razones pre-choque que son las que ponen al vehículo en riesgo de choque inminente y se definen como: vehículo girando a la izquierda o a la derecha, vehículo atravesando la intersección, vehículo fuera del camino, el vehículo perdió el control por exceso de velocidad, otros vehículos viajando en dirección contraria, entre otras. Aunque nuestra base de datos no tiene este nivel de detalle es importante conocer cuáles son algunos de los factores involucrados en este tipo de choques.

El porcentaje de visibilidad de las carreteras se relacionó con los choques correspondientes; en el Cuadro 9 se muestra la distribución de frecuencia para esta variable, también se muestra el histograma respectivo en la Figura 13.

**Cuadro 9.** Distribución de frecuencias del porcentaje de visibilidad de la carretera.

<i>Porcentaje de visibilidad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Menos de 50%	1580	4.2%
Entre 50% y 69%	6157	16.3%
Entre 70% y 79%	8649	22.9%
Entre 80% y 89%	9280	24.6%
Entre 90% y 100%	12022	31.9%
$\Sigma=$	37688	100.0%

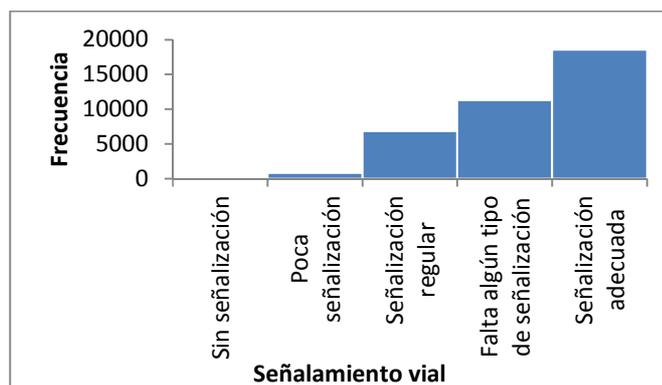


**Figura 13.** Histograma del porcentaje de visibilidad de las carreteras donde ocurrieron los choques.

El señalamiento vial se tiene en la base de datos y en el Cuadro 10 se muestra la distribución de frecuencia para esta variable, también se muestra el histograma respectivo en la Figura 14.

**Cuadro 10.** Distribución de frecuencias del señalamiento vial.

<i>Señalamiento vial</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Sin señalización	177	0.5%
Poca señalización	829	2.2%
Señalización regular	6826	18.1%
Falta algún tipo de señalización	11321	30.0%
Señalización adecuada	18535	49.2%
$\Sigma=$	37688	100.0%

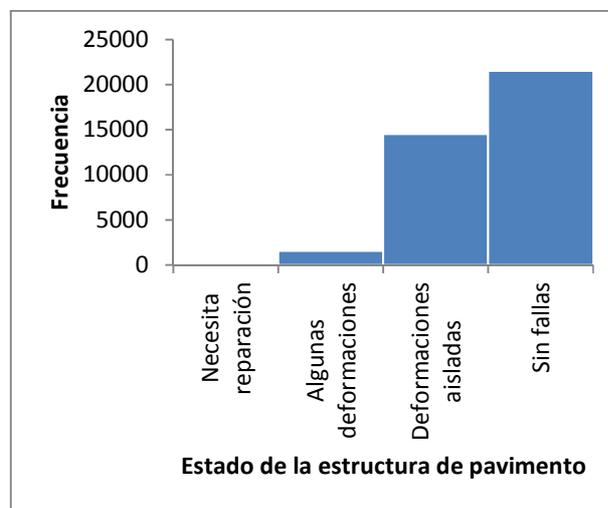


**Figura 14.** Histograma del señalamiento vial.

En el Cuadro 11 se muestra la distribución de frecuencia correspondiente al estado de la estructura de pavimento de la carretera y en la Figura 15 el histograma correspondiente.

**Cuadro 11.** Distribución de frecuencias del estado de la carretera.

<i>Estado de la estructura de pavimento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Necesita reparación	131	0.3%
Algunas deformaciones	1551	4.1%
Deformaciones aisladas	14507	38.5%
Sin fallas	21499	57.0%
$\Sigma =$	37688	100.0%

**Figura 15.** Histograma del estado de las carreteras donde ocurrieron los choques.

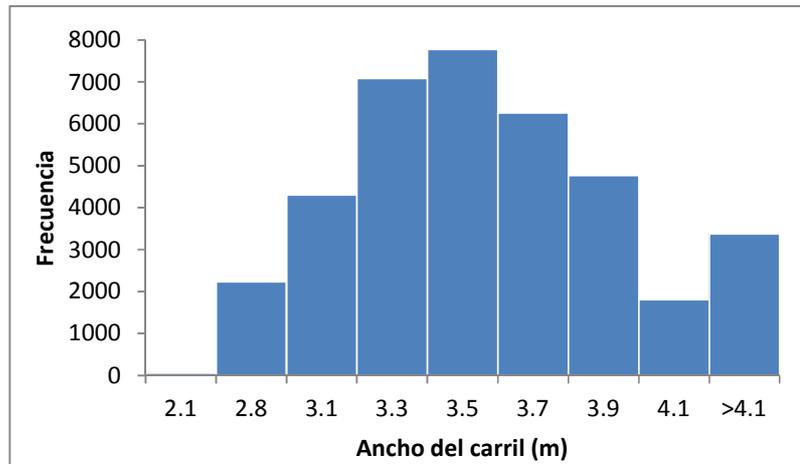
En el Cuadro 12 se muestran las estadísticas descriptivas para el ancho del carril (medido en metros), por otro lado el Cuadro 13 contiene la distribución de frecuencias de esta variable y la Figura 16 presenta el histograma respectivo.

**Cuadro 12.** Estadísticas descriptivas para el ancho del carril (m).

Media	50
Error típico	0.002
Mediana	3.45
Moda	3.5
Desviación estándar	0.48
Varianza de la muestra	0.23
Curtosis	2.51
Coefficiente de asimetría	0.90
Rango	4.2
Mínimo	2.1
Máximo	6.3
Suma	131892.80
Cuenta	37688
Percentil 25	3.20
Percentil 75	3.75

**Cuadro 13.** Distribución de frecuencias para el ancho del carril (m).

<i>Ancho del carril (m)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
2.10-2.79	58	0.2%
2.80-3.09	2241	5.9%
3.10-3.29	4307	11.4%
3.30-3.49	7084	18.8%
3.50-3.69	7782	20.6%
3.70-3.89	6260	16.6%
3.90-4.09	4769	12.7%
4.10	1809	4.8%
>4.1	3378	9.0%
$\Sigma=$	37688	100.0%



**Figura 16.** Histograma del ancho del carril (m).

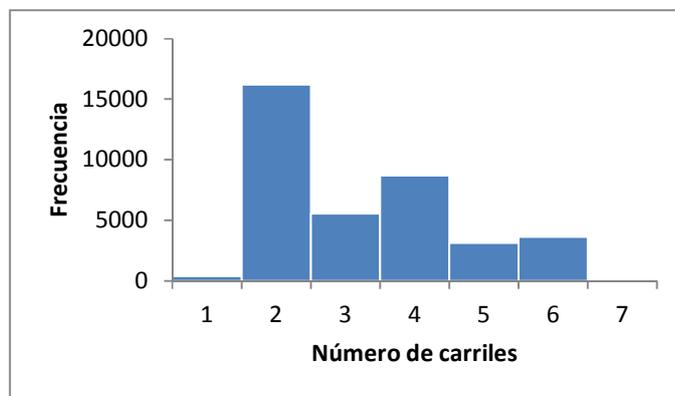
El Cuadro 14 muestra las estadísticas descriptivas para el número de carriles, mientras que el Cuadro 15 contiene la distribución de frecuencias y en la Figura 17 se presenta el histograma respectivo.

**Cuadro 14.** Estadísticas descriptivas para número de carriles.

Media	3
Error típico	0.01
Mediana	3
Moda	2
Desviación estándar	1.3
Varianza de la muestra	1.8
Curtosis	-0.5
Coefficiente de asimetría	0.7
Rango	6
Mínimo	1
Máximo	7
Suma	119169
Cuenta	37688

**Cuadro 15.** Distribución de frecuencias del número de carriles.

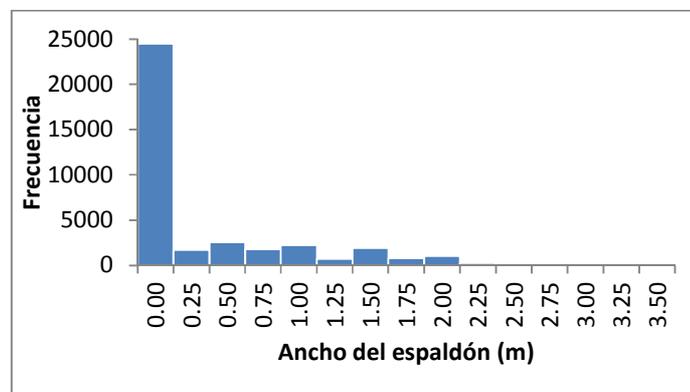
<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
1	387	1.0%
2	16205	43.0%
3	5577	14.8%
4	8694	23.1%
5	3119	8.3%
6	3634	9.6%
7	72	0.2%
$\Sigma=$	37688	100.0%

**Figura 17.** Histograma del número de carriles.**Cuadro 16.** Estadísticas descriptivas para el ancho del espaldón (m).

Media	0.33
Error típico	0.003
Mediana	0.00
Moda	0.00
Desviación estándar	0.589
Varianza de la muestra	0.346
Curtosis	3.186
Coficiente de asimetría	1.888
Rango	3.50
Mínimo	0.00
Máximo	3.50
Suma	12623.49
Cuenta	37688

**Cuadro 17.** Distribución de frecuencias para el ancho del espaldón (m).

<i>Ancho del espaldón (m)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
0.00-0.24	24510	65.0%
0.25-0.49	1688	4.5%
0.50-0.74	2564	6.8%
0.75-0.99	1774	4.7%
1.00-1.24	2216	5.9%
1.25-1.49	715	1.9%
1.50-1.74	1898	5.0%
1.75-1.99	769	2.0%
2.00-2.24	1013	2.7%
2.25-2.49	268	0.7%
2.50-2.74	183	0.5%
2.75-2.99	0	0.0%
3.00-3.24	0	0.0%
3.25-3.49	0	0.0%
3.50	90	0.2%
$\Sigma=$	37688	100.0%

**Figura 18.** Histograma del estado del ancho del espaldón (m).

En el Cuadro 16 se muestran las estadísticas descriptivas para el ancho del carril (medido en metros), por otro lado en el Cuadro 17 contiene la distribución de frecuencias y en la Figura 18 se presenta el histograma respectivo.

En el Cuadro 18 se presentan las estadísticas descriptivas para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

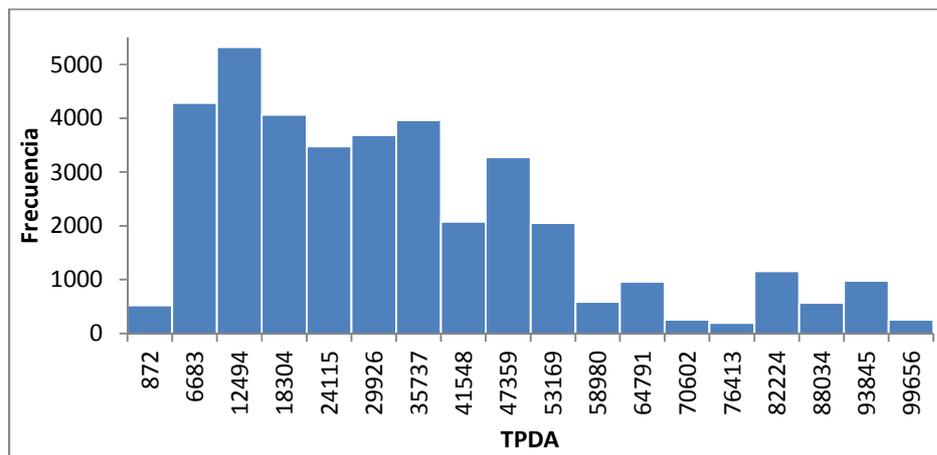
**Cuadro 18.** Estadísticas descriptivas para el TPDA.

Media	30063
Error típico	118
Mediana	26346
Moda	88161
Desviación estándar	22988
Varianza de la muestra	528449844
Curtosis	0.425
Coefficiente de asimetría	0.992
Rango	98784
Mínimo	872
Máximo	99656
Suma	1133004411
Cuenta	37688

**Cuadro 19.** Distribución de frecuencias del TPDA.

<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
872	525	1.4%
6683	4282	11.4%
12494	5322	14.1%
18304	4063	10.8%
24115	3477	9.2%
29926	3681	9.8%
35737	3965	10.5%
41548	2077	5.5%
47359	3274	8.7%
53169	2053	5.4%
58980	585	1.6%
64791	962	2.6%
70602	259	0.7%
76413	194	0.5%
82224	1161	3.1%
88034	570	1.5%
93845	979	2.6%
99656	259	0.7%
$\Sigma=$	37688	100.0%

El Cuadro 19 contiene la distribución de frecuencias y en la Figura 19 se muestra el histograma para el TPDA (la cantidad de intervalos se determinó utilizando la Regla de Sturges).



**Figura 19.** Histograma del TPDA.

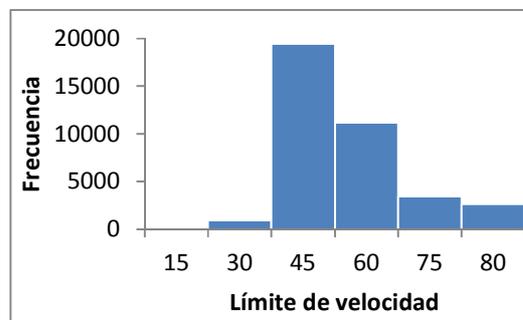
El Cuadro 20 presenta las estadísticas descriptivas del límite de velocidad, en el Cuadro 21 contiene la distribución de frecuencias y en la Figura 20 se muestra el histograma para el límite de velocidad en km/h.

**Cuadro 20.** Estadísticas descriptivas para el límite de velocidad (km/h).

Media	50
Error típico	0.07
Mediana	45
Moda	40
Desviación estándar	12.96
Varianza de la muestra	167.93
Curtosis	0.07
Coficiente de asimetría	0.82
Rango	65
Mínimo	15
Máximo	80
Suma	1888792
Cuenta	37688

**Cuadro 21.** Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).

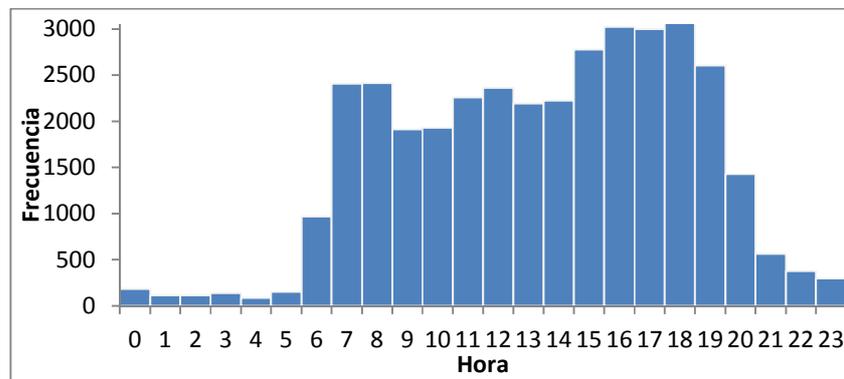
<i>Límite de velocidad (km/h)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
15-30	53	0.1%
30-45	947	2.5%
45-60	19433	51.6%
60-75	11156	29.6%
75-80	3451	9.2%
80	2648	7.0%
$\Sigma=$	37688	100.0%

**Figura 20.** Histograma del límite de velocidad (km/h).

No todas las boletas tienen reportada de manera adecuada la hora por lo que se eligen las observaciones con datos válidos sobre la hora en la que se realizó la boleta respectiva. En el Cuadro 22 se presentan la distribución de frecuencia de la hora además del porcentaje del TPDA correspondiente a cada hora del día y el coeficiente de Riesgo Relativo (RR). El histograma se muestra en la Figura 21.

**Cuadro 22.** Distribución de frecuencias de la hora, el TPDA en esa hora y riesgo relativo.

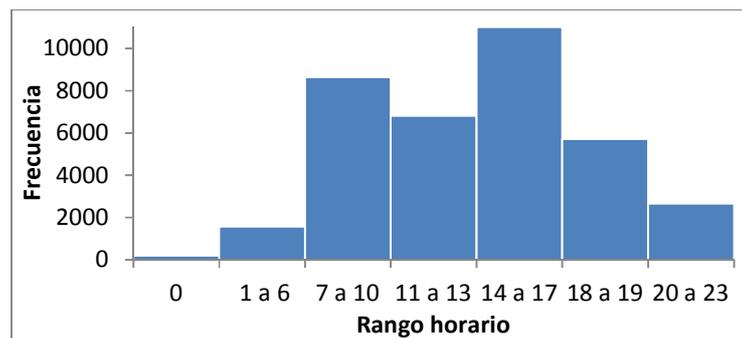
<i>Hora</i>	<i>Frecuencia hora</i>	<i>Porcentaje hora</i>	<i>Porcentaje TPDA</i>	<i>RR</i>
0	184	0.50%	1.06%	0.47
1	113	0.31%	0.78%	0.40
2	113	0.31%	0.63%	0.49
3	135	0.37%	0.61%	0.60
4	86	0.23%	0.87%	0.27
5	150	0.41%	2.29%	0.18
6	970	2.65%	4.89%	0.54
7	2405	6.57%	6.31%	1.04
8	2414	6.59%	5.86%	1.13
9	1910	5.22%	5.60%	0.93
10	1929	5.27%	5.66%	0.93
11	2258	6.17%	5.78%	1.07
12	2364	6.46%	5.76%	1.12
13	2193	5.99%	5.73%	1.04
14	2225	6.08%	6.05%	1.00
15	2777	7.58%	6.19%	1.23
16	3021	8.25%	6.47%	1.28
17	2998	8.19%	6.98%	1.17
18	3104	8.48%	5.94%	1.43
19	2604	7.11%	4.93%	1.44
20	1426	3.89%	4.06%	0.96
21	565	1.54%	3.46%	0.45
22	375	1.02%	2.49%	0.41
23	295	0.81%	1.60%	0.50
$\Sigma=$	36614	100.00%	100.00%	

**Figura 21.** Histograma de la hora.

Basando se en el coeficiente RR de las horas se definieron rangos horarios en los que ocurrieron los choques, en el Cuadro 23 y en la Figura 22 se presentan, respectivamente, la distribución de frecuencias y el histograma del rango horario.

**Cuadro 23.** Distribución de frecuencias del rango horario.

<i>Rango horario</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
0	184	0.5%
1 a 6	1567	4.3%
7 a 10	8658	23.6%
11 a 13	6815	18.6%
14 a 17	11021	30.1%
18 a 19	5708	15.6%
20 a 23	2661	7.3%
$\Sigma=$	36614	100.0%



**Figura 22.** Histograma del rango horario.

Las estadísticas descriptivas de los modelos de gravedad de las secciones 4.2, 4.3 y 4.4 se encuentran en el Apéndice A.

## Capítulo 4. Resultados de los modelos logit ordenados de gravedad de choques viales

### 4.1. Modelos de gravedad de choques viales

Se cuentan con 37 688 observaciones para formular los modelos de esta sección. Se plantearon 8 modelos que se denominan "Modelos Generales" pues incluyen todas observaciones de la base de datos.

El modelo del Cuadro 24 incluye las 7 variables que se denominaron como básicas pues con el desarrollo del proyecto y se observó que en la mayoría de los casos fueron significativas en los modelos, este modelo demuestra ser altamente significativo pues la probabilidad de que el modelo no represente los datos ( $P(ch^2)$  en adelante) es cero. Al compararlo con el modelo sin variabilidad (modelo constante) el valor del pseudo-R<sup>2</sup> obtenido es de 0.023.

**Cuadro 24.** Modelo de gravedad con género y variables básicas de la carretera.

Variabes	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.3596	0.0435	8.271	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3773	0.0435	8.271	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1588	0.0398	-9.481	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1370	0.0182	-8.719	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.1178	0.0358	-3.832	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0157	0.0301	-3.919	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.2055	0.0015	10.451	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	-0.2675	0.1755	-1.525	0.06
2 3	1.9821	0.1795	11.043	0.00
3 4	4.3097	0.2211	19.496	0.00
Desviación residual=	30545.49		pseudo R <sup>2</sup> =	0.023
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-15272.75	(10 g.d.l)	D=	721.74
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.00
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-15633.62	(3 g.d.l)	AIC=	30565.49

\*Variable continua

Las mujeres resultan más afectadas que los hombres en los choques viales, hay variables no observadas que pueden verse involucradas en este resultado (por ejemplo el asiento ocupado en el vehículo, el uso del cinturón de seguridad o el impacto que generan las bolsas de aire), Evans tampoco logra encontrar una relación clara entre el género y las gravedad de las heridas provocadas por los choques viales (Evans, 2004, p. 129) pero si tiene resultados donde las mujeres con edades entre 0 y 20 años, resultan más gravemente heridas que los hombres de la misma edad (después de los 60 años la relación se invierte).

Las heridas provocadas por choques viales en hombres suelen ser menos graves que las de las mujeres. Variables fisiológicas no necesariamente ligadas al género como edad, masa corporal, estatura, agudeza visual, entre otras, podrían evidenciar la verdadera razón de estos resultados, pero se quedan por fuera de los alcances de este estudio.

Los choques ocurridos en intersecciones de carreteras mostraron generar heridas menos graves que los choques ocurridos en tramos de carreteras, aunque en las intersecciones se dan interacciones muy variadas (giros en diferentes sentidos, velocidades desiguales, colas de vehículos, distracciones externas e internas al vehículo, entre otras). Es probable que una gravedad menor esté relacionada con velocidades de circulación generalmente menores en las intersecciones. Por ejemplo es usual ver choques en las intersecciones tipo rotonda pero comúnmente no se ven heridos graves o personas que requieran atención médica urgente, esto en parte porque el tipo de intersección no permite circular a velocidades altas (difícilmente se puede maniobrar de manera correcta en una rotonda conduciendo a más de 45km/h).

Otro motivo puede ser que en las intersecciones los movimientos contrarios o los giros que interfieren con otros vehículos, están regulados ya sea por señales de Alto o Ceda o por semáforos que detienen algunos movimientos de vehículos para permitir otros, esto reduce las interacciones de vehículos en direcciones que puedan generar choques.

El número de carriles, el ancho del carril y del espaldón demostraron tener una relación significativa e inversa con la gravedad de choques viales. Esto quiere decir que a mayor cantidad de carriles, ancho de carril o de espaldón en la carretera, menor la gravedad de los choques viales. Esto tiene una relación con el espacio físico que se percibe y se usa en las maniobras de manejo, pues se siente un nivel de confort superior en carreteras con más espacio y esto produce que los movimientos sean menos forzados y estrechos, es lógico pensar que con más espacio en carretera hay una mayor separación con los otros vehículos. El espaldón es un elemento muy importante que permite el acomodo de vehículos que tengan desperfectos o deban detenerse evitando que obstaculicen a otros automotores en circulación, además el espaldón da un espacio seguro para que peatones o ciclistas no deban invadir los carriles, también se considera que el espaldón como una zona de seguridad por si un vehículo sale de la vía principal.

Uno de los resultados más importantes (y esperado) es que los choques ocurridos en carreteras con límites de velocidad superiores generan choques más graves, (entendiendo que el límite de velocidad no es la velocidad a la que ocurre el choque). Se puede ver el límite de velocidad como un indicador de la velocidad a la que pueden circular los vehículos, pues es muy difícil determinar la velocidad a la que ocurre un evento inesperado como un choque vial.

Los choques viales ocurridos en las carreteras con TPDA mayores son menos graves que los que ocurren en carreteras menos transitadas, aunque inicialmente se puede pensar que a mayor número de vehículos transitando se tienen choques más severos, esto no es correcto y se puede explicar por el espacio disponible y la posibilidad de movimiento y de circular más rápidamente, en las carreteras más transitadas o congestionadas no es posible movilizarse tan fácilmente y por lo tanto los choques ocurren a menor velocidad y hay menos posibilidad de maniobra si la carretera está más llena de automotores.

En el modelo del Cuadro 25 se introduce la variable del tipo de choque, en este caso no llegan a ser significativos, únicamente, los choques en los que se dio una caída de algún objeto sobre el vehículo.

Además este modelo también es significativo y tiene un mejor ajuste que el anterior (el valor del AIC bajó de 30 565.49 a 28531.79), al agregar la variable de tipo de choque se tiene una significancia importante pues el valor de  $P(\chi^2)$  es cero y un valor D igual a 2 773.44 con respecto al modelo del Cuadro 24.

**Cuadro 25.** Modelo de gravedad con tipo de choque, género y variables básicas de la carretera.

VARIABLES	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	2.3825	0.0616	38.674	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.9057	0.3326	2.724	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	1.1606	0.2234	5.195	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.8477	0.1066	17.338	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.7528	0.1143	6.587	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.1063	0.2923	-0.364	0.36
<i>Vuelco</i>	2.4316	0.1314	18.505	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.7985	0.1084	16.596	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.4599	0.1056	13.821	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.3545	0.0453	7.834	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3128	0.0412	-7.599	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1317	0.0191	-6.907	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1089	0.0375	-2.900	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0875	0.0311	-2.810	0.00
<b>Velocidad*</b>	0.0121	0.0016	7.677	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1474	0.0171	-8.608	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.5982	0.1861	3.215	0.00
2 3	2.9913	0.1902	15.731	0.00
3 4	5.3396	0.2298	23.231	0.00
Desviación residual=		28493.79	pseudo R <sup>2</sup> =	0.237
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-14246.9 (19 g.d.l)	D=	2773.44
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-15633.62 (3 g.d.l)	AIC=	28531.79

\*Variable continua

Al compararse todos los tipos de choque con las colisiones contra vehículos como base, se encuentra que tienen coeficientes altos (superiores a 1) los atropellos a personas, las caídas de alguno de los ocupantes, las colisiones contra bicicletas, los vuelcos, las salidas de la vía y otros tipos de choques, todos estos coeficientes son positivos lo que indica que

la gravedad aumenta cuando se sufre uno de estos tipos de choques. Las demás variables del modelo mantienen el mismo comportamiento del modelo anterior.

El Cuadro 26 muestra los resultados del modelo de gravedad en el que se incluye el rol de la persona implicada como variable, todos los roles resultan ser altamente significativos con valores de  $P(> |t|)$  iguales a 0 y coeficientes que varían desde 2.00 para otro rol del implicado, hasta 4.47 para peatones. Los pasajeros de motocicletas sufren heridas más graves que los motociclistas según este modelo.

**Cuadro 26.** Modelo de gravedad con rol de la persona implicada, género y variables básicas de la carretera.

Variablen	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(>  t )
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	3.9643	0.2298	17.248	0.00
<i>Motociclista</i>	3.0597	0.1602	19.104	0.00
<i>Peatón</i>	4.4735	0.0916	48.855	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.1339	0.1661	24.891	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.8384	0.0689	55.715	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.8217	1.8551	2.060	0.02
<i>Otro</i>	2.0040	0.5339	3.753	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3386	0.0562	-6.030	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3524	0.0450	-7.823	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1338	0.0206	-6.488	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1015	0.0405	-2.508	0.01
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0842	0.0337	-2.497	0.01
<b>Velocidad*</b>	0.0117	0.0017	6.849	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1539	0.0184	-8.356	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.6470	0.2015	3.211	0.00
2 3	3.7261	0.2074	17.969	0.00
3 4	6.1414	0.2446	25.108	0.00
Desviación residual=	24245.44		pseudo R <sup>2</sup> =	0.225
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12122.72 (17 g.d.l)		D=	7021.8
			chi <sup>2</sup> =	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-15633.62 (3 g.d.l)		AIC=	24279.44

\*Variable continua

El rol de la persona implicada es tan significativo ( $P(chi^2)= 0$ ) que hizo variar el signo del coeficiente del género de la persona implicada. Esto puede deberse a la relación de la

variable del género con otras no observadas y el peso tan significativo del rol de los implicados produce este cambio en el modelo. Las otras variables redujeran un poco el valor de sus coeficientes dentro del modelo pero básicamente se mantienen iguales. El valor del AIC es de 24 279.44 que es menor respecto al modelo del Cuadro 24.

En el modelo del Cuadro 27 se incluyen el rol de la persona implicada además del tipo de choque. Este modelo es altamente significativo y es el que presenta el mejor ajuste pues al realizar la prueba del *Log(likelihood)* se tiene un valor de  $P(chi^2)$  de 0 y un valor de 0.24 para el pseudo-R<sup>2</sup>.

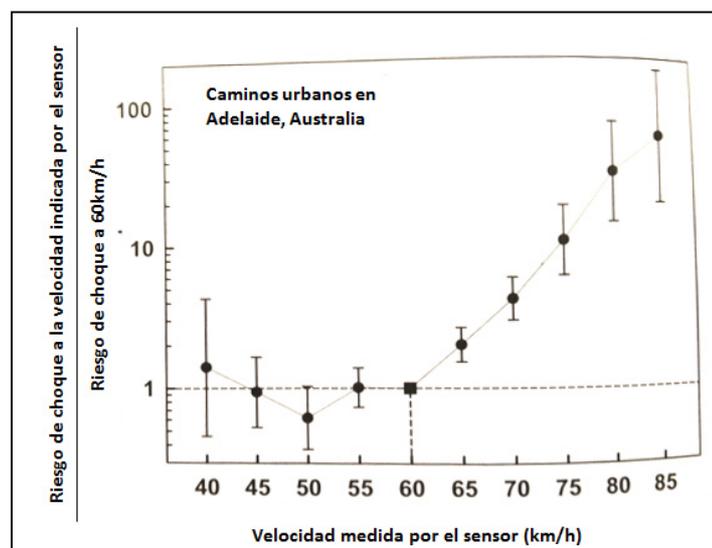
**Cuadro 27.** Modelo de gravedad con rol de la persona implicada y tipo de choque.

Variables	Coeficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	2.8201	0.2551	11.055	0.00
<i>Motociclista</i>	3.0611	0.1614	18.961	0.00
<i>Peatón</i>	3.8903	0.1330	29.259	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.0886	0.1685	24.260	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.7166	0.0695	53.482	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.9819	1.8725	2.127	0.02
<i>Otro</i>	1.6184	0.5507	2.939	0.00
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7440	0.1093	6.806	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.9983	0.3512	2.843	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.5621	0.2690	2.090	0.02
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4728	0.1292	11.401	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6140	0.1281	4.794	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0929	0.3134	-0.297	0.38
<i>Vuelco</i>	1.7985	0.1474	12.204	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2660	0.1224	10.347	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	0.9555	0.1239	7.710	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3088	0.0564	-5.477	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3124	0.0452	-6.905	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1134	0.0209	-5.414	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0939	0.0410	-2.289	0.01
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0682	0.0340	-2.006	0.02
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0080	0.0017	4.602	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1154	0.0191	-6.048	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	1.0427	0.2058	5.066	0.00
2 3	4.1793	0.2123	19.689	0.00
3 4	6.5909	0.2488	26.495	0.00
Desviación residual=	23852.89		pseudo R <sup>2</sup> =	0.237
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-11926.45	(26 g.d.l)	D=	7414.34
			chi <sup>2</sup> =	0.00
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-15633.62	(3 g.d.l)	AIC=	23904.89

\*Variable continua

Se nota que los pasajeros de bicicletas, motocicletas y vehículos resultan más gravemente heridos que los respectivos conductores de esos vehículos. El coeficiente mayor lo tiene los pasajeros de motocicletas esto se puede deber a que en estos vehículos se pueden alcanzar velocidades mayores y en caso de choque estos pasajeros se encuentran sentados sin medios de sujeción al vehículo.

En todos los modelos presentados hasta ahora se tiene que la relación positiva entre la gravedad de las heridas y el límite de velocidad (a mayor límite de velocidad mayor gravedad de las heridas). Evans presenta los resultados de un estudio realizado en carreteras urbanas en Adelaide Australia, en el que se midió la velocidad de autos mediante un sensor laser y cuantificó el efecto de sobrepasar el límite velocidad, comparando el riesgo de un grupo de vehículo no chocados que viajaban a 60km/h (límite de velocidad de la carretera) y vehículos chocados que viajaban a velocidades distintas a 60km/h (Evans, 2004, pp. 209-211). Un gráfico con los resultados del riesgo relativo se muestra en la Figura 23, en el que no se nota evidencia de que el riesgo disminuya al transitar con velocidades menores al límite de velocidad, pero si se sobrepasa éste el riesgo aumenta casi doblándose por cada incremento de 5km/h en la velocidad. Mayores detalles sobre el estudio y la referencia directa se encuentran en el libro de Traffic Safety de Leonard Evans.



**Figura 23.** Gráfico del riesgo relativo de choques en Adelaide, Australia.

Fuente: Evans, 2004. Traducido por Autor, 2012.

El Cuadro 28 presenta un modelo en el que se incluye el tipo de superficie donde ocurrió el choque y se tienen resultados significativos para las carreteras de concreto, lastre y otros tipos. Esto quiere decir que al compararse estas superficies con el asfalto se reduce la gravedad de las heridas por el choque, esto puede ser a que en las carreteras que no son de asfalto las velocidades suelen ser menores.

**Cuadro 28.** Modelo de gravedad con rol de la persona implicada, tipo de superficie y de choque.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.1453	0.0859	-1.6908	0.05
<i>Lastre</i>	-0.5022	0.2006	-2.5039	0.01
<i>Adoquín</i>	-0.3174	0.2880	-1.1022	0.14
<i>Tierra</i>	-0.0036	0.8122	-1.2357	0.11
<i>Otro</i>	-1.5949	0.7582	-2.1034	0.02
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	2.8456	0.2559	11.118	0.00
<i>Motociclista</i>	3.0628	0.1615	18.962	0.00
<i>Peatón</i>	3.8914	0.1330	29.260	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.0951	0.1687	24.282	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.7178	0.0696	53.444	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.9644	1.8731	2.117	0.02
<i>Otro</i>	1.6035	0.5507	2.912	0.00
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7424	0.1093	6.790	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.9934	0.3512	2.829	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.5606	0.2690	2.084	0.02
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4539	0.1295	11.230	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6388	0.1285	4.971	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0771	0.3141	-0.245	0.40
<i>Vuelco</i>	1.8107	0.1479	12.245	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2759	0.1226	10.404	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	0.0078	0.1244	8.104	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3089	0.0564	-5.475	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3180	0.0453	-7.023	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1101	0.0210	-5.246	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0866	0.0411	-2.105	0.02
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0629	0.0341	-1.845	0.03
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0080	0.0017	4.587	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1217	0.0193	-6.319	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.0035	0.2072	4.843	0.00
2 3	4.1417	0.2136	19.389	0.00
3 4	6.5536	0.2499	26.225	0.00
Desviación residual=	23833.72		pseudo R <sup>2</sup> =	0.238
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-11916.86	(31 g.d.l)	D=	7433.54
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.00
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-15633.62	(3 g.d.l)	AIC=	23833.72

\*Variable continua

De la prueba de *Log(likelihood)* se tiene un valor de  $P(chi^2)$  de 0.002 aunque el valor no es tan cercano a cero como los otros modelos anteriores, definitivamente el del Cuadro 28 es altamente significativo.

El modelo del Cuadro 29 incluye la variable de los rangos horarios de las observaciones, se obtiene que los choques ocurridos entre las 0 y las 10 horas producen mayor gravedad de heridas que los que ocurren entre las 14 y 17 horas. Según los resultados mostrados en este cuadro se tiene que el modelo es altamente significativo ( $P(chi^2)=0$  y  $R^2=0.24$ ).

Es necesario entender que la hora en la que se realiza la boleta no indica necesariamente la hora en la ocurrió el choque, esto dado que los oficiales de tránsito deben desplazarse hasta el lugar, recolectar información, entre otras acciones, sin embargo este es el indicador temporal que se tiene en la base de datos. Los rangos horarios de la noche (entre las 16 y las 23 horas) no resultan ser significativos en el modelo.

La prueba de *Log(likelihood)* al incluir los rangos horarios muestra un valor de D igual a 29.24 y  $P(chi^2)=0.00$  por lo que la inclusión de los rangos horarios en el modelo se considera altamente significativa.

**Cuadro 29.** Modelo de gravedad con rango horario, rol de la persona implicada, tipo de superficie y de choque.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Rango horario</b>				
<i>Entre las 14 y 17 horas (valor base)</i>				
<i>A las 0 horas</i>	0.7190	0.2072	3.4704	0.00
<i>Entre la 1 y 6 horas</i>	0.3549	0.0846	4.1935	0.00
<i>Entre las 7 y 10 horas</i>	0.1092	0.0515	2.1185	0.02
<i>Entre las 11 y 13 horas</i>	0.0159	0.0560	0.2836	0.39
<i>Entre las 18 y 19 horas</i>	0.0214	0.0589	0.3625	0.36
<i>Entre las 20 y 23 horas</i>	0.0734	0.0746	0.9844	0.16
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.1314	0.0866	-1.5176	0.06
<i>Lastre</i>	-0.6309	0.2133	-2.9580	0.00
<i>Adoquín</i>	-0.2978	0.2904	-1.0256	0.15
<i>Tierra</i>	-0.8157	0.7849	-1.0392	0.15
<i>Otro</i>	-1.3653	0.7659	-1.7826	0.04
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	2.8698	0.2594	11.062	0.00
<i>Motociclista</i>	3.0583	0.1623	18.848	0.00
<i>Peatón</i>	3.9242	0.1352	29.026	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.0628	0.1707	23.798	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.7028	0.0701	52.804	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.6921	1.8788	1.965	0.02
<i>Otro</i>	1.6410	0.5505	2.981	0.00
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7130	0.1117	6.383	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.9065	0.3526	2.571	0.01
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.4934	0.2746	1.797	0.04
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4337	0.1317	10.889	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.5917	0.1297	4.562	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0681	0.3143	-0.217	0.41
<i>Vuelco</i>	1.7851	0.1500	11.897	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2222	0.1240	9.852	0.00
<i>Otro tipo de accidente</i>	0.9940	0.1268	7.840	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.2941	0.0571	-5.153	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3188	0.0458	-6.955	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.0893	0.0227	-3.936	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0909	0.0426	-2.131	0.02
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0487	0.0342	-1.422	0.08
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0072	0.0018	4.068	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1576	0.0238	-6.620	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.7115	0.2276	3.125	0.00
2 3	3.8632	0.2334	16.553	0.00
3 4	6.2597	0.2669	23.454	0.00
Desviación residual=	23254.32		pseudo R <sup>2</sup> =	0.24
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-11627.16 (37 g.d.l)		D=	7344.22
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.00
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-15299.27 (3 g.d.l)		A.I.C=	23328.32

\*Variable continua

En el modelo presentado en el Cuadro 30 se incluyen el alineamiento horizontal y el tipo de terreno. Las variables de carreteras con algunas curvas que tiene un coeficiente positivo y en cuanto al tipo de terreno se tiene que los terrenos muy ondulados reducen la gravedad de las heridas de los implicados. Aunque este modelo también es significativo la inclusión de las nuevas variables no lo es pues con un el valor de  $P(ch^2)$  es de 0.087 según la prueba de Log(verosimilitud)<sub>restringido</sub> = -11916.86 con 31 g.d.l y no se alcanza el 95% de confianza al incluir estas variables.

En el último modelo de la sección 4.1 (Cuadro 31) se incluyen las variables de porcentaje de visibilidad de la carretera, señalización de la carretera y estado de la estructura de pavimento. Las nuevas variables no tuvieron un peso en el modelo, pues no resultaron ser significativas y la prueba de Logaritmo de verosimilitud arroja un  $P(chi^2)=0.062$  que es superior al 5% aceptado.

Intentando optimizar algunos de los modelos mostrados se agruparon variables que no resultaron ser significativas en una sola categoría, sin embargo no se obtuvieron mejores resultados que los presentados por lo que se prefiere dejar los datos segregados en lugar de unirlos en categorías más generales. Por ejemplo en el modelo del Cuadro 28 se agruparon las calles de Adoquín, Tierra y Otros, pero los coeficientes de las demás variables permanecen prácticamente iguales y las variables agrupadas tampoco llegan a ser significativas.

**Cuadro 30.** Modelo de gravedad con alineamientos horizontal y vertical, tipo de superficie y de choque.

<b>Variables</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t-Student</b>	<b>P(&gt; t )</b>
<b>Alineamiento horizontal</b>				
<i>Curvas suaves (valor base)</i>				
<i>Curvas frecuentes</i>	0.1906	0.2004	0.951	0.17
<i>Curvas cerradas</i>	0.0462	0.0716	0.646	0.26
<i>Algunas curvas</i>	0.1113	0.0490	2.271	0.01
<b>Tipo de terreno</b>				
<i>Llano (valor base)</i>				
<i>Algo ondulado</i>	-0.0205	0.0433	-0.473	0.32
<i>Muy ondulado</i>	-0.1379	0.0666	-2.069	0.02
<i>Montañoso</i>	0.0247	0.1062	0.233	0.41
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.1454	0.0861	-1.687	0.05
<i>Lastre</i>	-0.5052	0.2015	-2.507	0.01
<i>Adoquín</i>	-0.3208	0.2878	-1.115	0.13
<i>Tierra</i>	-1.0180	0.8096	-1.257	0.10
<i>Otro</i>	-1.5958	0.7586	-2.104	0.02
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	2.8464	0.2560	11.117	0.00
<i>Motociclista</i>	3.0598	0.1616	18.930	0.00
<i>Peatón</i>	3.8916	0.1330	29.253	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.0948	0.1686	24.284	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.7226	0.0696	53.469	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.9265	1.8738	2.096	0.02
<i>Otro</i>	1.5805	0.5528	2.859	0.00
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7387	0.1094	6.754	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.9885	0.3518	2.810	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.5819	0.2694	2.160	0.02
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4478	0.1295	11.179	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6484	0.1286	5.044	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0630	0.3141	-0.201	0.42
<i>Vuelco</i>	1.8085	0.1484	12.186	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2813	0.1228	10.433	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.0112	0.1244	8.131	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3094	0.0565	-5.481	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3234	0.0459	-7.042	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1059	0.0224	-4.717	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1008	0.0440	-2.288	0.01
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0412	0.0353	-1.166	0.12
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0091	0.0019	4.742	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1203	0.0201	-5.973	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	1.0657	0.2612	4.080	0.00
2 3	4.2059	0.2663	15.792	0.00
3 4	6.6183	0.2962	22.347	0.00
Desviación residual= 23822.67		pseudo R <sup>2</sup> = 0.238		
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> = -11911.34 (37 g.d.l)		D= 7444.56		
		P(chi <sup>2</sup> )= 0.00		
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> = -15633.62 (3 g.d.l)		AIC= 23896.67		

\*Variable continua

**Cuadro 31.** Modelo de gravedad con porcentaje de visibilidad de la carretera, señalización vial y estado del pavimento.

<b>Variables</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t-Student</b>	<b>P(&gt; t )</b>
<b>Porcentaje de visibilidad de la carretera (&lt;50% valor base)</b>				
<i>Entre 50% y 69%</i>	-0.1210	0.0922	-1.313	0.09
<i>Entre 70% y 89%</i>	-0.0890	0.0943	-0.944	0.17
<i>Entre 80% y 89%</i>	-0.2049	0.1009	-2.030	0.02
<i>Entre 90% y 100%</i>	-0.0784	0.1081	-0.725	0.23
<b>Señalización de la carretera (Adecuada valor base)</b>				
<i>Sin señalización</i>	-0.3637	0.2478	-1.467	0.07
<i>Poca señalización</i>	0.0980	0.1280	0.766	0.22
<i>Regular señalización</i>	-0.0688	0.0594	-1.160	0.12
<i>Falta alguna señalización</i>	-0.0714	0.0487	-1.468	0.07
<b>Estado de la estructura de pavimento (Sin fallas visibles valor base)</b>				
<i>Deformaciones en partes del tramo</i>	-0.1074	0.0994	-1.081	0.14
<i>Deformaciones aisladas en el tramo</i>	0.0239	0.0409	0.585	0.28
<i>Estructura fallada</i>	-0.4003	0.3724	-1.075	0.14
<b>Tipo de superficie (Asfalto valor base)</b>				
<i>Concreto</i>	-0.1268	0.0864	-1.467	0.07
<i>Lastre</i>	-0.5107	0.2018	-2.531	0.01
<i>Adoquín</i>	-0.3185	0.2885	-1.104	0.13
<i>Tierra</i>	-1.0308	0.8203	-1.257	0.10
<i>Otro</i>	-1.5943	0.7581	-2.103	0.02
<b>Rol de la persona implicada (Conductor de automóvil valor base)</b>				
<i>Ciclista</i>	2.8476	0.2562	11.114	0.00
<i>Motociclista</i>	3.0765	0.1618	19.015	0.00
<i>Peatón</i>	3.8919	0.1330	29.261	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.1045	0.1686	24.341	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.7137	0.0696	53.329	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.9494	1.8741	2.107	0.02
<i>Otro</i>	1.6202	0.5515	2.938	0.00
<b>Tipo de choque (Colisión contra vehículo valor base)</b>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7466	0.1094	6.825	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.9871	0.3522	2.803	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.5504	0.2689	2.047	0.02
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4601	0.1296	11.264	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6393	0.1285	4.974	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0803	0.3143	-0.255	0.40
<i>Vuelco</i>	1.8172	0.1483	12.254	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2737	0.1227	10.378	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	0.9977	0.1249	7.990	0.00
<b>Género (Masculino valor base)</b>				
<i>Femenino</i>	-0.3047	0.0564	-5.399	0.00
<b>Ubicación del choque (Choques en tramos de carretera valor base)</b>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.2794	0.0473	-5.399	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1178	0.0258	-5.904	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0831	0.0451	-4.570	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0770	0.0364	-1.842	0.03
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0072	0.0019	-2.115	0.02
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1303	0.0215	3.797	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.7302	0.2685	2.720	0.00
2 3	3.8703	0.2732	14.169	0.00
3 4	6.2831	0.3021	20.797	0.00
Desviación residual= 23817.47			pseudo R <sup>2</sup> = 0.238	
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> = -11908.73 (42 g.d.l)			D= 7449.78	
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> = -15633.62 (3 g.d.l)			P(chi <sup>2</sup> )= 0.000	
			AIC= 23901.47	

\*Variable continua

#### 4.1.1. Análisis Marginal del Modelo Final

Se eligió el modelo del Cuadro 29 como modelo final, por alto nivel de significancia del mismo y de las variables incluidas en él, este es el modelo que muestra resultados mejor ajustados. Por esto se realizó un análisis de efectos marginales para poder cuantificar el efecto de cada una de las variables en la gravedad de los choques viales.

En los cuadros de efectos marginales se muestra la variable correspondiente y las probabilidades respectivas separadas por categorías de lesión. Se calculó un Factor de Riesgo (FR) que en el caso de las variables categóricas es la razón de probabilidades respecto al valor base para cuantificar el aumento o disminución del riesgo; en el caso de variables continuas el FR se calcula la razón respecto al valor menor de la variable.

En el Cuadro 32 se muestran los resultados del análisis de efectos marginales y los respectivos valores de FR.

**Cuadro 32.** Efectos marginales del rango horario en el modelo final.

Rango horario	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
0	0.84	0.92	0.148	1.88	0.0071	2.04	0.00072	2.05
1 a 6	0.89	0.97	0.109	1.37	0.0050	1.42	0.00050	1.43
7 a 10	0.91	0.99	0.087	1.10	0.0039	1.11	0.00039	1.11
11 a 13**	0.92	1.00	0.080	1.02	0.0036	1.02	0.00036	1.02
14 a 17*	0.92	1.00	0.079	1.00	0.0035	1.00	0.00035	1.00
18 a 19**	0.92	1.00	0.081	1.02	0.0036	1.02	0.00036	1.02
20 a 23**	0.91	0.99	0.085	1.07	0.0038	1.08	0.00038	1.08

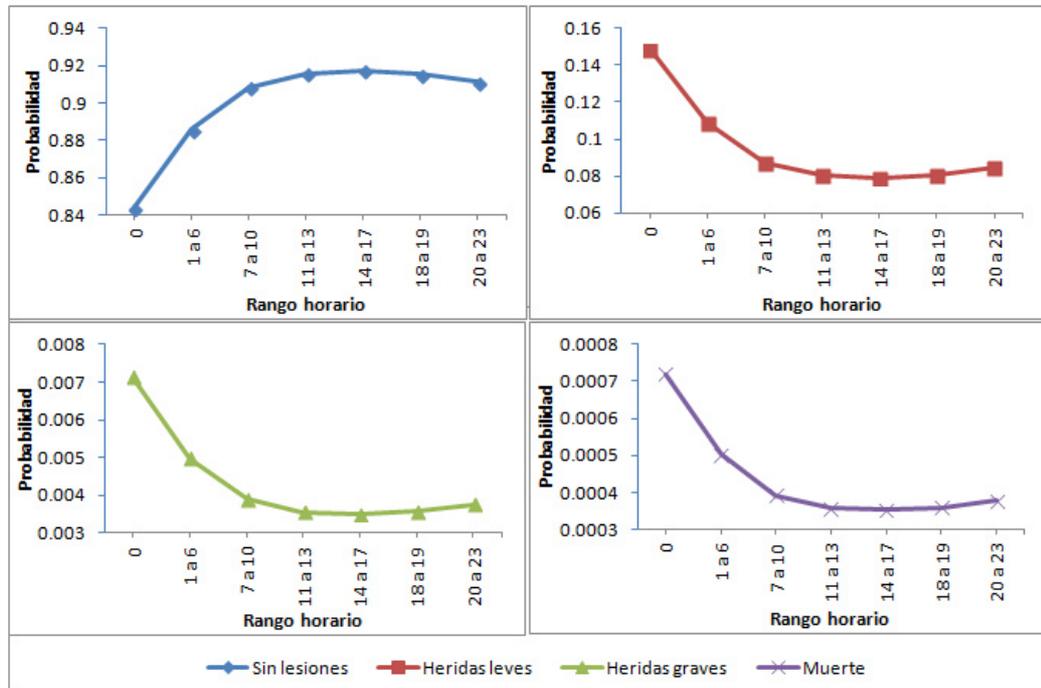
\*Valor base

\*\*Variable no significativa

Los choques ocurridos a las cero horas son más riesgosos comparativamente que los que ocurrieron entre las 14 y 17 horas pues el riesgo de chocar sin lesiones es 8% menor, el de tener heridas leves es 88% superior y el de sufrir heridas graves o la muerte es 104% mayor.

Para el rango horario de entre la 1 y 6 a.m el riesgo de sufrir un choque sin heridas disminuye en un 3%, y las heridas aumentan respectivamente en un 37%, 42% y 43% para las categorías de lesiones más graves.

Finalmente la probabilidad de tener un choque únicamente con daños materiales entre las 7 y 10 a.m es 1% menor, la probabilidad de tener un choque con heridas leves es 10% superior y la probabilidad de tener heridas graves o muerte es 11% superior en este rango horario. La Figura 24 muestra los gráficos de las probabilidades para los diferentes rangos horarios.



**Figura 24.** Gráficos de probabilidades de los rangos horarios.

El Cuadro 33 muestra los efectos marginales del tipo de superficie. Se aprecia que en las carreteras de lastre la probabilidad de tener choques sin lesiones es 4% superior que en las carreteras de asfalto, en carreteras de lastre la probabilidad de sufrir heridas leves es 44% menor y de tener heridas graves o la muertes es 47% menor que en carreteras de asfalto. Como se discutió anteriormente la velocidad de

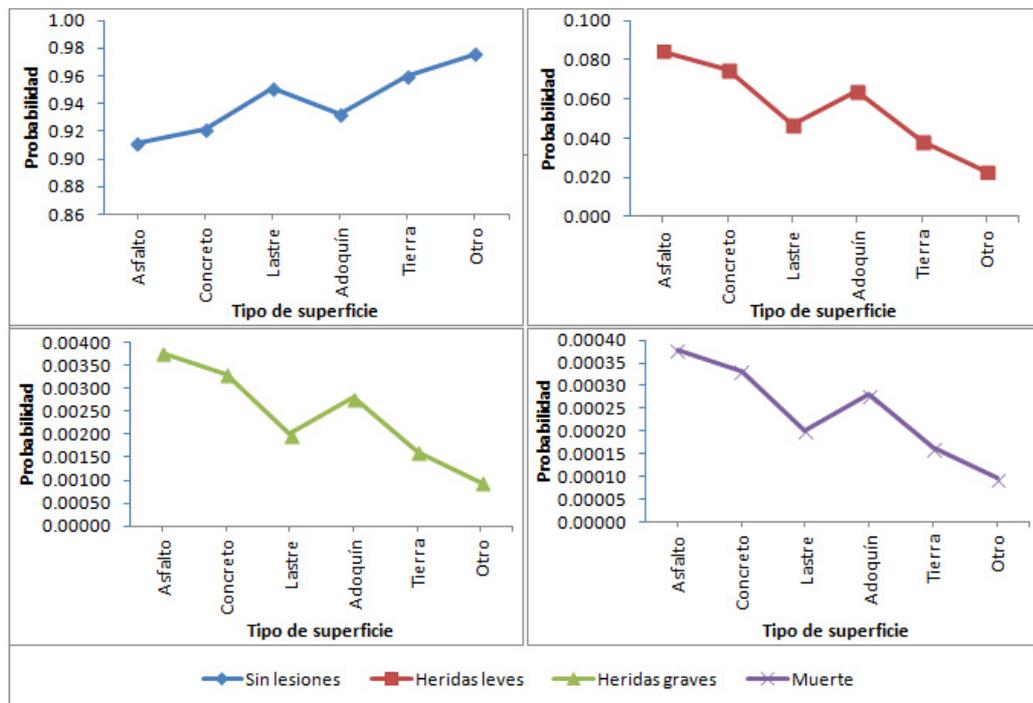
circulación en carreteras de asfalto suele ser superior que en otras superficies y este resultado cuantifica este efecto en la gravedad de los choques viales, los demás tipos de superficies no resultaron ser significativos por lo que no se analizan los resultados, pero de igual manera en la Figura 25 se muestran los gráficos que permiten comparar los efectos de diferentes superficies.

**Cuadro 33.** Efectos marginales del tipo de superficie en el modelo final.

Tipo de superficie	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
Asfalto*	0.91	1.00	0.084	1.00	0.0038	1.00	0.00038	1.00
Concreto**	0.92	1.01	0.075	0.89	0.0033	0.88	0.00033	0.88
Lastre	0.95	1.04	0.047	0.56	0.0020	0.53	0.00020	0.53
Adoquín**	0.93	1.02	0.064	0.76	0.0028	0.74	0.00028	0.74
Tierra**	0.96	1.05	0.038	0.46	0.0016	0.43	0.00016	0.43
Otro	0.98	1.07	0.023	0.27	0.0010	0.25	0.00010	0.25

\*Valor base

\*\*Variable no significativa



**Figura 25.** Gráficos de probabilidades del tipo de superficie.

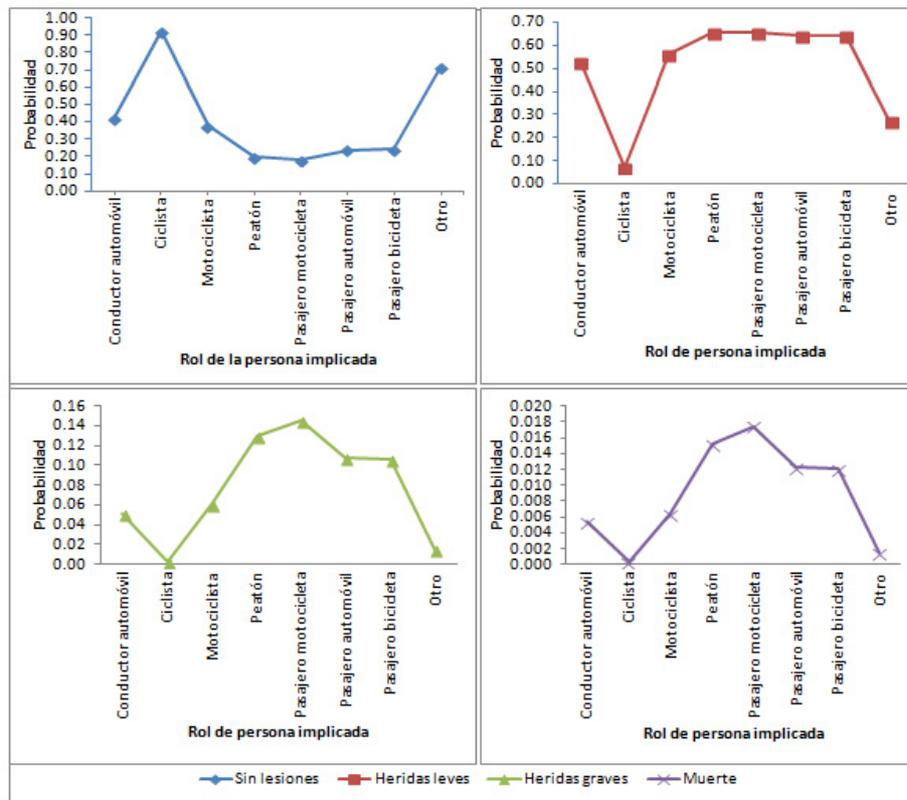
El Cuadro 34 muestra cuantificados los efectos marginales del rol de la persona implicada. Se nota que el pasajero de motocicleta es rol más riesgoso (respecto al conductor de automóvil) pues tiene un 57% menos de probabilidad de no tener lesiones, un 25% más de probabilidades de tener heridas leves y aumenta sus probabilidades en un 189% y 226% de sufrir heridas graves y muertes respectivamente. El rol de motociclista tiene un 11% menos de probabilidades de salir sin lesiones en un choque vial, sus posibilidades de sufrir heridas leves aumentan un 7%, el de tener heridas graves es 19% mayor y el de morir es 21% superior que el de un conductor de automóvil.

**Cuadro 34.** Efectos marginales del rol de la persona implicada en el modelo final.

Rol de la persona implicada	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
Conductor automóvil*	0.42	1.00	0.53	1.00	0.051	1.00	0.0054	1.00
Ciclista	0.93	2.21	0.07	0.13	0.003	0.06	0.0003	0.06
Motociclista	0.37	0.89	0.56	1.07	0.060	1.19	0.0065	1.21
Peatón	0.20	0.48	0.65	1.24	0.130	2.57	0.0153	2.84
Pasajero motocicleta	0.18	0.43	0.66	1.25	0.146	2.89	0.0175	3.26
Pasajero automóvil	0.24	0.57	0.64	1.22	0.108	2.13	0.0123	2.28
Pasajero bicicleta	0.24	0.57	0.64	1.22	0.107	2.11	0.0122	2.26
Otro	0.71	1.71	0.27	0.51	0.015	0.30	0.0015	0.29

\*Valor base

En la Figura 26 se pueden ver gráficamente los efectos y las comparaciones de las probabilidades de lesión para cada rol de usuario. Se nota que los pasajeros de motocicletas, automóviles y bicicletas resultan más gravemente heridos que los respectivos conductores de estos vehículos. Los peatones también tienen probabilidades mayores de sufrir heridas más graves que los conductores de automóviles. Se puede ver la importancia del rol de la persona implicada en los choques viales y como es una variable determinante en la gravedad de las heridas sufridas.



**Figura 26.** Gráficos de probabilidad del rol de la persona implicada.

El Cuadro 35 presenta los resultados de los efectos marginales de la variable tipo de choque en el modelo final. La única categoría de choque que no es significativa en el modelo es la caída de algún objeto sobre el vehículo.

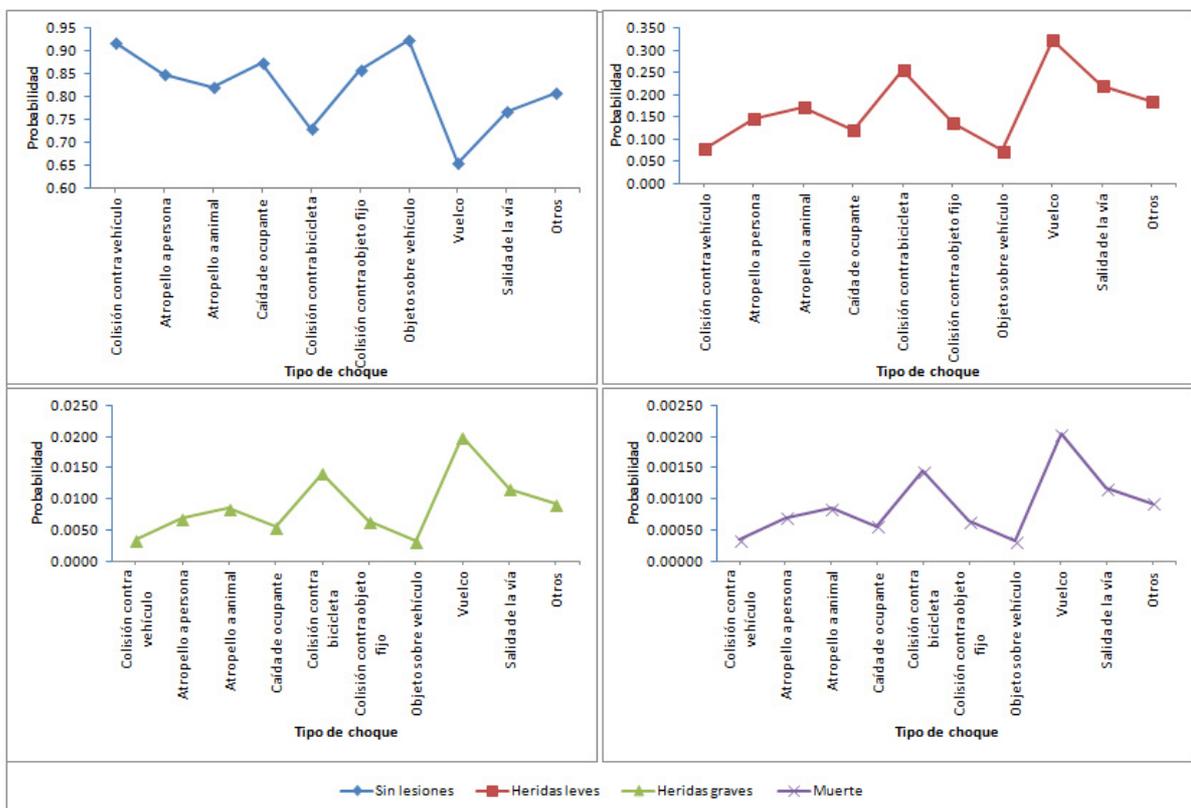
**Cuadro 35.** Efectos marginales del tipo de choque en el modelo final.

Tipo de choque	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
Colisión contra vehículo*	0.92	1.00	0.078	1.00	0.0034	1.00	0.00034	1.00
Atropello a persona	0.85	0.92	0.145	1.87	0.0070	2.03	0.00070	2.04
Atropello a animal	0.82	0.89	0.171	2.20	0.0084	2.47	0.00085	2.48
Caída de ocupante	0.87	0.95	0.121	1.56	0.0056	1.64	0.00056	1.64
Colisión contra bicicleta	0.73	0.79	0.255	3.29	0.0142	4.14	0.00144	4.19
Colisión contra objeto fijo	0.86	0.93	0.136	1.76	0.0064	1.88	0.00065	1.89
Objeto sobre vehículo**	0.92	1.01	0.073	0.94	0.0032	0.93	0.00032	0.93
Vuelco	0.65	0.71	0.323	4.17	0.0200	5.85	0.00205	5.96
Salida de la vía	0.77	0.83	0.220	2.84	0.0116	3.40	0.00118	3.43
Otros	0.81	0.88	0.183	2.37	0.0092	2.69	0.00093	2.71

\*Valor base

\*\*Variable no significativa

El vuelco resulta ser la categoría con mayores posibilidades de lesiones más graves en los choques viales con un 29% menos de probabilidad de resultar ileso, aumentando en 3.17 veces la probabilidad de tener heridas leves y con 4.85 y 4.96 veces más probabilidades de resultar con heridas graves o muerte, respectivamente. La colisión contra bicicleta es el segundo tipo de choque más riesgoso y el tercer lugar lo ocupa la salida de la vía, si bien es cierto esto se conocía con los resultados del modelo ahora se conocen numéricamente las probabilidades de lesión en cada tipo de choque.



**Figura 27.** Gráficos de probabilidad del tipo de choque.

En la Figura 27 se muestran los gráficos de probabilidad del tipo de choque, en estos se aprecia que de todos tipos los choques tienen probabilidades mayores de sufrir heridas más graves que las colisiones contra vehículos (excepto la caída de objetos sobre vehículo, que de todas formas no es significativa en el modelo).

**Cuadro 36.** Efectos marginales del género en el modelo final.

Género	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
Masculino*	0.91	1.00	0.086	1.00	0.0039	1.00	0.00039	1.00
Femenino	0.93	1.02	0.066	0.76	0.0029	0.75	0.00029	0.75

\*Valor base

Los efectos mostrados en el Cuadro 36 muestran que las mujeres ven aumentadas sus probabilidades de no tener lesiones en 2% respecto a los hombres y tienen alrededor de 25% menos probabilidades de sufrir heridas leves, graves o la muerte.

El Cuadro 37 muestra las probabilidades de cada categoría de lesión dependiendo de la ubicación del choque (en tramo o en intersección de carreteras). Los resultados indican que las probabilidades de tener un choque y salir ileso son un 3% superiores en las intersecciones y alrededor de 26% menores de tener heridas leves, graves o morir si el choque ocurre en intersecciones y no en tramos de carreteras.

**Cuadro 37.** Efectos marginales de la ubicación del choque en el modelo final.

Ubicación	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
Tramo*	0.91	1.00	0.090	1.00	0.0040	1.00	0.00041	1.00
Intersección	0.93	1.03	0.067	0.75	0.0029	0.73	0.00029	0.73

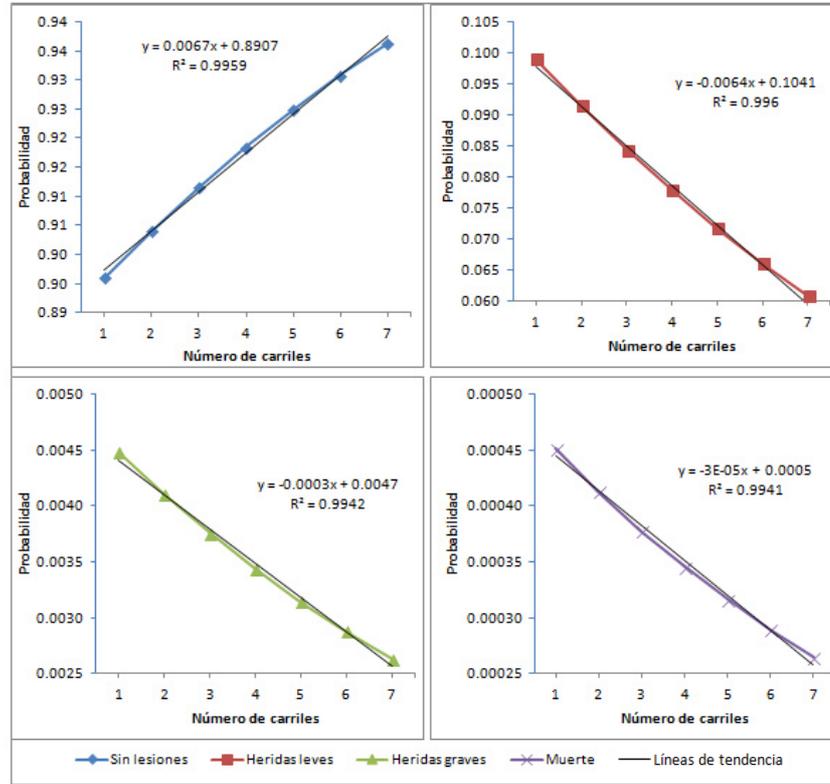
\*Valor base

La cuantificación del efecto del número de carriles se presenta en el Cuadro 38 y se nota la tendencia en la disminución de las probabilidades de sufrir heridas más graves al tener un mayor número de carriles.

**Cuadro 38.** Efectos marginales del número de carriles en el modelo final.

Número de carriles	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
1	0.90	1.00	0.099	1.00	0.0045	1.00	0.00045	1.00
2	0.90	1.01	0.091	0.92	0.0041	0.92	0.00041	0.91
3	0.91	1.02	0.084	0.85	0.0038	0.84	0.00038	0.84
4	0.92	1.02	0.078	0.79	0.0034	0.77	0.00035	0.77
5	0.92	1.03	0.072	0.72	0.0031	0.70	0.00032	0.70
6	0.93	1.04	0.066	0.67	0.0029	0.64	0.00029	0.64
7	0.94	1.04	0.061	0.61	0.0026	0.59	0.00026	0.59

La tendencia inversa de la gravedad con el número de carriles se nota en los gráficos de la Figura 28.

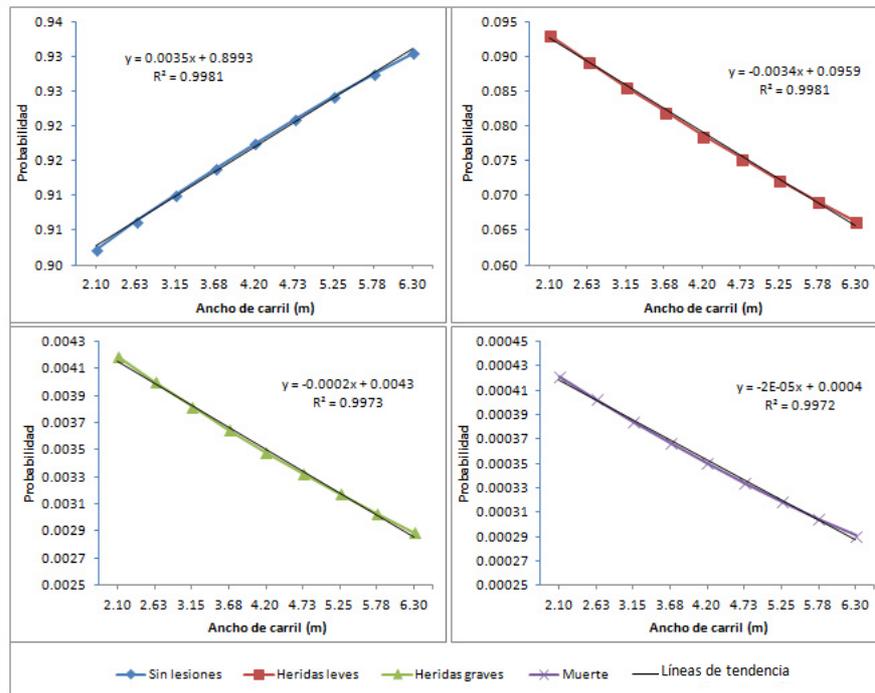


**Figura 28.** Gráficos de probabilidad del número de carriles.

El Cuadro 39 presenta los resultados de los efectos marginales en la gravedad de choques viales. Conforme aumenta el ancho del carril se nota un aumento en las probabilidades de resultar ileso y una disminución en la probabilidad de tener heridas leves, graves o la muerte. Los resultados cualitativos comentados anteriormente sobre esta variable se ven cuantificados en el siguiente cuadro y en la Figura 29.

**Cuadro 39.** Efectos marginales del ancho de carril en el modelo final.

Ancho de carril (m)	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
2.10	0.90	1.00	0.093	1.00	0.0042	1.00	0.00042	1.00
2.63	0.91	1.00	0.089	0.96	0.0040	0.95	0.00040	0.95
3.15	0.91	1.01	0.086	0.92	0.0038	0.91	0.00038	0.91
3.68	0.91	1.01	0.082	0.88	0.0036	0.87	0.00037	0.87
4.20	0.92	1.02	0.079	0.84	0.0035	0.83	0.00035	0.83
4.73	0.92	1.02	0.075	0.81	0.0033	0.79	0.00033	0.79
5.25	0.92	1.02	0.072	0.78	0.0032	0.76	0.00032	0.76
5.78	0.93	1.03	0.069	0.74	0.0030	0.72	0.00030	0.72
6.30	0.93	1.03	0.066	0.71	0.0029	0.69	0.00029	0.69

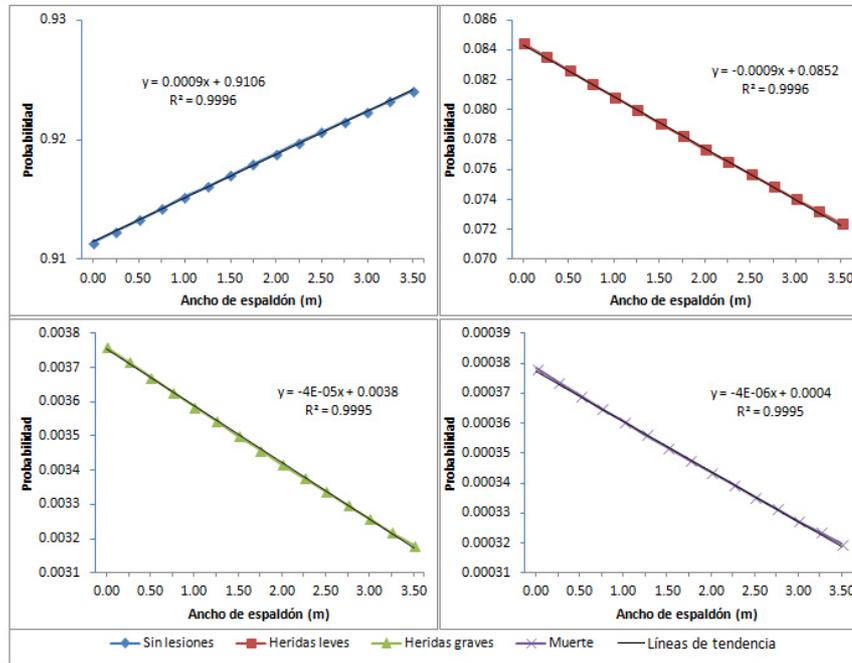


**Figura 29.** Gráficos de probabilidad del ancho de carril.

Aunque el ancho del espaldón no resultó ser significativo en el Modelo Final en otros modelos presentados si llegó al 95% de confianza por lo que se incluye el análisis de efectos marginales, en el Cuadro 40 se presentan las probabilidades y los valores de FR para cada categoría de lesión. El ancho del espaldón también tiene un efecto inverso en la probabilidad de gravedad de los choques viales.

**Cuadro 40.** Efectos marginales del ancho de espaldón en el modelo final.

Ancho de espaldón (m)	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
0.00	0.911	1.00	0.084	1.01	0.0038	1.01	0.00038	1.01
0.25	0.912	1.00	0.084	1.00	0.0037	1.00	0.00037	1.00
0.50	0.913	1.00	0.083	0.99	0.0037	0.99	0.00037	0.99
0.75	0.914	1.00	0.082	0.98	0.0036	0.98	0.00036	0.98
1.00	0.915	1.00	0.081	0.97	0.0036	0.96	0.00036	0.96
1.25	0.916	1.00	0.080	0.96	0.0035	0.95	0.00036	0.95
1.50	0.917	1.01	0.079	0.95	0.0035	0.94	0.00035	0.94
1.75	0.918	1.01	0.078	0.94	0.0035	0.93	0.00035	0.93
2.00	0.919	1.01	0.077	0.93	0.0034	0.92	0.00034	0.92
2.25	0.920	1.01	0.077	0.92	0.0034	0.91	0.00034	0.91
2.50	0.921	1.01	0.076	0.91	0.0033	0.90	0.00034	0.90
2.75	0.922	1.01	0.075	0.90	0.0033	0.89	0.00033	0.89
3.00	0.922	1.01	0.074	0.89	0.0033	0.88	0.00033	0.88
3.25	0.923	1.01	0.073	0.88	0.0032	0.87	0.00032	0.87
3.50	0.924	1.01	0.072	0.87	0.0032	0.86	0.00032	0.86

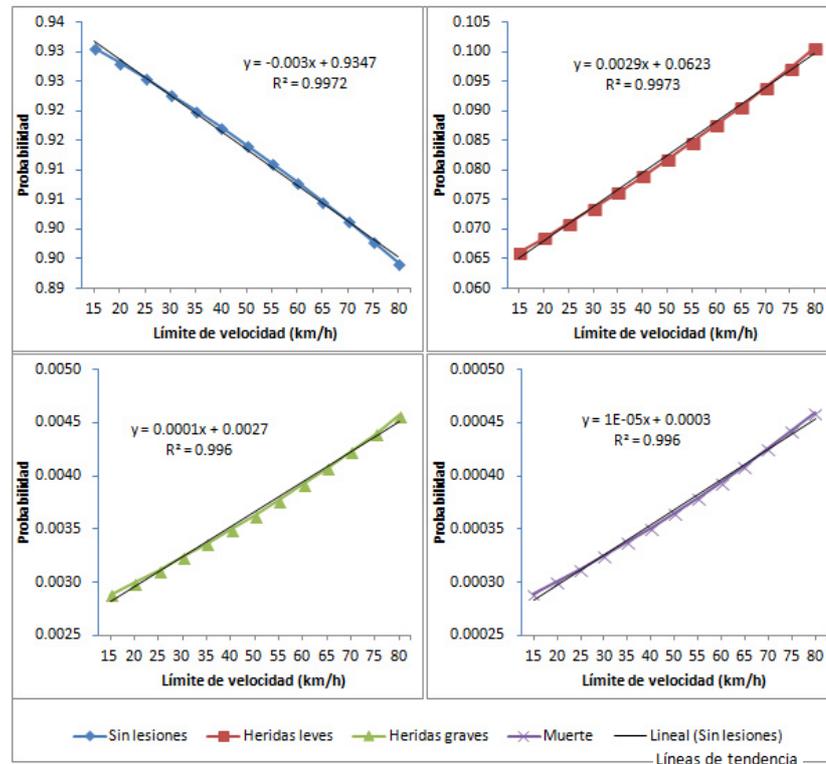


**Figura 30.** Gráficos de probabilidad del ancho de espaldón.

El Cuadro 41 se presentan los efectos marginales del límite de velocidad, la diferencia de probabilidades entre el límite de velocidad más bajo y el más alto es una reducción de 4% para los choques sin lesiones, las heridas leves aumentan un 52%, mientras que para heridas graves y muerte las probabilidades aumentan un 58% y 59% respectivamente. La representación gráfica de estos resultados se muestra en la Figura 31.

**Cuadro 41.** Efectos marginales del límite de velocidad en el modelo final.

Velocidad (km/h)	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
15	0.93	1.00	0.066	1.00	0.0029	1.00	0.00029	1.00
20	0.93	1.00	0.069	1.04	0.0030	1.04	0.00030	1.04
25	0.93	0.99	0.071	1.07	0.0031	1.08	0.00031	1.08
30	0.92	0.99	0.074	1.11	0.0032	1.12	0.00033	1.12
35	0.92	0.99	0.076	1.15	0.0034	1.17	0.00034	1.17
40	0.92	0.99	0.079	1.19	0.0035	1.21	0.00035	1.21
50	0.91	0.98	0.082	1.24	0.0036	1.26	0.00036	1.26
55	0.91	0.98	0.085	1.28	0.0038	1.31	0.00038	1.31
60	0.91	0.98	0.088	1.33	0.0039	1.36	0.00039	1.36
65	0.90	0.97	0.091	1.37	0.0041	1.41	0.00041	1.41
70	0.90	0.97	0.094	1.42	0.0042	1.47	0.00043	1.47
75	0.90	0.96	0.097	1.47	0.0044	1.52	0.00044	1.53
80	0.89	0.96	0.101	1.52	0.0046	1.58	0.00046	1.59

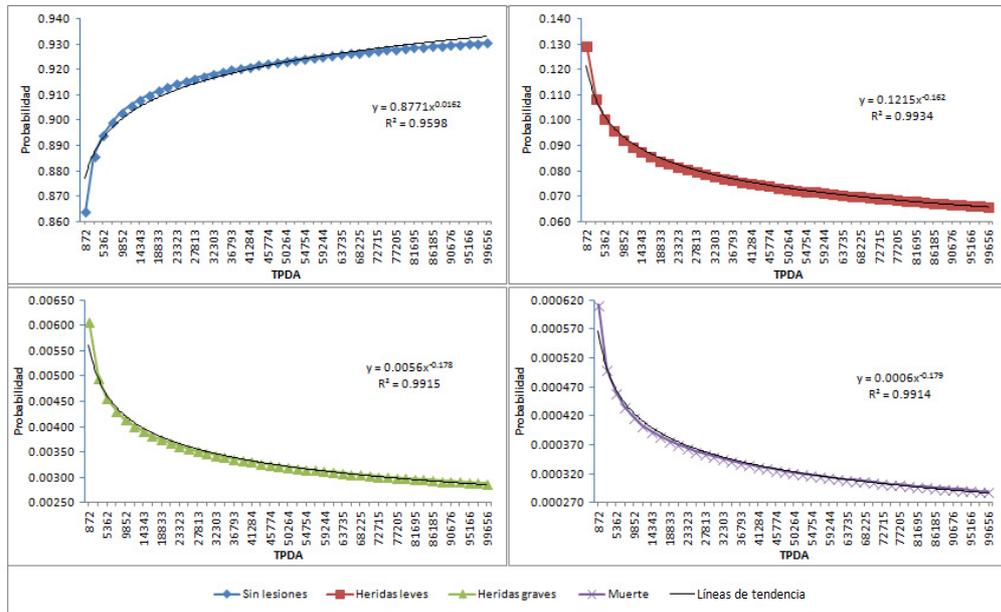


**Figura 31.** Gráficos de probabilidad del límite de velocidad.

Los efectos marginales del TPDA se muestran en el Cuadro 42 al comparar la probabilidad del valor menor de TPDA con el mayor se tiene un FR de 1.08 para los choques sin lesiones, de 0.51 para choques con heridas leves y de 0.47 para choques con heridas graves y muerte. Se nota una reducción en la gravedad de las heridas provocadas por choques viales y se pudo cuantificar este efecto, en los gráficos de la Figura 32 se nota el comportamiento exponencial que tiene esta variable en la probabilidad de cada categoría de lesión.

**Cuadro 42.** Efectos marginales del TPDA en el modelo final.

TPDA	Sin lesiones		Heridas leves		Heridas graves		Muerte	
	P(Y=1)	FR	P(Y=2)	FR	P(Y=3)	FR	P(Y=4)	FR
872	0.864	1.00	0.129	1.00	0.00608	1.00	0.000613	1.00
3117	0.886	1.03	0.109	0.84	0.00498	0.82	0.000501	0.82
5362	0.894	1.04	0.101	0.78	0.00457	0.75	0.000460	0.75
7607	0.899	1.04	0.096	0.74	0.00433	0.71	0.000435	0.71
9852	0.903	1.05	0.092	0.71	0.00415	0.68	0.000418	0.68
12097	0.906	1.05	0.090	0.69	0.00402	0.66	0.000405	0.66
14343	0.908	1.05	0.088	0.68	0.00392	0.64	0.000394	0.64
16588	0.910	1.05	0.086	0.66	0.00383	0.63	0.000385	0.63
18833	0.912	1.06	0.084	0.65	0.00375	0.62	0.000377	0.62
21078	0.913	1.06	0.083	0.64	0.00369	0.61	0.000371	0.60
23323	0.914	1.06	0.082	0.63	0.00363	0.60	0.000365	0.60
25568	0.915	1.06	0.081	0.62	0.00358	0.59	0.000359	0.59
27813	0.916	1.06	0.080	0.62	0.00353	0.58	0.000355	0.58
30058	0.917	1.06	0.079	0.61	0.00349	0.57	0.000350	0.57
32303	0.918	1.06	0.078	0.60	0.00345	0.57	0.000346	0.57
34548	0.919	1.06	0.077	0.60	0.00341	0.56	0.000343	0.56
36793	0.920	1.06	0.077	0.59	0.00338	0.56	0.000339	0.55
39039	0.920	1.07	0.076	0.59	0.00335	0.55	0.000336	0.55
41284	0.921	1.07	0.075	0.58	0.00332	0.55	0.000333	0.54
43529	0.922	1.07	0.075	0.58	0.00329	0.54	0.000331	0.54
45774	0.922	1.07	0.074	0.57	0.00326	0.54	0.000328	0.54
48019	0.923	1.07	0.074	0.57	0.00324	0.53	0.000325	0.53
50264	0.923	1.07	0.073	0.57	0.00321	0.53	0.000323	0.53
52509	0.924	1.07	0.073	0.56	0.00319	0.53	0.000321	0.52
54754	0.924	1.07	0.072	0.56	0.00317	0.52	0.000319	0.52
56999	0.925	1.07	0.072	0.55	0.00315	0.52	0.000317	0.52
59244	0.925	1.07	0.071	0.55	0.00313	0.52	0.000315	0.51
61489	0.926	1.07	0.071	0.55	0.00311	0.51	0.000313	0.51
63735	0.926	1.07	0.071	0.55	0.00310	0.51	0.000311	0.51
65980	0.926	1.07	0.070	0.54	0.00308	0.51	0.000310	0.51
68225	0.927	1.07	0.070	0.54	0.00306	0.50	0.000308	0.50
70470	0.927	1.07	0.070	0.54	0.00305	0.50	0.000306	0.50
72715	0.927	1.07	0.069	0.54	0.00303	0.50	0.000305	0.50
74960	0.928	1.07	0.069	0.53	0.00302	0.50	0.000303	0.50
77205	0.928	1.07	0.069	0.53	0.00300	0.49	0.000302	0.49
79450	0.928	1.07	0.068	0.53	0.00299	0.49	0.000301	0.49
81695	0.929	1.07	0.068	0.53	0.00298	0.49	0.000299	0.49
83940	0.929	1.08	0.068	0.52	0.00297	0.49	0.000298	0.49
86185	0.929	1.08	0.068	0.52	0.00295	0.49	0.000297	0.48
88431	0.929	1.08	0.067	0.52	0.00294	0.48	0.000296	0.48
90676	0.930	1.08	0.067	0.52	0.00293	0.48	0.000294	0.48
92921	0.930	1.08	0.067	0.52	0.00292	0.48	0.000293	0.48
95166	0.930	1.08	0.067	0.51	0.00291	0.48	0.000292	0.48
97411	0.930	1.08	0.066	0.51	0.00290	0.48	0.000291	0.47
99656	0.931	1.08	0.066	0.51	0.00289	0.47	0.000290	0.47



**Figura 32.** Gráficos de probabilidad del TPDA.

## 4.2. Modelos de gravedad para choques con uso del suelo en la GAM

Con base en la ubicación geográfica se adjuntó el uso de suelo como una variable para los choques ocurridos en la Gran Área Metropolitana, con un total de 26 890 boletas de choques (observaciones) se plantearon modelos de gravedad logit ordenados y se obtuvieron los resultados mostrados a continuación.

En el Cuadro 43 se presentan los resultados para las variables básicas donde se obtiene resultados prácticamente iguales a los del modelo del Cuadro 24 (ver página 39).

**Cuadro 43.** Modelo de gravedad de choques en la GAM con variables básicas.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.2856	0.0527	5.422	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3616	0.0527	5.422	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1587	0.0475	-7.610	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1490	0.0220	-7.221	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.1138	0.0424	-3.513	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0168	0.0356	-3.195	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.2065	0.0018	9.177	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	-0.2408	0.2096	-1.148	0.13
2 3	1.9962	0.2145	9.306	0.00
3 4	4.4857	0.2731	16.425	0.00
Desviación residual= 21344.65      pseudo R <sup>2</sup> = 0.022				
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> = -10672.32 (10 g.d.l)      D= 477.60				
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> = -10911.12 (3 g.d.l)      P(chi <sup>2</sup> )= 0.000				
AIC= 21364.65				

\*Variable continua

Mientras que en el Cuadro 44 se tienen resultados que son muy similares a los del Cuadro 25, análisis presentado en la página 40, únicamente hay pequeñas variaciones en los decimales de los coeficientes pero el análisis anterior aplica para este caso también.

**Cuadro 44.** Modelo de gravedad de choques en la GAM con tipo de choque y variables básicas.

Variablen	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	2.4638	0.0738	33.407	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.8751	0.4204	2.082	0.02
<i>Caída de algún ocupante</i>	1.0241	0.2805	3.651	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.8405	0.1241	14.836	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6125	0.1443	4.245	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	0.0246	0.3525	0.070	0.47
<i>Vuelco</i>	2.3027	0.1723	13.364	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.9994	0.1265	15.806	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.3308	0.1385	9.610	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.2756	0.0549	5.023	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3026	0.0492	-6.148	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1359	0.0231	-5.887	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1151	0.0445	-2.586	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0806	0.0370	-2.178	0.01
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0130	0.0019	6.739	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1447	0.0203	-7.120	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.6526	0.2220	2.940	0.00
2 3	3.0356	0.2269	13.380	0.00
3 4	5.5483	0.2830	19.605	0.00
Desviación residual=		19882.42	pseudo R <sup>2</sup> = 0.089	
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-9941.21 (19 g.d.l)	D= 1939.82	
			P(chi <sup>2</sup> )= 0.000	
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-10911.12 (3 g.d.l)	AIC= 19920.42	

\*Variable continua

El modelo del Cuadro 45 incluye el rol de la persona implicada en el choque y el análisis de los resultados son básicamente el mismo que el del Cuadro 26, para mayores detalles consultar la página 41.

**Cuadro 45.** Modelo de gravedad de choques en la GAM

con rol de la persona implicada y variables básicas.

Variables		Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Rol de la persona implicada</b>					
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>					
<i>Ciclista</i>		3.6761	0.2653	13.855	0.00
<i>Motociclista</i>		3.0412	0.1809	16.814	0.00
<i>Peatón</i>		4.4607	0.1077	41.403	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>		4.1714	0.1933	21.578	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>		3.8157	0.0849	44.934	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>		3.7707	1.8395	2.050	0.02
<i>Otro</i>		2.0921	0.5468	3.826	0.00
<b>Género</b>					
<i>Masculino (valor base)</i>					
<i>Femenino</i>		-0.3923	0.0676	-5.803	0.00
<b>Ubicación del choque</b>					
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>					
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>		-0.3567	0.0537	-6.644	0.00
<b>Número de carriles*</b>		-0.1488	0.0248	-5.992	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>		-0.0895	0.0476	-1.878	0.03
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>		-0.0881	0.0396	-2.224	0.01
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>		0.0146	0.0021	7.037	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>		-0.1496	0.0218	-6.854	0.00
<b>Constantes</b>					
	1 2	0.8327	0.2395	3.478	0.00
	2 3	3.8583	0.2466	15.645	0.00
	3 4	6.4372	0.2994	21.497	0.00
Desviación residual=		17066.14		pseudo R <sup>2</sup> =	0.218
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-8533.07 (17 g.d.l)		D=	4756.10
				P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-10911.12 (3 g.d.l)		AIC=	17100.14

\*Variable continua

La principal novedad de esta sección se da en el Cuadro 46 en el que se agrega el uso del suelo en la Gran Área Metropolitana y se obtiene que las zonas verdes y el uso no urbano aumentan la gravedad respecto al uso residencial. Dado que en el uso no urbano probablemente el volumen vehicular sea menor se entiende que los choques ocurridos en estas zonas sean más graves. Por otra parte las áreas cercanas a zonas verdes es más probable tener peatones o ciclistas circulando por lo que este puede ser un factor que se relacione con choques más graves en zonas verdes. Los otros usos del suelo no arrojaron resultados significativos al 95% de confianza.

**Cuadro 46.** Modelo de gravedad de choques con uso del suelo en la GAM y variables básicas.

Variables		Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Uso del suelo en la GAM</b>					
<i>Residencial (valor base)</i>					
<i>Comercial</i>		-0.0483	0.0702	-0.688	0.25
<i>Servicios públicos</i>		0.0822	0.0684	1.201	0.11
<i>Industrial</i>		-0.1251	0.0811	-1.542	0.06
<i>Zonas verdes</i>		0.1165	0.0699	1.668	0.05
<i>Terrenos no cultivables</i>		-0.1435	0.1706	-0.841	0.20
<i>No urbano</i>		0.1331	0.0603	2.209	0.01
<b>Género</b>					
<i>Masculino (valor base)</i>					
<i>Femenino</i>		0.2883	0.0527	5.471	0.00
<b>Ubicación del choque</b>					
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>					
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>		-0.3657	0.0479	-7.633	0.00
<b>Número de carriles*</b>		-0.1585	0.0222	-7.152	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>		-0.1438	0.0426	-3.375	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>		-0.1146	0.0356	-3.216	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>		0.0159	0.0019	8.498	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>		-0.2036	0.0190	-10.712	0.00
<b>Constantes</b>					
	1 2	-0.2212	0.2100	-1.053	0.15
	2 3	2.0162	0.2149	9.383	0.00
	3 4	4.5058	0.2734	16.481	0.00
		Desviación residual=	21330.75	pseudo R <sup>2</sup> =	0.023
		Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-10665.38 (16 g.d.l)	D=	491.48
				P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
		Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-10911.12 (3 g.d.l)	AIC=	21362.75

\*Variable continua

Al hacer la comparación con el modelo del Cuadro 43 (página 62) mediante la prueba *Log(likelihood)* se tiene un valor de P(chi<sup>2</sup>) igual a 0.03 por lo que la inclusión del uso del suelo es significativa y produce un mejor ajuste del modelo.

El Cuadro 47 presenta un modelo con las variables que han sido más significativas en los modelos planteados anteriormente además de incluir el uso del suelo, obteniendo que el uso del suelo no es significativo en este modelo.

**Cuadro 47.** Modelo de gravedad de choques con uso del suelo en la GAM y variables básicas.

VARIABLES		Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Uso del suelo en la GAM</b>					
<i>Residencial (valor base)</i>					
<i>Comercial</i>		0.0017	0.0789	0.021	0.49
<i>Servicios públicos</i>		-0.0428	0.0790	-0.542	0.29
<i>Industrial</i>		-0.0651	0.0908	-0.717	0.24
<i>Zonas verdes</i>		0.0490	0.0796	0.615	0.27
<i>Terrenos no cultivables</i>		-0.0729	0.1912	-0.381	0.35
<i>No urbano</i>		0.0644	0.0693	0.929	0.18
<b>Tipo de choque</b>					
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>					
<i>Atropello a persona</i>		0.8257	0.1308	6.310	0.00
<i>Atropello a animal</i>		0.7487	0.4629	1.618	0.05
<i>Caída de algún ocupante</i>		0.4619	0.3398	1.359	0.09
<i>Colisión contra bicicleta</i>		1.5352	0.1494	10.276	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>		0.4649	0.1628	2.856	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>		0.0915	0.3727	0.245	0.40
<i>Vuelco</i>		1.9682	0.1873	10.511	0.00
<i>Salida de la vía</i>		1.4188	0.1409	10.073	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>		1.1293	0.1537	7.345	0.00
<b>Rol de la persona implicada</b>					
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>					
<i>Ciclista</i>		2.4832	0.2972	8.356	0.00
<i>Motociclista</i>		3.0555	0.1821	16.778	0.00
<i>Peatón</i>		3.8201	0.1578	24.214	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>		4.0982	0.1971	20.798	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>		3.7258	0.0856	43.532	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>		3.9341	1.8570	2.118	0.02
<i>Otro</i>		1.8008	0.5632	3.197	0.00
<b>Género</b>					
<i>Masculino (valor base)</i>					
<i>Femenino</i>		-0.3551	0.0678	-5.2338	0.00
<b>Ubicación del choque</b>					
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>					
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>		-0.3127	0.0545	-5.7422	0.00
<b>Número de carriles*</b>		-0.1294	0.0255	-5.0707	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>		-0.0739	0.0486	-1.5215	0.06
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>		-0.0805	0.0402	-2.0014	0.02
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>		0.0105	0.0021	4.8859	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>		-0.1096	0.0228	-4.8141	0.00
<b>Constantes</b>					
	1 2	1.2611	0.2451	5.1449	0.00
	2 3	4.3451	0.2529	17.1822	0.00
	3 4	6.9268	0.3047	22.7316	0.00
		Desviación residual=	16742.59	pseudo R <sup>2</sup> =	0.233
		Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-8371.30 (32 g.d.l)	D=	5079.65
				P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
		Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-10911.12 (3 g.d.l)	AIC=	16806.59

\*Variable continua

En modelos anteriores se vio que la mayoría de categorías de uso del suelo no fueron significativas y al incluir variables con pesos importantes (Rol del implicado, Límite de velocidad, Log(TPDA), etc) es entendible que se reduzca la significancia del uso del suelo.

Dado que en los modelos anteriores de esta sección no se ha logrado una significancia válida para el uso del suelo se plantea un modelo en el que se toman los datos correspondientes a los peatones, pensando que estos implicados pueden verse más influenciados por el uso del suelo y sus correspondientes atracciones, el modelo planteado y sus resultados se presentan en el Cuadro 48.

**Cuadro 48.** Modelo de gravedad de choques con uso del suelo en la GAM para peatones.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(>  t )
<b>Uso del suelo en el G.Á.M</b>				
<i>Residencial (valor base)</i>				
<i>Comercial</i>	-0.0374	0.4115	-0.091	0.46
<i>Servicios públicos</i>	0.3659	0.3725	0.982	0.16
<i>Industrial</i>	-0.3360	0.5417	-0.620	0.27
<i>Zonas verdes</i>	-0.7698	0.4630	-1.663	0.05
<i>Terrenos no cultivables</i>	-0.3616	1.1846	-0.305	0.38
<i>No urbano</i>	0.4407	0.3838	1.148	0.13
<b>Tipo de accidente</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	-0.2997	0.5202	-0.576	0.28
<i>Caída de algún ocupante</i>	-0.8881	1.3776	-0.645	0.26
<i>Colisión contra bicicleta</i>	-2.2743	1.2237	-1.859	0.03
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	-3.5242	1.0381	-3.395	0.00
<i>Otro tipo de accidente</i>	-1.3310	1.4200	-0.937	0.17
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.2430	0.2622	0.9266	0.18
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.6507	0.3267	-1.9919	0.02
<b>Número de carriles*</b>	0.1509	0.1377	1.0957	0.14
<b>Ancho del carril (m)*</b>	0.3949	0.2722	1.4507	0.07
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	0.2331	0.2402	0.9702	0.17
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0269	0.0125	2.1457	0.02
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1559	0.1156	-1.3481	0.09
<b>Constantes</b>				
1 2	-2.0282	1.3509	-1.5014	0.07
2 3	2.8733	1.3503	2.1279	0.02
3 4	5.0520	1.3833	3.6520	0.00
Desviación residual= 565.283			pseudo R <sup>2</sup> =	0.073
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> = -282.64 (21 g.d.l)			LR=	44.39
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.001
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> = -304.83 (3 g.d.l)			A.I.C=	607.283

\*Variable continua

Se reduce el tamaño de la muestra al utilizar únicamente los datos de los peatones, pasando de 26 890 observaciones a 410. Dado que se tiene una muestra mucho menor el grado de aceptación se reduce de 95% a 90%; tomando como significativas las variables que tengan un valor de  $P(> |t|)$  o  $P(\text{chi}^2)$  menor o igual a 0.1.

La inclusión del uso del suelo al modelo del Cuadro 48 no es significativa según la prueba de log(verosimilitud) pues un modelo igual pero que no incluye el uso del suelo tiene un log(likelihood) de -286.03 con 15 grados de libertad por lo que el valor del  $P(chi^2)$  dado por esta prueba es de 0.34 que es mayor al 0.1 aceptado.

Sin embargo el modelo en si es altamente significativo pues su  $P(chi^2)$  tiene un valor prácticamente de cero, es interesante que a pesar de reducir bastante la muestra, el modelo sigue teniendo una significancia alta. Los resultados muestran que para peatones la categoría de zona verde es el único uso del suelo que es significativo para la gravedad de los choques viales, dado que las zonas verdes generalmente son áreas recreativas y su uso se limita principalmente a personas movilizándose a pie se justifica el coeficiente negativo que indica una reducción de la gravedad de los choques en las zonas verdes, pues las interacciones con vehículos es menor en este tipo de uso del suelo.

El aumento en el límite de velocidad nuevamente es un factor significativo y que incrementa la gravedad de las heridas de los choques viales. Por otra parte se tiene que los choques ocurridos en intersecciones son menos graves que los que se dieron en tramos de carretera, como se mencionaba anteriormente es probable que en intersecciones las velocidades de circulación sean menores y otros factores como los reguladores de tránsito (altos, cedas, semáforos, entre otros) generen menos conflictos entre los vehículos y peatones. También el TPDA mayor produce choques menos graves, esto pues con mayor cantidad de automotores la movilidad de estos y su velocidad se reduce, lo que facilita las maniobras de los peatones para atravesar carreteras.

Respecto al tipo de accidente se tiene que la colisión contra bicicletas y objetos fijos genera choques menos graves que las colisiones entre vehículos. Pensando en que se manejan datos donde los heridos son peatones, es entendible que sea más grave estar implicado en una colisión entre vehículos que circulan más rápidamente y que pueden invadir las aceras u otras áreas con peatones presentes al darse la colisión, además de los choques en los que los peatones intentan cruzar las carreteras.

El ancho de los carriles tiene un coeficiente positivo lo que es entendible pues con carriles más anchos los peatones que cruzan las carreteras están expuestos a un atropello por más tiempo y podría ser más difícil cruzar carreteras con carriles más anchos.

### 4.3. Modelos de gravedad de choques viales según el rol de la persona implicada.

Esta sección presenta los modelos que se denominan "*específicos*" pues se toma la base de datos general y se extraen muestras de interés que permitan observar ciertos efectos que tienen las variables sobre los choques.

#### 4.3.1. *Modelos de gravedad para ocupantes de vehículos*

Para conocer los efectos de diferentes variables en los choques para los conductores y pasajeros de vehículos (ocupantes), se plantearon distintos modelos para esta sección. Los modelos planteados contaron con 36 697 observaciones.

En el Cuadro 49 se presentan los resultados para un modelo que toma los datos de los ocupantes de vehículos y se incluyeron como variables los diferentes tipos de choques, el número de carriles y ancho de los mismos, log(TPDA), entre otras.

**Cuadro 49.** Modelo de gravedad para ocupantes de vehículos y tipo de choque.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.6468	0.0502	5.589	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.8604	0.1157	2.507	0.01
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.7828	0.3432	2.877	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4068	0.2721	10.952	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.8503	0.1285	7.229	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.1149	0.1176	-0.379	0.35
<i>Vuelco</i>	2.4656	0.3034	18.378	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.8307	0.1342	16.607	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.4446	0.1102	13.112	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.25672	0.0502	5.1181	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3024	0.0442	-6.839	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1491	0.0204	-7.305	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1375	0.0404	-3.402	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.1006	0.0333	-3.017	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0139	0.0017	8.311	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1531	0.0181	-8.469	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.5377	0.1985	2.718	0.00
2 3	2.9340	0.2039	14.390	0.00
3 4	5.4132	0.2616	20.690	0.00
Desviación residual=	25181.04		pseudo R <sup>2</sup> =	0.052
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12590.52 (19 g.d.l)		D=	1389.56
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-13285.30 (3 g.d.l)		AIC=	25219.04

\*Variable continua

De las variables del tipo de choque, únicamente la caída de objetos sobre el vehículo resultó no ser significativa. Todas las demás variables tienen coeficiente positivo lo que indica que si se da alguno de estos tipos de choques aumenta la gravedad del choque siendo el vuelco y la salida del auto de la vía las variables con coeficientes mayores (2.47 y 1.44, respectivamente) es lógico pensar que estos dos tipos de choques son más peligrosos para los ocupantes de los vehículos, por las complicaciones que representan.

Llama la atención que el atropello a animales tenga un coeficiente mayor que el atropello a personas, esto podría explicarse pues los animales aparecen de forma más repentina en las carreteras y es más probable que una persona evada de mejor manera un auto de lo que lo haría un animal, además generalmente se reportan atropellos de animales que son más masivos (vacas, toros, caballos, entre otros) y por lo tanto generan un impacto y desaceleración mayor que el que provoca una persona al ser colisionada por un vehículo.

Se mantienen las tendencias de aumento de la gravedad para mujeres y para el límite de velocidad, también se mantienen las relaciones negativas con el choque en intersecciones, número de carriles, ancho de carril y de espaldón y el  $\log(\text{TPDA})$ . La inclusión del tipo de choque es significativa para el modelo ( $\text{Log}(\text{verosimilitud})_{\text{restringido}}$  igual a -13 285.30 con 3 g.d.l y  $P(\chi^2) = 0.00$ ).

El modelo del Cuadro 50 incluye el tipo de superficie y se nota que las carreteras de concreto, lastre, adoquín y la categoría otros, son significativas y representan una disminución en la gravedad de los choques respecto a los que ocurren en carreteras de asfalto, de nuevo se puede relacionar este resultado con una menor velocidad de circulación de los vehículos en estas superficies. Este modelo también arroja resultados positivos en la prueba de Logaritmo de verosimilitud con un valor de -12 590.52 con  $\chi^2=0.00$  y 19(g.d.l).

**Cuadro 50.** Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles,  
tipo de choque y tipo de superficie.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Calzada de asfalto (valor base)</i>				
<i>Calzada de concreto</i>	-0.1658	0.0855	-1.939	0.03
<i>Calzada de lastre</i>	-0.4007	0.1815	-2.207	0.01
<i>Calzada de adoquín</i>	-0.8253	0.3298	-2.503	0.01
<i>Calzada de tierra</i>	-0.5218	0.6492	-0.804	0.21
<i>Otro tipo de superficie</i>	-2.0787	1.0158	-2.046	0.02
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.6449	0.1158	5.566	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.8538	0.3431	2.488	0.01
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.7808	0.2723	2.868	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.3905	0.1286	10.816	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.8722	0.1181	7.385	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0951	0.3037	-0.313	0.38
<i>Vuelco</i>	2.4696	0.1344	18.376	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.8373	0.1104	16.637	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.4916	0.1110	13.434	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.25778	0.0502	5.1361	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3075	0.0442	-6.950	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1467	0.0204	-7.173	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1307	0.0405	-3.227	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0926	0.0335	-2.765	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0139	0.0017	8.296	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1577	0.0183	-8.640	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.5091	0.1998	2.548	0.01
2 3	2.9062	0.2052	14.165	0.00
3 4	5.3856	0.2626	20.506	0.00
Desviación residual=	25155.51		pseudo R <sup>2</sup> =	0.053
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12577.76 (24 g.d.l)		D=	1415.08
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-13285.30 (3 g.d.l)		AIC=	25203.51

\*Variable continua

La condición de la calzada se incluye en el modelo del Cuadro 51 y resultó ser significativa únicamente la categoría de otro tipo de condición de la calzada, lo que no dice mucho la influencia de tal variable para el modelo, se confirma que ésta no mejora el ajuste del modelo pues se tuvo el siguiente resultado:  $\text{Log}(\text{verosimilitud})_{\text{restringido}} = -12\ 577.76$  con 24 g.d.l  $P(\chi^2) = 0.0253$ .

**Cuadro 51.** Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles, condición y tipo de superficie.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	0.0206	0.0511	0.404	0.34
<i>Calzada con polvo</i>	0.2171	0.2395	0.907	0.18
<i>Calzada con barro</i>	-0.4228	0.3063	-1.381	0.08
<i>Calzada en reparación</i>	-0.3547	0.2636	-1.346	0.09
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	-0.1311	0.0494	-2.652	0.00
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Calzada de asfalto (valor base)</i>				
<i>Calzada de concreto</i>	-0.1625	0.0856	-1.899	0.03
<i>Calzada de lastre</i>	-0.4249	0.1903	-2.233	0.01
<i>Calzada de adoquín</i>	-0.8141	0.3298	-2.468	0.01
<i>Calzada de tierra</i>	-0.5494	0.6648	-0.827	0.20
<i>Otro tipo de superficie</i>	-2.0361	1.0176	-2.001	0.02
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.1182	7.3631	5.521	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.3038	-0.3090	2.450	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.1350	18.3868	2.880	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	0.1106	16.5954	10.835	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.1112	13.4377	7.363	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	0.0502	5.1441	-0.309	0.38
<i>Vuelco</i>	0.0443	-6.9525	18.387	0.00
<i>Salida de la vía</i>	0.0205	-7.2668	16.595	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	0.0405	-3.2587	13.438	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.25827	0.0502	5.1441	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3078	0.0443	-6.953	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1488	0.0205	-7.267	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1319	0.0405	-3.259	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0907	0.0335	-2.709	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0140	0.0017	8.368	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1568	0.0183	-8.567	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.4934	0.2009	2.456	0.01
2 3	2.8914	0.2062	14.024	0.00
3 4	5.3707	0.2634	20.389	0.00
Desviación residual=	25142.72		pseudo R <sup>2</sup> =	0.054
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12571.36	(29 g.d.l)	D=	1427.88
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-13285.30	(3 g.d.l)	AIC=	25200.72

\*Variable continua

El modelo del Cuadro 52 incluye la condición del tiempo, obteniendo significancia solo para el tiempo oscuro que indica que entre más oscuro se encuentre el tiempo más graves serán las heridas del choque, sin embargo el valor del coeficiente es bajo, apenas 0.13 y al evaluar el ajuste del modelos con la nueva variable se obtiene un

$P(\chi^2) = 0.264$  en la prueba del Logaritmo de verosimilitud por lo que no se considera significativo el aporte de esta variable para el modelo.

**Cuadro 52.** Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles y condición del tiempo.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	$P(> t )$
<b>Condición del tiempo</b>				
<i>Despejado (valor base)</i>				
<i>Oscuro</i>	0.1343	0.0685	1.962	0.02
<i>Lluvioso</i>	0.0336	0.0517	0.649	0.26
<i>Con neblina</i>	-0.1749	0.2757	-0.635	0.26
<i>Otra condición del tiempo</i>	0.4738	0.4881	0.971	0.83
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Calzada de asfalto (valor base)</i>				
<i>Calzada de concreto</i>	-0.1669	0.0855	-1.952	0.03
<i>Calzada de lastre</i>	-0.3943	0.1815	-2.173	0.01
<i>Calzada de adoquín</i>	-0.8415	0.3317	-2.537	0.01
<i>Calzada de tierra</i>	-0.5136	0.6493	-0.791	0.21
<i>Otro tipo de superficie</i>	-2.1634	1.0192	-2.123	0.02
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.6413	0.1159	5.533	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.8530	0.3431	2.486	0.01
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.7863	0.2724	2.887	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.3928	0.1287	10.822	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.8689	0.1181	7.355	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0889	0.3037	-0.293	0.38
<i>Vuelco</i>	2.4723	0.1344	18.389	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.8322	0.1105	16.577	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.4906	0.1110	13.424	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.25715	0.0502	5.1222	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3062	0.0443	-6.916	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1470	0.0205	-7.186	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1299	0.0405	-3.205	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0933	0.0335	-2.786	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0139	0.0017	8.312	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1580	0.0183	-8.648	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.5232	0.2005	2.609	0.00
2 3	2.9204	0.2059	14.187	0.00
3 4	5.3998	0.2632	20.519	0.00
Desviación residual=	25150.28		pseudo $R^2 =$	0.053
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12575.14 (28 g.d.l)		D=	1420.32
			$P(\chi^2)=$	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-13285.30 (3 g.d.l)		AIC=	25206.28

\*Variable continua

Se incluye la variable del tipo de obstáculo en el modelo del Cuadro 53 y se tienen como significativos los árboles y las barandas de puentes cuando sirvieron de

obstáculos en los respectivos choques, ambos con coeficiente positivo, las demás variables mostradas mantienen los niveles de significancia anteriores. Las grandes desaceleraciones y el impacto contra estos objetos explican el resultado.

**Cuadro 53.** Modelo de gravedad para ocupantes de automóviles, con todas las variables disponibles.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de obstáculo</b>				
<i>Ninguno (valor base)</i>				
<i>Animal</i>	-0.6461	0.4186	-1.543	0.06
<i>Árbol</i>	0.9229	0.5648	1.634	0.05
<i>Barrera central</i>	0.4151	0.2949	1.408	0.08
<i>Barrera lateral</i>	-0.5216	0.7786	-0.670	0.25
<i>Barrera de puente</i>	0.6961	0.4258	1.635	0.05
<i>Cuneta</i>	0.5293	0.4057	1.305	0.10
<i>Hueco o hundimiento</i>	-0.0069	0.3365	-0.021	0.49
<i>Trabajos en la vía</i>	-0.1678	0.1504	-1.115	0.13
<i>Poste</i>	-1.1924	0.7619	-1.565	0.06
<i>Vehículo estacionado</i>	-0.0257	0.0949	-0.271	0.39
<i>Otro tipo de obstáculo</i>	0.0032	0.0843	0.038	0.48
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.6497	0.1157	5.613	0.00
<i>Atropello a animal</i>	1.2433	0.4376	2.841	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.8052	0.2740	2.939	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4071	0.1285	10.948	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.8301	0.1199	6.922	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.1155	0.3034	-0.381	0.35
<i>Vuelco</i>	2.4873	0.1349	18.442	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.8048	0.1119	16.129	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.4592	0.1107	13.178	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.25851	0.0502	5.15169	0.00
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3033	0.0442	-6.856	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1479	0.0205	-7.230	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1333	0.0404	-3.298	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0966	0.0334	-2.890	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0137	0.0017	8.150	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1539	0.0181	-8.497	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.5360	0.1988	2.697	0.00
2 3	2.9340	0.2041	14.373	0.00
3 4	5.4136	0.2618	20.677	0.00
Desviación residual=	25164.75		pseudo R <sup>2</sup> =	0.053
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12582.37 (30 g.d.l)		D=	1405.86
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-13285.30 (3 g.d.l)		AIC=	25224.75

\*Variable continua

El hecho de incluir la variable del tipo de obstáculo no mostró significativo para el modelo pues se obtuvo un valor de  $P(chi^2)=0.13$  en la prueba del Logaritmo de verosimilitud.

#### 4.3.2. Modelos de gravedad para ocupantes de motocicletas

La base de datos contiene 298 observaciones en las que los implicados fueron conductores de motocicletas o sus pasajeros.

En el Cuadro 54 se tiene que únicamente el atropello a personas resulta ser significativo dentro de los tipos de choques, con un coeficiente de -1.34 lo que indica que la gravedad se reduce cuando se da este tipo de choque comparado con las colisiones contra vehículos. En este caso son significativos el límite de velocidad con coeficiente de 0.037 y el Log(TPDA) con coeficiente igual a -0.301.

**Cuadro 54.** Modelo de gravedad para ocupantes de motocicletas,  
tipo de choque y tipo de superficie.

Variabes	Coeficiente	Error estándar	t-Student	P(>  t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	-1.3383	0.7783	-1.720	0.04
<i>Colisión contra bicicleta</i>	-1.4029	1.1762	-1.193	0.12
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	-1.2530	1.5428	-0.812	0.21
<i>Objeto sobre vehículo</i>	-1.0846	1.3970	-0.776	0.22
<i>Caída de algún ocupante</i>	-1.0953	1.0470	-1.046	0.15
<i>Vuelco</i>	-0.2918	0.8784	-0.332	0.37
<i>Otro tipo de choque</i>	-0.6729	0.7076	-0.951	0.17
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.4187	0.3047	-1.552	0.06
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.4729	0.3047	-1.552	0.06
<b>Número de carriles*</b>	-0.1527	0.1521	-0.004	0.16
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0278	0.2456	-0.113	0.46
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.2460	0.1950	-1.261	0.10
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0370	0.0147	2.518	0.01
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.3010	0.1463	-2.057	0.02
<b>Constantes</b>				
1 2	-3.2148	1.5880	-2.025	0.02
2 3	0.4690	1.5721	0.298	0.38
3 4	3.2317	1.7110	1.889	0.03
Desviación residual=		485.969	pseudo R <sup>2</sup> = 0.046	
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-242.98 (17 g.d.l)	D= 23.19	
			P(chi <sup>2</sup> )= 0.057	
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-254.58 (3 g.d.l)	AIC= 519.969	

\*Variable continua

En este modelo el valor del  $P(\chi^2)$  es de 0.057 por lo que no se considera significativo, el tamaño reducido de la muestra para este modelo podría estar influenciando la no significancia del mismo.

El modelo del Cuadro 55 incluye la condición de la calzada sin embargo esta variable no resultó ser significativa.

**Cuadro 55.** Modelo de gravedad para ocupantes de motocicletas, tipo de choque, tipo y condición de la calzada.

<b>Variables</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t-Student</b>	<b>P(&gt; t )</b>
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Calzada de asfalto (valor base)</i>				
<i>Calzada de concreto</i>	-0.3897	0.4463	-0.873	0.19
<i>Calzada de lastre</i>	0.9010	1.3279	0.679	0.25
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	-1.3575	0.7815	-1.737	0.04
<i>Colisión contra bicicleta</i>	-1.3643	1.1796	-1.157	0.12
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	-1.2982	1.5505	-0.837	0.20
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-1.1425	1.3992	-0.817	0.21
<i>Caída de algún ocupante</i>	-1.0156	1.0514	-0.966	0.17
<i>Vuelco</i>	-0.5114	0.9072	-0.564	0.29
<i>Otro tipo de choque</i>	-0.7397	0.7025	-1.053	0.15
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.4091	0.3247	1.2599	0.10
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.4632	0.3052	-1.518	0.06
<b>Número de carriles*</b>	-0.1627	0.1533	-1.061	0.14
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0622	0.2482	-0.250	0.40
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.2496	0.1956	-1.276	0.10
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0400	0.0149	2.679	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.2669	0.1536	-1.738	0.04
<b>Constantes</b>				
1 2	-2.9282	1.6242	-1.803	0.04
2 3	0.7695	1.6124	0.477	0.32
3 4	3.5375	1.7488	2.023	0.98
Desviación residual=		484.793	pseudo R <sup>2</sup> =	
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-242.40 (19 g.d.l)	D=	
			24.36	
			P(chi <sup>2</sup> )=	
			0.0819	
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-254.58 (3 g.d.l)	AIC=	
			522.793	

\*Variable continua

Se mantienen las mismas variables significativas que en el modelo anterior pero el  $P(\chi^2)$  del modelo es de 0.082 por lo que el ajuste no alcanza a ser aceptable para este estudio.

El modelo presentado en el Cuadro 56 incluye las variables de condición del tiempo y condición de la calzada. Este modelo si llega a ser significativo con una probabilidad de que el modelo no represente los datos igual a 0.05.

**Cuadro 56.** Modelo de gravedad para ocupantes de motocicletas, tipo de superficie, condición de la calzada y del tiempo.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Condición del tiempo</b>				
<i>Despejado (valor base)</i>				
<i>Oscuro</i>	-0.3424	0.4223	-0.811	0.21
<i>Con lluvia</i>	0.2640	0.7874	0.335	0.37
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	-0.2899	0.7499	-0.387	0.35
<i>Calzada en reparación</i>	0.5192	2.3828	0.218	0.41
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	0.961	0.4375	2.1965	0.01
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Calzada de asfalto (valor base)</i>				
<i>Calzada de concreto</i>	-0.2960	0.4488	-0.659	0.25
<i>Calzada de lastre</i>	0.9694	1.3629	0.711	0.24
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atrapello a persona</i>	-1.4279	0.8011	-1.782	0.04
<i>Caída de algún ocupante</i>	-1.7509	1.2168	-1.439	0.08
<i>Colisión contra bicicleta</i>	-1.2530	1.6077	-0.779	0.22
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	-1.0446	1.4037	-0.744	0.23
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-1.5425	1.1118	-1.387	0.08
<i>Vuelco</i>	-0.9380	1.0354	-0.906	0.18
<i>Otro tipo de choque</i>	-0.7928	0.7102	-1.116	0.13
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.3748	0.3283	1.142	0.13
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.3501	0.3102	-1.129	0.13
<b>Número de carriles*</b>	-0.1632	0.1559	-1.047	0.15
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0351	0.2525	-0.139	0.44
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.2463	0.1967	-1.252	0.11
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0380	0.0151	2.520	0.01
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.3227	0.1592	-2.027	0.02
<b>Constantes</b>				
1 2	-3.4224	1.6642	-2.057	0.02
2 3	0.3425	1.6475	0.208	0.42
3 4	3.1203	1.7806	1.752	0.04
Desviación residual=		478.874	pseudo R <sup>2</sup> = 0.059	
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-239.44 (24 g.d.l)	D= 5.92	
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-254.58 (3 g.d.l)	P(chi <sup>2</sup> )= 0.0483	
			AIC= 526.874	

\*Variable continua

Al incluir la condición del tiempo y de la calzada no se obtienen resultados significativos adicionales para analizar. Esto se lo corrobora la prueba del Logaritmo de verosimilitud que tiene un valor de -242.40 con 19 g.d.l y  $P(\chi^2)=0.45$ .

#### 4.3.3. Modelos de gravedad para peatones

Se tienen 573 observaciones o boletas de reporte de choque para peatones, con estos datos y las variables que permitieron plantear modelos se tienen los resultados mostrados a continuación.

En el Cuadro 57 se presenta un modelo de gravedad para peatones que incluye el tipo de superficie y las variables básicas. De este cuadro se puede ver que los choques ocurridos en carreteras de concreto son menos graves que los que se dieron en carreteras de asfalto.

**Cuadro 57.** Modelo de gravedad para peatones y tipo de superficie.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.73718	0.51481	-1.4319	0.08
<i>Otro tipo de superficie</i>	1.9759	1.65086	1.1969	0.12
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.21601	0.22468	0.9614	0.17
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.4884	0.26474	-1.8448	0.03
<b>Número de carriles*</b>	0.15431	0.10862	1.4207	0.08
<b>Ancho del carril (m)*</b>	0.14766	0.23155	0.6377	0.26
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	0.1418	0.19613	0.723	0.23
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.02755	0.01026	2.684	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.17168	0.09847	-1.7435	0.04
<b>Constantes</b>				
1 2	-2.4905	1.058	-2.354	0.01
2 3	2.1566	1.0525	2.0489	0.02
3 4	4.2962	1.0787	3.983	0.00
Desviación residual=	819.307		pseudo R <sup>2</sup> =	0.037
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-409.65 (12 g.d.l)		D=	31.34
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.0003
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-425.32 (3 g.d.l)		AIC=	843.307

\*Variable continua

También se aprecia que disminuye la gravedad cuando el choque se da en intersecciones de carreteras y que son significativos estadísticamente el límite de velocidad y el Log(TPDA) con coeficientes positivo y negativo, respectivamente.

El modelo del Cuadro 58 incluye la condición de la calzada pero esta variable no llega a ser significativa en ninguna de sus categorías, el resto del modelo es prácticamente igual que el modelo anterior.

**Cuadro 58.** Modelo de gravedad para peatones, tipo de superficie y condición de la calzada.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	0.2295	0.3002	0.765	0.22
<i>Calzada con polvo</i>	-1.3854	1.3962	-0.992	0.16
<i>Calzada con barro</i>	-0.7452	1.4316	-0.521	0.30
<i>Calzada en reparación</i>	-0.7965	1.1904	-0.669	0.25
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	-0.0470	0.2936	-0.160	0.44
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.7538	0.5146	-1.465	0.07
<i>Otro tipo de superficie</i>	1.9925	1.6533	1.205	0.11
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.2226	0.2271	0.980	0.16
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.4961	0.2662	-1.864	0.03
<b>Número de carriles*</b>	0.1670	0.1095	1.525	0.06
<b>Ancho del carril*</b>	0.1192	0.2342	0.509	0.31
<b>Ancho del espaldón*</b>	0.1536	0.1966	0.782	0.22
<b>Velocidad*</b>	0.0277	0.0103	2.689	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1748	0.0996	-1.755	0.04
<b>Constantes</b>				
1 2	-2.5815	1.0784	-2.394	0.01
2 3	2.0855	1.0720	1.945	0.03
3 4	4.2309	1.0976	3.855	0.00
Desviación residual=		816.834	pseudo R <sup>2</sup> =	0.040
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-408.42 (17 g.d.l)	D=	33.81
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.002
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =		-425.32 (3 g.d.l)	A.I.C=	850.8336

\*Variable continua

Aunque el modelo es significativo el hecho de incorporar la condición de la calzada no produce un ajuste mejor para el modelo pues se tiene un valor para el  $\text{Log(verosimilitud)}_{\text{restringido}} = -409.65$  con 12 g.d.l y  $P(\text{chi}^2) = 0.78$ .

La condición del tiempo se agrega al modelo del Cuadro 59 obteniendo como significativas con coeficientes negativos las siguientes variables: tiempo lluvioso, choques en intersecciones y Log(TPDA). Podría interpretarse que en condiciones lluviosas es menos probable encontrar peatones cerca o en las carreteras. Las variables significativas con coeficiente positivo son: calzada húmeda y límite de velocidad.

**Cuadro 59.** Modelo de gravedad para peatones, tipo y condición de la calzada, condición del tiempo.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Condición del tiempo</b>				
<i>Despejado (valor base)</i>				
<i>Oscuro</i>	-0.0240	0.3270	-0.074	0.47
<i>Con lluvia</i>	-0.9934	0.4437	-2.239	0.01
<i>Con neblina</i>	-0.4183	1.0643	-0.393	0.35
<i>Otras condiciones del tiempo</i>	-0.9615	1.1459	-0.839	0.20
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	0.8159	0.4002	2.038	0.02
<i>Calzada con polvo</i>	-1.4125	1.4142	-0.999	0.16
<i>Calzada con barro</i>	-0.3295	1.4556	-0.226	0.41
<i>Calzada en reparación</i>	-0.8376	1.2044	-0.695	0.24
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	-0.0012	0.2945	-0.004	0.50
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.7632	0.5151	-1.482	0.07
<i>Otro tipo de superficie</i>	1.9918	1.6564	1.202	0.11
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.2374	0.2280	1.042	0.15
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.4699	0.2677	-1.755	0.04
<b>Número de carriles*</b>				
	0.1616	0.1102	1.466	0.07
<b>Ancho del carril*</b>	0.1561	0.2352	0.663	0.25
<b>Ancho del espaldón*</b>	0.1405	0.1981	0.709	0.24
<b>Velocidad*</b>	0.0274	0.0103	2.655	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1725	0.1007	-1.713	0.04
<b>Constantes</b>				
1 2	-2.5287	1.0859	-2.329	0.01
2 3	2.1864	1.0809	2.023	0.02
3 4	4.3448	1.1068	3.926	0.00
Desviación residual= 811.099		pseudo R <sup>2</sup> =		0.046
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> = -405.55 (21 g.d.l)		D=		39.53
		P(chi <sup>2</sup> )=		0.00242
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> = -425.32 (3 g.d.l)		A.I.C=		853.0994

\*Variable continua

En el modelo del Cuadro 60 se incluye el porcentaje de visibilidad de la carretera, el alineamiento horizontal, el tipo de terreno y el estado de la estructura de pavimento.

**Cuadro 60.** Modelo de gravedad para peatones, con todas las variables disponibles.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Porcentaje de visibilidad de la carretera (&lt;50% valor base)</b>				
<i>Entre 50% y 69%</i>	0.0705	0.5831	0.121	0.45
<i>Entre 70% y 89%</i>	0.3632	0.6727	0.540	0.29
<i>Entre 80% y 89%</i>	0.2425	0.7181	0.338	0.37
<i>Entre 90% y 100%</i>	0.9712	0.8321	1.167	0.12
<b>Alineamiento horizontal (Curvas suaves valor base)</b>				
<i>Curvas frecuentes</i>	0.0141	1.2508	0.011	0.50
<i>Curvas cerradas</i>	0.2956	0.5799	0.510	0.31
<i>Algunas curvas</i>	0.4908	0.3936	1.247	0.11
<b>Tipo de terreno (Llano valor base)</b>				
<i>Algo ondulado</i>	-0.3356	0.2523	-0.636	0.26
<i>Muy ondulado</i>	0.2329	0.6913	-3.004	0.00
<i>Montañoso</i>	-0.2628	0.4132	-1.062	0.14
<b>Estado de la estructura de pavimento (Sin fallas visibles valor base)</b>				
<i>Deformaciones en partes del tramo</i>	-1.6202	0.5393	-3.004	0.00
<i>Deformaciones aisladas en el tramo</i>	-0.2409	0.2269	-1.062	0.14
<i>Estructura fallada</i>	-0.8090	1.5958	-0.507	0.31
<b>Señalización de la carretera (Adecuada valor base)</b>				
<i>Poca señalización</i>	0.4073	0.7119	0.5721	0.28
<i>Regular señalización</i>	0.4962	0.3491	1.4214	0.08
<i>Falta alguna señalización</i>	0.1011	0.2817	0.3589	0.36
<b>Condición del tiempo</b>				
<i>Despejado (valor base)</i>				
<i>Oscuro</i>	-0.0551	0.3331	-0.1654	0.43
<i>Con lluvia</i>	-0.9450	0.4577	-2.0648	0.02
<i>Con neblina</i>	-0.2580	1.1331	-0.2277	0.41
<i>Otras condiciones del tiempo</i>	-0.3533	1.1691	-0.3022	0.38
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	0.8323	0.4057	2.0516	0.02
<i>Calzada con polvo</i>	-1.4584	1.4825	-0.9838	0.16
<i>Calzada con barro</i>	-0.7187	1.5380	-0.4673	0.32
<i>Calzada en reparación</i>	-0.9899	1.2871	-0.7691	0.22
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	-0.0963	0.2994	-0.3215	0.37
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.8961	0.5478	-1.6360	0.05
<i>Otro tipo de superficie</i>	1.9711	1.7125	1.1510	0.12
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.1977	0.2314	0.8543	0.20
<b>Ubicación del choque</b>				
<i>Choques en tramos de carretera (valor base)</i>				
<i>Choques en intersecciones de carreteras</i>	-0.5061	0.2929	-1.7278	0.04
<b>Número de carriles*</b>	0.1237	0.1531	0.8076	0.21
<b>Ancho del carril*</b>	-0.0329	0.2715	-0.1210	0.45
<b>Ancho del espaldón*</b>	0.0300	0.2165	0.1384	0.44
<b>Velocidad*</b>	0.0211	0.0116	1.8197	0.03
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.2202	0.1084	-2.0314	0.02
<b>Constantes</b>				
1 2	-3.7948	1.6415	-2.3118	0.01
2 3	1.1160	1.6303	0.6845	0.25
3 4	3.2998	1.6442	2.0070	0.02
Desviación residual=		790.925	pseudo R <sup>2</sup> =	
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =		-395.46 (37 g.d.l)	D=	
			P(chi <sup>2</sup> )=	
			0.070	
			59.71	
			0.005	

---

 Log(verosimilitud)<sub>constante</sub>= -425.32 (3 g.d.l)

A.I.C= 864.925

\*Variable continua

De estas variables solo sin significativas las estructuras de pavimento que tiene deformaciones en algunas partes del tramo con un coeficiente de -1.44, al tener pocas deformaciones en la calzada es probable que se transite a menor velocidad y ese efecto podría reflejar este resultado, pero sin duda alguna es preferible tener una calzada sin ningún tipo de fallas, el inventario de carreteras parece tener datos no acertados en esta variable.

En este modelo se mantienen las mismas condiciones para las variables del modelo anterior. El modelo del Cuadro 60 es altamente significativo con un valor de  $P(ch^2)=0.005$ . Por otro lado se tiene que el valor del Logaritmo de verosimilitud del modelo restringido es de -405.55 con 27 g.d.l y  $P(ch^2)=0.21$ , lo que demuestra lo poco significativo que es el aporte de las nuevas variables para este modelo.

#### **4.4. Modelos de gravedad por ubicación en carretera de los choques**

Dado que las condiciones en intersecciones (movimientos y giros en varias direcciones, velocidades distintas, semáforos, rotondas, altos, cedas, entre otros) y en tramos de carretera son diferentes, se plantearon modelos que para poder diferenciar los efectos de las variables de la base de datos en estas dos ubicaciones en las rutas nacionales.

##### *4.4.1. Modelos de gravedad para choques en intersecciones de carreteras*

En total se cuentan con 10 194 observaciones choques ocurridos en intersecciones de carreteras que permitieron plantear los siguientes modelos de gravedad.

El Cuadro 61 incluye el tipo de superficie sin embargo esta no es significativa en el modelo, en lo que respecta al tipo de choque no son significativas la colisión contra objetos fijos y la caída de objetos sobre el vehículo. Todos los demás tipos de choques tienen un coeficiente positivo siendo el atropello a animales, el atropello a

personas y el vuelco los tipos de choques que tienen coeficientes mayores. Del resto de variables únicamente el ancho del espaldón y del carril no son significativos al 95% de confianza.

**Cuadro 61.** Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con tipo de superficie, tipo de choque y género.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
Concreto	-0.0888	0.1792	-0.496	0.31
Lastre	-0.5291	1.0321	-0.513	0.30
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
Atropello a persona	2.4404	0.1354	18.026	0.00
Atropello a animal	6.0673	1.6736	3.625	0.00
Caída de algún ocupante	1.7273	0.6137	2.815	0.00
Colisión contra bicicleta	2.0924	0.2739	7.640	0.00
Colisión contra objeto fijo	0.4378	0.3572	1.226	0.11
Caída de algún objeto sobre el vehículo	-0.5882	1.0222	-0.575	0.28
Vuelco	2.8283	0.3718	7.607	0.00
Salida de la vía	2.1555	0.3498	6.162	0.00
Otro tipo de choque	1.8398	0.2369	7.768	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
Femenino	0.39136	0.0942	4.155	0.00
Número de carriles*	-0.1157	0.0596	-1.942	0.03
Ancho del carril (m)*	-0.1653	0.1240	-1.333	0.09
Ancho del espaldón (m)*	-0.0495	0.0954	-0.519	0.30
Límite de velocidad (km/h)*	0.0081	0.0048	1.699	0.04
Log(TPDA)*	-0.2144	0.0631	-3.400	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	-0.0676	0.5799	-0.117	0.45
2 3	2.7684	0.5911	4.683	0.00
3 4	5.0769	0.6933	7.322	0.00
Desviación residual=	6045.119		pseudo R <sup>2</sup> =	0.083
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-3022.56 (20 g.d.l)		D=	544.39
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-3294.75 (3 g.d.l)		AIC=	6085.119

\*Variable continua

El modelo del Cuadro 62 contiene el tipo y condición de la calzada y la condición del tiempo, de estas tres variables llegan a ser significativas la calzada con polvo y otras condiciones del tiempo, pero al incluirlas se pierde la significancia del ancho del carril y el ancho del espaldón. La prueba del  $\text{Log(verosimilitud)}_{\text{restringido}} = -3022.56$  con 20 g.d.l y  $P(\text{chi}^2) = 0.226$  demuestra que las variables nuevas no aportan un buen ajuste al modelo.

**Cuadro 62.** Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con tipo de superficie, condición de la calzada y condición del tiempo.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.1054	0.1797	-0.587	0.28
<i>Lastre</i>	-0.9050	1.0637	-0.851	0.20
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	-0.2644	0.1689	-1.566	0.06
<i>Calzada con polvo</i>	0.9561	0.4705	2.032	0.02
<i>Calzada con barro</i>	0.6572	0.4976	1.321	0.09
<i>Calzada en reparación</i>	0.5190	0.4499	1.153	0.12
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	-0.0177	0.0991	-0.178	0.43
<b>Condición del tiempo</b>				
<i>Despejado (valor base)</i>				
<i>Oscuro</i>	0.1738	0.1488	1.168	0.12
<i>Con lluvia</i>	0.2182	0.1603	1.362	0.09
<i>Con neblina</i>	-0.7070	0.9574	-0.738	0.23
<i>Otras condiciones del tiempo</i>	2.4513	0.1358	18.045	0.00
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	2.4513	2.4513	18.045	0.00
<i>Atropello a animal</i>	6.0852	6.0852	3.635	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	1.7482	1.7482	2.847	0.00
<i>Colisión contra bicicleta</i>	2.1151	2.1151	7.713	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.4599	0.4599	1.287	0.10
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.5531	-0.5531	-0.541	0.29
<i>Vuelco</i>	2.7481	2.7481	7.325	0.00
<i>Salida de la vía</i>	2.1723	2.1723	6.191	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.8367	1.8367	7.733	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.3906	0.0943	4.142	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1113	0.0598	-1.861	0.03
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.1528	0.1245	-1.227	0.11
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0535	0.0954	-0.561	0.29
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0077	0.0048	1.623	0.05
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.2167	0.0635	-3.412	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	-0.0380	0.5853	-0.065	0.47
2 3	2.8017	0.5962	4.699	0.00
3 4	5.1102	0.6977	7.324	0.00
Desviación residual=	6034.526		pseudo R <sup>2</sup> =	0.084
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-3017.26 (28 g.d.l)		D=	554.98
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-3294.75 (3 g.d.l)		AIC=	6090.526

\*Variable continua

En el Cuadro 63 se muestra el modelo de gravedad que incluye tanto el tipo de choque como el rol de la persona implicada, en este caso resultan significativas todas las variables excepto la caída de algún ocupante o de algún objeto sobre el vehículo,

el ancho del espaldón y el Log(TPDA). Siendo de nuevo el atropello a animales el tipo de choque con coeficiente mayor igual a 7.45.

**Cuadro 63.** Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con tipo de choque y rol del implicado.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.5836	0.2751	2.122	0.02
<i>Atropello a animal</i>	7.4476	1.6871	4.414	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	-0.0412	0.8651	-0.048	0.48
<i>Colisión contra bicicleta</i>	2.1713	0.2876	7.550	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6564	0.3718	1.765	0.04
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.2899	1.0215	-0.284	0.39
<i>Vuelco</i>	2.4784	0.3992	6.208	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.8185	0.3790	4.799	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.6863	0.2622	6.431	0.00
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Motociclista</i>	2.8884	0.4204	11.348	0.00
<i>Peatón</i>	4.3653	0.1622	26.212	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.7712	0.1227	-2.538	0.01
<i>Pasajero de automóvil</i>	4.2516	0.0671	-2.790	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3116	0.1227	-2.538	0.01
<b>Número de carriles*</b>	-0.1873	0.0671	-2.790	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.2214	0.1398	-1.583	0.06
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0115	0.1051	-0.110	0.46
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0055	0.0054	1.023	0.15
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.0568	0.0725	-0.783	0.22
<b>Constantes</b>				
1 2	1.2170	0.6675	1.823	0.03
2 3	4.9645	0.6827	7.272	0.00
3 4	7.3183	0.7734	9.463	0.00
Desviación residual=	4923.182		pseudo R <sup>2</sup> =	0.253
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-2461.59 (22 g.d.l)		D=	1122.49
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-3294.75 (3 g.d.l)		AIC=	4967.182

\*Variable continua

Los peatones, pasajeros de motocicleta, de automóvil y motociclistas son los respectivamente los roles que tienen mayor gravedad de heridas. Las mujeres en este caso pasan a verse menos afectadas que los hombres, de igual manera esto se puede atribuir a que el rol de los implicados tiene tanto peso en el modelo que hace cambiar el signo y el valor del coeficiente para mujeres. Este modelo es altamente significativo y la inclusión del rol del usuario tiene un peso importante pues el  $P(chi^2)$  tiene un valor de 0.00 en la prueba de Logaritmo de verosimilitud.

En el modelo del Cuadro 64 se agregaron las variables tipo de terreno, alineamiento horizontal, porcentaje de visibilidad y señalización de la carretera.

**Cuadro 64.** Modelo de gravedad de choques en intersecciones, con características del choque y de la carretera.

Variables	Coficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.6422	0.2757	2.329	0.01
<i>Atropello a animal</i>	7.3760	1.6959	4.349	0.00
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.0762	0.8712	0.088	0.47
<i>Colisión contra bicicleta</i>	2.2115	0.2907	7.606	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.7000	0.3741	1.871	0.03
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.3536	1.0227	-0.346	0.36
<i>Vuelco</i>	2.5480	0.4029	6.324	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.8405	0.3825	4.811	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	1.7598	0.2656	6.627	0.00
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Motociclista</i>	2.8441	0.3548	8.015	0.00
<i>Peatón</i>	4.3520	0.3330	13.068	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	4.8256	0.4183	11.536	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	4.2811	0.1634	26.203	0.00
<b>Tipo de terreno</b>				
<i>Llano (valor base)</i>				
<i>Algo ondulado</i>	-0.0448	0.1066	-0.420	0.34
<i>Muy ondulado</i>	0.1029	0.4870	0.211	0.42
<i>Montañoso</i>	-0.1504	0.1840	-0.817	0.21
<b>Alineamiento horizontal</b>				
<i>Curvas suaves (valor base)</i>				
<i>Curvas frecuentes</i>	-0.8255	0.7469	-1.105	0.13
<i>Curvas cerradas</i>	0.2093	0.2280	0.918	0.18
<i>Algunas curvas</i>	0.3298	0.1208	2.731	0.00
<b>Porcentaje de visibilidad de la carretera</b>				
<i>&lt;50% (valor base)</i>				
<i>Entre 50% y 69%</i>	-0.9541	0.3947	-2.417	0.01
<i>Entre 70% y 89%</i>	-0.7590	0.4334	-1.751	0.04
<i>Entre 80% y 89%</i>	-0.9436	0.4535	-2.081	0.02
<i>Entre 90% y 100%</i>	-0.8117	0.4858	-1.671	0.05
<b>Señalización de la carretera</b>				
<i>Adecuada (valor base)</i>				
<i>Sin señalización</i>	-0.9238	0.9465	-0.976	0.16
<i>Poca señalización</i>	0.0558	0.5169	0.108	0.46
<i>Regular señalización</i>	-0.3350	0.1771	-1.891	0.03
<i>Falta alguna señalización</i>	-0.2167	0.1206	-1.797	0.04
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3002	0.1227	-2.446	0.01
<b>Número de carriles*</b>	-0.2155	0.0823	-2.618	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.2646	0.1646	-1.607	0.05
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	0.0532	0.1195	0.445	0.33
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0045	0.0070	0.643	0.26
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.0481	0.0817	-0.589	0.28
<b>Constantes</b>				
1 2	0.1760	1.0186	0.173	0.43
2 3	3.9402	1.0283	3.832	0.00
3 4	6.3009	1.0902	5.779	0.00
Desviación residual=	4893.033		pseudo R <sup>2</sup> =	0.257
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-2446.52 (36 g.d.l)		D=	1696.46
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-3294.75 (3 g.d.l)		AIC=	4965.033

\*Variable continua

De las nuevas variables son significativas las carreteras con algunas curvas que producen que la gravedad aumente, entre más alto sea el porcentaje de visibilidad menor es la gravedad de los choques y finalmente el resultado más extraño dice que mientras se tenga regular señalización o que falte alguna señalización se disminuye la gravedad.

En este modelo no son variables significativas el ancho de espaldón, el límite de velocidad ni el Log(TPDA). Se tiene un valor de pseudo  $R^2$  de 0.26 un  $P(ch^2)$  para el modelo de 0.00 que indica alto grado de significancia y según la prueba del  $\text{Log(verosimilitud)}_{\text{restringido}} = -3017.26$  con 28 g.d.l con  $P(ch^2) = 0.00$  lo que demuestra que la inclusión de las nuevas variables produce un mejor ajuste en el modelo.

#### 4.4.2. Modelos de gravedad para choques en tramos de carretera

Con un total de 27 494 boletas de levantamiento de choques localizados en tramos de carretera se plantearon los modelos presentados a continuación.

El Cuadro 65 tiene como variables el tipo y condición de la calzada y la condición del tiempo. Las variables significativas con coeficiente negativo son las calzadas de concreto y otro tipo de condición de la calzada. Mientras que las condiciones del tiempo oscuro y otras condiciones del tiempo aumentan la gravedad de los choques. Se mantienen las condiciones usuales con las demás variables (resultados similares a los del Cuadro 24). El modelo es altamente significativo.

**Cuadro 65.** Modelo de gravedad de choques en tramos de carretera, con características de la calzada y condición del tiempo.

Variablen	Coeficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de superficie</b>				
<i>Asfalto (valor base)</i>				
<i>Concreto</i>	-0.1969	0.0846	-2.328	0.01
<i>Lastre</i>	-0.0742	0.1716	-0.432	0.33
<b>Condición de la calzada</b>				
<i>Calzada seca (valor base)</i>				
<i>Calzada húmeda</i>	0.0502	0.0786	0.638	0.26
<i>Calzada con polvo</i>	0.1537	0.2304	0.667	0.25
<i>Calzada con barro</i>	-0.4344	0.3224	-1.347	0.09
<i>Calzada en reparación</i>	-0.3795	0.2658	-1.428	0.08
<i>Otro tipo de condición de la calzada</i>	-0.2048	0.0504	-4.062	0.00
<b>Condición del tiempo</b>				
<i>Despejado (valor base)</i>				
<i>Oscuro</i>	0.1827	0.0673	2.715	0.00
<i>Con lluvia</i>	-0.1206	0.0813	-1.484	0.07
<i>Con neblina</i>	-0.0903	0.2561	-0.353	0.36
<i>Otras condiciones del tiempo</i>	0.3535	0.0496	7.127	0.00
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	0.35354	0.0496	7.127	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.15601	0.0194	-8.029	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.12714	0.0377	-3.371	0.00
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.11241	0.0319	-3.520	0.00
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0166	0.0016	10.449	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.19603	0.0168	-11.681	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	1.1009	0.2168	5.079	0.00
2 3	4.1111	0.2237	18.374	0.00
3 4	6.5369	0.2635	24.807	0.00
Desviación residual=	24001.02		pseudo R <sup>2</sup> =	0.021
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-12000.51 (19 g.d.l)		D=	511.18
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-12256.10 (3 g.d.l)		AIC=	24039.02

\*Variable continua

El modelo del Cuadro 66 es altamente significativo, el análisis de estos es prácticamente el mismo que se hizo de los resultados del Cuadro 27 (ver página 41).

**Cuadro 66.** Modelo de gravedad de choques en tramos de carretera, con características del choque y rol de la persona implicada.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7699	0.1196	6.440	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.8653	0.3608	2.398	0.01
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.6238	0.2820	2.212	0.01
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4509	0.1401	10.356	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6101	0.1358	4.493	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0665	0.3288	-0.202	0.42
<i>Vuelco</i>	1.6990	0.1574	10.791	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2066	0.1285	9.389	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	0.7911	0.1395	5.669	0.00
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	2.6652	0.2734	9.747	0.00
<i>Motociclista</i>	3.1004	0.1821	17.029	0.00
<i>Peatón</i>	3.7871	0.1456	26.004	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	3.9342	0.1849	21.273	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.5811	0.0772	46.382	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.8937	1.8348	2.122	0.02
<i>Otro</i>	1.4253	0.5913	2.410	0.01
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3146	0.0637	-4.936	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1054	0.0222	-4.749	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0801	0.0429	-1.867	0.03
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0786	0.0359	-2.190	0.01
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0087	0.0018	4.726	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1184	0.0197	-6.007	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	1.1009	0.2168	5.079	0.00
2 3	4.1111	0.2237	18.374	0.00
3 4	6.5369	0.2635	24.807	0.00
Desviación residual=	18900.86		pseudo R <sup>2</sup> =	0.229
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-9450.43 (25 g.d.l)		D=	5611.34
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-12256.10 (3 g.d.l)		AIC=	18950.86

\*Variable continua

En el modelo presentado en el Cuadro 67 se agregaron las siguientes variables: tipo de terreno, alineamiento horizontal, porcentaje de visibilidad y señalización de la carretera. De las cuales son significativas y de coeficiente negativo el terreno montañoso, las carreteras sin señalización y en las que falta alguna señalización, se podría justificar que en las carreteras montañosas las velocidades suelen ser bajas por lo que se entiende el resultado. Igual que sucedió en otros modelos al introducir el rol de la persona implicada se cambia el signo del coeficiente del género femenino.

**Cuadro 67.** Modelo de gravedad de choques en tramos de carretera,  
con características del choque y de la carretera.

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-Student	P(> t )
<b>Tipo de choque</b>				
<i>Colisión contra vehículo (valor base)</i>				
<i>Atropello a persona</i>	0.7677	0.1196	6.416	0.00
<i>Atropello a animal</i>	0.8540	0.3626	2.356	0.01
<i>Caída de algún ocupante</i>	0.6186	0.2829	2.187	0.01
<i>Colisión contra bicicleta</i>	1.4548	0.1403	10.371	0.00
<i>Colisión contra objeto fijo</i>	0.6133	0.1360	4.508	0.00
<i>Caída de algún objeto sobre el vehículo</i>	-0.0635	0.3292	-0.193	0.42
<i>Vuelco</i>	1.7034	0.1583	10.760	0.00
<i>Salida de la vía</i>	1.2089	0.1290	9.369	0.00
<i>Otro tipo de choque</i>	0.7805	0.1402	5.566	0.00
<b>Rol de la persona implicada</b>				
<i>Conductor de automóvil (valor base)</i>				
<i>Ciclista</i>	2.6585	0.2736	9.717	0.00
<i>Motociclista</i>	3.1281	0.1827	17.126	0.00
<i>Peatón</i>	3.7900	0.1457	26.018	0.00
<i>Pasajero de motocicleta</i>	3.9385	0.1850	21.291	0.00
<i>Pasajero de automóvil</i>	3.5882	0.0774	46.368	0.00
<i>Pasajero de bicicleta</i>	3.9177	1.8365	2.133	0.02
<i>Otro</i>	1.4491	0.5930	2.444	0.01
<b>Tipo de terreno</b>				
<i>Llano (valor base)</i>				
<i>Algo ondulado</i>	-0.0148	0.0524	-0.282	0.39
<i>Muy ondulado</i>	0.0104	0.1181	0.088	0.46
<i>Montañoso</i>	-0.1581	0.0759	-2.082	0.02
<b>Alineamiento horizontal</b>				
<i>Curvas suaves (valor base)</i>				
<i>Curvas frecuentes</i>	0.2110	0.2636	0.800	0.21
<i>Curvas cerradas</i>	-0.0439	0.1048	-0.418	0.44
<i>Algunas curvas</i>	0.0871	0.0697	1.249	0.11
<b>Porcentaje de visibilidad de la carretera</b>				
<i>&lt;50% (valor base)</i>				
<i>Entre 50% y 69%</i>	-0.0285	0.1046	-0.272	0.39
<i>Entre 70% y 89%</i>	-0.1349	0.1227	-1.099	0.14
<i>Entre 80% y 89%</i>	-0.2092	0.1356	-1.543	0.06
<i>Entre 90% y 100%</i>	-0.0311	0.1504	-0.206	0.42
<b>Señalización de la carretera</b>				
<i>Adecuada (valor base)</i>				
<i>Sin señalización</i>	-0.4593	0.2540	-1.808	0.04
<i>Poca señalización</i>	0.0718	0.1311	0.547	0.29
<i>Regular señalización</i>	-0.0520	0.0624	-0.834	0.20
<i>Falta alguna señalización</i>	-0.0881	0.0537	-1.640	0.05
<b>Género</b>				
<i>Masculino (valor base)</i>				
<i>Femenino</i>	-0.3145	0.0639	-4.925	0.00
<b>Número de carriles*</b>	-0.1154	0.0273	-4.224	0.00
<b>Ancho del carril (m)*</b>	-0.0907	0.0478	-1.899	0.03
<b>Ancho del espaldón (m)*</b>	-0.0801	0.0388	-2.064	0.02
<b>Límite de velocidad (km/h)*</b>	0.0085	0.0021	3.938	0.00
<b>Log(TPDA)*</b>	-0.1265	0.0225	-5.616	0.00
<b>Constantes</b>				
1 2	0.8173	0.3170	2.579	0.00
2 3	3.8314	0.3216	11.915	0.00
3 4	6.2593	0.3502	17.873	0.00
Desviación residual=	18900.86		pseudo R <sup>2</sup> =	0.230
Log(verosimilitud) <sub>modelo</sub> =	-9440.05 (39 g.d.l)		D=	5632.1
			P(chi <sup>2</sup> )=	0.000
Log(verosimilitud) <sub>constante</sub> =	-12256.10 (3 g.d.l)		AIC=	18950.86

\*Variable continua

Para el modelo anterior el resultado de la prueba  $\text{Log(verosimilitud)}_{\text{restringido}} = -9450.43$  con 25 g.d.l y  $\chi^2 = 0.108$  lo que indica que la inclusión de estas nuevas variables no es significativa para el modelo.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

Se logró interrelacionar las distintas fuentes de información con las que se contaba y se pudo conformar una base de datos adecuada para plantear modelos logit ordenados de gravedad de choques viales.

En el Capítulo 3 se presenta un análisis exploratorio de la base de datos general y en el Apéndice A se incluye una gran cantidad de información que permite entender los datos con los que se plantearon los modelos específicos.

Todos los modelos presentados en el Capítulo 4 se caracterizan por ser altamente significativos, en todos los cuadros de resumen de resultados se aprecia que los valores de  $\chi^2$  son cercanos a cero, lo que confirma esta afirmación. Al hacer comparaciones entre modelos (prueba *Log(likelihood)*) se nota que algunos tienen mejor ajuste que otros o que la inclusión de nuevas variables no siempre proporciona más significancia para los modelos.

Hablando específicamente de los resultados analizados, se tiene que aunque se desconozcan las razones verdaderas de porqué las mujeres resultan más gravemente heridas que los hombres en los choques viales, hay evidencia estadística que confirma este hecho. Estudios que relacionen variables fisiológicas podrían arrojar resultados más detallados. Además sería recomendable investigar si en realidad hay un porcentaje tan bajo de mujeres afectadas por choques viales en Costa Rica o si se trata de un sesgo de la base de datos utilizada.

Los choques ocurridos en tramos de carretera son más graves que los ocurridos en intersecciones, comúnmente en los tramos es donde se alcanza velocidades mayores y se hacen maniobras, como el adelantamiento, en las que algunas veces se debe invadir el carril del sentido contrario. De ahí la importancia de tramos de carreteras bien diseñados y demarcados, también se deben construir las intersecciones adecuadas para cada cruce de carreteras.

En general es importante que después de un proceso de diseño cuidadoso se dé una construcción responsable y que cumpla con los requerimientos de las obras que se

ejecutan; también se debe prestar atención especial en la programación de semáforos y diseño de señales de Alto y Ceda. Además se debe medir la efectividad de los diseños propuestos (colas, tiempos de espera, entre otros)

El espaldón ha sido un elemento disminuido o inexistente en gran parte de las carreteras costarricense (65% de los choques ocurrieron en carreteras sin espaldón, ver Cuadro 17) y se demostró que un mayor ancho del mismo tiene un efecto importante en la reducción de la gravedad de los choques viales.

El tipo de choque en el que se vea una persona involucrada es un factor importante y determinante sobre la gravedad de las heridas que esta persona tendrá, como se ve en el Cuadro 26 si se sufre un atropello (a peatón o bicicleta) o si se da un vuelco del vehículo se tienen probabilidades mayores de resultar más gravemente herido que si se colisiona contra otro vehículo o el automotor se sale de la vía.

El rol de la persona implicada tiene una significancia muy superior a las otras variables con valores de t que varían entre 3.75 y 48.9 y genera que las demás variables cambien su nivel de significancia en los modelos. Los resultados demuestran que el rol de la persona implicada es la variable más significativa, todos los modelos en los que se incluyó el rol del usuario resultaron altamente significativos respecto a otros que no incluían dicha variable.

En el modelo del Cuadro 29 (el que tiene el menor AIC de los modelos generales y por lo tanto el mejor ajuste) se tiene que el rol más riesgoso es el de pasajero de motocicleta, seguido por el de peatón, pasajero de automóvil, pasajero de bicicleta, motociclista, ciclista y otros.

En la mayoría de los modelos el límite de velocidad resultó tener un coeficiente positivo y altamente significativo por lo que deben diseñar carreteras con límites de velocidad adecuados y además de utilizar mecanismos que eviten el exceso de velocidad que es responsable de una mayor gravedad de heridas en los choques viales.

Los efectos marginales mostrados en la sección 4.1.1 permiten analizar y entender de mejor manera los resultados arrojados por el Modelo Final (Cuadro 29), con estos efectos cuantificados se nota que la velocidad (con el límite de velocidad como indicador) es un factor muy importante e influyente en la gravedad de choques viales, al igual que el TPDA.

Otro resultado importante es el que muestra que los motociclistas, sus pasajeros, los peatones y los pasajeros de automóviles tienen probabilidades altas de sufrir heridas más graves que otros implicados en choques viales (ver Cuadro 34). En campos como los seguros, regulaciones vehiculares, medidas de seguridad y otros, se debe prestar atención especial a las personas que cumplen estos roles ya que tienen probabilidades que doblan o triplican las probabilidades de sufrir heridas graves o la muerte (respecto a un conductor de automóvil).

El efecto mostrado en la Figura 23 es claro y si se considera que a mayor límite de velocidades mayores serán las heridas en un choque sin duda alguna la velocidad al conducir se debe respetar y controlar adecuadamente.

El modelo del Cuadro 67 muestra que las carreteras sin señalización reducen la gravedad de los choques, estos resultados son poco entendibles y se tiende a pensar que se tiene un error en la base de datos para esta variable. Lo mismo sucede en modelos en los que no se encuentra que el estado de las estructura de pavimentos sea una variable significativa.

La base de datos del Inventario Nacional de carreteras incluye variables con definiciones poco claras, por ejemplo se incluyen categorías en el alineamiento horizontal, como Algunas curvas y Pocas curvas, no es clara la diferencia entre ambas categorías lo que puede introducir errores en los modelos. Es necesario revisar como se elabora este inventario y someterlo a evaluación para saber si cumple con su objetivo o es una fuente de información no tan precisa como se requiere.

En términos generales el uso del suelo no demostró una variable muy significativa en los modelos planteados. Pues solo en los modelos del Cuadro 46 y Cuadro 48 se tienen categorías de uso de suelo con resultados significativos. Hay que recordar que este estudio tiene como tema central la gravedad de choques viales y con los resultados obtenidos no se puede afirmar que el uso del suelo sea significativo en el aumento o disminución de la gravedad de los choques viales. Dado que no se conocen otros estudios en Costa Rica que hayan estudiado estos efectos no es posible hacer comparaciones y bajo las condiciones planteadas y con la metodología utilizada no se tiene evidencia de que el uso del suelo sea un factor significativo en la gravedad de los choques viales.

En este tipo de estudio es importante tener registros de la mayor cantidad de años para reducir sesgos por lo que si se siguen alimentando de manera constante las bases de datos, se pueden hacer más estudios que modelen situaciones relacionadas con los choques viales, por lo que en el futuro podrían repetirse estudios como este.

Es claro que en los choques viales se da una gran combinación de factores que afectan en mayor o menor medida la gravedad de los choques y las interacciones entre estas variables generan que en los modelos ciertas variables dejen de ser significativas y otras tomen mayor importancia.

La inclusión de más variables no necesariamente implica un mejor ajuste de los modelos estadísticos, esto se dio en algunos casos en lo que se tenían más variables, pero estas no son significativas dentro del modelo. Al tener variables con definiciones poco claras es probable que se haya introducido mayor error y aleatoriedad a los modelos.

Se consideran satisfactorios los resultados obtenidos por la gran cantidad de casos que se pudieron analizar y por los efectos que se observaron en el estudio. Al no haberse realizado estudios similares en el país esta investigación puede servir como base en este campo y abre otras posibilidades de estudios futuros.

## Fuentes de información utilizadas

La base de datos formulada a partir de la combinación de las del COSEVI, MOPT y PRUGAM se incluye en copia digital adjunta a este documento.

A continuación se presenta la lista de bibliografía consultada para la elaboración de este Trabajo Final de Graduación:

- Agüero, J. (2005). *Spatial Models of County-Level Roadway Crashes*. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Pennsylvania State University.
- Armstrong, D. (2012). *Introduction to R: Effects Package*. Wisconsin-Milwaukee, tomado de: [http://www.quantoid.net/IntroR/Handout6\\_2012.pdf](http://www.quantoid.net/IntroR/Handout6_2012.pdf).
- Bliemer, M. C., & Rose, J. M. (2009). Construction of experimental designs for mixed logit models allowing for correlation across choice observations. *Transportation Research Part B: Methodological, Volumen 44, Tiraje 6, Pages 720-734*.
- Chao Wang, M. A. (2011). Predicting accident frequency at their severity levels and its application in site ranking using a two-stage mixed multivariate model. *Accident Analysis & Prevention, Volumen 43, Edición 6, 1979-1990*.
- Duncan, C., Khattak, A., & Council, F. (2001). Applying the ordered probit model to injury severity in truck-passenger car rear-end collisions. *Transport. Res. Rec 1635, 63-71*.
- Evans, L. (2004). *Traffic Safety*. Michigan: Science Serving Society.
- Helai, H., Hoong Chor, C., & Md. Mazharul, H. (2008). Severity of driver injury and vehicle damage in traffic crashes at intersections: A Bayesian hierarchical analysis. *Accident Analysis and Prevention, Volumen 40, Tiraje 1, 45-54*.
- Hensher, D. A., & William, G. H. (2002). The Mixed Logit Model: The State of Practice. *WORKING PAPER ITS-WP-02-01*, tomado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.50.4693&rep=rep1&type=pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC). (2010 y 2011). *Cuadro C1. Total de defunciones generales por grupos de edades, según causa de muerte y sexo*. Consultado en Octubre 2012, desde: <http://www.inec.go.cr>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC). (2010 y 2011). *Cuadro C4. Total de defunciones por grupos especiales de edades, según grupos de causa de muerte y sexo*. Consultado en Octubre 2012, desde: <http://www.inec.go.cr>

- Kim, J.-K., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2010). A note on modeling pedestrian-injury severity in motor-vehicle crashes with the mixed logit model. *Accident Analysis and Prevention, Volumen 42, Tiraje 6*, 1751-1758.
- Kockelman, K., & Kweon, Y.-J. (2002). Driver injury severity: an application of ordered probit models. *Accident Anal. Prevent. 34 (4)*, 313-321.
- Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2008). Highway accident severities and the mixed logit model: An exploratory empirical analysis. *Accident Analysis and Prevention, Volumen 40, Tiraje 1*, 260–266.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2010). Crash Factors in Intersection-Related Crashes: An On-Scene Perspective. *Report No. DOT HS 811 366*, disponible en: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811366.pdf>.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). (2012). *Fatality Analysis Reporting System (FARS) Encyclopedia*. Retrieved 2012, from <http://www-fars.nhtsa.dot.gov>
- Obeng, K. (2011, julio). Gender differences in injury severity risks in crashes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention, Volumen 43, Tiraje 4*, 1521-1531.
- O'Donnell, C., & Connor, D. (1996). Predicting the severity of motor vehicle accident injuries using models of ordered multiple choice. *Accident Anal. Prevent 28 (6)*, 739–753.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011–2020*. Ginebra.
- Orozco, E. (2007). *Zonificación climática de Costa Rica para la gestión de infraestructura vial*.
- Renski, H., Khattak, A., & Council, F. (1999). Impact of speed limit increases on crash injury severity: analysis of single-vehicle crashes on North Carolina interstate highways. *Transport. Res. Rec. 1665*, 100-108.
- Shankar, V., Jovanis, P., & Agüero, J. V. (2008). Analysis of Naturalistic Driving Data: A Prospective View on Methodological Paradigms.
- Shinar, D. (2007). *Traffic Safety and Human Behavior*. Reino Unido: Emerald Group.
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. L. (2011). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
- Yamamoto, T., Shankar, V. N., & Hashiji, J. (2008). Underreporting in traffic accident data, bias in parameters and the structure of injury severity models. *Accident Analysis and Prevention, Volumen 40, Tiraje 4*, 1320-1329.

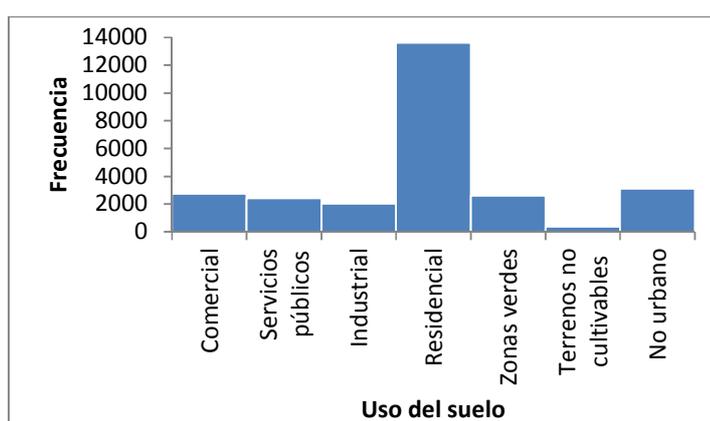
## Apéndice A. Estadísticas descriptivas de modelos específicos

Finalmente se tendrá el Capítulo 4 que probablemente es la parte más importante del estudio en esta sección se realizarán los análisis de los resultados que muestren los modelos de gravedad de choques viales para las carreteras nacionales. También se verificará si se cumplió con los objetivos planteados y si logró obtener los resultados esperados.

### Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para choques con uso del suelo en la GAM

**Cuadro 68.** Distribución de frecuencia del uso del suelo.

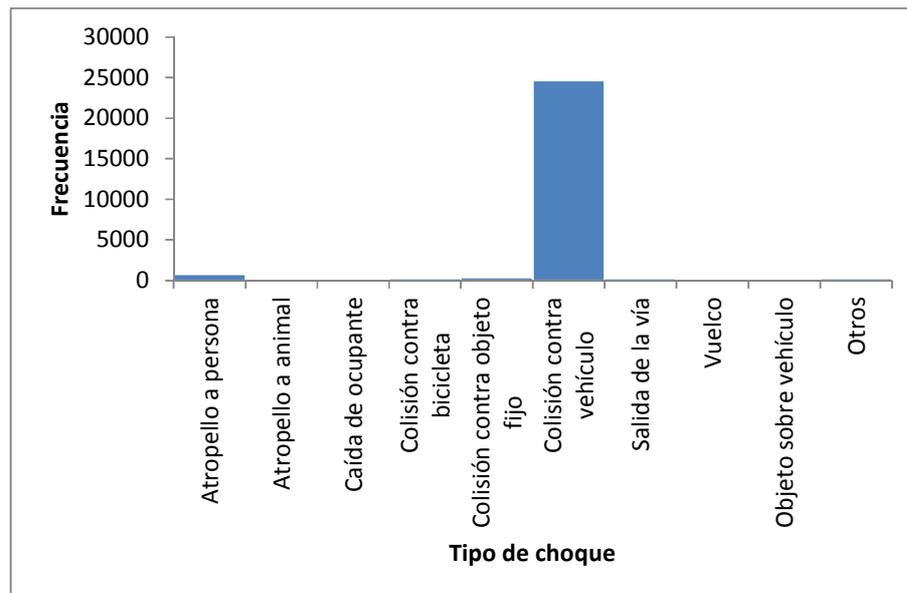
<i>Uso del suelo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Comercial	2733	10.2%
Servicios públicos	2428	9.0%
Industrial	2025	7.5%
Residencial	13623	50.7%
Zonas verdes	2597	9.7%
Terrenos no cultivables	362	1.3%
No urbano	3122	11.6%
$\Sigma =$	26890	100.0%



**Figura 33.** Histograma del uso del suelo.

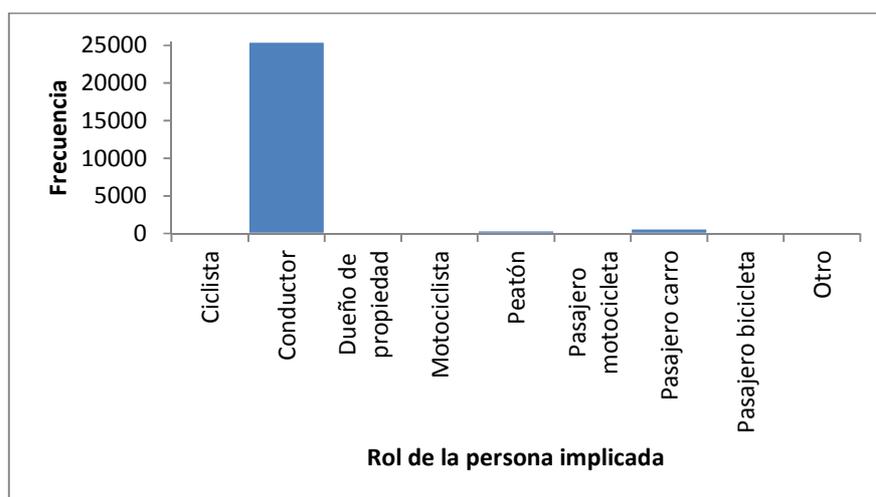
**Cuadro 69.** Distribución de frecuencia del tipo de choque.

<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	765	2.8%
Atropello a animal	27	0.1%
Caída de ocupante	70	0.3%
Colisión contra bicicleta	264	1.0%
Colisión contra objeto fijo	368	1.4%
Colisión contra vehículo	24654	91.7%
Salida de la vía	251	0.9%
Vuelco	123	0.5%
Objeto sobre vehículo	99	0.4%
Otros	269	1.0%
$\Sigma =$	26890	100.0%

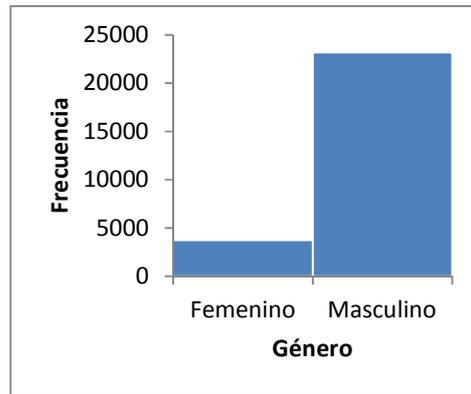
**Figura 34.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 70.** Distribución de frecuencia del rol de la persona implicada en el choque.

<i>Rol de la persona implicada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Ciclista	54	0.2%
Conductor	25481	94.8%
Dueño de propiedad	29	0.1%
Motociclista	120	0.4%
Peatón	410	1.5%
Pasajero motocicleta	103	0.4%
Pasajero carro	679	2.5%
Pasajero bicicleta	1	0.0%
Otro	13	0.0%
$\Sigma=$	26890	100.0%

**Figura 35.** Histograma del rol de la persona implicada en el choque.**Cuadro 71.** Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.

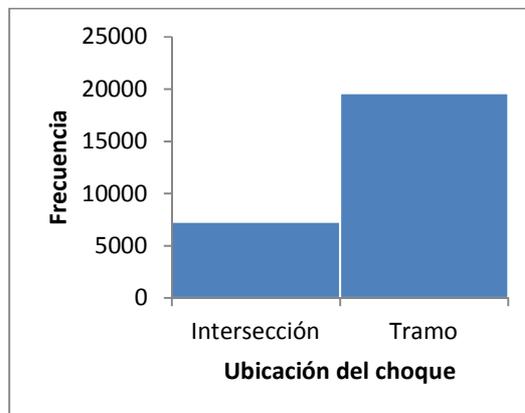
<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	3752	14.0%
Masculino	23138	86.0%
$\Sigma=$	26890	100.0%



**Figura 36.** Histograma del género de la persona implicada en el choque.

**Cuadro 72.** Distribución de frecuencia de la ubicación del choque.

<i>Ubicación del choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Intersección	7283	27.1%
Tramo	19607	72.9%
$\Sigma=$	26890	100.0%



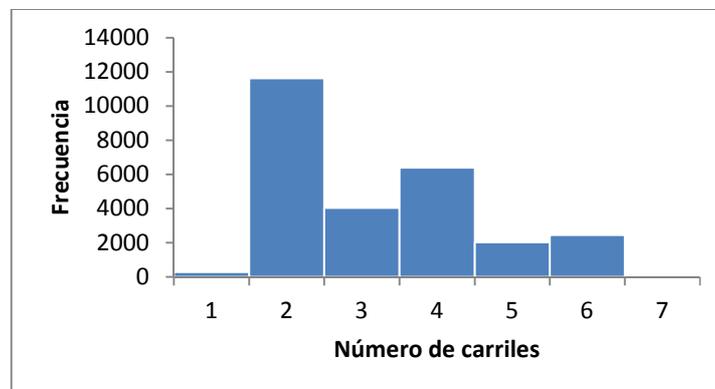
**Figura 37.** Histograma de la ubicación del choque.

**Cuadro 73.** Estadísticas descriptivas del número de carriles.

Media	3
Error típico	0.008
Mediana	3
Moda	2
Desviación estándar	1.31
Varianza de la muestra	1.71
Curtosis	-0.46
Coefficiente de asimetría	0.75
Rango	6
Mínimo	1
Máximo	7
Suma	84391
Cuenta	26890

**Cuadro 74.** Distribución de frecuencias del número de carriles.

<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
1	303	1.1%
2	11616	43.2%
3	4030	15.0%
4	6405	23.8%
5	2020	7.5%
6	2465	9.2%
7	51	0.2%
$\Sigma=$	26890	100.0%

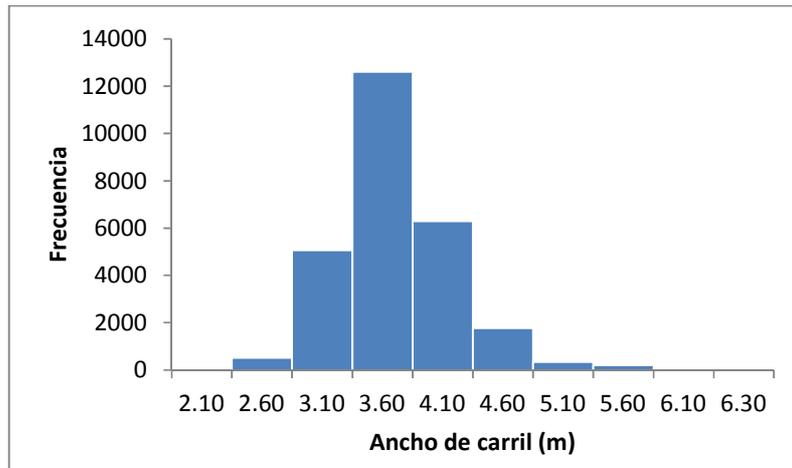
**Figura 38.** Histograma del número de carriles.

**Cuadro 75.** Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).

Media	3.52
Error típico	0.003
Mediana	3.50
Moda	3.30
Desviación estándar	0.48
Varianza de la muestra	0.23
Curtosis	2.45
Coficiente de asimetría	0.94
Rango	4.20
Mínimo	2.10
Máximo	6.30
Suma	94550
Cuenta	26890

**Cuadro 76.** Distribución de frecuencias del ancho de carril (m).

<i>Ancho de carril (m)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
2.10	43	0.2%
2.60	502	1.9%
3.10	5061	18.8%
3.60	12606	46.9%
4.10	6283	23.4%
4.60	1771	6.6%
5.10	338	1.3%
5.60	202	0.8%
6.10	76	0.3%
6.30	8	0.0%
$\Sigma=$	26890	100.0%



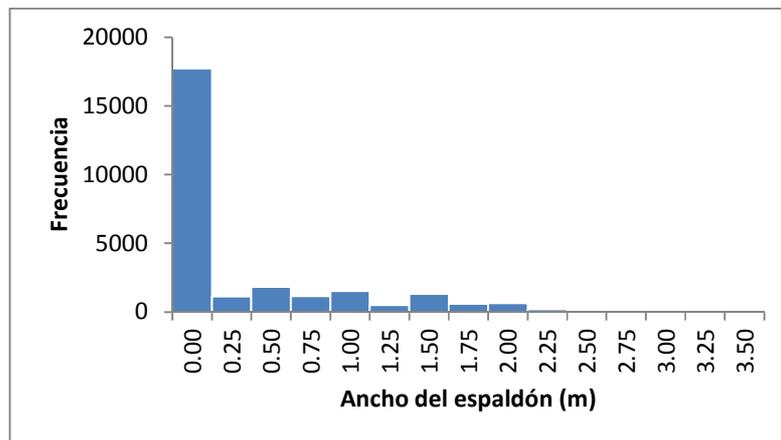
**Figura 39.** Histograma del ancho de carril (m).

**Cuadro 77.** Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).

Media	0.33
Error típico	0.004
Mediana	0
Moda	0
Desviación estándar	0.59
Varianza de la muestra	0.35
Curtosis	3.50
Coficiente de asimetría	1.94
Rango	3.50
Mínimo	0.00
Máximo	3.50
Suma	8920.6
Cuenta	26890

**Cuadro 78.** Distribución de frecuencias del ancho de espaldón (m).

<i>Ancho del espaldón (m)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
0.00	17714	65.9%
0.25	1135	4.2%
0.50	1822	6.8%
0.75	1164	4.3%
1.00	1528	5.7%
1.25	507	1.9%
1.50	1338	5.0%
1.75	602	2.2%
2.00	657	2.4%
2.25	207	0.8%
2.50	138	0.5%
2.75	0	0.0%
3.00	0	0.0%
3.25	0	0.0%
3.50	78	0.3%
$\Sigma=$	26890	100.0%

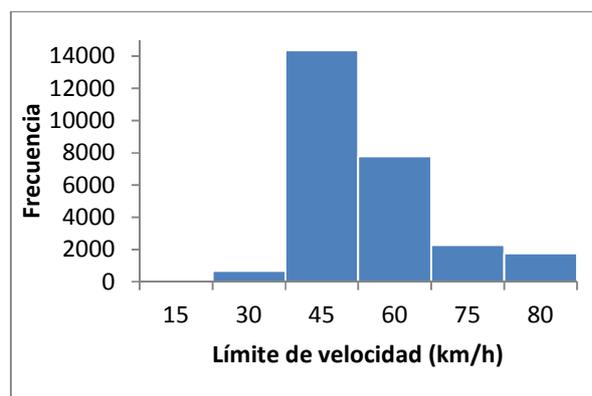
**Figura 40.** Histograma del ancho de espaldón (m).

**Cuadro 79.** Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).

Media	50
Error típico	0.08
Mediana	45
Moda	40
Desviación estándar	12.8
Varianza de la muestra	163.1
Curtosis	0.23
Coficiente de asimetría	0.87
Rango	65
Mínimo	15
Máximo	80
Suma	1334616
Cuenta	26890

**Cuadro 80.** Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).

<i>Límite de velocidad (km/h)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
15	42	0.2%
30	662	2.5%
45	14353	53.4%
60	7783	28.9%
75	2283	8.5%
80	1767	6.6%
$\Sigma=$	26890	100.0%

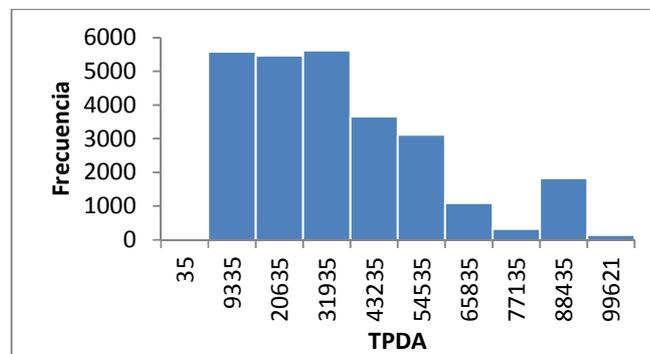
**Figura 41.** Histograma del límite de velocidad (km/h).

**Cuadro 81.** Estadísticas descriptivas del TPDA.

Media	29998
Error típico	138
Mediana	26379
Moda	88161
Desviación estándar	22648
Varianza de la muestra	512937480
Curtosis	0.55
Coefficiente de asimetría	1.01
Rango	99621
Mínimo	35
Máximo	99656
Suma	806635914
Cuenta	26890

**Cuadro 82.** Distribución de frecuencias del TPDA.

<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
35	19	0.1%
9335	5579	20.7%
20635	5463	20.3%
31935	5614	20.9%
43235	3651	13.6%
54535	3112	11.6%
65835	1097	4.1%
77135	320	1.2%
88435	1834	6.8%
99621	145	0.5%
$\Sigma=$	26834	99.8%

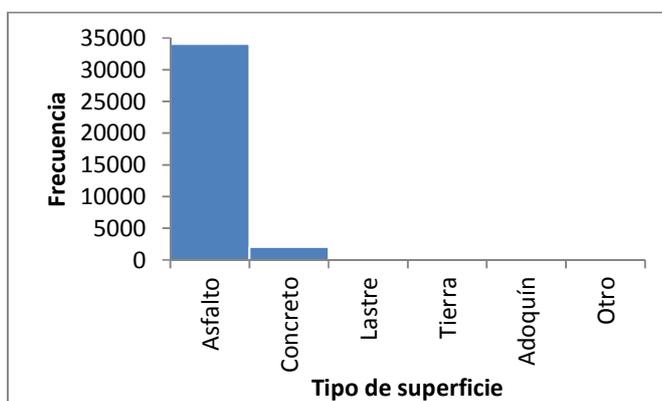
**Figura 42.** Histograma del TPDA.

## Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para ocupantes de vehículos

A continuación se presentan los datos que corresponden a los datos con los que se plantearon los modelos de gravedad de choques viales de la sección 4.3.1.

**Cuadro 83.** Distribución de frecuencias para tipo de superficie.

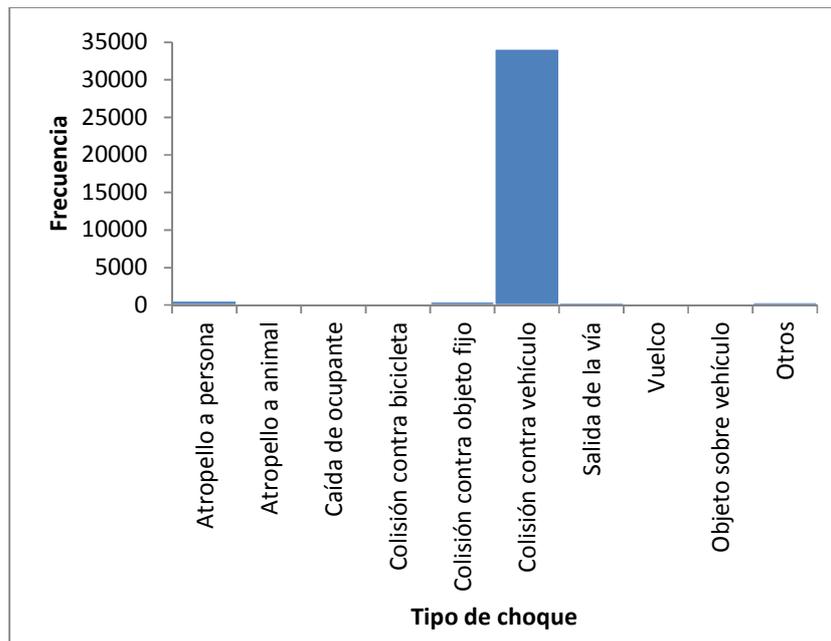
<i>Tipo de superficie</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Asfalto	34032	92.7%
Concreto	2104	5.7%
Lastre	195	0.5%
Tierra	285	0.8%
Adoquín	25	0.1%
Otro	56	0.2%
$\Sigma=$	36697	100.0%



**Figura 43.** Histograma del tipo de superficie.

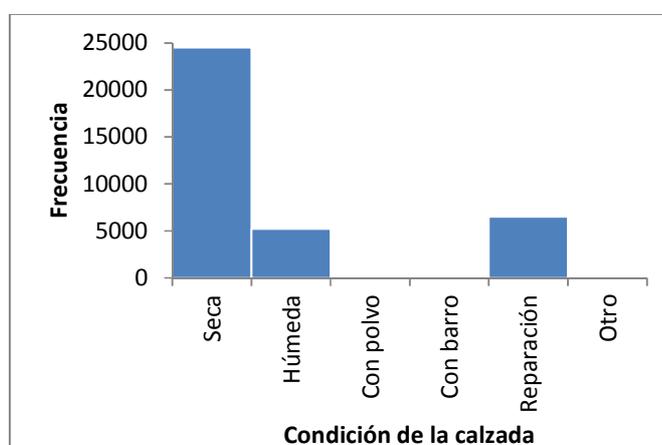
**Cuadro 84.** Distribución de frecuencias para tipo de choque.

<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	582	1.6%
Atropello a animal	45	0.1%
Caída de ocupante	89	0.2%
Colisión contra bicicleta	285	0.8%
Colisión contra objeto fijo	491	1.3%
Colisión contra vehículo	34115	93.0%
Salida de la vía	341	0.9%
Vuelco	197	0.5%
Objeto sobre vehículo	149	0.4%
Otros	403	1.1%
$\Sigma=$	36697	100.0%

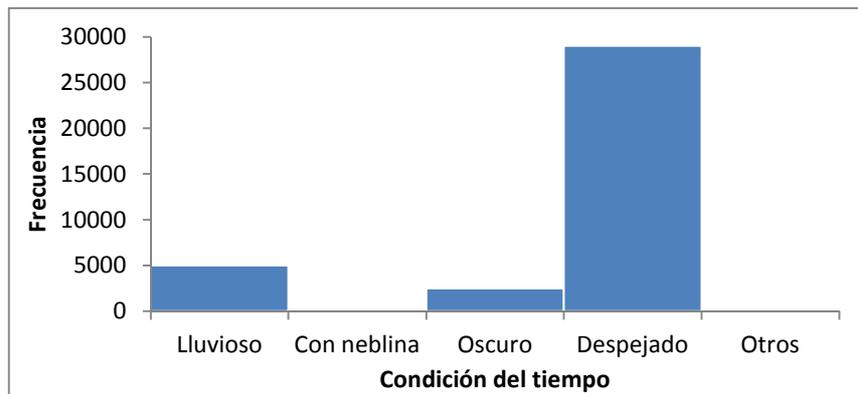
**Figura 44.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 85.** Distribución de distribución de frecuencias de la condición de la calzada.

<i>Condición de la calzada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Seca	24477	66.7%
Húmeda	5206	14.2%
Con polvo	167	0.5%
Con barro	134	0.4%
Reparación	6506	17.7%
Otro	207	0.6%
$\Sigma=$	36697	100.0%

**Figura 45.** Histograma de la condición de la calzada.**Cuadro 86.** Distribución de frecuencias de la condición del tiempo.

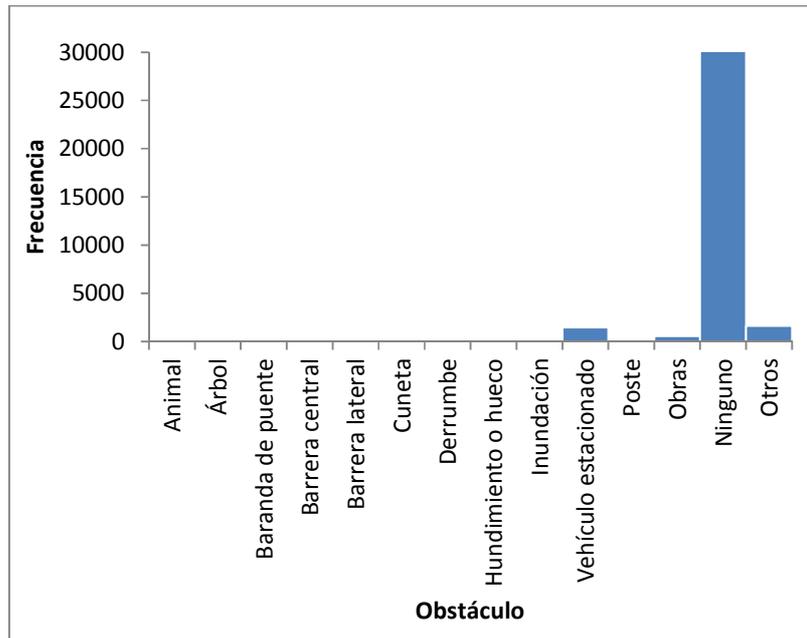
<i>Condición del tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Lluvioso	5005	13.6%
Con neblina	151	0.4%
Oscuro	2493	6.8%
Despejado	28989	79.0%
Otros	59	0.2%
$\Sigma=$	36697	100.0%



**Figura 46.** Histograma de la condición del tiempo.

**Cuadro 87.** Distribución de frecuencias del tipo de obstáculo del choque.

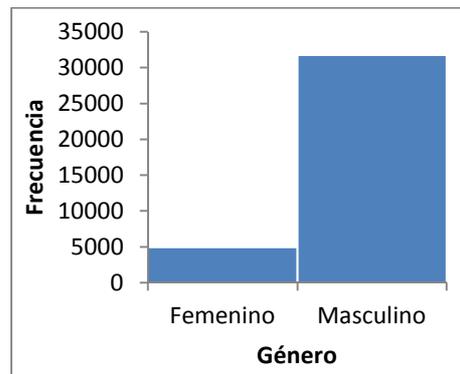
<i>Obstáculo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Animal	69	0.2%
Árbol	17	0.0%
Baranda de puente	29	0.1%
Barrera central	101	0.3%
Barrera lateral	23	0.1%
Cuneta	27	0.1%
Derrumbe	19	0.1%
Hundimiento o hueco	76	0.2%
Inundación	36	0.1%
Vehículo estacionado	1454	4.0%
Poste	30	0.1%
Obras	546	1.5%
Ninguno	32668	89.0%
Otros	1602	4.4%
$\Sigma=$	36697	100.0%



**Figura 47.** Histograma del tipo de obstáculo del choque.

**Cuadro 88.** Distribución de frecuencias del género de las personas implicadas en el choque.

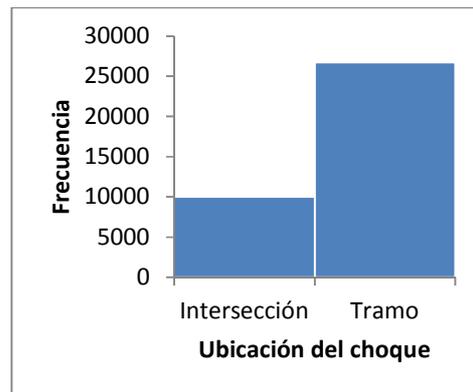
<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	4933	13.4%
Masculino	31764	86.6%
$\Sigma=$	36697	100.0%



**Figura 48.** Histograma del género de las personas implicadas en el choque.

**Cuadro 89.** Distribución de frecuencias de la ubicación del choque en carretera.

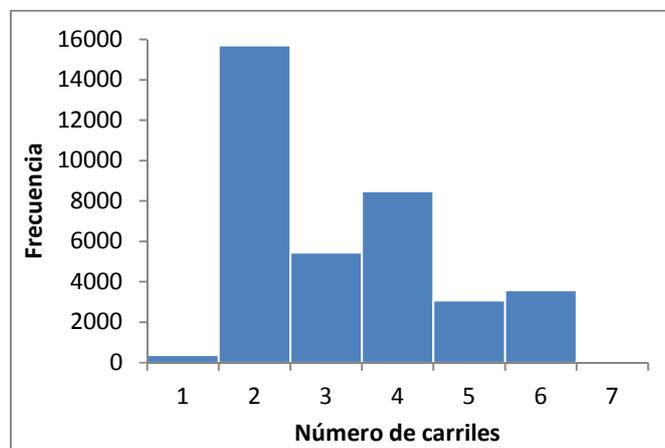
<i>Ubicación del choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Intersección	9997	27.2%
Tramo	26700	72.8%
$\Sigma =$	36697	100.0%

**Figura 49.** Histograma de la ubicación del choque en carretera.**Cuadro 90.** Estadísticas descriptivas del número de carriles

Media	3
Error típico	0.01
Mediana	3
Moda	2
Desviación estándar	1.3
Varianza de la muestra	1.8
Curtosis	-0.5
Coficiente de asimetría	0.7
Rango	6
Mínimo	1
Máximo	7
Suma	116276
Cuenta	36697

**Cuadro 91.** Distribución de frecuencias del número de carriles.

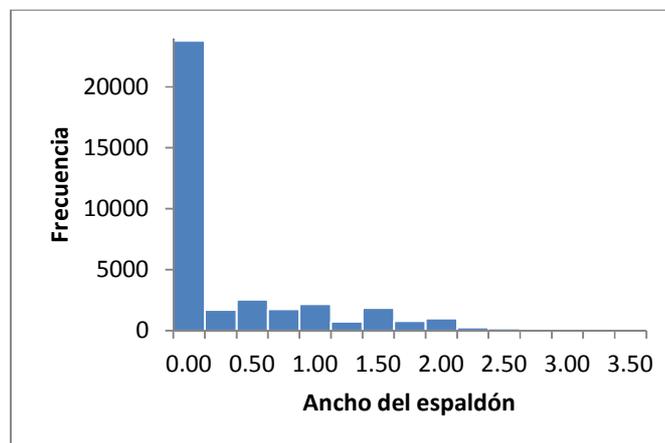
<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
1	369	1.0%
2	15702	42.8%
3	5440	14.8%
4	8474	23.1%
5	3066	8.4%
6	3574	9.7%
7	72	0.2%
$\Sigma=$	36697	100.0%

**Figura 50.** Histograma del número de carriles.**Cuadro 92.** Estadísticas descriptivas del ancho del espaldón (m).

Media	0.34
Error típico	0.003
Mediana	0.00
Moda	0.00
Desviación estándar	0.588
Varianza de la muestra	0.345
Curtosis	3.067
Coficiente de asimetría	1.869
Rango	3.5
Mínimo	0
Máximo	3.5
Suma	12324.92
Cuenta	36697

**Cuadro 93.** Distribución de frecuencias del ancho del espaldón (m).

<i>Ancho del espaldón</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
0.00	23795	64.8%
0.25	1674	4.6%
0.50	2511	6.8%
0.75	1729	4.7%
1.00	2151	5.9%
1.25	706	1.9%
1.50	1867	5.1%
1.75	757	2.1%
2.00	988	2.7%
2.25	260	0.7%
2.50	178	0.5%
2.75	0	0.0%
3.00	0	0.0%
3.25	0	0.0%
3.50	81	0.2%
$\Sigma=$	36697	100.0%

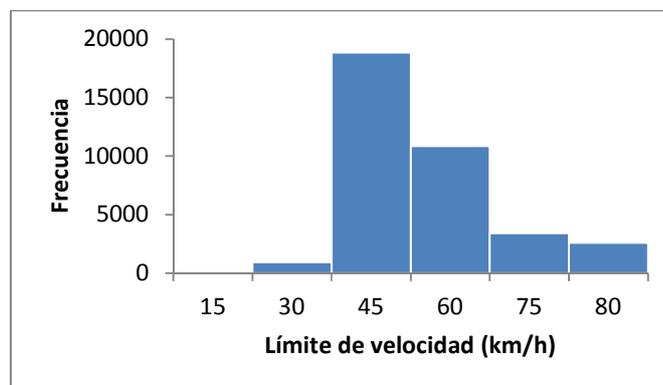
**Figura 51.** Histograma del ancho del espaldón.

**Cuadro 94.** Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).

Media	50
Error típico	0.068
Mediana	45
Moda	40
Desviación estándar	13.0
Varianza de la muestra	168.7
Curtosis	0.0
Coefficiente de asimetría	0.8
Rango	65
Mínimo	15
Máximo	80
Suma	1841440
Cuenta	36697

**Cuadro 95.** Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).

<i>Límite de velocidad (km/h)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
15	53	0.1%
30	912	2.5%
45	18858	51.4%
60	10867	29.6%
75	3400	9.3%
80	2607	7.1%
$\Sigma=$	36697	100.0%

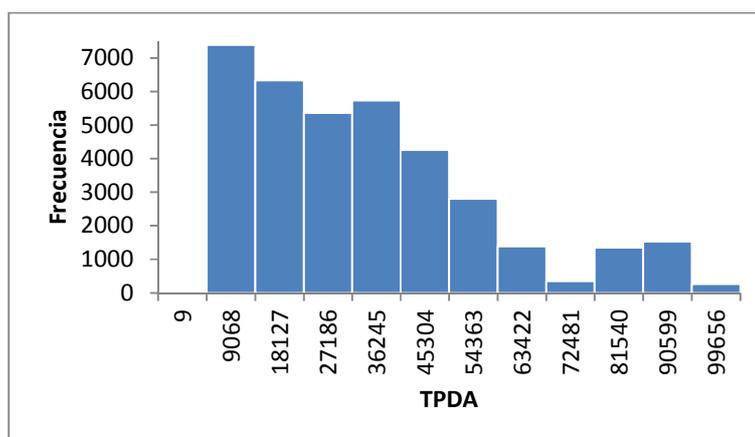
**Figura 52.** Histograma del límite de velocidad (km/h).

**Cuadro 96.** Estadísticas descriptivas del TPDA.

Media	30210
Error típico	120
Mediana	26379
Moda	88161
Desviación estándar	23041
Varianza de la muestra	530885317
Curtosis	0.40
Coefficiente de asimetría	0.98
Rango	99647
Mínimo	9
Máximo	99656
Suma	1108607823
Cuenta	36697

**Cuadro 97.** Distribución de frecuencias del TPDA.

<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
9	1	0.0%
9068	7384	20.1%
18127	6328	17.2%
27186	5355	14.6%
36245	5726	15.6%
45304	4255	11.6%
54363	2804	7.6%
63422	1383	3.8%
72481	345	0.9%
81540	1338	3.6%
90599	1526	4.2%
99656	252	0.7%
$\Sigma=$	36697	100.0%



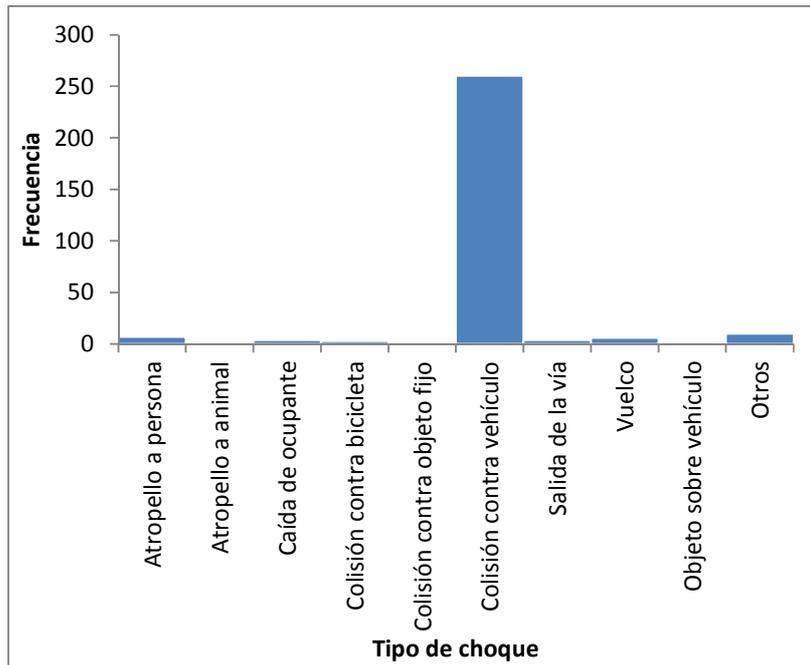
**Figura 53.** Histograma del TPDA.

### Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para ocupantes de motocicletas

En la sección 4.3.2 se presentan los modelos planteados para ocupantes de motocicletas (conductor y pasajero) y a continuación se muestran las estadísticas descriptivas para las observaciones correspondientes.

**Cuadro 98.** Distribución de frecuencia del tipo de choque.

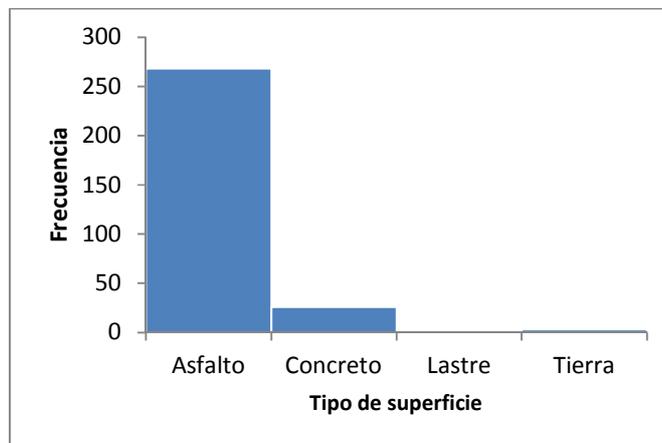
<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	7	2.3%
Atropello a animal	0	0.0%
Caída de ocupante	4	1.3%
Colisión contra bicicleta	3	1.0%
Colisión contra objeto fijo	2	0.7%
Colisión contra vehículo	260	87.2%
Salida de la vía	4	1.3%
Vuelco	6	2.0%
Objeto sobre vehículo	2	0.7%
Otros	10	3.4%
$\Sigma=$	298	100.00%



**Figura 54.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 99.** Distribución de frecuencia del tipo de superficie.

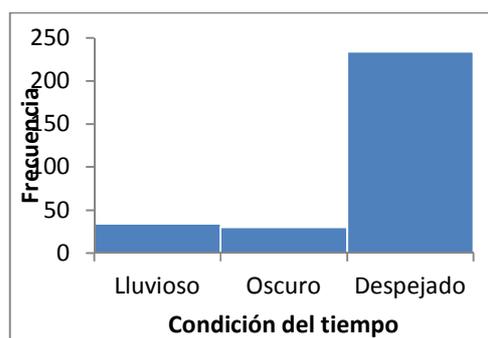
<i>Tipo de superficie</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Asfalto	268	89.9%
Concreto	26	8.7%
Lastre	1	0.3%
Tierra	3	1.0%
$\Sigma=$	298	100.0%



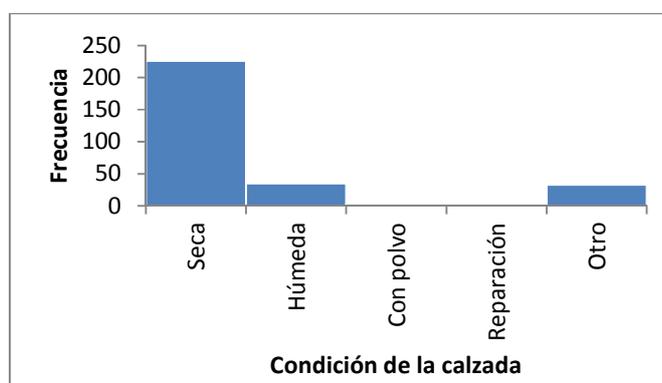
**Figura 55.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 100.** Distribución de frecuencia de la condición del tiempo.

<i>Condición del tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Lluvioso	34	11.4%
Oscuro	30	10.1%
Despejado	234	78.5%
$\Sigma=$	298	100.0%

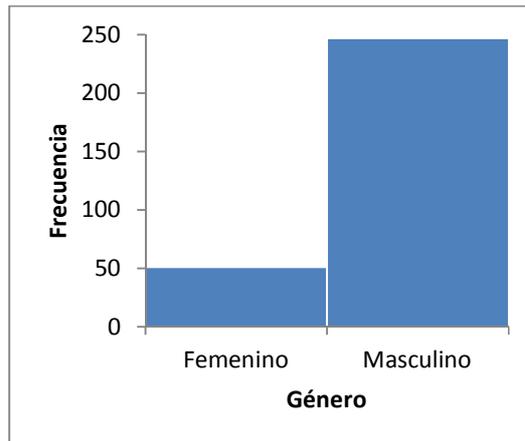
**Figura 56.** Histograma de la condición del tiempo.**Cuadro 101.** Distribución de frecuencia de la condición de la calzada.

<i>Condición de la calzada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Seca	226	75.8%
Húmeda	35	11.7%
Con polvo	3	1.0%
Reparación	1	0.3%
Otro	33	11.1%
$\Sigma=$	298	100.0%

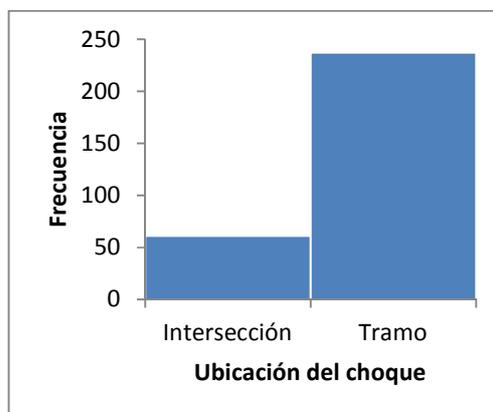
**Figura 57.** Histograma de la condición de la calzada.

**Cuadro 102.** Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.

<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	51	17.1%
Masculino	247	82.9%
$\Sigma=$	298	100.0%

**Figura 58.** Histograma del género de la persona implicada.**Cuadro 103.** Distribución de frecuencia de la ubicación del choque.

<i>Ubicación del choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Intersección	61	20.5%
Tramo	237	79.5%
$\Sigma=$	298	100.0%

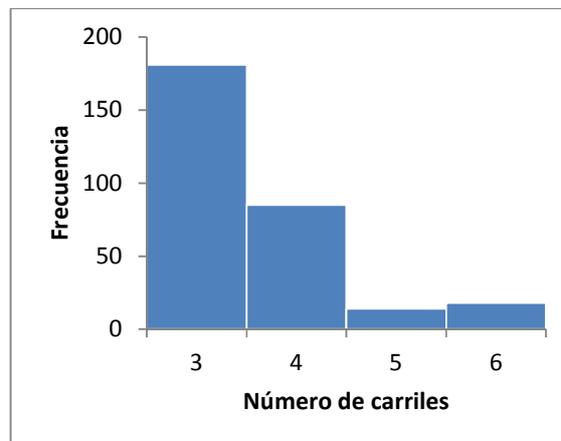
**Figura 59.** Histograma de la ubicación del choque.

**Cuadro 104.** Estadísticas descriptivas del número de carriles.

Media	3
Error típico	0.07
Mediana	3
Moda	2
Desviación estándar	1.20
Varianza de la muestra	1.44
Curtosis	-0.25
Coefficiente de asimetría	0.74
Rango	5
Mínimo	1
Máximo	6
Suma	903
Cuenta	298

**Cuadro 105.** Distribución de frecuencia del número de carriles.

<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
3	181	60.7%
4	85	28.5%
5	14	4.7%
6	18	6.0%
$\Sigma=$	298	100.0%

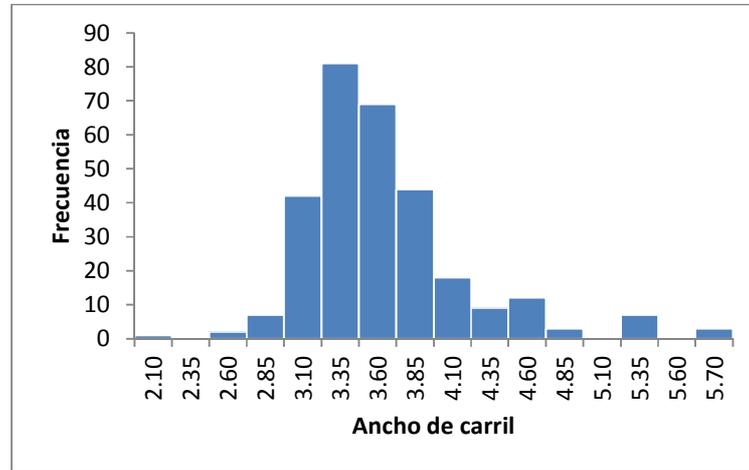
**Figura 60.** Histograma del número de carriles.

**Cuadro 106.** Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).

Media	3.50
Error típico	0.032
Mediana	3.40
Moda	3.25
Desviación estándar	0.55
Varianza de la muestra	0.30
Curtosis	3.40
Coficiente de asimetría	1.55
Rango	3.60
Mínimo	2.10
Máximo	5.70
Suma	1051.1
Cuenta	298

**Cuadro 107.** Distribución de frecuencias del ancho de carril (m).

<i>Ancho de carril (m)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
2.10	1	0.3%
2.35	0	0.0%
2.60	2	0.7%
2.85	7	2.3%
3.10	42	14.1%
3.35	81	27.2%
3.60	69	23.2%
3.85	44	14.8%
4.10	18	6.0%
4.35	9	3.0%
4.60	12	4.0%
4.85	3	1.0%
5.10	0	0.0%
5.35	7	2.3%
5.60	0	0.0%
5.70	3	1.0%
$\Sigma=$	298	100.0%



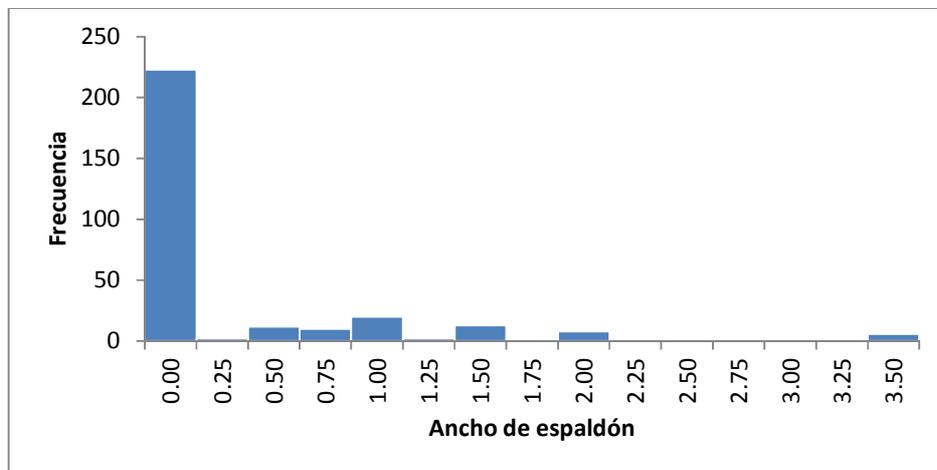
**Figura 61.** Histograma del ancho de carril (m).

**Cuadro 108.** Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón.

Media	0.31
Error típico	0.04
Mediana	0.00
Moda	0.00
Desviación estándar	0.68
Varianza de la muestra	0.46
Curtosis	8.73
Coefficiente de asimetría	2.80
Rango	3.50
Mínimo	0.00
Máximo	3.50
Suma	92
Cuenta	298

**Cuadro 109.** Distribución de frecuencias del ancho del espaldón.

<i>Ancho de espaldón</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
0.00	223	74.8%
0.25	2	0.7%
0.50	12	4.0%
0.75	10	3.4%
1.00	20	6.7%
1.25	2	0.7%
1.50	13	4.4%
1.75	1	0.3%
2.00	8	2.7%
2.25	1	0.3%
2.50	0	0.0%
2.75	0	0.0%
3.00	0	0.0%
3.25	0	0.0%
3.50	6	2.0%
$\Sigma=$	298	100.0%

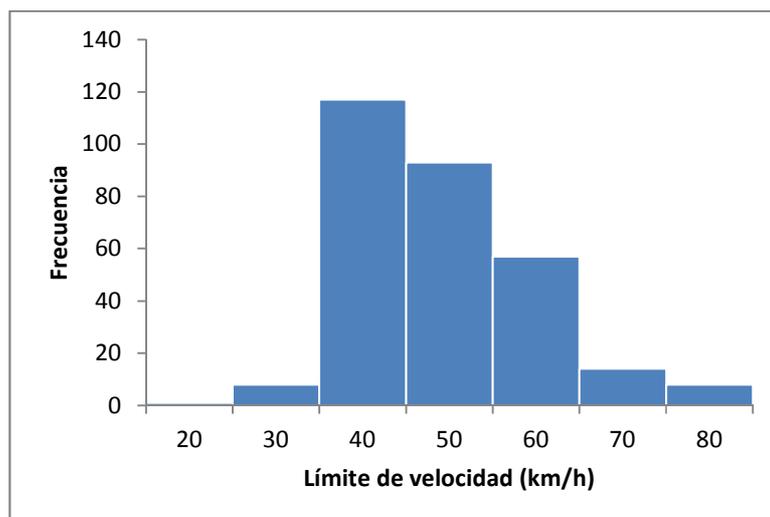
**Figura 62.** Histograma del ancho de carril (m).

**Cuadro 110.** Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).

Media	48
Error típico	0.6
Mediana	45
Moda	40
Desviación estándar	10.6
Varianza de la muestra	112.3
Curtosis	1.12
Coficiente de asimetría	1.02
Rango	60
Mínimo	20
Máximo	80
Suma	14159
Cuenta	298

**Cuadro 111.** Distribución de frecuencias del límite de velocidad.

<i>Límite de velocidad (km/h)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
20	1	0.3%
30	8	2.7%
40	117	39.3%
50	93	31.2%
60	57	19.1%
70	14	4.7%
80	8	2.7%
$\Sigma=$	298	100.0%

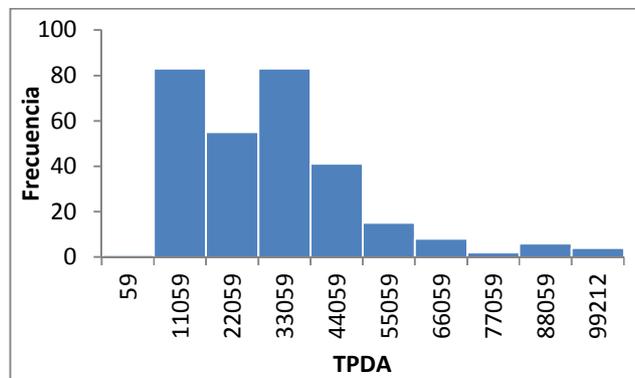
**Figura 63.** Histograma del límite de velocidad.

**Cuadro 112.** Estadísticas descriptivas del TPDA.

Media	25636
Error típico	1098
Mediana	26343
Moda	32998
Desviación estándar	18960
Varianza de la muestra	359470761
Curtosis	2.17
Coficiente de asimetría	1.24
Rango	99153
Mínimo	59
Máximo	99212
Suma	7639479
Cuenta	298

**Cuadro 113.** Distribución de frecuencias del TPDA.

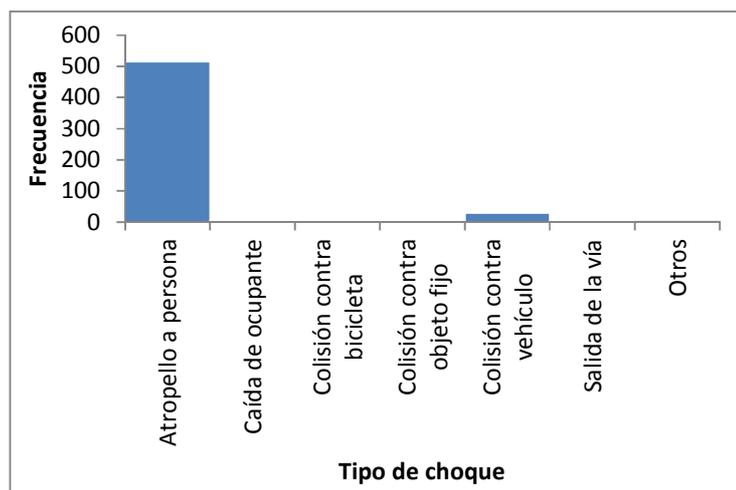
<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
59	1	0.3%
11059	83	27.9%
22059	55	18.5%
33059	83	27.9%
44059	41	13.8%
55059	15	5.0%
66059	8	2.7%
77059	2	0.7%
88059	6	2.0%
99212	4	1.3%
$\Sigma =$	298	100.0%

**Figura 64.** Histograma del TPDA.

## Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para peatones

**Cuadro 114.** Distribución de frecuencias del tipo de choque.

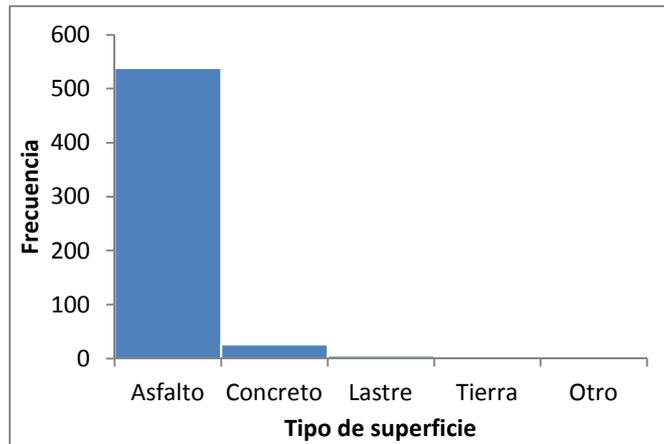
<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	515	89.9%
Caída de ocupante	6	1.0%
Colisión contra bicicleta	6	1.0%
Colisión contra objeto fijo	6	1.0%
Colisión contra vehículo	30	5.2%
Salida de la vía	2	0.3%
Otros	8	1.4%
$\Sigma=$	573	100.0%



**Figura 65.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 115.** Distribución de frecuencias del tipo de superficie.

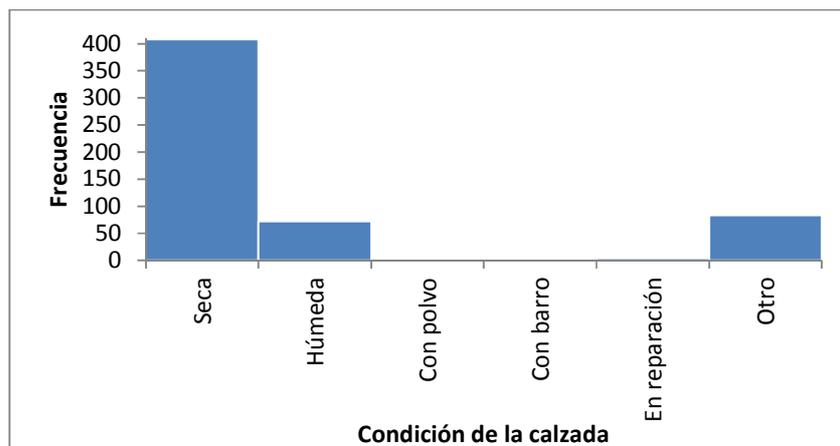
<i>Tipo de superficie</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Asfalto	538	93.9%
Concreto	26	4.5%
Lastre	5	0.9%
Tierra	3	0.5%
Otro	1	0.2%
$\Sigma=$	573	100.0%



**Figura 66.** Histograma del tipo de superficie.

**Cuadro 116.** Distribución de frecuencias de la condición de la calzada.

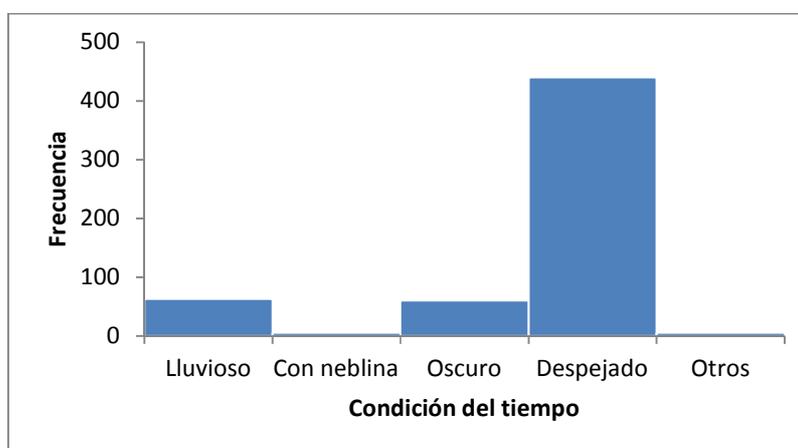
<i>Condición de la calzada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Seca	408	71.2%
Húmeda	72	12.6%
Con polvo	3	0.5%
Con barro	3	0.5%
En reparación	4	0.7%
Otro	83	14.5%
$\Sigma =$	573	100.0%



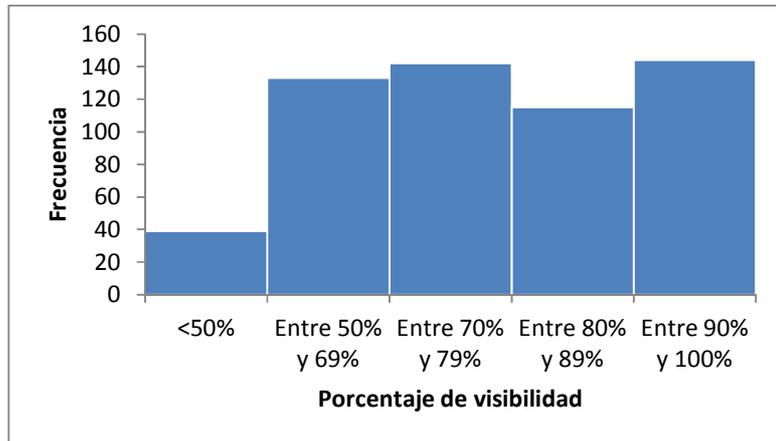
**Figura 67.** Histograma de la condición de la calzada.

**Cuadro 117.** Distribución de frecuencias de la condición del tiempo.

<i>Condición del tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Lluvioso	63	11.0%
Con neblina	5	0.9%
Oscuro	60	10.5%
Despejado	440	76.8%
Otros	5	0.9%
$\Sigma=$	573	100.0%

**Figura 68.** Histograma de la condición del tiempo.**Cuadro 118.** Distribución de frecuencias del porcentaje de visibilidad de la carretera.

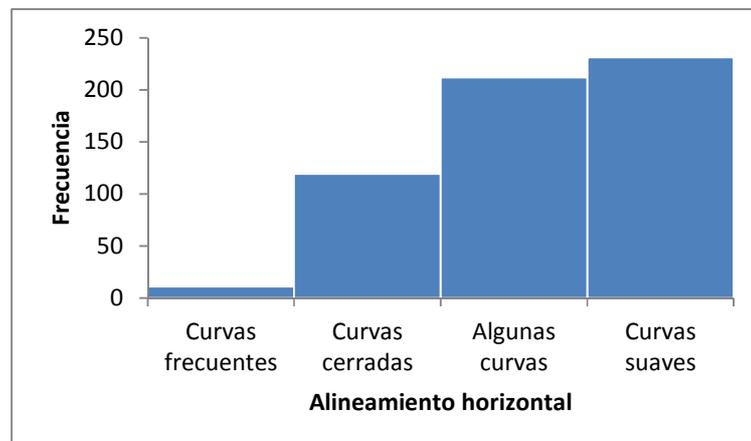
<i>Porcentaje de visibilidad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
<50%	39	6.8%
Entre 50% y 69%	133	23.2%
Entre 70% y 79%	142	24.8%
Entre 80% y 89%	115	20.1%
Entre 90% y 100%	144	25.1%
$\Sigma=$	573	100.0%



**Figura 69.** Histograma del porcentaje de visibilidad de la carretera.

**Cuadro 119.** Distribución de frecuencias del alineamiento horizontal de la carretera.

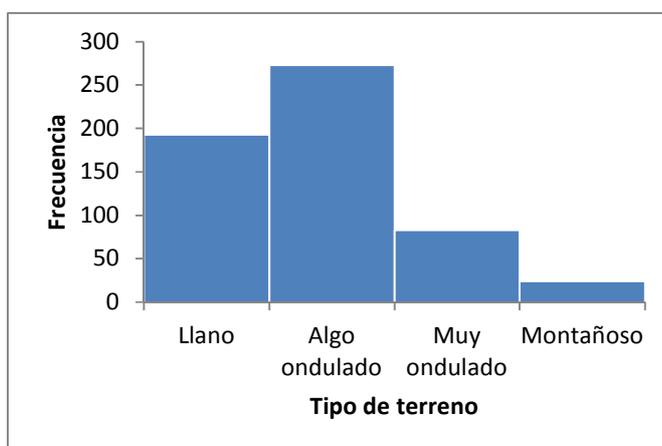
<i>Alineamiento horizontal</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Curvas frecuentes	11	1.9%
Curvas cerradas	119	20.8%
Algunas curvas	212	37.0%
Curvas suaves	231	40.3%
$\Sigma =$	573	100.0%



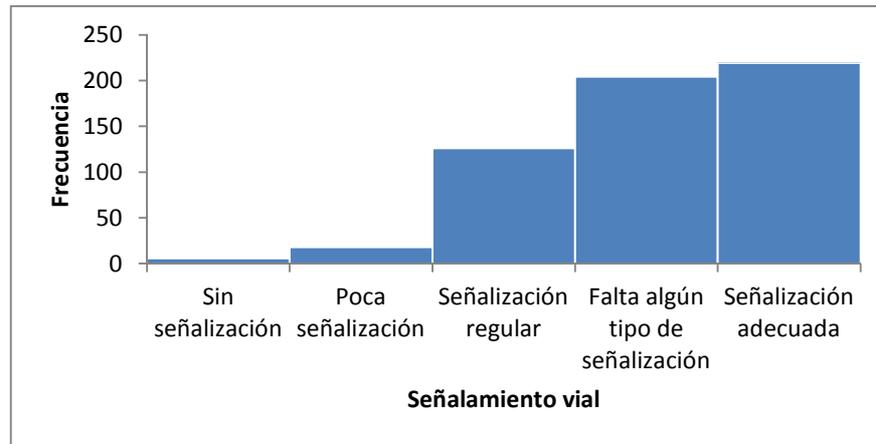
**Figura 70.** Histograma del alineamiento horizontal de la carretera.

**Cuadro 120.** Distribución de frecuencias del tipo de terreno.

<i>Tipo de terreno</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Llano	193	33.7%
Algo ondulado	273	47.6%
Muy ondulado	83	14.5%
Montañoso	24	4.2%
$\Sigma=$	573	100.0%

**Figura 71.** Histograma del tipo de terreno.**Cuadro 121.** Distribución de frecuencias del señalamiento vial.

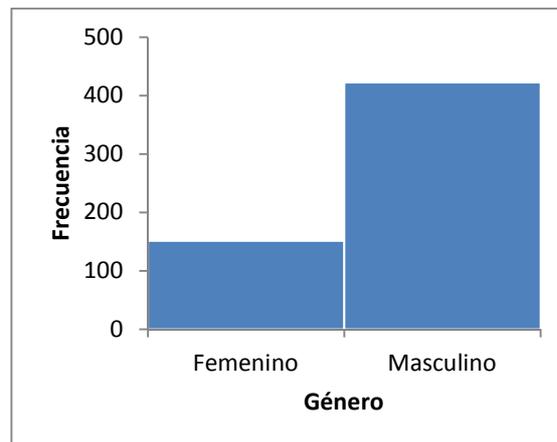
<i>Señalamiento vial</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Sin señalización	6	1.0%
Poca señalización	18	3.1%
Señalización regular	126	22.0%
Falta algún tipo de señalización	204	35.6%
Señalización adecuada	219	38.2%
$\Sigma=$	573	100.0%



**Figura 72.** Histograma del señalamiento vial.

**Cuadro 122.** Distribución de frecuencias de la persona implicada.

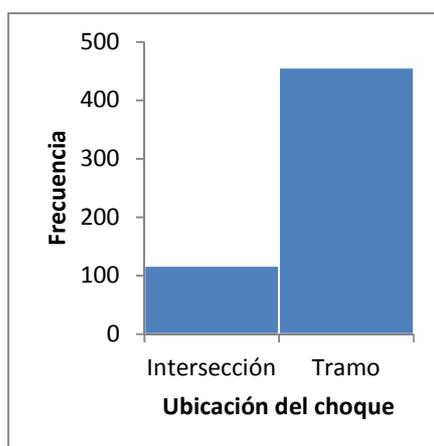
<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	151	26.4%
Masculino	422	73.6%
$\Sigma=$	573	100.0%



**Figura 73.** Histograma del género de la persona implicada.

**Cuadro 123.** Distribución de frecuencias de la ubicación del choque.

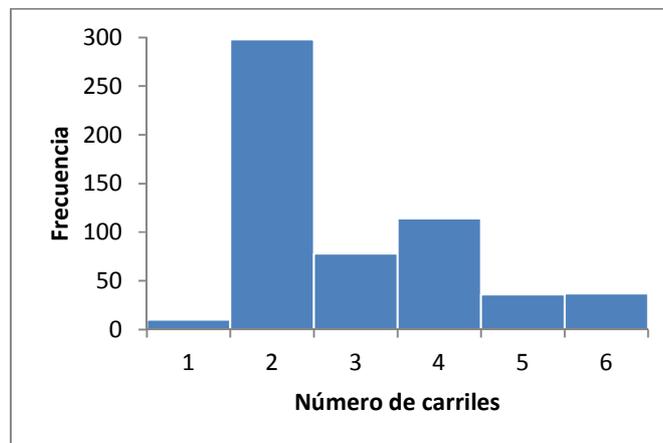
<i>Ubicación del choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Intersección	117	20.4%
Tramo	456	79.6%
$\Sigma=$	573	100.0%

**Figura 74.** Histograma de la ubicación del choque.**Cuadro 124.** Estadísticas descriptivas del número de carriles.

Media	3
Error típico	0.05
Mediana	2
Moda	2
Desviación estándar	1.25
Varianza de la muestra	1.56
Curtosis	-0.04
Coefficiente de asimetría	0.99
Rango	5
Mínimo	1
Máximo	6
Suma	1675
Cuenta	573

**Cuadro 125.** Distribución de frecuencias del número de carriles.

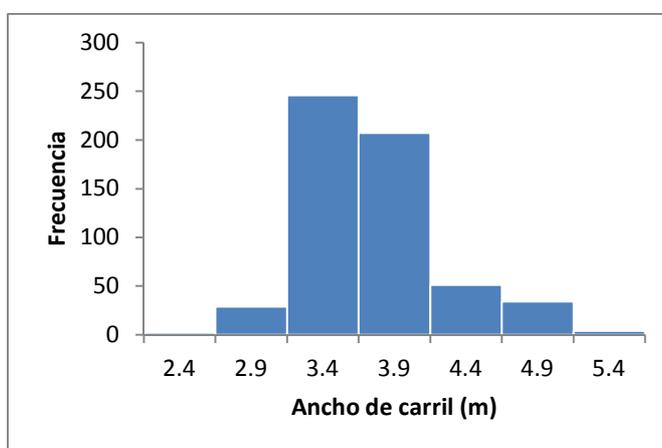
<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
1	10	1.7%
2	298	52.0%
3	78	13.6%
4	114	19.9%
5	36	6.3%
6	37	6.5%
$\Sigma=$	573	100.0%

**Figura 75.** Histograma del número de carriles.**Cuadro 126.** Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).

Media	3.5
Error típico	0.02
Mediana	3.4
Moda	3.5
Desviación estándar	0.46
Varianza de la muestra	0.22
Curtosis	1.49
Coefficiente de asimetría	0.92
Rango	3.0
Mínimo	2.4
Máximo	5.4
Suma	1990
Cuenta	573

**Cuadro 127.** Distribución de frecuencias del ancho de carril (m).

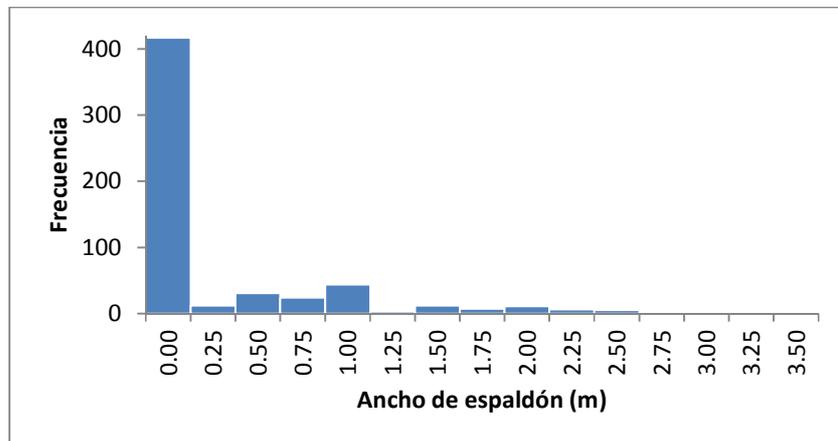
Ancho de carril (m)	Frecuencia	Porcentaje
2.4	2	0.3%
2.9	29	5.1%
3.4	246	42.9%
3.9	207	36.1%
4.4	51	8.9%
4.9	34	5.9%
5.4	4	0.7%
$\Sigma=$	573	100.0%

**Figura 76.** Histograma del ancho de carril (m).**Cuadro 128.** Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).

Media	0.3
Error típico	0.02
Mediana	0
Moda	0
Desviación estándar	0.55
Varianza de la muestra	0.30
Curtosis	5.48
Coefficiente de asimetría	2.35
Rango	3.5
Mínimo	0
Máximo	3.5
Suma	153.6
Cuenta	573

**Cuadro 129.** Distribución de frecuencias del ancho de espaldón (m).

Ancho de espaldón (m)	Frecuencia	Porcentaje
0.00	417	72.8%
0.25	12	2.1%
0.50	31	5.4%
0.75	24	4.2%
1.00	44	7.7%
1.25	3	0.5%
1.50	12	2.1%
1.75	7	1.2%
2.00	11	1.9%
2.25	6	1.0%
2.50	5	0.9%
2.75	0	0.0%
3.00	0	0.0%
3.25	0	0.0%
3.50	1	0.2%
$\Sigma=$	573	100.0%

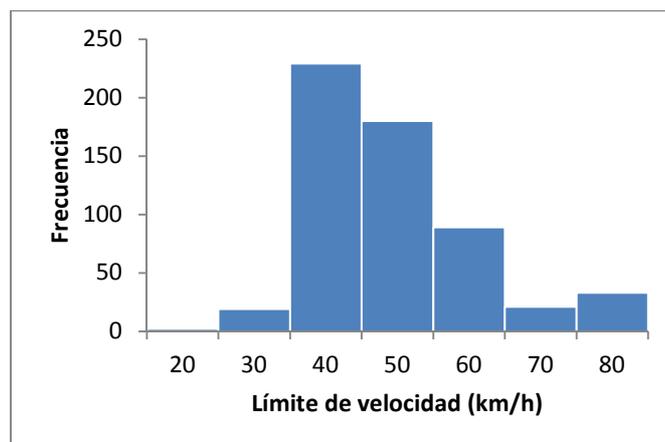
**Figura 77.** Histograma del ancho de espaldón (m).

**Cuadro 130.** Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h)

Media	48
Error típico	0.49
Mediana	45
Moda	40
Desviación estándar	11.8
Varianza de la muestra	139.7
Curtosis	1.19
Coefficiente de asimetría	1.16
Rango	60
Mínimo	20
Máximo	80
Suma	27281
Cuenta	573

**Cuadro 131.** Distribución de frecuencias del límite de velocidad (km/h).

<i>Límite de velocidad (km/h)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
20	2	0.3%
30	19	3.3%
40	229	40.0%
50	180	31.4%
60	89	15.5%
70	21	3.7%
80	33	5.8%
$\Sigma=$	573	100.0%

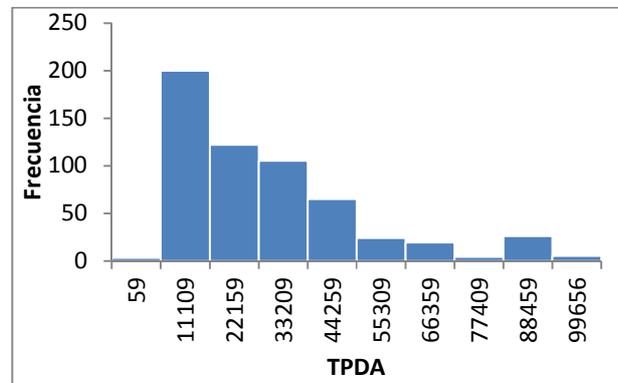
**Figura 78.** Histograma del límite de velocidad (km/h).

**Cuadro 132.** Estadísticas descriptivas del TPDA.

Media	24662
Error típico	916
Mediana	17377
Moda	8108
Desviación estándar	21929.9
Varianza de la muestra	480920702.1
Curtosis	1.50
Coefficiente de asimetría	1.35
Rango	99597
Mínimo	59
Máximo	99656
Suma	14131525
Cuenta	573

**Cuadro 133.** Distribución de frecuencias del TPDA.

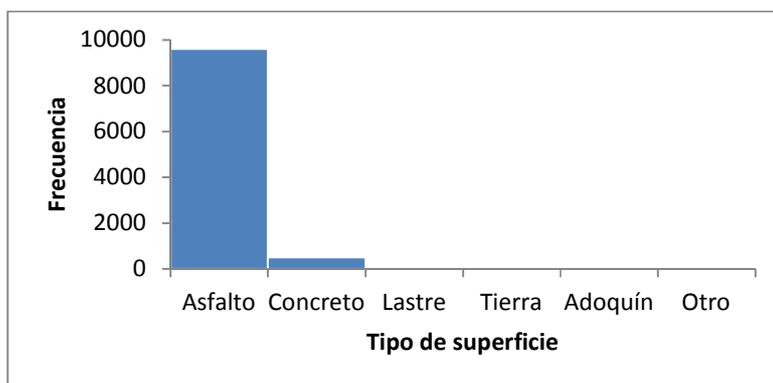
<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
59	3	0.5%
11109	200	34.9%
22159	122	21.3%
33209	105	18.3%
44259	65	11.3%
55309	24	4.2%
66359	19	3.3%
77409	4	0.7%
88459	26	4.5%
99656	5	0.9%
$\Sigma=$	573	100.0%

**Figura 79.** Histograma del límite de velocidad (km/h).

## Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para choques en intersecciones

**Cuadro 134.** Distribución de frecuencias del tipo de superficie.

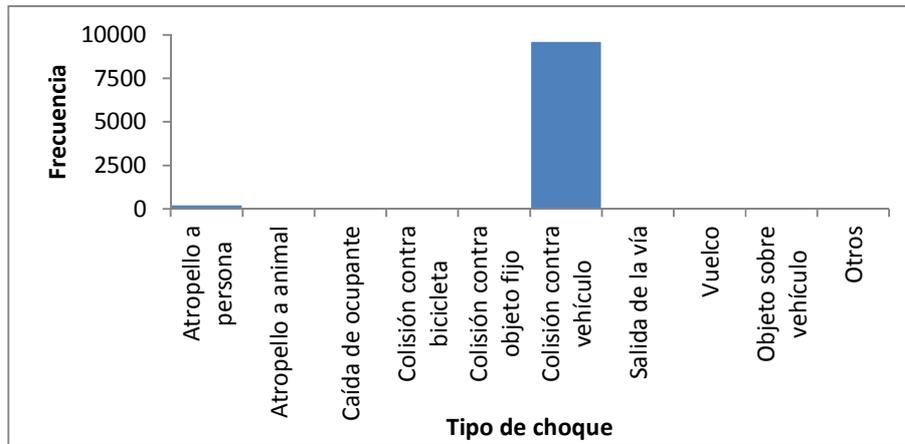
<i>Tipo de superficie</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Asfalto	9601	94.2%
Concreto	508	5.0%
Lastre	48	0.5%
Tierra	19	0.2%
Adoquín	4	0.0%
Otro	14	0.1%
$\Sigma=$	10194	100.0%



**Figura 80.** Histograma del tipo de superficie.

**Cuadro 135.** Distribución de frecuencias del tipo de choque.

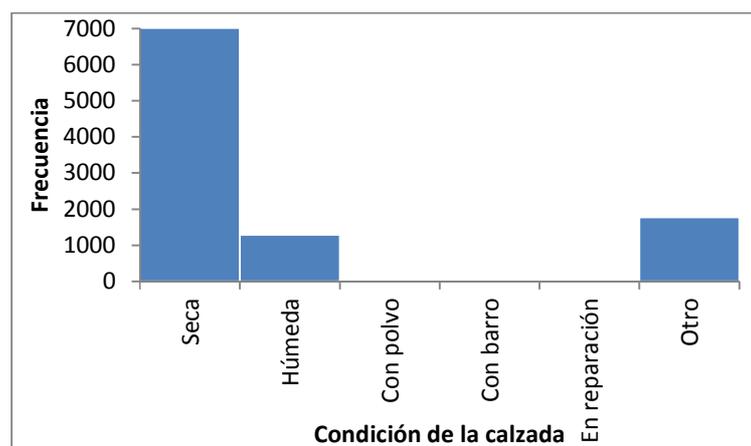
<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	238	2.3%
Atropello a animal	1	0.0%
Caída de ocupante	12	0.1%
Colisión contra bicicleta	56	0.5%
Colisión contra objeto fijo	86	0.8%
Colisión contra vehículo	9632	94.5%
Salida de la vía	35	0.3%
Vuelco	26	0.3%
Objeto sobre vehículo	27	0.3%
Otros	81	0.8%
$\Sigma=$	10194	100.0%



**Figura 81.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 136.** Distribución de frecuencias de la condición de la calzada.

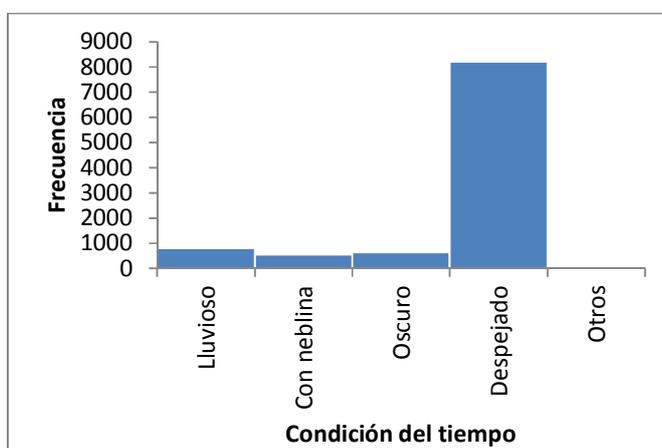
<i>Condición de la calzada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Seca	7017	68.8%
Húmeda	1291	12.7%
Con polvo	37	0.4%
Con barro	30	0.3%
En reparación	48	0.5%
Otro	1771	17.4%
$\Sigma =$	10194	100.0%



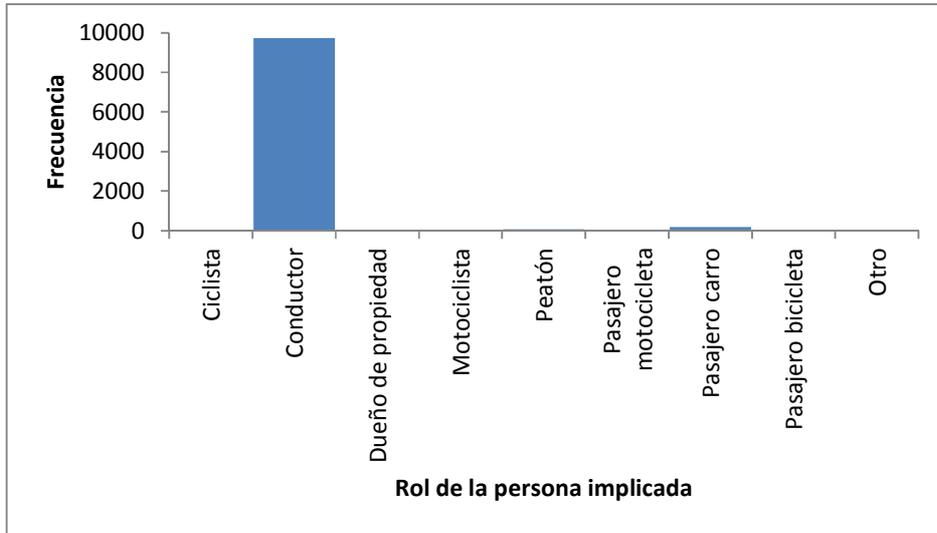
**Figura 82.** Histograma de la condición de la calzada.

**Cuadro 137.** Distribución de frecuencias del tiempo.

<i>Condición del tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Lluvioso	801	7.9%
Con neblina	542	5.3%
Oscuro	638	6.3%
Despejado	8203	80.5%
Otros	10	0.1%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 83.** Histograma de la condición del tiempo.**Cuadro 138.** Distribución de frecuencias del rol de la persona implicada.

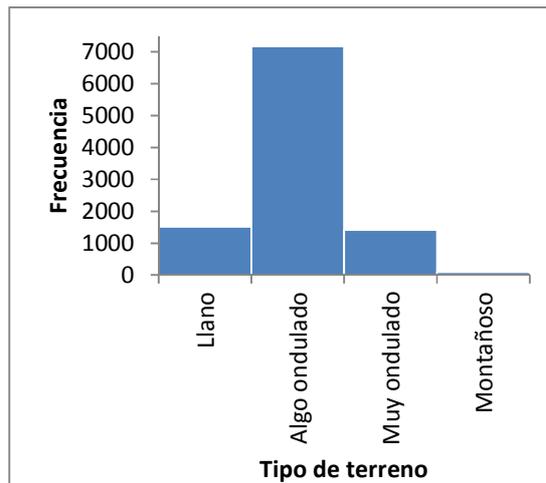
<i>Rol de la persona implicada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Ciclista	11	0.1%
Conductor	9773	95.9%
Dueño de propiedad	6	0.1%
Motociclista	34	0.3%
Peatón	117	1.1%
Pasajero motocicleta	27	0.3%
Pasajero carro	224	2.2%
Pasajero bicicleta	0	0.0%
Otro	2	0.0%
$\Sigma=$	10194	100.0%



**Figura 84.** Histograma del rol de la persona implicada.

**Cuadro 139.** Distribución de frecuencia del tipo de terreno.

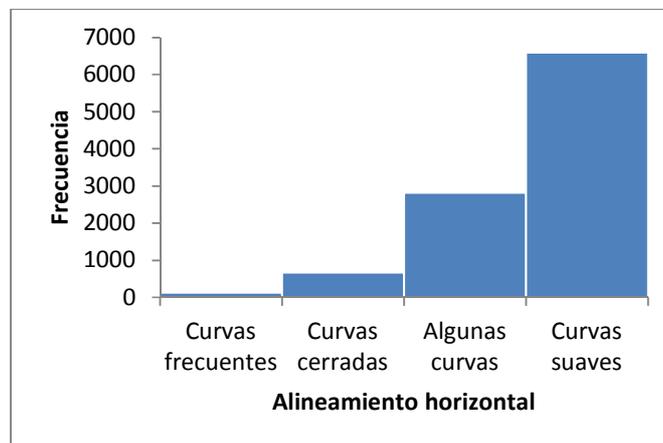
<i>Tipo de terreno</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Llano	1512	14.8%
Algo ondulado	7178	70.4%
Muy ondulado	1413	13.9%
Montañoso	91	0.9%
$\Sigma =$	10194	100.0%



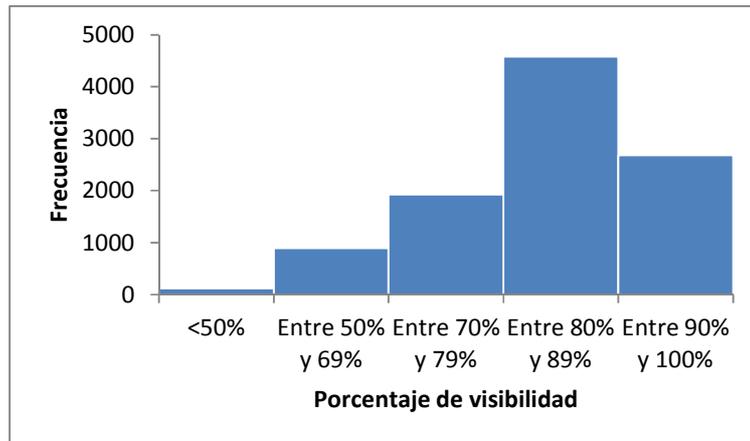
**Figura 85.** Histograma del tipo de terreno.

**Cuadro 140.** Distribución de frecuencia del alineamiento horizontal.

<i>Alineamiento horizontal</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Curvas frecuentes	127	1.2%
Curvas cerradas	670	6.6%
Algunas curvas	2810	27.6%
Curvas suaves	6587	64.6%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 86.** Histograma del alineamiento horizontal.**Cuadro 141.** Distribución de frecuencia del porcentaje de visibilidad.

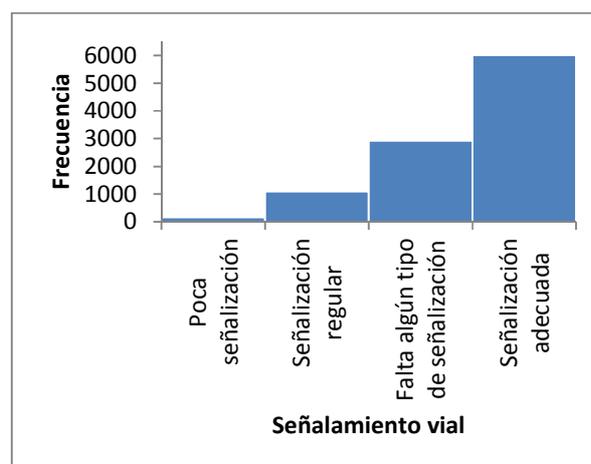
<i>Porcentaje de visibilidad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
<50%	120	1.2%
Entre 50% y 69%	892	8.8%
Entre 70% y 79%	1923	18.9%
Entre 80% y 89%	4579	44.9%
Entre 90% y 100%	2680	26.3%
$\Sigma=$	10194	100.0%



**Figura 87.** Histograma del porcentaje de visibilidad.

**Cuadro 142.** Distribución de frecuencia del señalamiento vial.

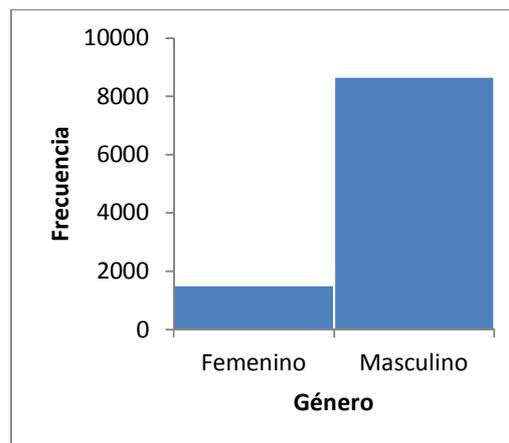
<i>Señalamiento vial</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Poca señalización	158	1.5%
Señalización regular	1099	10.8%
Falta algún tipo de señalización	2929	28.7%
Señalización adecuada	6008	58.9%
$\Sigma =$	10194	100.0%



**Figura 88.** Histograma del señalamiento vial.

**Cuadro 143.** Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.

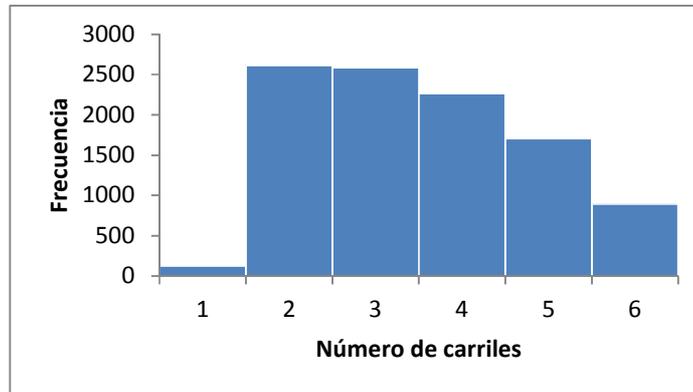
<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	1519	14.9%
Masculino	8675	85.1%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 89.** Histograma del género de la persona implicada.**Cuadro 144.** Estadísticas descriptivas del número de carriles.

Media	3
Error típico	0.01
Mediana	3
Moda	2
Desviación estándar	1.17
Varianza de la muestra	1.36
Curtosis	-0.92
Coficiente de asimetría	0.35
Rango	4.67
Mínimo	1
Máximo	6
Suma	33034
Cuenta	10194

**Cuadro 145.** Distribución de frecuencia del número de carriles.

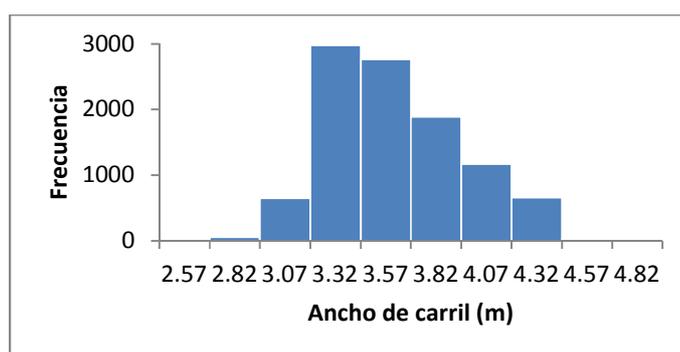
<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
1	127	1.2%
2	2614	25.6%
3	2587	25.4%
4	2266	22.2%
5	1708	16.8%
6	892	8.8%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 90.** Histograma del número de carriles.**Cuadro 146.** Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).

Media	3.50
Error típico	0.003
Mediana	3.42
Moda	3.14
Desviación estándar	0.33
Varianza de la muestra	0.11
Curtosis	-0.13
Coficiente de asimetría	0.49
Rango	2.25
Mínimo	2.57
Máximo	4.82
Suma	35540.50
Cuenta	10194

**Cuadro 147.** Distribución de frecuencia del ancho de carril (m).

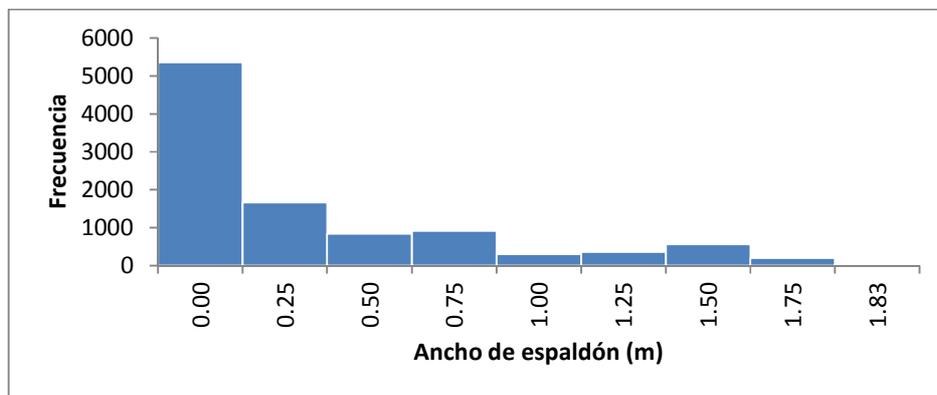
Ancho de carril (m)	Frecuencia	Porcentaje
2.57	9	0.1%
2.82	57	0.6%
3.07	646	6.3%
3.32	2965	29.1%
3.57	2713	26.6%
3.82	1870	18.3%
4.07	1241	12.2%
4.32	657	6.4%
4.57	22	0.2%
4.82	14	0.1%
$\Sigma =$	10194	100.0%

**Figura 91.** Histograma del ancho de carril (m).**Cuadro 148.** Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).

Media	0.30
Error típico	0.004
Mediana	0.00
Moda	0.00
Desviación estándar	0.45
Varianza de la muestra	0.20
Curtosis	1.30
Coficiente de asimetría	1.54
Rango	1.83
Mínimo	0.00
Máximo	1.83
Suma	3031.09
Cuenta	10194

**Cuadro 149.** Distribución de frecuencia del ancho de espaldón (m).

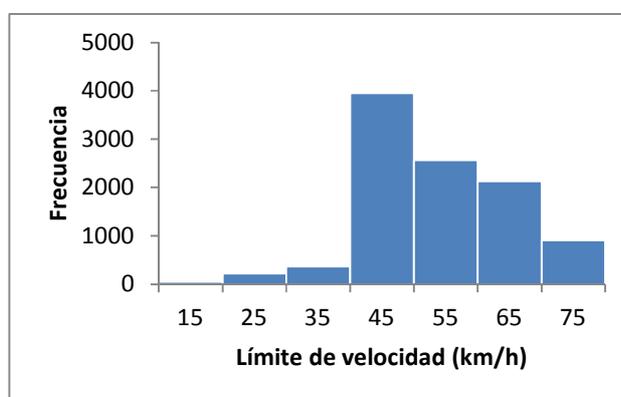
Ancho de espaldón (m)	Frecuencia	Porcentaje
0.00	5357	52.6%
0.25	1661	16.3%
0.50	837	8.2%
0.75	914	9.0%
1.00	303	3.0%
1.25	358	3.5%
1.50	558	5.5%
1.75	196	1.9%
1.83	10	0.1%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 92.** Histograma del ancho de espaldón (m).**Cuadro 150.** Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).

Media	49
Error típico	0.11
Mediana	50
Moda	40
Desviación estándar	10.9
Varianza de la muestra	118.7
Curtosis	0.16
Coficiente de asimetría	-0.27
Rango	60
Mínimo	15
Máximo	75
Suma	503137
Cuenta	10194

**Cuadro 151.** Distribución de frecuencia del límite de velocidad (km/h).

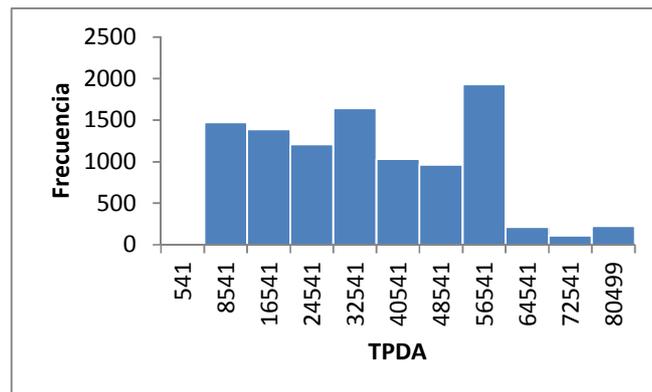
Límite de velocidad (km/h)	Frecuencia	Porcentaje
15	52	0.5%
25	221	2.2%
35	362	3.6%
45	3951	38.8%
55	2565	25.2%
65	2130	20.9%
75	913	9.0%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 93.** Histograma del límite de velocidad (km/h).**Cuadro 152.** Estadísticas descriptivas del TPDA.

Media	30690
Error típico	183
Mediana	28875
Moda	51316
Desviación estándar	18491
Varianza de la muestra	341910859
Curtosis	-0.53
Coficiente de asimetría	0.36
Rango	79958
Mínimo	541
Máximo	80499
Suma	312850742
Cuenta	10194

**Cuadro 153.** Distribución de frecuencia del TPDA.

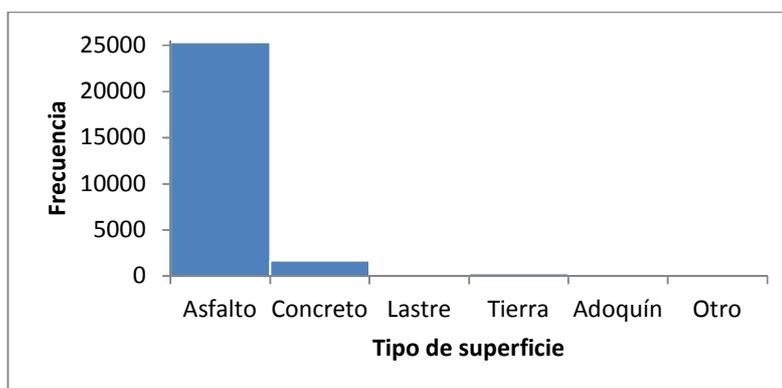
<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
541	4	0.0%
8541	1475	14.5%
16541	1388	13.6%
24541	1210	11.9%
32541	1643	16.1%
40541	1034	10.1%
48541	963	9.4%
56541	1929	18.9%
64541	213	2.1%
72541	108	1.1%
80499	227	2.2%
$\Sigma=$	10194	100.0%

**Figura 94.** Histograma del TPDA.

## Estadísticas descriptivas para modelos de gravedad para choques en tramos de carretera

**Cuadro 154.** Distribución de frecuencias del tipo de superficie.

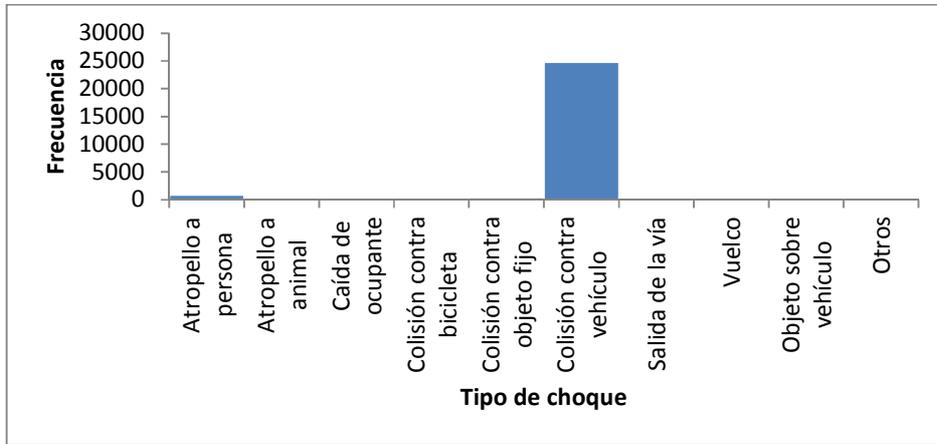
<i>Tipo de superficie</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Asfalto	25348	92.2%
Concreto	1656	6.0%
Lastre	153	0.6%
Tierra	272	1.0%
Adoquín	21	0.1%
Otro	44	0.2%
$\Sigma=$	27494	100.0%



**Figura 95.** Histograma del tipo de superficie.

**Cuadro 155.** Distribución de frecuencias del tipo de choque.

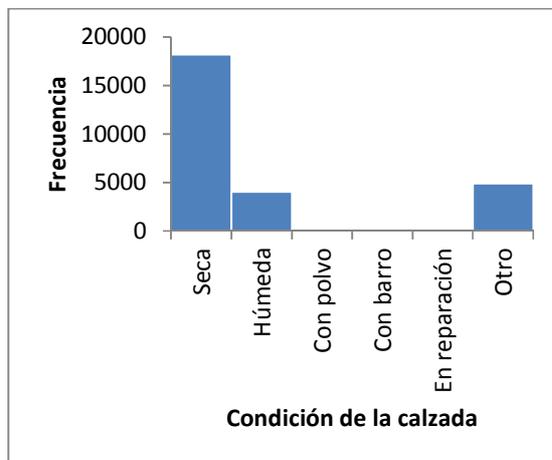
<i>Tipo de choque</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Atropello a persona	868	3.2%
Atropello a animal	45	0.2%
Caída de ocupante	89	0.3%
Colisión contra bicicleta	304	1.1%
Colisión contra objeto fijo	439	1.6%
Colisión contra vehículo	24792	90.2%
Salida de la vía	315	1.1%
Vuelco	177	0.6%
Objeto sobre vehículo	124	0.5%
Otros	341	1.2%
$\Sigma=$	27494	100.0%



**Figura 96.** Histograma del tipo de choque.

**Cuadro 156.** Distribución de frecuencias de la condición de la calzada.

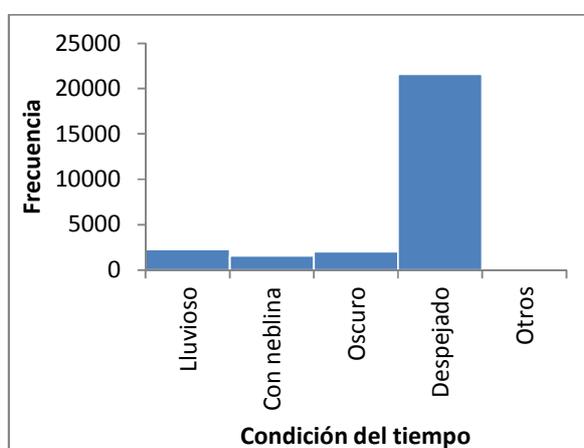
<i>Condición de la calzada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Seca	18172	66.1%
Húmeda	4034	14.7%
Con polvo	137	0.5%
Con barro	108	0.4%
En reparación	164	0.6%
Otro	4879	17.7%
$\Sigma=$	27494	100.0%



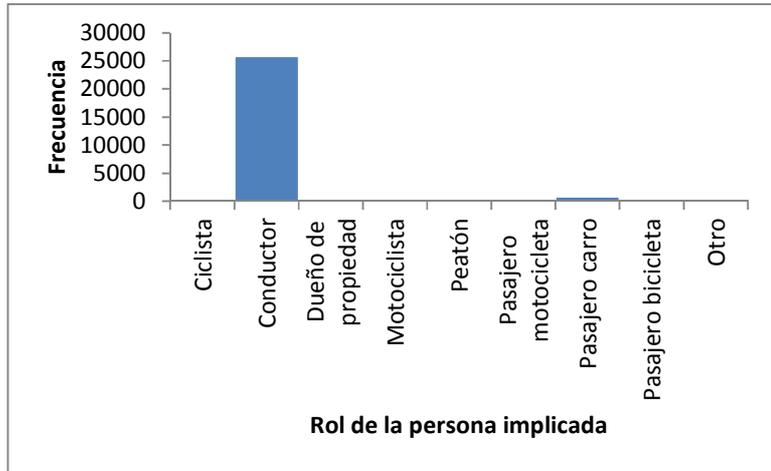
**Figura 97.** Histograma de la condición de la calzada.

**Cuadro 157.** Distribución de frecuencias del tiempo.

<i>Condición del tiempo</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Lluvioso	2281	8.3%
Con neblina	1582	5.8%
Oscuro	2017	7.3%
Despejado	21575	78.5%
Otros	39	0.1%
$\Sigma=$	27494	100.0%

**Figura 98.** Histograma de la condición del tiempo.**Cuadro 158.** Distribución de frecuencias del rol de la persona implicada.

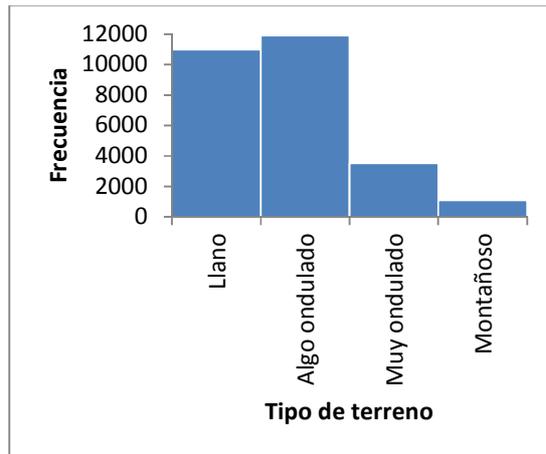
<i>Rol de la persona implicada</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Ciclista	65	0.2%
Conductor	25847	94.0%
Dueño de propiedad	23	0.1%
Motociclista	121	0.4%
Peatón	456	1.7%
Pasajero motocicleta	116	0.4%
Pasajero carro	853	3.1%
Pasajero bicicleta	1	0.0%
Otro	12	0.0%
$\Sigma=$	27494	100.0%



**Figura 99.** Histograma del rol de la persona implicada.

**Cuadro 159.** Distribución de frecuencia del tipo de terreno.

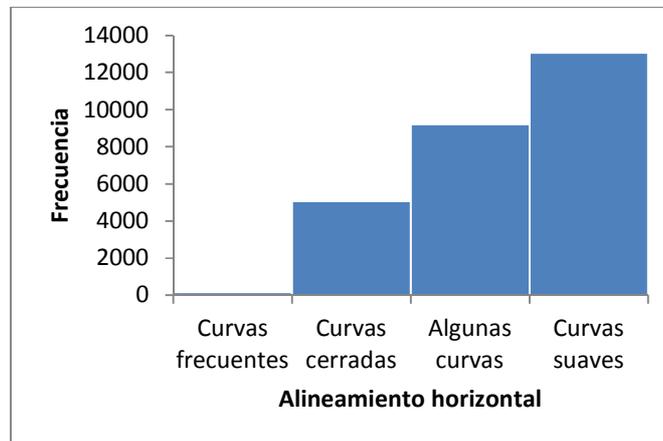
<i>Tipo de terreno</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Llano	10977	39.9%
Algo ondulado	11907	43.3%
Muy ondulado	3523	12.8%
Montañoso	1087	4.0%
$\Sigma=$	27494	100.0%



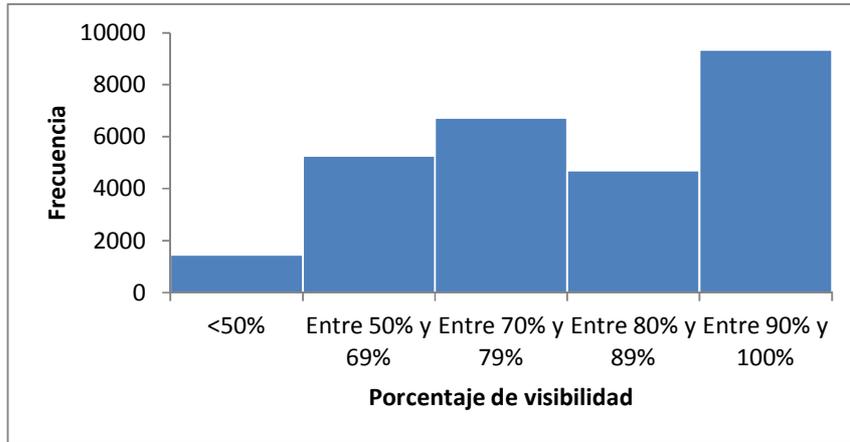
**Figura 100.** Histograma del tipo de terreno.

**Cuadro 160.** Distribución de frecuencia del alineamiento horizontal.

<i>Alineamiento horizontal</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Curvas frecuentes	162	0.6%
Curvas cerradas	5058	18.4%
Algunas curvas	9212	33.5%
Curvas suaves	13062	47.5%
$\Sigma=$	27494	100.0%

**Figura 101.** Histograma del alineamiento horizontal.**Cuadro 161.** Distribución de frecuencia del porcentaje de visibilidad.

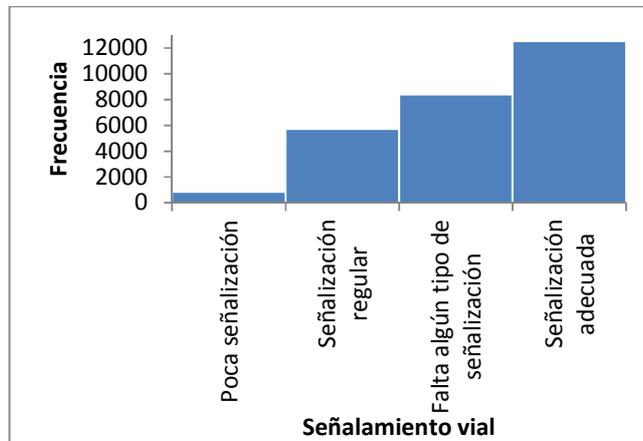
<i>Porcentaje de visibilidad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
<50%	1460	5.3%
Entre 50% y 69%	5265	19.1%
Entre 70% y 79%	6726	24.5%
Entre 80% y 89%	4701	17.1%
Entre 90% y 100%	9342	34.0%
$\Sigma=$	27494	100.0%



**Figura 102.** Histograma del porcentaje de visibilidad.

**Cuadro 162.** Distribución de frecuencia del señalamiento vial.

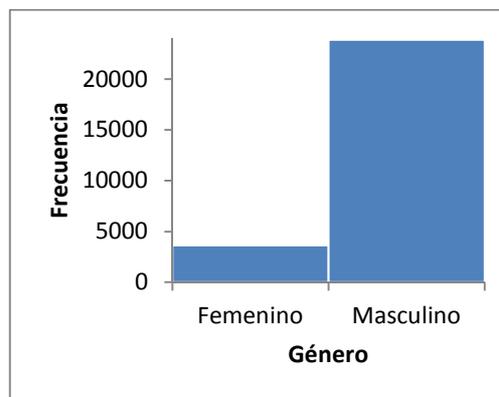
<i>Señalamiento vial</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Poca señalización	848	3.1%
Señalización regular	5727	20.8%
Falta algún tipo de señalización	8392	30.5%
Señalización adecuada	12527	45.6%
$\Sigma =$	27494	100.0%



**Figura 103.** Histograma del señalamiento vial.

**Cuadro 163.** Distribución de frecuencia del género de la persona implicada.

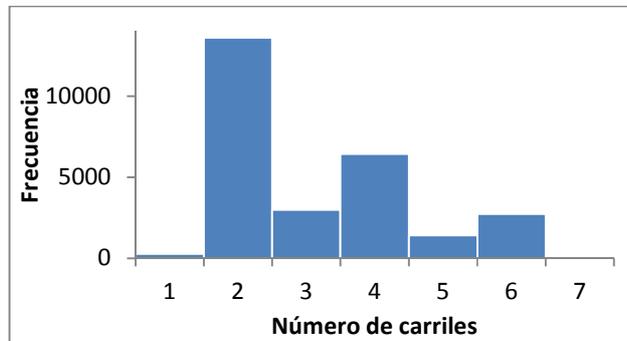
<i>Género</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
Femenino	3627	13.2%
Masculino	23867	86.8%
$\Sigma=$	27494	100.0%

**Figura 104.** Histograma del género de la persona implicada.**Cuadro 164.** Estadísticas descriptivas del número de carriles.

Media	3
Error típico	0.01
Mediana	2
Moda	2
Desviación estándar	1.38
Varianza de la muestra	1.89
Curtosis	-0.46
Coefficiente de asimetría	0.84
Rango	6
Mínimo	1
Máximo	7
Suma	86135
Cuenta	27494

**Cuadro 165.** Distribución de frecuencia del número de carriles.

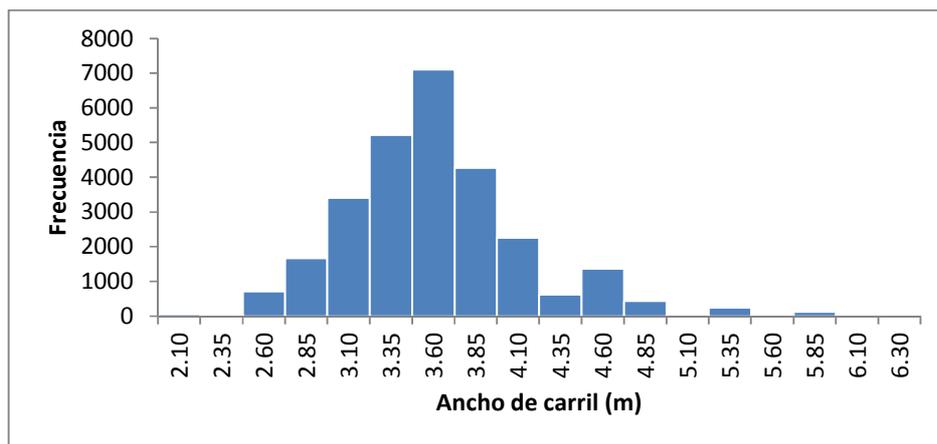
<i>Número de carriles</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
1	260	0.9%
2	13591	49.4%
3	2990	10.9%
4	6428	23.4%
5	1411	5.1%
6	2742	10.0%
7	72	0.3%
$\Sigma=$	27494	100.0%

**Figura 105.** Histograma del número de carriles.**Cuadro 166.** Estadísticas descriptivas del ancho de carril (m).

Media	3.50
Error típico	0.003
Mediana	3.48
Moda	3.50
Desviación estándar	0.52
Varianza de la muestra	0.27
Curtosis	2.09
Coficiente de asimetría	0.88
Rango	4.20
Mínimo	2.10
Máximo	6.30
Suma	96352.30
Cuenta	27494

**Cuadro 167.** Distribución de frecuencia del ancho de carril (m).

Ancho de carril (m)	Frecuencia	Porcentaje
2.10	58	0.2%
2.35	0	0.0%
2.60	715	2.6%
2.85	1662	6.0%
3.10	3412	12.4%
3.35	5216	19.0%
3.60	7109	25.9%
3.85	4266	15.5%
4.10	2259	8.2%
4.35	616	2.2%
4.60	1365	5.0%
4.85	439	1.6%
5.10	4	0.0%
5.35	236	0.9%
5.60	2	0.0%
5.85	127	0.5%
6.10	0	0.0%
6.30	8	0.0%
$\Sigma$	27494	100.0%

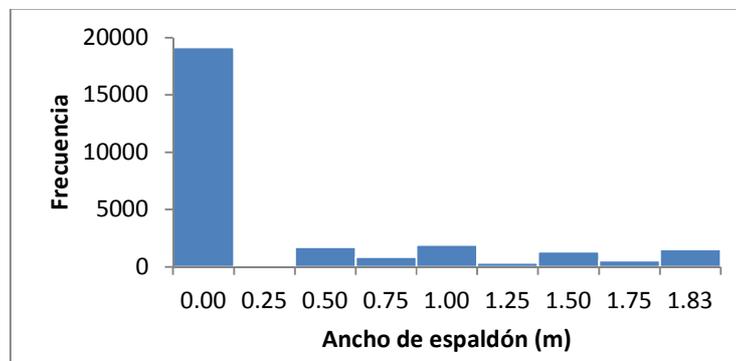
**Figura 106.** Histograma del ancho de carril (m).

**Cuadro 168.** Estadísticas descriptivas del ancho de espaldón (m).

Media	0.35
Error típico	0.004
Mediana	0.00
Moda	0.00
Desviación estándar	0.63
Varianza de la muestra	0.40
Curtosis	2.84
Coefficiente de asimetría	1.85
Rango	3.50
Mínimo	0.00
Máximo	3.50
Suma	9592.40
Cuenta	27494

**Cuadro 169.** Distribución de frecuencia del ancho de espaldón (m).

Ancho de espaldón (m)	Frecuencia	Porcentaje
0.00	19153	69.7%
0.25	27	0.1%
0.50	1727	6.3%
0.75	860	3.1%
1.00	1913	7.0%
1.25	357	1.3%
1.50	1340	4.9%
1.75	573	2.1%
1.83	1544	5.6%
$\Sigma=$	27494	100.0%

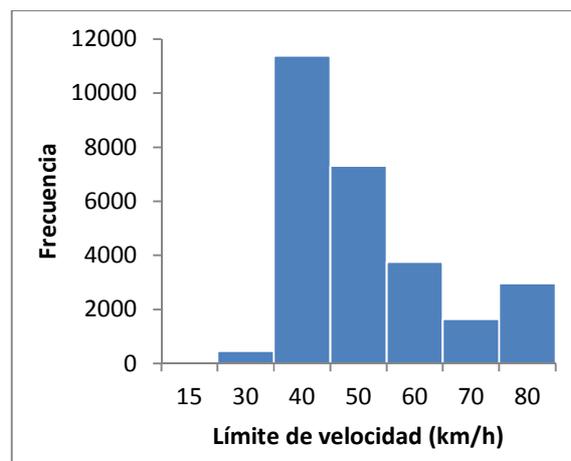
**Figura 107.** Histograma del ancho de espaldón (m).

**Cuadro 170.** Estadísticas descriptivas del límite de velocidad (km/h).

Media	50
Error típico	0.08
Mediana	45
Moda	40
Desviación estándar	13.63
Varianza de la muestra	185.90
Curtosis	-0.15
Coefficiente de asimetría	0.99
Rango	65
Mínimo	15
Máximo	80
Suma	1385655
Cuenta	27494

**Cuadro 171.** Distribución de frecuencia del límite de velocidad (km/h).

<i>Límite de velocidad (km/h)</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
15	1	0.0%
30	460	1.7%
40	11372	41.4%
50	7301	26.6%
60	3758	13.7%
70	1642	6.0%
80	2960	10.8%
$\Sigma=$	27494	100.0%

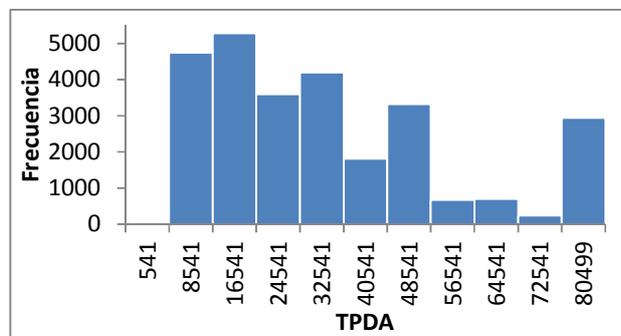
**Figura 108.** Histograma del límite de velocidad (km/h).

**Cuadro 172.** Estadísticas descriptivas del TPDA.

Media	29819
Error típico	147
Mediana	24726
Moda	88161
Desviación estándar	24456
Varianza de la muestra	598089101
Curtosis	0.41
Coefficiente de asimetría	1.08
Rango	99647
Mínimo	9
Máximo	99656
Suma	819843799
Cuenta	27494

**Cuadro 173.** Distribución de frecuencia del TPDA.

<i>TPDA</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Porcentaje</i>
541	1	0.0%
8541	4745	17.3%
16541	5288	19.2%
24541	3590	13.1%
32541	4197	15.3%
40541	1810	6.6%
48541	3318	12.1%
56541	674	2.5%
64541	693	2.5%
72541	242	0.9%
80499	2936	10.7%
$\Sigma=$	27494	100.0%

**Figura 109.** Histograma del TPDA.