

E

PROPUESTA DE MOVILIDAD FUTURA

Herramienta de transporte terrestre urbano de pasajeros y carga. Simulación del efecto de proyectos de infraestructura y políticas de transporte

Convenio interadministrativo 010 de 2012, Alcaldía Mayor de Tunja - UPTC

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
Facultad de Ingeniería
Escuela de Transporte y Vías
Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte
GIDPOT

HERRAMIENTA DE TRANSPORTE TERRESTRE URBANO DE PASAJEROS Y CARGA. SIMULACIÓN DEL EFECTO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA Y POLÍTICAS DE TRANSPORTE

Convenio interadministrativo No. 010 de 2012

E. Propuesta de movilidad futura (modelación)

Noviembre de 2012

Preparado para:
Secretaría de Tránsito y Transporte
ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA
Calle 19 No. 9 - 95 Edificio Municipal, Tunja - Boyacá, Colombia

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
Facultad de Ingeniería
Escuela de Transporte y Vías
Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte
GIDPOT

ALCALDÍA MAYOR DE TUNJA

Dr. Fernando Flórez Espinosa

Alcalde

Ing. Juan Antonio Galindo Alvarado

Secretario de Tránsito y Transporte

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

Dr. Gustavo Álvarez Álvarez

Rector

Ing. Jorge Humberto Saavedra

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Jaime Pedroza Soler

Director Escuela de Transporte y Vías

EQUIPO TÉCNICO

Ing. M. SC. Juan Carlos Poveda D'Otero

Director de proyecto

Ing. Dr. Luis Alfredo Vega Báez

Experto en evaluación y economía del transporte

Ing. Dr. Domingo Dueñas Ruiz

Experto en técnicas y métodos para la operación del transporte.

Ing. Dra. Sonia Esperanza Díaz Márquez

Experta en planificación del territorio

Ing. Dra. Claudia Cristina Salazar Díaz

Experta en Impactos ambientales del Transporte

Ing. M. Sc. Luis Gabriel Márquez Díaz

Experto en modelización y diseño experimental

Ing. M. Sc. Fredy Alberto Guío Burgos

Experto en tránsito

Ing. M. Sc. Juan Carlos Poveda D'Otero

Experto en procesamiento de datos

Ing. M. Sc. Luis Carlos Leguizamón Barreto

Experto en infraestructura vial

Ing. M. Sc. Jorge Enrique Quevedo Reyes

Experto en diseño de bases de datos para web

EQUIPO DE APOYO

Ing. Holmes Yamid Cucanchón Vargas

Auxiliar en técnicas y métodos para la operación del transporte.

Ing. Sindy Milena Díaz Guerrero

Auxiliar en modelización y diseño experimental

Ing. William Fernando Lizarazo Medina

Auxiliar en infraestructura vial

Ing. Diana Paola Martínez Torres

Auxiliar en Logística y transporte de carga

Lic. Edgar David Parra Vargas

Auxiliar en planificación del territorio

Est. Ing. Laura Marcela Mojica Vega

Auxiliar en Impactos ambientales del Transporte

Est. Ing. Carlos Andrés Muñoz León

Auxiliar en evaluación y economía del transporte

Est. Ing. Juan Guillermo Ríos Fonseca

Auxiliar en evaluación y economía del transporte

Est. Ing. Jeniffer María Niño Salazar

Auxiliar en estudios de tránsito

EQUIPO DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN

Est. Ing. Jorge Eliecer Galindo León

Investigación “Tarifas de transporte urbano en Tunja”

Est. Ing. Jhonatan Alexander Leguízamo Echeverri

Investigación “Tarifas de transporte urbano en Tunja”

Ing. Audy Alexander Nieves Ariza

Investigación “Terminal de transporte interurbano de Tunja”

Ing. Leonardo Pacheco Niño

Investigación “Transporte interurbano a su paso por Tunja”

Contenido

1. Introducción 13
2. Modelación del año base 21
2.1. Zonas, deseos de viaje y redes 21
2.2. Asignación de peatones 32
2.2.1. Sin restricciones 33
2.2.2. Con restricción peatonal por el viaducto 33
2.3. Asignación de bicicletas 34
2.4. Asignación de autos 36
2.5. Asignación de TPCU 40
3. Proyecciones para cada escenario y horizonte 46
3.1. Análisis de tendencias 46
3.2. Horizontes de planificación 49
3.2.1. 2015 50
3.2.2. 2019 51
3.2.3. 2039 52
3.3. Consideraciones a los escenarios de modelación 53
3.4. Viajes futuros 55
4. Medidas de gestión de tráfico 56
4.1. Optimización de ciclos semafóricos en la red 56
4.2. Intersecciones giratorias 57
4.3. Retiro y colocación de semáforos 60
4.4. Modificaciones en la red vial del centro de Tunja 63
4.5. Gestión de estacionamientos 67
5. Modelación de escenarios tendenciales 70
5.1. Viajes en auto 70
5.2. Viajes en TPCU 74
5.3. Transversales oriente – occidente 77
5.4. Identificación de zonas de reserva 78
6. Modelación de escenarios inmediatos 79

6.1. Escenario 1: Carrera 10 peatonalizada 79
6.2. Escenario 2: Carrera 10 peatonalizada + cambio sentidos de circulación 82
7. Propuesta de movilidad no motorizada 85
7.1. Bases de la movilidad no motorizada 87
7.2. Identificación de proyectos peatonales 90
7.3. Consideraciones a la infraestructura peatonal 103
7.4. Identificación de infraestructura para bicicleta 104
8. Estrategias para desincentivar uso del auto 108
8.1. CARPOOLING – Viaje compartido en auto 108
8.2. CIAO - Control de Ingreso de Alta Ocupación 109
8.3. CxC – Cobro por congestión 110
8.4. TP – Tarificación de parqueaderos 111
9. Transporte de carga 112
9.1. Situación en Tunja 113
9.2. Recomendaciones 114
10. Reestructuración del sistema de TPCU 116
10.1. Fundamento legal 116
10.2. ROC – Reestructuración operacional corto plazo 117
10.3. RUM – Reestructuración funcional mediano plazo 126
10.4. Modelos de operación 144
10.5. RIL – Reestructuración integral largo plazo 146

Lista de figuras

Figura 1. Interrelaciones básicas 13
Figura 2. Desafíos enfrentados por las autoridades de transporte 15
Figura 3. Jerarquía de las metodologías de planificación 16
Figura 4. Modos de transporte en la planificación de transporte multimodal 19
Figura 5. Aspectos a integrar en el proceso de planificación del transporte 20
Figura 6. Macro-zonas de análisis de transporte 22
Figura 7. Reparto modal en el año base 23
Figura 8. Deseos de viaje en modos motorizados particulares 24
Figura 9. Deseos de viaje en Bicicleta 24
Figura 10. Deseos de viajes a pie 25
Figura 11. Deseos de viaje en transporte escolar 25
Figura 12. Deseos de viajes en Taxi 26
Figura 13. Deseos de viaje en transporte público colectivo 26
Figura 14. Zonas de análisis de transporte y centroides 27
Figura 15. Comparación de deseos de viaje en motocicleta y auto 27
Figura 16. Deseos de viajes a pie para ZAT's 28
Figura 17. Deseos de viaje en taxi para ZAT's 28
Figura 18. Modelo de red en el año base 29
Figura 19. Sistema de rutas en el año base 29
Figura 20. Vectores de viajes de TPCU en el periodo pico AM 30
Figura 21. Vectores de viajes de TPCU en el periodo pico MD 31
Figura 22. Vectores de viajes de TPCU en el periodo pico PM 32
Figura 23. Asignación de peatones sin restricciones 34
Figura 24. Asignación de bicicletas 36
Figura 25. Asignación de autos pico AM 37
Figura 26. Asignación de autos pico MD 38
Figura 27. Asignación de autos pico PM 39
Figura 28. Asignación TPCU pico AM 41
Figura 29. Asignación TPCU pico MD 42
Figura 30. Asignación TPCU pico PM 43
Figura 31. Indicadores de utilización del sistema de TPCU en el año base 44
Figura 32. Tendencias del total de viajes por modo 47
Figura 33. Cuota de mercado por modo de transporte 48
Figura 34. Comportamiento histórico de la tarifa del sistema TPCU 49
Figura 35. Jerarquía del transporte verde 50
Figura 36. Estrategias territoriales 53
Figura 37. Jerarquía de planes y normas para configuración de escenarios 53
Figura 38. Ejes estructurales del plan de desarrollo municipal 54

Figura 39. Reporte Synchro 6® medidas de efectividad para toda la red modelada – Fases optimizadas 56
Figura 40. Modelo tridimensional intersección “Los Hongos” con glorieta 58
Figura 41. Geometría de la intersección “Hugolino” 59
Figura 42. Modelo tridimensional intersección “Hugolino” 61
Figura 43. Volumen vehicular en la Cr. 16 con Cl. 32 61
Figura 44. Posible semáforo en la Av. Oriental con Cr. 9 – Casas fiscales 62
Figura 45. Calles reales de Tunja - PEM 63
Figura 46. Propuesta cambio de sentidos viales en el centro de Tunja 65
Figura 47. Propuesta de ejes estructurantes en el centro de Tunja 66
Figura 48. Integración entre bicicletas y autobuses 68
Figura 49. Estación subterránea de buses 69
Figura 50. Estacionamiento elevado para bicicletas 69
Figura 51. Asignación de autos pico AM 2015 71
Figura 52. Asignación de autos pico AM 2019 72
Figura 53. Asignación de autos pico AM 2039 73
Figura 54. Asignación TPCU pico AM 2015 74
Figura 55. Asignación TPCU pico AM 2019 75
Figura 56. Asignación TPCU pico AM 2039 76
Figura 57. Transversales del Norte 77
Figura 58. Diferencias de asignación Escenario 1-2015 80
Figura 59. Asignación TPCU pico AM, Escenario 1-2015 81
Figura 60. Nuevos sentidos de circulación evaluados 82
Figura 61. Diferencias de asignación Escenario 2-2015 83
Figura 62. Asignación TPCU pico AM, Escenario 2-2015 84
Figura 63. Referentes para las propuestas de movilidad futura 85
Figura 64. Componentes de la ciudad 87
Figura 65. Jerarquía en la toma de decisiones 88
Figura 66. Estrategias para promover la accesibilidad 89
Figura 67. Líneas de viajes principales con vocación no motorizada 90
Figura 68. Líneas de viajes secundarias con vocación no motorizada 91
Figura 69. Eje peatonal universitario EPU01-UPTC 92
Figura 70. Eje peatonal universitario EPU02-UNIBOYACÁ 93
Figura 71. Eje peatonal universitario EPU03-SANTO TOMÁS 94
Figura 72. EPLCH – Eje peatonal longitudinal del CH 95
Figura 73. EPO – Eje peatonal Occidental 96
Figura 74. ENO – Eje peatonal Nororiental 97
Figura 75. TPO – Transversal peatonal Oriental 98
Figura 76. ECO – Eje complementario Oriental 99
Figura 77. ECAO – Eje complementario Av. Olímpica 100
Figura 78. Conflictos peatonales a resolver 101

Figura 79. Corredores peatonales propuestos 102
Figura 80. Ejemplo de infraestructura peatonal 103
Figura 81. Sección transversal con mejoramiento peatonal 104
Figura 82. EBSCH – Eje de bicicleta Sur – CH 105
Figura 83. EBPR – Eje de bicicleta Paseo del Río 106
Figura 84. EBSCH – Eje de bicicleta Sur – CH 107
Figura 85. CIAO - Control de Ingreso de Alta Ocupación 109
Figura 86. CxC – Cobro por congestión 110
Figura 87. Esquema para la logística urbana 113
Figura 88. Fases propuestas para la reestructuración de rutas 117
Figura 89. Especificación del volumen de servicio 118
Figura 90. Posibles impactos ROC 119
Figura 91. Ficha de reestructuración ROC – Escenario 1 120
Figura 92. Ficha de reestructuración ROC – Escenario 2 123
Figura 93. Clasificación funcional de rutas de TPCU 126
Figura 94. Posibles impactos RUM 127
Figura 95. Ruta Troncal Extremo Norte 128
Figura 96. Ruta Auxiliar Nororiental 129
Figura 97. Ruta Auxiliar Extremo Sur 130
Figura 98. Ruta Auxiliar Sur 131
Figura 99. Ruta Auxiliar Suroriente 132
Figura 100. Ruta Auxiliar San Antonio 133
Figura 101. Ruta Auxiliar Silvino 134
Figura 102. Ruta Auxiliar Oriental 135
Figura 103. Ruta Auxiliar Noroccidental 136
Figura 104. Ruta Auxiliar Occidental 137
Figura 105. Ruta Auxiliar El Triunfo 138
Figura 106. Resumen del sistema Tronco-alimentado 139
Figura 107. Cargamento por ruta RUM – Pico AM 2015 140
Figura 108. Perfil de carga Extremo Norte 01 141
Figura 109. Perfil de carga Extremo Norte 02 141
Figura 110. Perfil de carga Auxiliar Nororiental 01 142
Figura 111. Perfil de carga Auxiliar Nororiental 01 142
Figura 112. Perfil de carga Auxiliar Silvino 01 143
Figura 113. Perfil de carga Auxiliar Silvino 02 143
Figura 114. Posibles impactos RIL 147
Figura 115. Características generales del Tranvía 148
Figura 116. *Phileas*: Tranvía – Bus o Bus – Tranvía 148

Lista de tablas

Tabla 1. Software para la aplicación del modelo clásico 18
Tabla 2. Población por macro-zona en el año base 22
Tabla 3. Matriz de viajes internos por macro-zona, 2012 23
Tabla 4. Matriz de viajes peatonales por macro-zona, 2012 33
Tabla 5. Indicadores asignación de viajes peatonales sin restricción, 2012 33
Tabla 6. Indicadores de asignación peatonal con restricción en el viaducto, 2012 33
Tabla 7. Matriz de viajes en bicicleta por macro-zona, 2012 35
Tabla 8. Indicadores de asignación de viajes en bicicleta, 2012 35
Tabla 9. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2012 37
Tabla 10. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico MD, 2012 38
Tabla 11. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico PM, 2012 39
Tabla 12. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2012 41
Tabla 13. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico MD, 2012 42
Tabla 14. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico PM, 2012 43
Tabla 15. Extracto de la matriz de traslapo entre rutas (%) 45
Tabla 16. Factores de crecimiento por macro-zona con respecto al 2012 55
Tabla 17. Medidas de efectividad escenarios – Intersección “Los Hongos” 58
Tabla 18. Medidas de efectividad en varios escenarios – Intersección “Hugolino” 60
Tabla 19. Medidas de efectividad cambio de sentidos en el centro histórico 66
Tabla 20. Medidas de efectividad cambio de sentidos en el centro histórico 67
Tabla 21. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2015 71
Tabla 22. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2019 72
Tabla 23. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2039 73
Tabla 24. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2015 74
Tabla 25. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2019 75
Tabla 26. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2039 76
Tabla 27. Indicadores de viajes en Auto Pico AM, Escenario 1-2015 80
Tabla 28. Indicadores de viajes en TPCU Pico AM, Escenario 1-2015 81
Tabla 29. Indicadores de viajes en Auto Pico AM, Escenario 2-2015 83
Tabla 30. Indicadores de viajes en TPCU Pico AM, Escenario 2-2015 84
Tabla 31. Indicadores generales ROC – Escenario 1 119
Tabla 32. Indicadores detallados ROC – Escenario 1 121
Tabla 33. Indicadores generales ROC – Escenario 2 123
Tabla 34. Indicadores detallados ROC – Escenario 2 124
Tabla 35. Tipología vehicular según rango de demanda de TPCU 126
Tabla 36. Indicadores generales RUM – Pico AM 2015 139

1. Introducción

El ejercicio de planificar el transporte busca alcanzar un conjunto de metas diversas en el marco de la formulación de políticas territoriales y de transporte, y obedece a una perspectiva sostenible, cuya preocupación empezó a ser evidente desde el comienzo de la década de 1970[1]. En sus inicios, poner en práctica procesos de planificación con base en modelos de transporte era prácticamente imposible puesto que el tratamiento de datos masivos se convertía normalmente en el cuello de botella[2]. Ahora, el desarrollo de los sistemas informáticos ha sido tal que es posible emplear técnicas avanzadas de modelación.

La manera tradicional de abordar el problema de transporte consiste en suponer la existencia de tres macro-variables: sistema de actividades, sistema de transporte y patrón de flujos, que entre sí exhiben interrelaciones de tres tipos, como se puede ver esquemáticamente en la Figura 1.

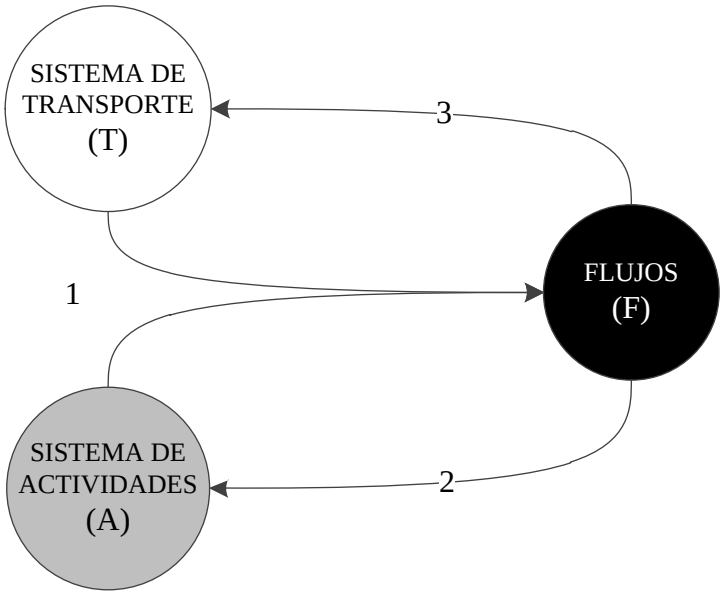


Figura 1. Interrelaciones básicas

Fuente: M. L. Manheim / Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts (1979)

La relación de tipo 1 indica que el patrón de flujos depende tanto del sistema de transporte como del sistema de actividades, la relación tipo 2 muestra que en el largo plazo los flujos cambian el sistema de actividades a través del nivel de

[1] Wheeler, S.M., Beatley, T. The Sustainable Urban Development Reader, Routledge, New York (2004)
[2] Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G. Modelling Transport, 4th edition, Jhon Wiley & Sons Ltd. Chichester, United Kingdom (2011)

servicio y el consumo de recursos, y la relación tipo 3 revela que los flujos provocan cambios en el sistema de transporte a largo y mediano plazo, es decir que dados los flujos y sus niveles de servicio la sociedad reacciona[3].

Entonces, cualquier cambio que afecte el sistema de transporte o el sistema de actividades, o los dos en forma simultánea, producirá una variación en el patrón de flujos. De ahí que normalmente el objetivo de la modelación del transporte consista en anticiparse a los impactos que una determinada medida producirá, siendo necesario disponer de un conjunto de técnicas o procedimientos de predicción; en otras palabras, el meollo del problema de la modelación del transporte será predecir los cambios en el patrón de flujos, dados unos cambios en el sistema de transporte y en el sistema de actividades.

En consecuencia, modelar un sistema de transporte implica el análisis de dos grandes ámbitos: la oferta, referida al sistema de transporte y tratada como un modelo de red, y la demanda de transporte, asociada con el sistema de actividades y representada formalmente como una o varias matrices de viajes diferenciadas por periodo y motivo de viaje.

Es claro que no todos los estilos de toma de decisiones utilizan la modelación del transporte como herramienta básica; de hecho la modelación del transporte no siempre es vista como un instrumento eficaz que apoya los procesos de planificación del transporte, entre otras razones, por la desconfianza de las autoridades acerca de la utilidad de estos modelos, la falta de recursos para la modelación a gran escala y la difícil integración institucional entre las autoridades que intervienen[4]. La Figura 2 muestra los desafíos que deben enfrentar las autoridades y planificadores de transporte cuando abordan procesos de modelación; estos desafíos van desde la misma consecución de recursos monetarios y de personal hasta la falta de comprensión de los problemas que se modelan.

En algunas ocasiones se dedican grandes recursos públicos a la planificación de la infraestructura de transporte y sin embargo no siempre las recomendaciones que se derivan de estos estudios técnicos son llevadas a cabo, debido en parte a las decisiones políticas y en ocasiones a las dificultades inherentes a su aplicación[5]. A diferencia de ciudades y regiones con sistemas de planificación

[3] Manheim, M. L. Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts. MIT Press series in transportation studies, July 1979, Pages 10-57

[4] Hatzopoulou, M., Miller, E.J. Transport policy evaluation in metropolitan areas: The role of modelling in decision-making, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 43, Issue 4, May 2009, Pages 323-338

[5] Short, J., Kopp, A. Transport infrastructure: Investment and planning. Policy and research aspects, Transport Policy, Volume 12, Issue 4, July 2005, Pages 360-367, ISSN 0967-070X

exitosos, el problema de no implementar las recomendaciones dadas como resultado de los estudios técnicos parece ser más acentuado en los países con menos tradición en sus sistemas de planificación.



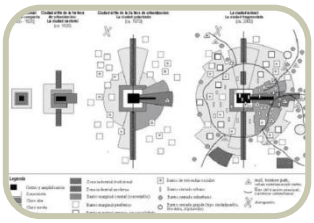
1. Recursos (personal y financiación)



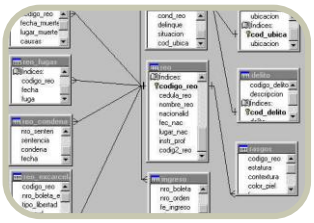
2. Conocimientos técnicos



3. Confianza en los modelos



4. Refinamiento, calibración y evolución de los modelos



5. Datos



6. Falta de comprensión de los problemas que se modelan

Figura 2. Desafíos enfrentados por las autoridades de transporte

Fuente: Adaptación de M. Hatzopoulou, E.J. Miller / Transportation Research Part A 43 (2009) 323–338

Con el fin de predecir los impactos asociados con los objetivos de la planificación del transporte urbano, puede ser necesario utilizar modelos predictivos de diferente naturaleza, en una jerarquía de modelos y enfoques metodológicos alternativos que van desde las estimaciones puramente cualitativas hasta el uso de modelos elaborados que consideran el medio ambiente y el paisaje urbano, de la forma como se indica en la Figura 3.

Las cuatro primeras metodologías de no requieren la especificación formal de modelos y aun así podrían ser utilizadas con relativo éxito, dependiendo del contexto de toma de decisiones, la exactitud deseada, la disponibilidad de datos y recursos para el estudio, así como los niveles de preparación y habilidad de los analistas[6].

Aunque convendría utilizar modelos de asignación elásticos, ojalá en el marco del modelo clásico secuencial de los cuatro pasos u otros enfoques de modelación más avanzados, se ha evidenciado que muchas veces las prioridades de

[6] Ortúzar, J. D., Willumsen, L. G. (2011) Op. cit.

financiación de los planes de transporte locales no incluyen programas de gestión de la demanda de viajes sino que impulsan preferencialmente inversiones en infraestructura[7], siendo ésta posiblemente la razón por la que buena parte de los planes de transporte son apoyados simplemente en modelos inelásticos de asignación.

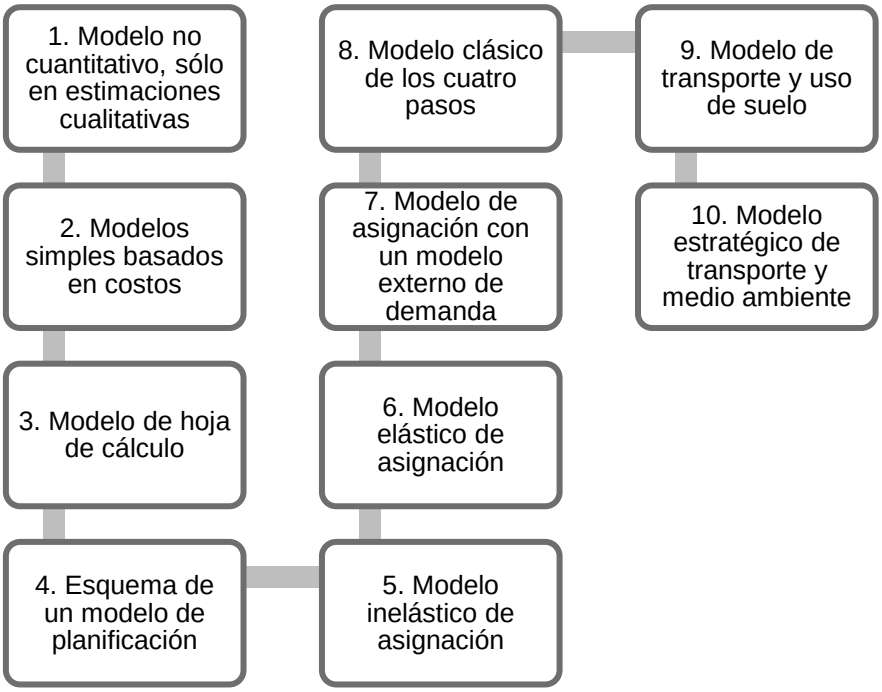


Figura 3. Jerarquía de las metodologías de planificación

Fuente: Adaptación de S.P. Shepherd et al. / Transport Policy 13 (2006) 307–317

Los modelos elásticos de asignación han sido utilizados con éxito en la formulación de problemas de equilibrio de red, en los cuales la demanda total es elástica a nivel de congestión de red, lo que permite evaluar estrategias como la implantación de sistemas *Park and Ride* frente a otras opciones como el uso de estacionamientos tradicionales[8]; en estos casos, los enfoques de modelación propuestos consideran simultáneamente la elección del viajero con respecto al lugar de estacionamiento, sitios de transferencia y ruta para cada modo, incorporando explícitamente la elasticidad de la demanda del sistema, las restricciones de capacidad de las instalaciones de transporte, la congestión y la interacción a lo largo de la red.

[7] Brannigan, C., Paulley, N. Funding for local authority transport and land-use schemes in the UK, Transport Policy, Volume 15, Issue 6, November 2008, Pages 379-386, ISSN 0967-070X

[8] Lam, W. H. K., Li, Z., Wong, S.C., Zhu, D. Modeling an Elastic-Demand Bimodal Transport Network with Park-and-Ride Trips, Tsinghua Science & Technology, Volume 12, Issue 2, April 2007, Pages 158-166, ISSN 1007-0214

Los modelos de demanda, que se pueden usar externamente para luego dar paso a la fase de asignación a la red, normalmente se basan en modelos de elección discreta sobre los cuales existe una amplia literatura. Estos modelos permiten a las autoridades de transporte, especialmente en los países en desarrollo donde los ingresos más altos estimulan el aumento de las tasas de propiedad de automóviles, evaluar estrategias por mantener o aumentar los niveles de uso del transporte público, mejorando aspectos como la comprensión del comportamiento de los usuarios del transporte público, el análisis de la estabilidad de la demanda y los factores que influyen en la migración a otros modos de transporte[9].

Finalmente, el modelo clásico de las cuatro etapas posibilita al analista la toma de decisiones mediante el análisis del impacto que causa en el sistema una decisión determinada, como la incorporación de un nuevo tramo vial, el mejoramiento de una vía, la definición de un nuevo esquema de restricciones a la circulación, o por el simple crecimiento de la demanda de transporte, aun manteniendo constante la infraestructura y demás parámetros del sistema.

En la práctica, la puesta en funcionamiento del modelo clásico de las cuatro etapas requiere software especializado, ya que el extenso tamaño de las redes de transporte estudiadas, el gran número de zonas consideradas, el cuantioso número de escenarios a evaluar y la complejidad misma de los modelos, impiden que el problema pueda ser abordado en forma distinta.

La Tabla 1 contiene una relación de los programas de cómputo más utilizados en la aplicación del modelo clásico de planificación en el ámbito urbano; en general, los programas computarizados comparten el objetivo de modelar los impactos que determinada actuación producirá sobre las redes de transporte y para hacerlo deben inicialmente predecir el número de viajes en cada modo de transporte, el origen y destino de esos viajes, y la ruta que será seleccionada[10].

El desarrollo del presente documento se basa en la modelación de transporte con el software TRANSCAD, que es una herramienta de planificación que incorpora un sistema de información geográfico que permite trabajar con mucho más detalle y precisión en lo referente a representación cartográfica. Existen otros paquetes comerciales como EMME/3 que posee un amplio abanico de herramientas que permiten un estudio muy detallado, su principio fundamental es la asignación de las matrices de la demanda (matrices Origen-Destino) a la red de transporte.

[9] Bass, P., Donoso, P., Munizaga, M. A model to assess public transport demand stability, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 45, Issue 8, October 2011, Pages 755-764, ISSN 0965-8564

[10] Lane, R., Powell, T., Smith, P. Analytical Transport Planning. 1974. Traducción de Santiago Téllez Olmo. Planificación Analítica del Transporte. Instituto de estudios de administración local. Madrid: 1975.

Tabla 1. Software para la aplicación del modelo clásico

Nombre	Descripción
EMME	Sistema de planificación del tráfico urbano multimodal, que posee un amplio abanico de herramientas que permiten un estudio muy detallado, su principio fundamental es la asignación de las matrices de la demanda (matrices Origen-Destino) a la red de transporte.
TRIPS	Paquete flexible de programas de planificación del tráfico que se puede utilizar para construir una amplia gama de modelos tanto en carreteras como en redes de transporte público.
TRANSCAD	Herramienta de planificación que incorpora un sistema de información geográfico que permite trabajar con mucho más detalle y precisión en lo referente a representación cartográfica.
QRS II	Programa para pronosticar los impactos de actuaciones urbanas sobre el tráfico y para pronosticar los impactos de proyectos viales sobre el modelo de viajes.
ESTRAUS	Modelo computacional que simula el comportamiento de un sistema de transporte urbano, ha sido desarrollado por el Gobierno de Chile a través de SECTRA Software.
TRAMOS	Herramienta para la planificación y el estudio de problemas de tráfico y transporte en el ámbito urbano y metropolitano.

Fuente: Elaboración propia con base en Escobar, D.A. / Instrumentos y metodología de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias colombianas (2008)

A diferencia de los modelos tradicionales de planificación, que se han enfocado principalmente en el análisis de las condiciones de tráfico de los vehículos motorizados, los enfoques más novedosos tienden a centrar su interés en la planificación y evaluación multimodal que examina, además de los modos de transporte tradicionales, alternativas más sostenibles como ir a pie o en bicicleta, al mismo tiempo que promueve estrategias de gestión de la demanda como alternativas a la expansión de la capacidad vial.

En la implementación de procesos de planificación multimodal, que resultan ser mucho más complejos que los enfoques tradicionales debido a las grandes diferencias técnicas de los modos de transporte alternativos[11], normalmente se establece una jerarquía en términos de los menores impactos negativos producidos, tal como se aprecia en la Figura 4, que da mayor importancia a los peatones y deja en el último lugar a los autos con baja ocupación.

[11] Litman, T. Introduction to Multi-Modal Transportation Planning: Principles and Practices, Victoria Transport Policy Institute, 17 September 2009, pages 1-16

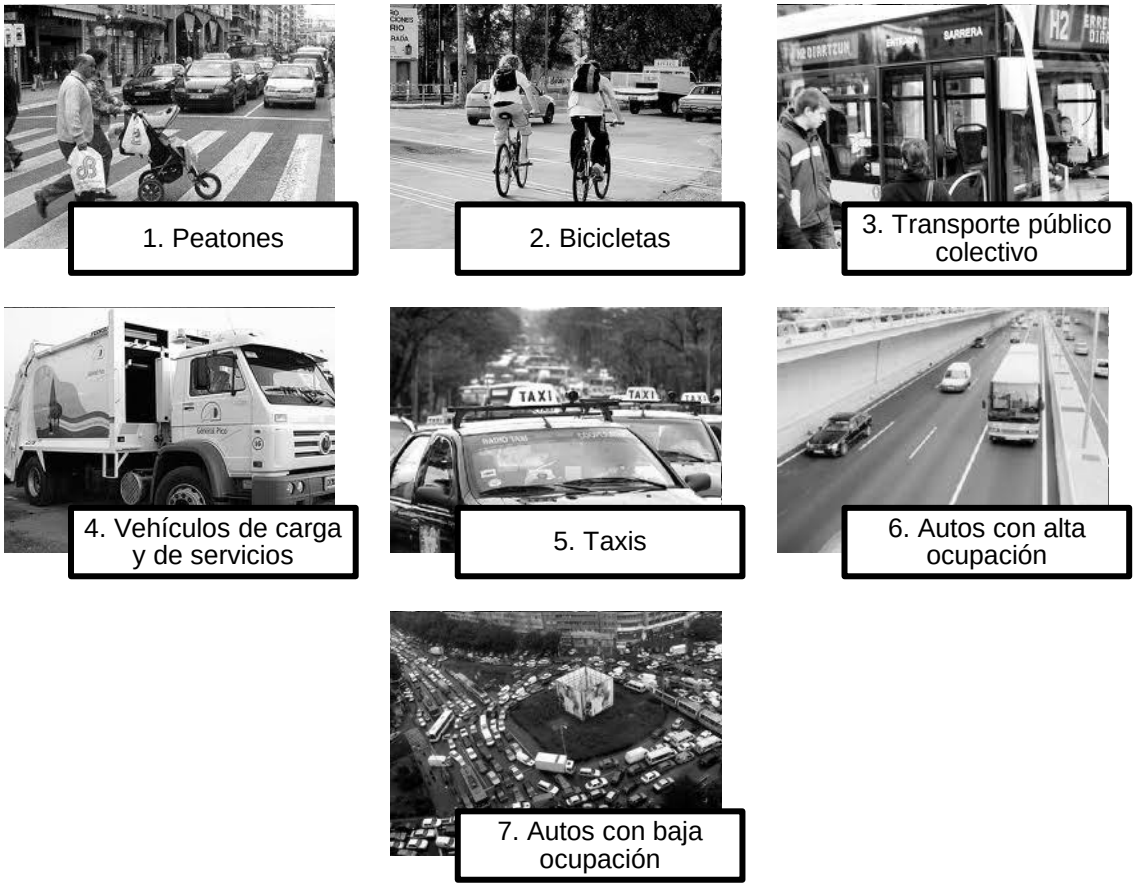


Figura 4. Modos de transporte en la planificación de transporte multimodal

Fuente: Adaptación de T. Litman / Multimodal Transportation planning (2009) 1–16

Litman (2009)[12] sugiere que un proceso de planificación multimodal observe las siguientes recomendaciones:

- Considerar una gran variedad de opciones de mejoramiento al sistema de transporte, incluyendo políticas de tarificación y estrategias inteligentes de uso de suelo, así como todas las combinaciones que se puedan presentar.
- Usar modelos entendibles que consideren varios modos de transporte.
- Prestar especial atención a la conectividad entre modos de transporte, especialmente la calidad de acceso de peatones y ciclistas a las estaciones de buses.
- Prestar especial atención a las condiciones de movilidad de la población que se encuentre física o económicamente en desventaja, para garantizar el acceso universal al sistema de transporte.

[12] Litman, T. (2009) Op. cit.

- Estudiar todos los impactos significativos.
- Describir los impactos que no puedan ser cuantificados y monetizados.
- Relacionar los impactos con los objetivos estratégicos formulados, como el uso de suelo a largo plazo y el desarrollo económico.
- Involucrar a las personas en los procesos de toma de decisiones.

Además de atender estas recomendaciones, es necesario que las autoridades a cargo de liderar los procesos de planificación de transporte logren una correcta integración, tanto horizontal como vertical, con independencia del grado de incorporación de agentes privados en la planificación y gestión de la movilidad. Al respecto, May (1993)[13] y Hine (2002)[14] han identificado los principales aspectos de la integración en los procesos de planificación del transporte, tal como se ve en la Figura 5.



Figura 5. Aspectos a integrar en el proceso de planificación del transporte

Fuente: Adaptación de T. May / How to achieve integration, In: Integrated Urban Planning and Transport Policies (1993) 29–30 y P. Hine / Integrating Transport and Development (2002)

[13] May, T. How to achieve integration, In: Integrated Urban Planning and Transport Policies, The Cambridge Conference on Urban Transport, 29–30 June 1993, Christ College, Cambridge.
[14] Hine, P. Integrating Transport and Development, Royal Institute of Chartered Surveyors, London (2002)

2. Modelación del año base

En el año base interesa conocer cuáles son los patrones de viajes en los distintos modos alternativos y para ello es necesario identificar los deseos de viaje con respecto a los dos niveles de zonificación adoptados. También interesa conocer cuál es el desempeño del modelo al asignar los viajes actuales a las redes de peatones, bicicletas, autos y transporte público colectivo, en cada uno de los periodos de interés.

La forma como responda el modelo en las condiciones actuales permitirá tener la suficiente confianza para evaluar el modelo en cada escenario y horizonte de planificación con el fin de encontrar los principales indicadores esperados en el sistema para cada una de las actuaciones propuestas.

2.1. Zonas, deseos de viaje y redes

El año base de modelación corresponde al año 2012, periodo en el cual se hizo la toma de información primaria con la que se procedió a calibrar el modelo de transporte en TRANSCAD.

El análisis de demanda de transporte en el escenario base considera una división espacial agregada de 10 macro-zonas (Figura 6), con singular importancia de la macro-zona del centro histórico por cuanto es objeto de un plan de manejo especial por parte de la administración municipal y porque la gran mayoría de los viajes de la ciudad tienen su origen o destino en ese lugar.

Las macro-zonas definidas en el escenario base y que seguirán siendo utilizadas como referente espacial en los diversos escenarios de futuro a evaluar son:

- CH: Centro histórico
- CN: Centro norte
- NO: Nororiental
- NW: Noroccidental
- EN: Extremo norte
- OR: Oriental
- SO: Suroriental
- OC: Occidental
- SU: Sur
- ES: Extremo sur

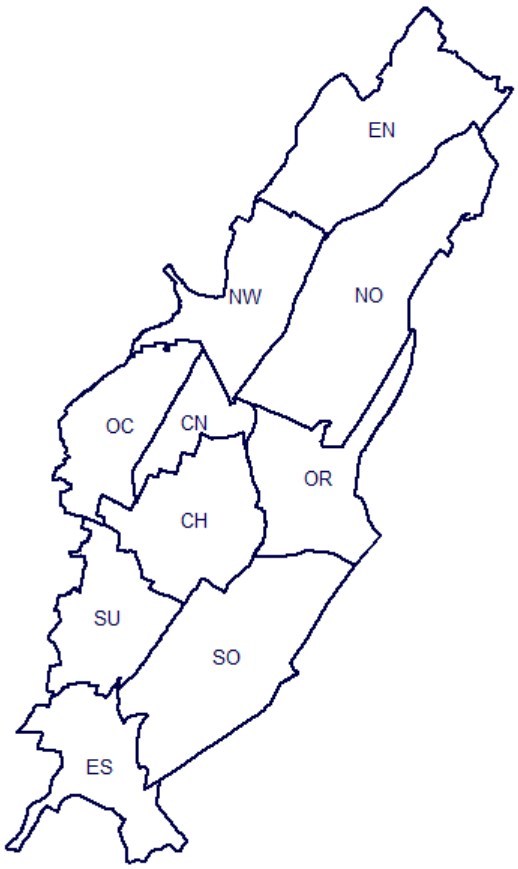


Figura 6. Macro-zonas de análisis de transporte

Fuente: Modelo de transporte

Los datos poblacionales asociados a las macro-zonas en el año base son resumidos en la Tabla 2 que contiene un total de 173,216 habitantes urbanos para la ciudad en el año 2012.

Tabla 2. Población por macro-zona en el año base

Macro-zona	Sigla	Población
Centro histórico	CH	24,954
Centro Norte	CN	12,938
Noroccidental	NW	9,511
Nororiental	NO	12,116
Extremo Norte	EN	22,273
Oriental	OR	4,922
Suroriental	SO	25,169
Occidental	OC	24,318
Sur	SU	25,275
Extremo Sur	ES	11,739
Total		173,216

Fuente: Elaboración propia

En el año base se tiene un total de 348,574 viajes diarios entre macro-zonas internas, tal como se ve en la Tabla 3, encontrando así un total de 2.01 viajes entre macro-zonas internas por habitante; es claro que al considerar las zonas externas este indicador debiera aumentar aunque no en forma considerable dado que la mayoría de los viajes urbanos está asociado con orígenes o destinos localizados en las zonas internas.

Tabla 3. Matriz de viajes internos por macro-zona, 2012

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
1	34284	7634	7235	8699	9439	2195	10947	9728	12614	3442	106217
2	7608	2668	2732	1665	941	381	751	1863	1132	551	20292
3	7511	2706	6640	3188	4304	841	2828	3914	2606	1351	35889
4	8704	1600	3436	4598	5049	475	1775	1715	2116	701	30169
5	9369	920	4323	5036	11195	668	1221	795	1205	469	35201
6	2268	431	845	432	657	729	826	752	680	263	7883
7	11192	815	2859	2078	1182	877	8391	739	2759	1304	32196
8	10086	1924	3962	1783	809	681	694	6070	1853	616	28478
9	12667	1076	2684	2129	1175	634	2857	1831	11236	2233	38522
10	3375	533	1374	626	505	255	1365	654	2213	2827	13727
TOTAL	107064	20307	36090	30234	35256	7736	31655	28061	38414	13757	348574

Fuente: Elaboración propia

El reparto modal en el año base indica una mayor presencia de viajes a pie y en transporte público colectivo, tal como se ve en la Figura 7. Actualmente los viajes en bicicleta no son muy importantes pero sería deseable que en el futuro se incrementara su participación en el sistema.

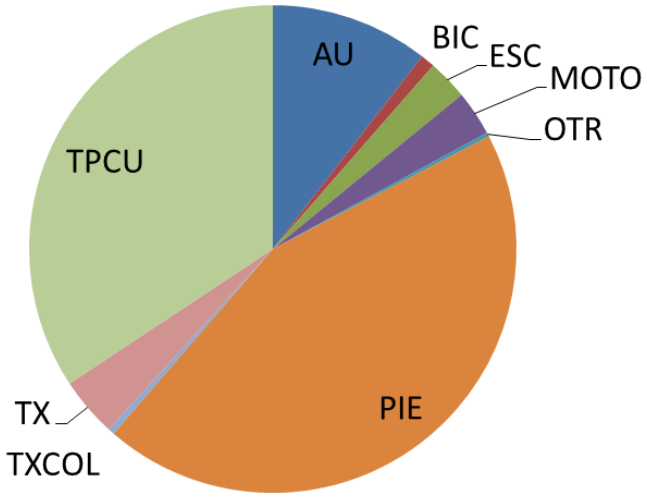


Figura 7. Reparto modal en el año base

Fuente: Modelo de transporte

En el año base se observa un patrón radial predominante de los flujos motorizados, con deseos de viaje que tienen como extremo el centro histórico de la ciudad, tal como se ve en la Figura 8.

Es posible detectar una mayor presencia de flujos motorizados en auto al norte y de flujos motorizados en motocicleta al sur.

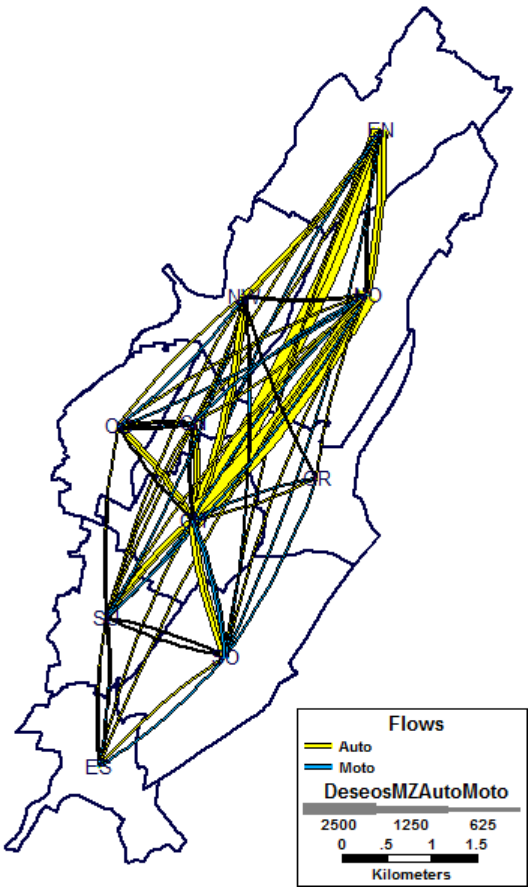


Figura 8. Deseos de viaje en modos motorizados particulares

Fuente: Modelo de transporte

Con respecto a los viajes en bicicleta (Figura 9) se observa en el año base un mayor flujo entre macro-zonas adyacentes, con un flujo importante entre el centro histórico y la macro-zona sur, así como entre las macro-zonas centro norte y nororiental, debido posiblemente a la dinámica del sector de la construcción en esta última macro-zona.

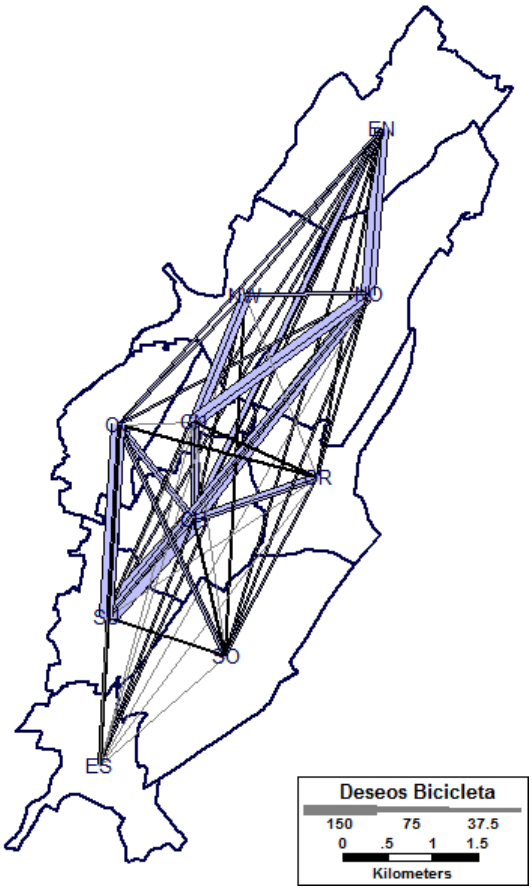


Figura 9. Deseos de viaje en Bicicleta

Fuente: Modelo de transporte

Existe en el año base un importante flujo peatonal entre el centro histórico y la macro-zona occidental, así como entre el centro histórico y la macro-zona suroccidental, como se puede ver en la Figura 10.

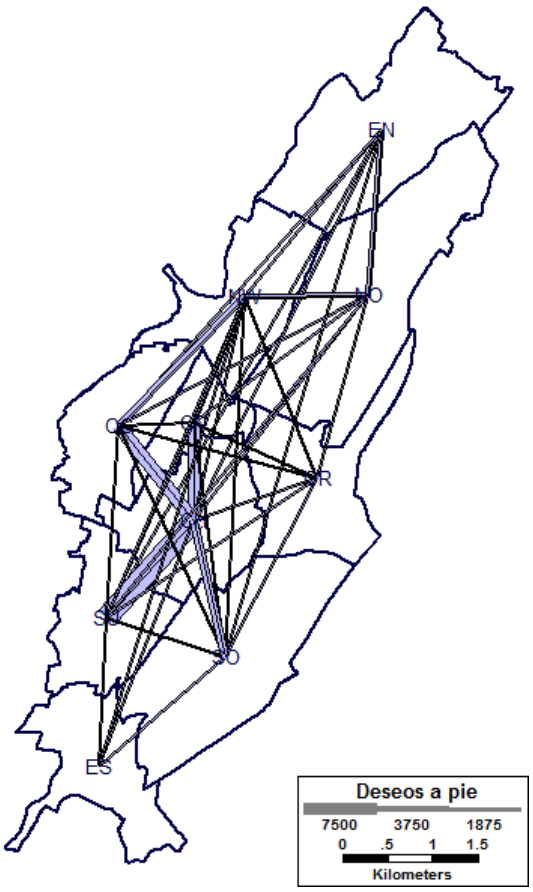


Figura 10. Deseos de viajes a pie

Fuente: Modelo de transporte

Los viajes en modo escolar en el año base dejan ver un patrón de flujos predominante entre las macro-zonas suroriental y noroccidental (Figura 11), explicado por la ubicación de colegios de alta demanda en la macro-zona noroccidental.

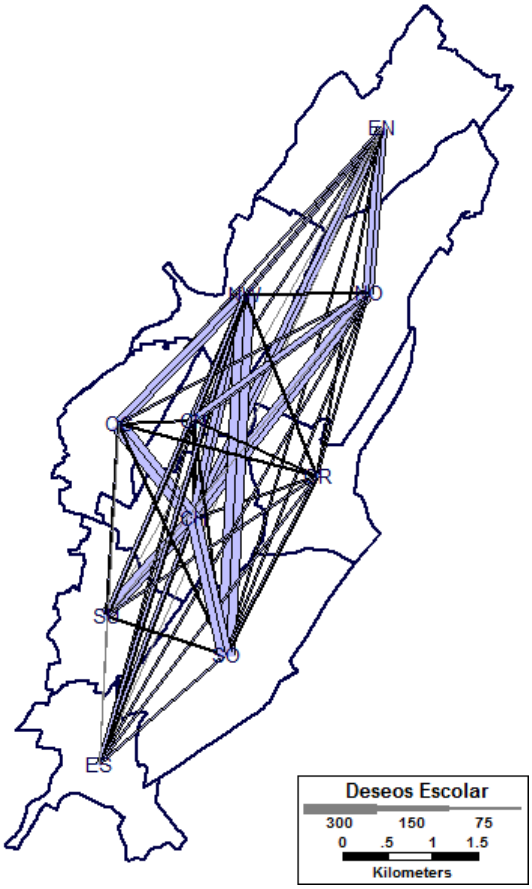


Figura 11. Deseos de viaje en transporte escolar

Fuente: Modelo de transporte

Debido a la gran concentración de actividades, se observa en el año base un patrón de flujos radiales en taxi hacia y desde el centro histórico (Figura 12), especialmente con respecto a zona Noroeste, donde se ubican hogares de mayores ingresos.

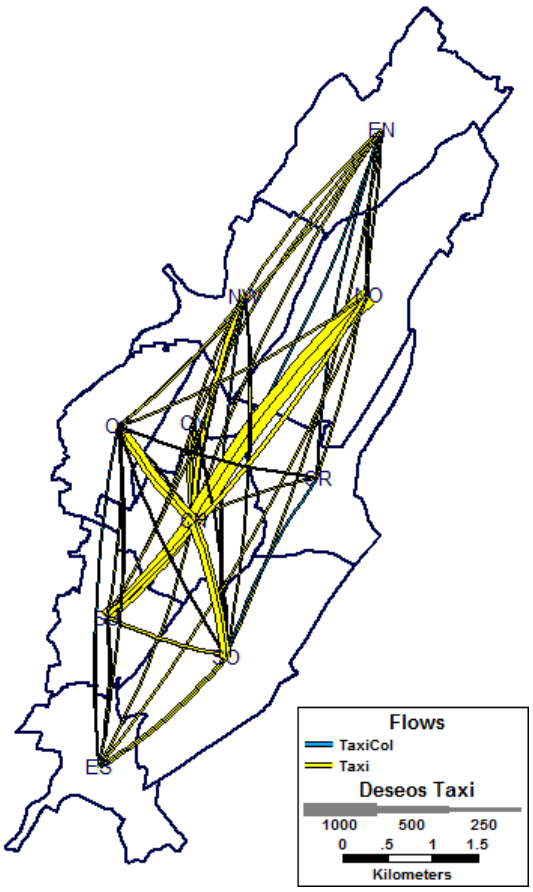


Figura 12. Deseos de viajes en Taxi

Fuente: Modelo de transporte

Por último, con respecto a los viajes en transporte público colectivo, tal como se exhibe en la Figura 13, también se observa un patrón radial con respecto al centro histórico dado que se trata de una macro-zona con gran poder de atracción de viajes.

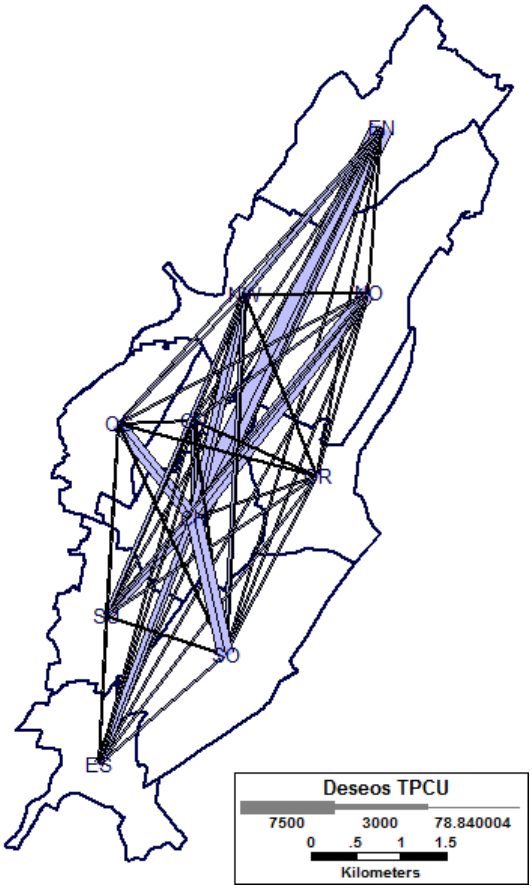


Figura 13. Deseos de viaje en transporte público colectivo

Fuente: Modelo de transporte

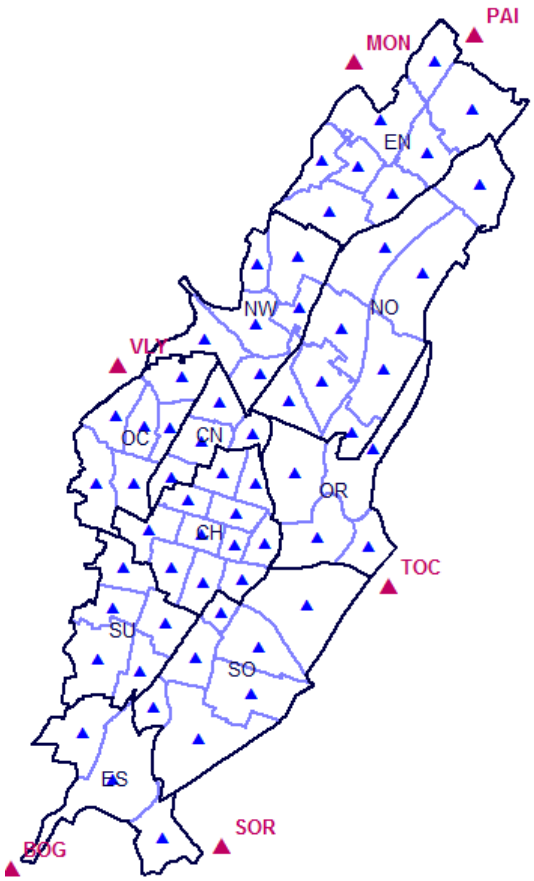


Figura 14. Zonas de análisis de transporte y centroides

Fuente: Modelo de transporte

Para analizar la demanda de transporte de manera en forma más detallada se utilizó en el modelo una zonificación conformada por 62 zonas internas, enmarcadas en el mismo sistema de macro-zonificación utilizado, y 6 zonas externas para incluir en el modelo la relación de la ciudad con su entorno.

Las zonas externas consideradas en el modelo de transporte son:

- BOG: Bogotá
- SOR: Soracá
- TOC: Toca
- PAI: Paipa
- MON: Moniquirá
- VLY: Villa de Leyva

El análisis más detallado de los deseos de viaje motorizados particulares a partir de las zonas, deja ver cómo efectivamente hay una mayor concentración de viajes en motocicleta al sur de la ciudad, mientras que en el norte parece más importante el auto (Figura 15).

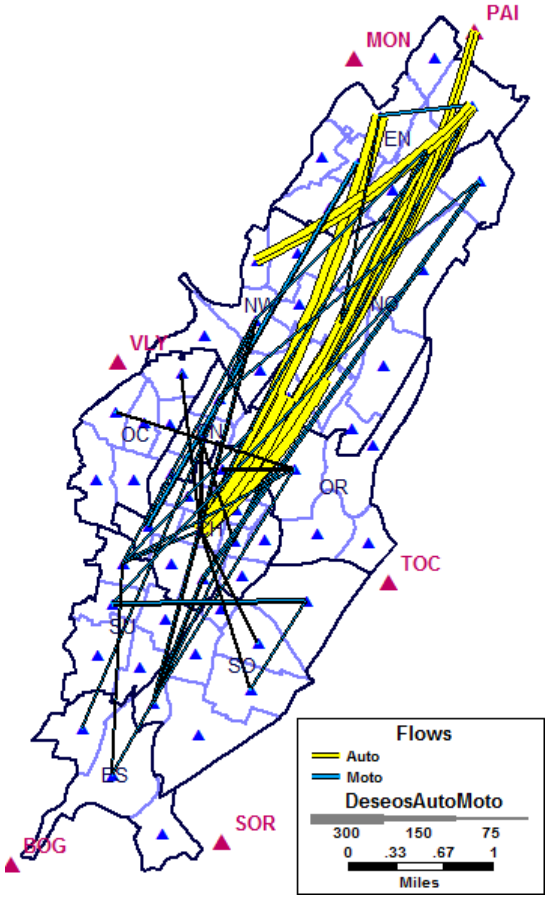


Figura 15. Comparación de deseos de viaje en motocicleta y auto

Fuente: Modelo de transporte

Se detecta en el año base que los viajes a pie son más frecuentes entre zonas cercanas y como acceso a las universidades dado que los estudiantes universitarios que provienen de otras ciudades consiguen ubicarse cerca de las sedes de las instituciones de educación superior.

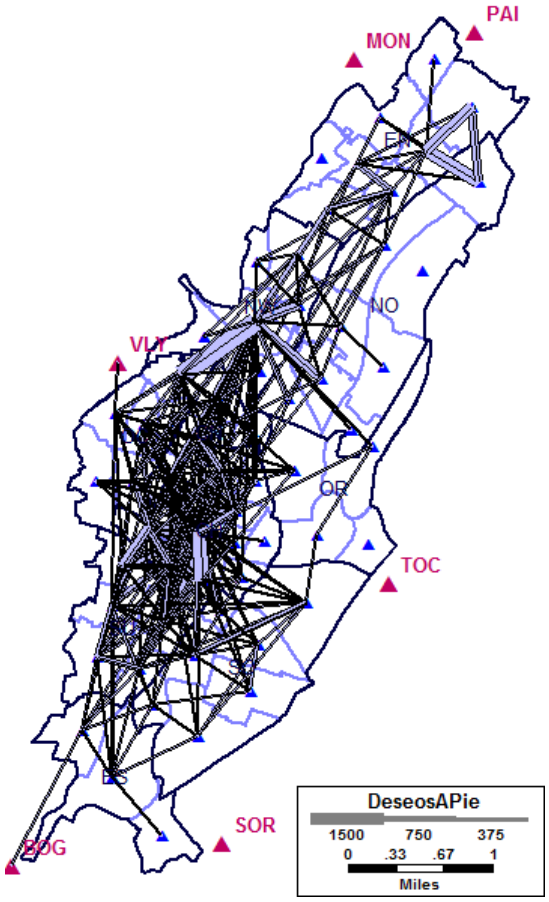


Figura 16. Deseos de viajes a pie para ZAT's

Fuente: Modelo de transporte

En taxi, se encuentra una distribución en toda la ciudad y se destaca la presencia de unas líneas de deseo transversales, que no aparecen tan evidentes cuando se analizan otros modos de transporte.

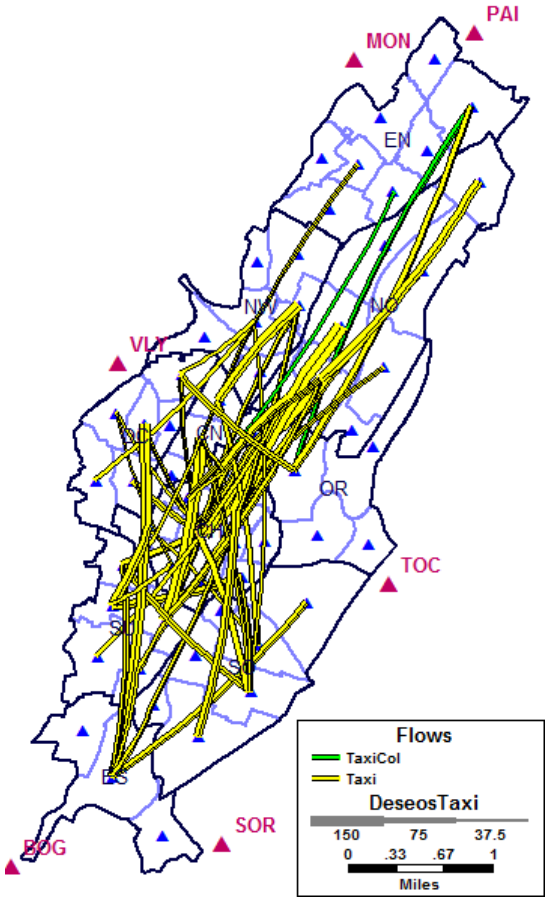


Figura 17. Deseos de viaje en taxi para ZAT's

Fuente: Modelo de transporte

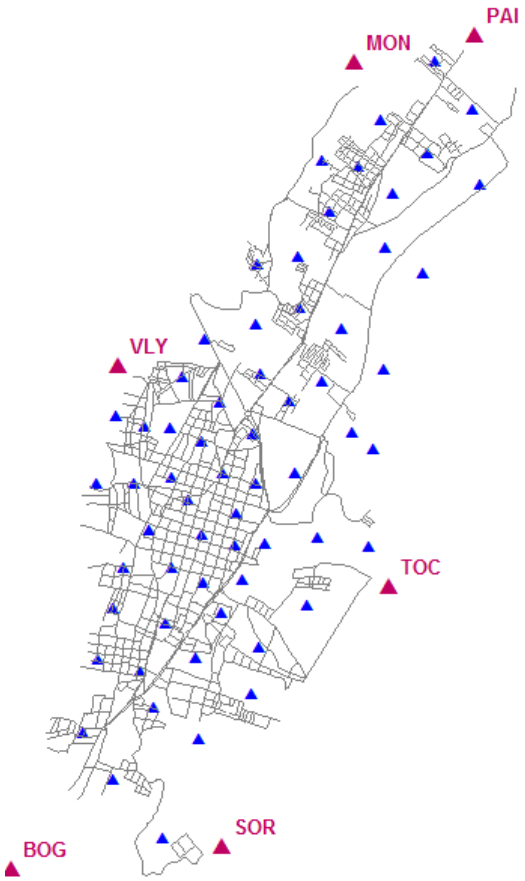


Figura 18. Modelo de red en el año base

Fuente: Modelo de transporte

En el año base se construyó un modelo de red que incluye los arcos más representativos de la red vial existente, así como las conexiones a los centroides de zona.

El modelo de red en el año base quedó conformado así:

- 2,613 arcos viales
- 1,995 nodos ruteadores
- 68 nodos centroides

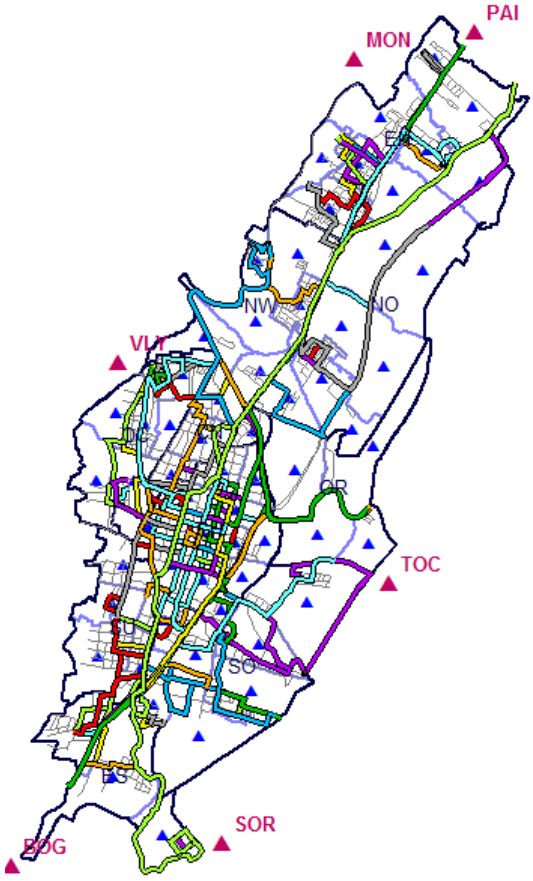


Figura 19. Sistema de rutas en el año base

Fuente: Modelo de transporte

Así mismo, se construyó el sistema de rutas de transporte público colectivo a modelar, el cual quedó conformado por 66 líneas, dos por cada ruta representada en el modelo.

Parte del análisis del sistema de TPCU se basó en la obtención de mapas temáticos que permiten evaluar el patrón espacial de la demanda. La Figura 20, que contiene los vectores de viaje en TPCU para el periodo pico de la mañana, deja ver que los principales atractores de viajes son el centro histórico y el sector de la UPTC, mientras que las producciones más importantes se localizan en el sector sur.

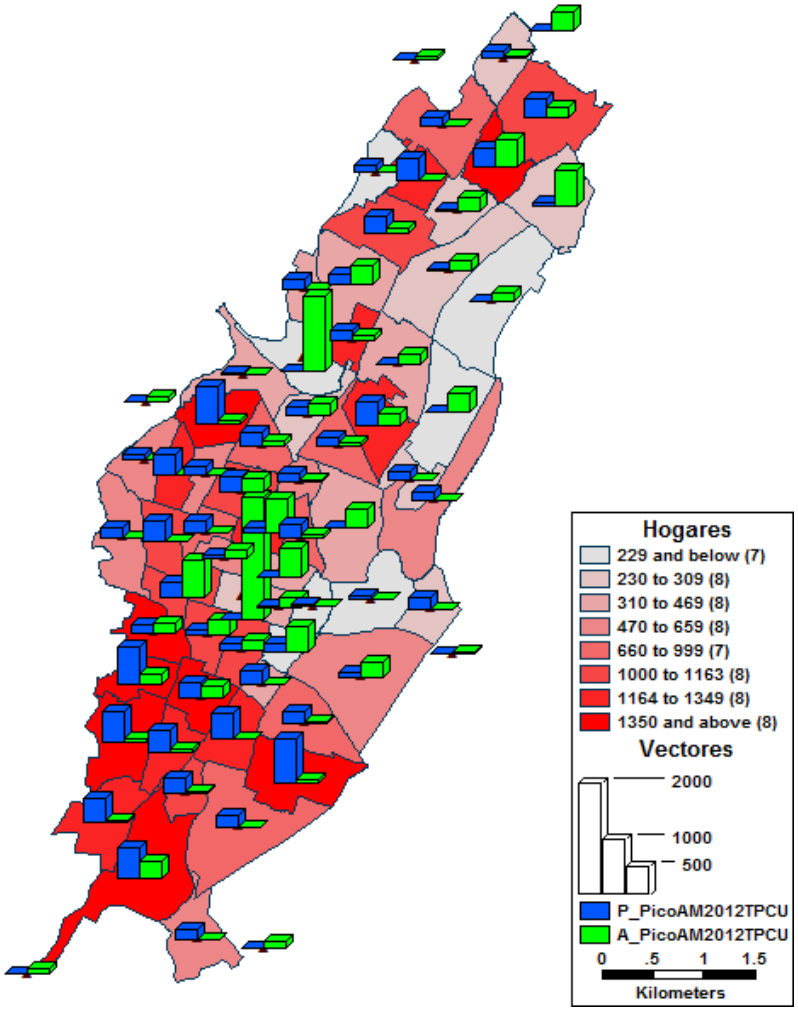


Figura 20. Vectores de viajes de TPCU en el periodo pico AM

Fuente: Modelo de transporte

Mapas similares fueron obtenidos para los demás periodos de modelación, encontrando patrones similares de comportamiento, que cambian su sentido predominante dependiendo del periodo modelado.

La demanda de transporte en TPCU que está representada en los vectores y figuras mostradas son:

- Pico AM (06:05 - 07:05): 13.293 viajes
- Pico MD (11:50 - 12:50): 16.524 viajes
- Pico PM (17:35 - 18:35): 12.661 viajes

Aunque la cantidad de viajes personales en TPCU para el periodo pico del medio día (Figura 21) es significativamente superior a la que se registró en otros periodos, su patrón de comportamiento es similar al del periodo pico de la tarde (Figura 22), mostrando viajes que se originan en las principales zonas atractoras de la ciudad y se dirigen a las zonas residenciales.

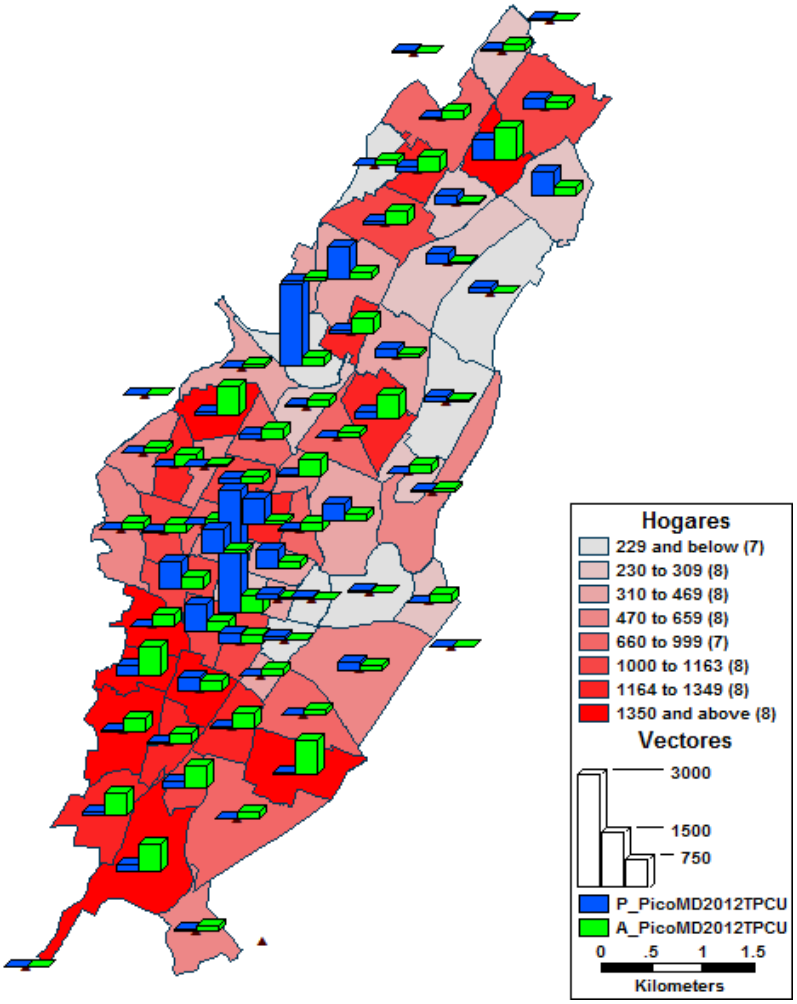


Figura 21. Vectores de viajes de TPCU en el periodo pico MD

Fuente: Modelo de transporte

En el año base aparecen recurrentemente el centro histórico, el sector de la UPTC y las zonas residenciales del sur de la ciudad como zonas atractoras y productoras principales.

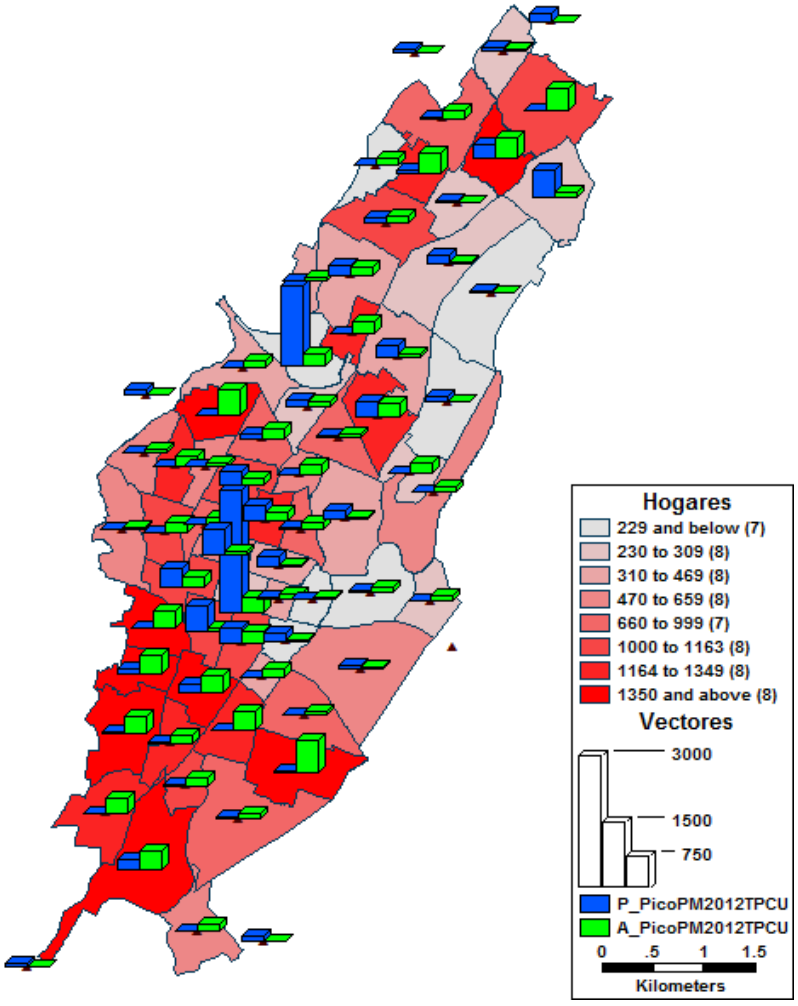


Figura 22. Vectores de viajes de TPCU en el periodo pico PM

Fuente: Modelo de transporte

2.2. Asignación de peatones

Con el propósito de contar con unos indicadores de referencia, se hace la modelación de peatones en el año base, suponiendo que no existe restricción alguna para caminar y que los usuarios eligen los caminos más cortos. Como el efecto de la congestión no es importante para este tipo de usuarios, se utiliza un método de asignación todo o nada y se utiliza una matriz de demanda diaria.

Aunque la asignación de viajes peatonales utiliza la matriz detallada por ZAT's, se presenta en la Tabla 4, a manera de ilustración, la matriz de viajes peatonales por macro-zona.

Tabla 4. Matriz de viajes peatonales por macro-zona, 2012

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
1	27479	4324	1537	490	196	902	3328	4374	7249	276	50155
2	4003	2262	1688	280	15	157	176	1305	359	16	10261
3	1395	1648	5441	1869	1135	238	55	2337	305	42	14465
4	410	183	2024	1908	2262	85	64	305	78	16	7335
5	187	15	1115	2246	8617	35	56	74	104	0	12449
6	672	221	145	43	35	572	214	267	170	0	2339
7	3317	220	111	33	56	222	6966	261	1449	563	13198
8	4666	1409	2615	346	50	310	245	5757	1120	37	16555
9	7340	479	306	120	115	85	1594	1005	9718	1206	21968
10	265	0	40	0	0	0	433	23	1199	2657	4617
TOTAL	49734	10761	15022	7335	12481	2606	13131	15708	21751	4813	153342

Fuente: Elaboración propia

2.2.1. Sin restricciones

La asignación de peatones sin considerar restricción a la movilidad peatonal (Figura 23) da como resultado los indicadores generales que se resumen en la Tabla 5, donde se observa que la distancia media recorrida por cada individuo es de 1.33 km, para un tiempo medio de 20 min y una velocidad media de 4 km/h.

Tabla 5. Indicadores asignación de viajes peatonales sin restricción, 2012

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo total del sistema	Hora	51,532
Distancia total recorrida	Km	206,126
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	5,590
Distancia desde centroides	Km	22,358
Diferencia de tiempo	Hora	45,942
Diferencia de distancia	Km	183,768
Velocidad media	Km/h	4.00
Tiempo medio por usuario	min	20.00
Distancia media por usuario	km	1.33

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Con restricción peatonal por el viaducto

La asignación de peatones suponiendo la restricción de movimientos peatonales por el viaducto da como resultado los indicadores generales que se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Indicadores de asignación peatonal con restricción en el viaducto, 2012

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo total del sistema	Hora	51,554
Distancia total recorrida	Km	206,216
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	5,590
Distancia desde centroides	Km	22,358
Diferencia de tiempo	Hora	45,964
Diferencia de distancia	Km	183,858
Velocidad media	Km/h	4.00
Tiempo medio por usuario	min	20.01
Distancia media por usuario	km	1.33

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Asignación de peatones sin restricciones

Fuente: Modelo de transporte

El tiempo medio obtenido con el modelo corresponde con el procesamiento de la matriz de viajes que dio como resultado un tiempo medio de viaje peatonal de 20.71 min, es decir una diferencia de 3.55%, muy razonable dado el nivel de detalle del modelo.

La modelación ayuda a identificar los flujos principales, así:

- En el tramo UPTC hacia el sector Gaitán – La Fuente
- En el tramo UPTC por la Avenida Norte hacia el Sur.
- En el tramo UNIBOYACÁ hacia el sector Suamox – Muiscas
- Más importante el flujo de la carrera 10 desde Plaza de Bolívar hacia el Sur que hacia el Norte
- Carrera 15 de la Calle 20 a la 16

Aunque el tiempo total del sistema aumenta en 22 horas, es decir casi un día adicional en tiempo para la realización de los viajes, y la distancia total recorrida se incrementa en 90 km, los indicadores generales del modo peatonal no sufren mayores modificaciones dado el gran volumen de viajes a pie, sin embargo parece claro que un grupo específico de usuarios debe sufrir el impacto de no contar con infraestructura peatonal en esta importante vía.

2.3. Asignación de bicicletas

La modelación de bicicletas en el año base supone que los usuarios respetan los sentidos de circulación establecidos para la vialidad existente y que los ciclistas eligen los caminos más cortos para viajar entre un origen y un destino sin importar las condiciones del tráfico vehicular.

Aunque el efecto de la congestión puede tener incidencia en este tipo de usuarios, se supone únicamente con fines de modelación que los usuarios no toman en cuenta dicho efecto, sino que eligen sus caminos tratando de minimizar el tiempo medio de viaje.

De manera análoga al caso de los peatones se aclara que la modelación de viajes en bicicleta asigna la matriz detallada por ZAT's, aunque se presenta en la Tabla 7, sólo con fines ilustrativos para conocer el orden de magnitud, la matriz de viajes en bicicleta por macro-zona.

Tabla 7. Matriz de viajes en bicicleta por macro-zona, 2012

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
1	89	62	19	89	42	60	27	49	158	16	611
2	43	25	116	95	29	24	0	0	0	0	332
3	19	79	0	27	24	0	26	33	9	0	217
4	89	89	39	0	107	35	14	23	41	0	437
5	61	29	24	107	0	12	31	23	23	27	337
6	60	24	0	35	12	23	14	35	0	0	203
7	27	0	26	14	31	14	164	41	28	0	345
8	49	0	33	23	23	23	41	0	117	29	338
9	158	0	9	41	23	0	0	117	44	0	392
10	16	0	0	0	27	0	0	43	0	0	86
TOTAL	611	308	266	431	318	191	317	364	420	72	3298

Fuente: Elaboración propia

La asignación de bicicletas (Figura 24) da como resultado los indicadores generales que se resumen en la Tabla 8, donde se observa que la distancia media recorrida por cada ciclista es de 3.21 km, para un tiempo medio de 16.77 min y una velocidad media de 11.5 km/h. Aunque estos resultados difieren un poco de los obtenidos a partir del procesamiento de las encuestas domiciliarias, se consideran válidos pues son consistentes con la velocidad media esperada para este modo de transporte.

Tabla 8. Indicadores de asignación de viajes en bicicleta, 2012

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo total del sistema	Hora	987
Distancia total recorrida	Km	11,353
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	69
Distancia desde centroides	Km	792
Diferencia de tiempo	Hora	918
Diferencia de distancia	Km	10,561
Velocidad media	Km/h	11.50
Tiempo medio por usuario	min	16.77
Distancia media por usuario	km	3.21

Fuente: Elaboración propia



Figura 24. Asignación de bicicletas

Fuente: Modelo de transporte

Bajo los supuestos del modelo, se observa que los flujos en bicicleta más importantes se encuentran sobre las vías que se relacionan a continuación:

- Avenida Norte
- Viaducto
- Avenida Universitaria

Gráficamente son sugeridos los ejes viales a considerar en la provisión de infraestructura para motivar los viajes en bicicleta, en caso que la administración municipal tenga la intención de liderar una política en ese sentido.

2.4. Asignación de autos

La modelación de autos en el año base supone que los flujos de referencia se obtienen en una situación de equilibrio de usuario, según la cual, en el modelo ningún usuario cambia de camino ya que al hacerlo no obtendrá un tiempo mejor al que obtiene en la situación inicialmente asignada.

La demanda de transporte con la que se realiza la asignación corresponde a la suma ponderada de autos, motocicletas, taxis, taxis colectivos, transporte escolar y otros vehículos, en cada uno de los periodos picos de modelación.

La modelación de autos en el periodo pico de la mañana permite identificar algunos puntos críticos, a saber:

- Glorieta Norte
- Av. Norte a la salida del Barrio Santa Inés
- Semáforo de La María

- Semáforo de Olímpica
- Acceso Cr. 7 en el Terminal de Transporte

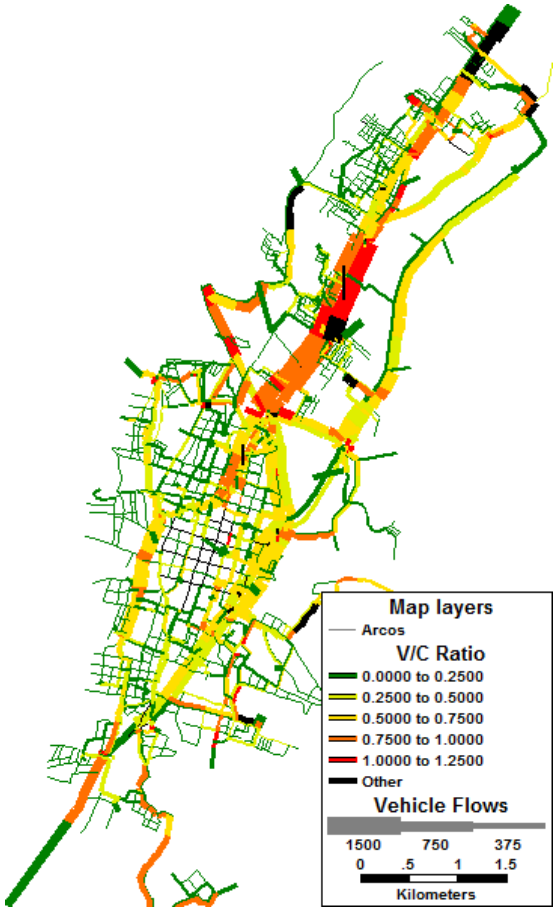


Figura 25. Asignación de autos pico AM

Fuente: Modelo de transporte

Gráficamente (Figura 25) se puede observar la magnitud del flujo en el periodo pico de la mañana sobre la vialidad disponible caracterizada en el modelo.

Los indicadores que resultan de la asignación de viajes en auto para el periodo pico de la mañana se muestran en la Tabla 9, donde se observa que la velocidad media es de 20.79 km/h para un tiempo medio por usuario de 13.45 min y una distancia media de viaje equivalente a 4.66 km.

El tiempo medio de viaje parece significativamente menor al obtenido del procesamiento de las encuestas domiciliarias, situación que se explica en parte porque el modelo no es capaz de simular algunos tiempos adicionales de viajar en auto como la búsqueda de parqueo y la caminata hacia el destino final o viceversa.

Tabla 9. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2012

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo total del sistema	Hora	2,965
Distancia total recorrida	Km	61,633
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	134
Distancia desde centroides	Km	3,366
Diferencia de tiempo	Hora	2,168
Diferencia de distancia	Km	44,681
Velocidad media	Km/h	20.79
Tiempo medio por usuario	min	13.45
Distancia media por usuario	km	4.66

Fuente: Modelo de transporte

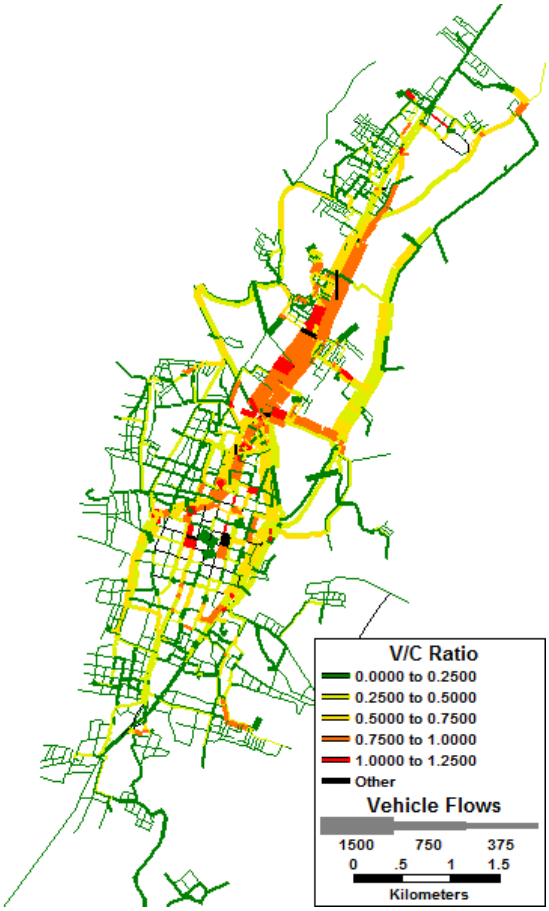


Figura 26. Asignación de autos pico MD

Fuente: Modelo de transporte

La Figura 26 muestra los resultados de la modelación de autos en el periodo pico del medio día y permite identificar algunos puntos críticos, a saber:

- Carrera 9 entre calles 20 y 21, saliendo del Centro
- Carrera 11 entre calles 20 y 19.
- Glorieta Norte
- Calle 19 entre carreras 11 y 12
- Acceso Cr. 7 en el Terminal de Transporte

Como se ve en la Tabla 10, la velocidad media en Auto para el periodo pico del medio día aumenta levemente con relación a la velocidad media del periodo pico de la mañana.

Tabla 10. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico MD, 2012

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo total del sistema	Hora	2,341
Distancia total recorrida	Km	50,789
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	93
Distancia desde centroides	Km	2,352
Diferencia de tiempo	Hora	1,595
Diferencia de distancia	Km	34,851
Velocidad media	Km/h	21.70
Tiempo medio por usuario	min	12.07
Distancia media por usuario	km	4.37

Fuente: Modelo de transporte

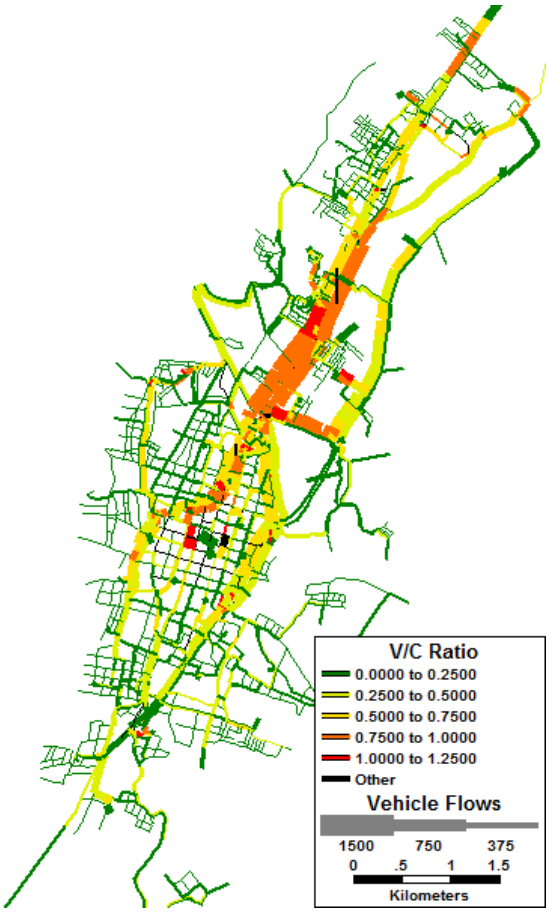


Figura 27. Asignación de autos pico PM

Fuente: Modelo de transporte

La Figura 27 muestra los resultados de la modelación de autos en el periodo pico de la tarde y, al igual que en los dos casos anteriores, permite identificar algunos puntos críticos, a saber:

- Calle 19 entre carreras 11 y 12
- Cr. 9 entre calles 20 y 21
- Acceso Cr. 7 en el Terminal de Transporte
- Av. Norte en el sector del Pozo de Donato
- Glorieta Norte, siendo crítico el acceso de la Av. Oriental hacia el Norte

La Tabla 11 muestra cómo la distancia media por usuario es mayor en el periodo pico de la tarde, en comparación con los otros dos periodos analizados.

Tabla 11. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico PM, 2012

Indicador	Unidad	Valor
Tiempo total del sistema	Hora	2,055
Distancia total recorrida	Km	46,764
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	80
Distancia desde centroides	Km	2,008
Diferencia de tiempo	Hora	1,343
Diferencia de distancia	Km	31,170
Velocidad media	Km/h	22.76
Tiempo medio por usuario	min	13.23
Distancia media por usuario	km	5.02

Fuente: Modelo de transporte

En síntesis, el proceso de modelación de autos en el año base indica una buena correspondencia con los principales flujos en cada periodo, aunque se reconoce que la modelación de los tiempos de viaje no es capaz de considerar los tiempos de acceso, de búsqueda de estacionamiento, de parqueo y otros.

2.5. Asignación de TPCU

La asignación de usuarios a la red de transporte público colectivo emplea un modelo según el cual los viajeros tienen por objetivo minimizar su costo generalizado de viaje, que es una suma ponderada de la tarifa más los tiempos usados en cada una de las etapas del viaje, multiplicados por unos ponderadores que representan la valoración subjetiva del tiempo en cada etapa del viaje. Mayores detalles de este método de asignación, conocido en la literatura como el método de asignación a rutas mínimas, y desarrollado en el software de planificación como el método *Pathfinder*, son reportados en el informe E. Modelo de Transporte.

Al igual que en la asignación de autos a la red, en este caso se utilizan las matrices asociadas a los periodos picos. En el periodo pico de la mañana son asignados 13,293 usuarios, mientras que en los periodos picos del medio día y de la tarde son asignados 16,524 y 12,661 usuarios respectivamente.

El modelo supone que en el periodo pico de la mañana se efectúan en promedio 725 despachos/hora en vehículos que registran una capacidad vehicular media de 19 pasajeros/vehículo, para una capacidad total modelada de 13,775 sillas/hora. El modelo contiene 66 líneas de transporte público, así que la oferta media estática por línea es de 208.71 sillas/línea, es decir un promedio de 11 despachos/hora/línea.

La Figura 28 muestra los resultados obtenidos al modelar la red de transporte público colectivo en el periodo de la mañana. Esta información es complementada con el resumen contenido en la Tabla 12.

La Tabla 12 exhibe los indicadores generales de asignación de viajes en transporte público colectivo para el periodo pico de la mañana en el año base. Se encontró que el costo medio generalizado de viaje es de 4,557 pesos para cada usuario, equivalente al pago de 3.5 tarifas, lo que indica que algo más de las dos terceras partes del costo de viajar en transporte público está asociado con el tiempo de viaje, cuya valoración en el modelo se fijó 60 $/min a bordo de los vehículos, con unas ponderaciones para cada etapa del viaje tal como se describe en el informe E. Modelo de transporte.

El tiempo total de viaje en transporte público colectivo es consistente con el valor medio que se obtuvo del procesamiento de las encuestas domiciliarias; en este caso, a diferencia de la modelación de redes privadas, es posible considerar cada una de las etapas que intervienen en el viaje y por lo tanto el ajuste con respecto a los tiempos de referencia es mucho mejor.



Figura 28. Asignación TPCU pico AM

Fuente: Modelo de transporte

Gráficamente (Figura 28), con base en los flujos modelados, resulta posible identificar los corredores de mayor importancia.

En el periodo pico de la mañana se identifican los siguientes corredores de importancia:

- Av. Norte
- Av. Maldonado
- Cr. 9
- Cr. 12
- Av. Suárez Rendón

De acuerdo con el modelo (Tabla 12) en el periodo pico de la mañana los usuarios del TPCU exhiben un tiempo medio en el sistema igual a 24.88 min, con un costo generalizado de viaje igual a 4,557.35 $/usuario. En general, la distancia media recorrida está cerca de 4 km, lo cual se considera razonable dadas las condiciones actuales de la red de transporte.

Tabla 12. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2012

Indicador	Unidad	Mínimo	Medio	Máximo
Costo generalizado	Pesos	1,949.16	4,557.35	10,553.92
Tiempo de acceso	min	0.24	4.15	18.87
Tiempo a bordo	min	2.82	15.42	37.87
Tiempo de egreso	min	0.24	5.32	19.19
Distancia a bordo	Km	0.07	3.95	13.85
Tiempo TPCU	min	3.30	24.88	75.93

Fuente: Modelo de transporte

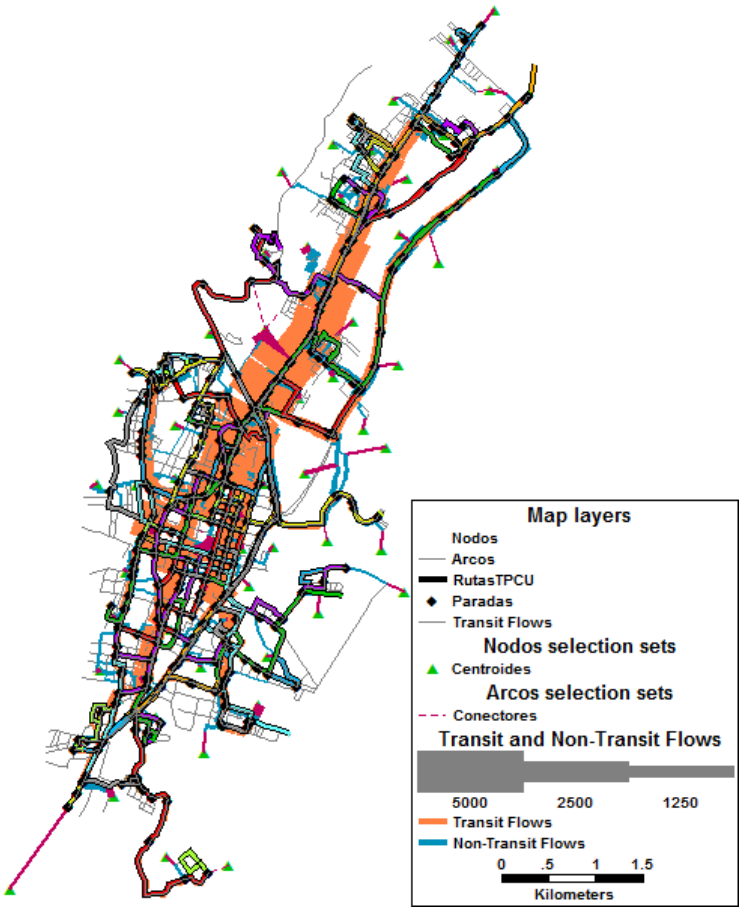


Figura 29. Asignación TPCU pico MD

Fuente: Modelo de transporte

Gráficamente (Figura 29), con base en los flujos modelados, se puede ver cómo la Av. Maldonado aumenta el flujo, aunque se mantiene un patrón de comportamiento similar al del caso anterior.

En el periodo pico del medio día son identificados los siguientes corredores:

- Av. Norte
- Av. Maldonado
- Cr. 9
- Cr. 12
- Av. Suárez Rendón

Los indicadores de asignación para el periodo pico del medio día son mostrados en la Tabla 13, donde se observa un comportamiento un poco más desfavorable en términos del costo generalizado de viaje para los usuarios, con relación al periodo pico de la mañana.

Tabla 13. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico MD, 2012

Indicador	Unidad	Mínimo	Medio	Máximo
Costo generalizado	Pesos	2,338.37	4,632.53	11,255.26
Tiempo de acceso	min	0.24	4.29	18.87
Tiempo a bordo	min	1.71	18.94	5.84
Tiempo de egreso	min	0.24	5.35	19.94
Distancia a bordo	Km	0.01	1.98	5.02
Tiempo TPCU	min	2.19	28.59	44.65

Fuente: Modelo de transporte

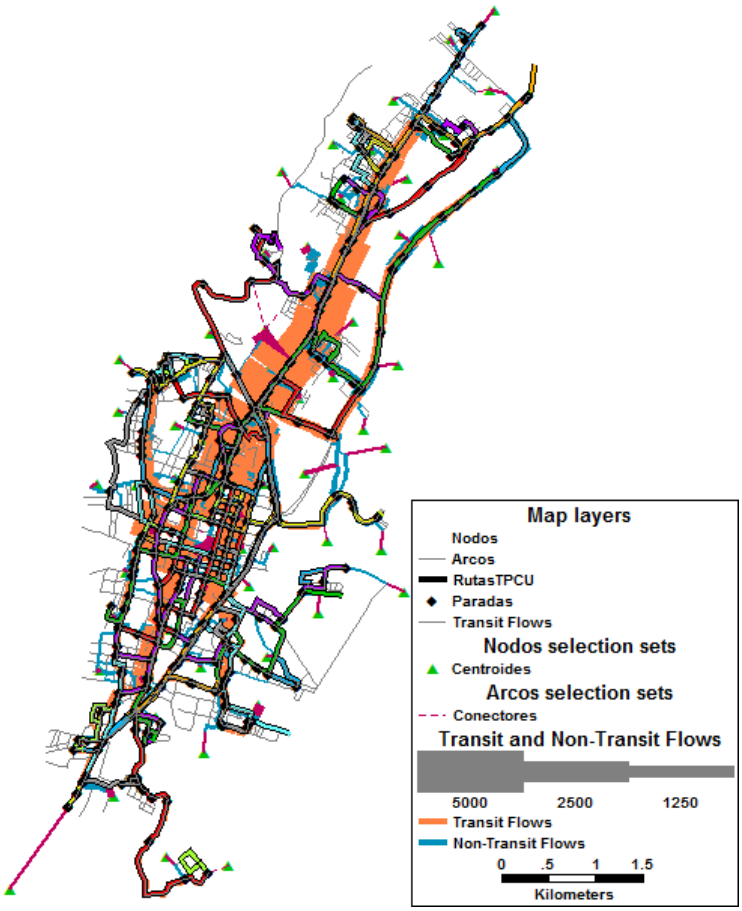


Figura 30. Asignación TPCU pico PM

Fuente: Modelo de transporte

Gráficamente (Figura 30), con base en los flujos modelados, se puede ver cómo en el periodo pico de la tarde, la Av. Norte, entre la UPTC y la Glorieta, aumenta el flujo de manera importante.

En el periodo pico de la tarde son identificados los siguientes corredores:

- Av. Norte
- Av. Maldonado
- Cr. 9
- Cr. 12
- Av. Suárez Rendón

En la Tabla 14 son resumidos los principales indicadores de asignación de viajes en TPCU para el periodo pico de la tarde, indicando que en promedio el costo generalizado de viaje es de 4,361.50 $/usuario, manteniendo así un patrón de comportamiento semejante al de los otros dos periodos modelados.

Tabla 14. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico PM, 2012

Indicador	Unidad	Mínimo	Medio	Máximo
Costo generalizado	Pesos	1,949.16	4,361.50	10,553.92
Tiempo de acceso	min	0.24	4.42	18.87
Tiempo a bordo	min	2.82	14.80	37.87
Tiempo de egreso	min	0.24	5.23	19.19
Distancia a bordo	Km	0.07	3.86	13.85
Tiempo TPCU	min	3.30	24.45	75.93

Fuente: Modelo de transporte

Por último, la Figura 31 resume los principales indicadores de utilización del sistema en el año base, mostrando cómo al acumular la demanda de las tres

horas picos identificadas se llega a una participación del 34.16% del total de viajes durante el día. Al suponer que la demanda de viajes del sistema de TPCU distribuye de manera uniforme en los periodos valles, se tendría una participación del 5.49% de la demanda por hora trayendo como consecuencia una subutilización adicional del sistema en dichos periodos.

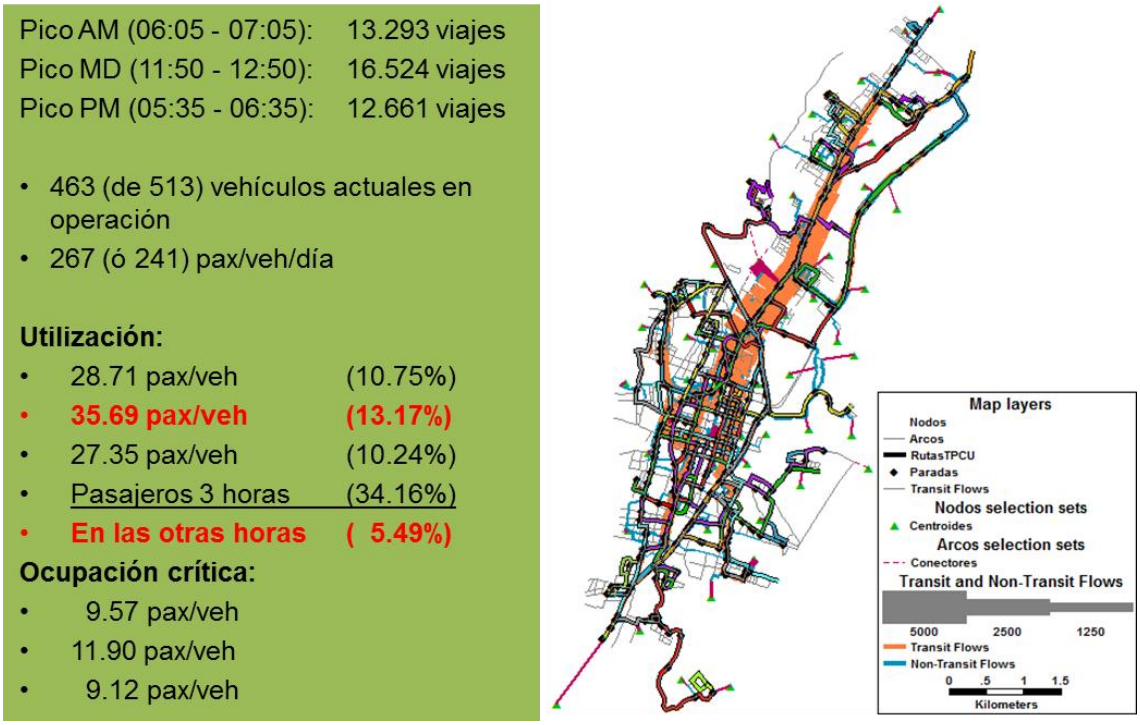


Figura 31. Indicadores de utilización del sistema de TPCU en el año base

Fuente: Modelo de transporte

En todo caso, el proceso de modelación del TPCU en el año base evidencia una sobreoferta del servicio ya que en ningún caso la utilización ponderada del sistema supera el 56.60% de su capacidad nominal, sin considerar personas viajando de pie. Es claro que al suponer usuarios viajando de pie la utilización del sistema sería inferior a la cifra antes anotada.

La Figura 31 antes presentada reafirma esta idea al mostrar que la ocupación crítica media en el periodo de máxima demanda apenas llega a 11.90 pasajeros por vehículo, cifra muy inferior a la capacidad nominal que se establecida en 19 pasajeros por vehículo.

Adicionalmente, se hizo en el año base un análisis del traslapo entre rutas encontrando que existe una importante superposición de rutas, explicada en el hecho que la mayoría de ellas utiliza los mismos corredores y en algunos casos atienden los mismos orígenes y destinos. La Tabla 15 presenta un extracto de la

matriz de traslapo obtenida, aunque en los archivos digitales se encuentra la información completa.

Tabla 15. Extracto de la matriz de traslapo entre rutas (%)

Ruta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				0.54	0.01	0.30		0.44	0.01	0.05	0.02			0.20	
2			0.56		0.21		0.45				0.03	0.07	0.45	0.05	0.45
3		0.66			0.16		0.65				0.01	0.08	0.65	0.06	0.54
4	0.60					0.11		0.42		0.01	0.05	0.01		0.18	
5	0.02	0.37	0.23			0.02			0.31		0.27	0.10			
6	0.67			0.23	0.03			0.18	0.02	0.17				0.11	
7		0.53	0.65						0.22		0.03	0.05	0.79	0.07	0.55
8	0.53			0.46		0.09			0.04	0.32	0.02			0.39	
9	0.01				0.32	0.01	0.33	0.07		0.02	0.23	0.01	0.17	0.01	0.13
10	0.10			0.02		0.17		0.59	0.02		0.04			0.38	
11	0.03	0.03	0.01	0.05	0.16		0.02	0.02	0.13	0.02			0.02	0.44	0.02
12		0.09	0.09	0.02	0.08		0.06		0.01				0.06		0.06
13		0.49	0.60				0.72		0.10		0.02	0.05		0.06	0.50
14	0.18	0.04	0.04	0.15		0.04	0.05	0.29	0.01	0.16	0.38		0.04		0.04
15		0.49	0.5				0.51		0.08		0.02	0.05	0.51	0.06	

Fuente: Modelo de transporte

3. Proyecciones para cada escenario y horizonte

La importancia de la modelación del transporte radica en la posibilidad de estudiar el sistema modelado en distintos escenarios y horizontes de planificación. Sin embargo, la configuración de dichos escenarios y horizontes puede generar un problema de gran calibre ya que las opciones de infraestructura y las políticas de transporte o de uso de suelo a evaluar pueden ser tantas y tan diversas que al combinarlas con los horizontes de modelación se puede llegar un número difícil de manejar.

En este documento son propuestos unos escenarios y horizontes de planificación que servirán de piloto para el futuro aprovechamiento de la herramienta de transporte terrestre urbano de pasajeros y carga para la simulación del efecto de proyectos de infraestructura y políticas de transporte.

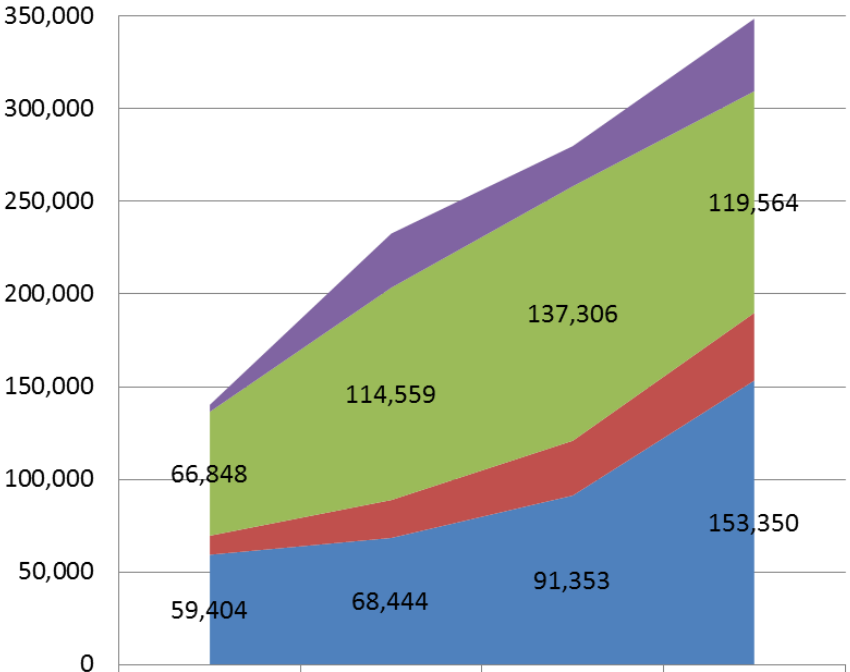
3.1. Análisis de tendencias

Antes de proceder con el planteamiento de los horizontes de planificación y escenarios de modelación se consideró importante evaluar las tendencias generales asociadas con el reparto de la demanda en los modos de transporte disponibles.

Como se puede ver en la Figura 32 el número total de viajes en la ciudad ha crecido con respecto a mediciones anteriores, sin embargo cada modo de transporte en particular ha tenido un comportamiento característico:

- Se presenta un importantísimo aumento de los viajes peatonales en la ciudad.
- Posiblemente el incremento de los viajes peatonales pueda ser explicado parcialmente en una importante disminución de los viajes en TPCU.
- A excepción de los viajes en TPCU que disminuyeron en términos reales, el número de viajes urbanos realizados en los demás modos ha tenido un comportamiento creciente, siendo muy importante el crecimiento de los viajes peatonales.
- De haberse mantenido la tendencia que venía observándose hasta el 2003, en la actualidad se tendrían 174,288 viajes en TPCU y no 119,564 que fue la magnitud de viajes observada durante el estudio para ese modo de transporte.
- Los viajes en auto han crecido de manera significativa, al pasar de 10,253 viajes en el año 1984 a 36,564 viajes en la actualidad.

- Aunque la tendencia de los viajes en TPCU es decreciente, es necesario formular estrategias que permitan quebrar ese comportamiento tendencial en la ciudad.



	1984	1993	2003	2012
Otros	3,784	29,199	21,658	39,097
TPCU	66,848	114,559	137,306	119,564
Auto	10,253	20,478	29,543	36,564
A pie	59,404	68,444	91,353	153,350

Figura 32. Tendencias del total de viajes por modo

Fuente: Elaboración propia

También se estudió el reparto modal de viajes en términos relativos, calculando el porcentaje de participación de cada modo en cada año analizado con respecto al 100% de los viajes medidos.

La Figura 33, que presenta la cuota de mercado por modo de transporte, deja ver en términos relativos lo siguiente:

- Históricamente la participación del sistema de TPCU se ubicaba en el orden del 50%, en la actualidad tan solo da solución al 34.3% de los viajes totales de la ciudad.
- En la actualidad la participación de los viajes peatonales ha vuelto a representar el nivel del año 1984 (28 años atrás), ubicándose en el 43.99% de los viajes totales.

- Los autos tan solo resuelven el 10.45% de los viajes y mantienen la misma participación de la medición de viajes realizada en el año 2003, aunque en términos absolutos han presentado un crecimiento significativo.

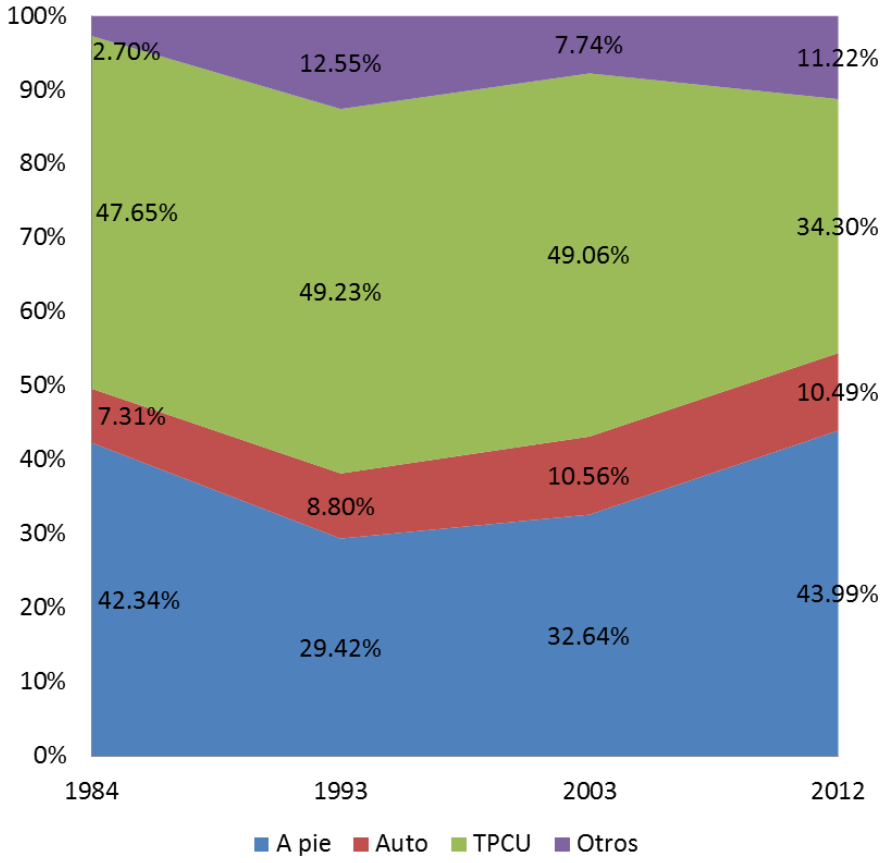


Figura 33. Cuota de mercado por modo de transporte

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver claramente, las tendencias cambian, difícilmente se mantienen en el mediano y largo plazo, así que siempre será recomendable revisar las proyecciones realizadas tomando nueva información en forma periódica y sistemática.

La disminución del número de viajes que se resuelve en el sistema de TPCU puede ser explicada desde diferentes perspectivas: la calidad, la seguridad y la oportunidad del servicio pudieran tener parte de la explicación. Así mismo, buena parte de la disminución de la demanda del servicio pudiera ser explicada por el comportamiento de la tarifa.

La Figura 34 muestra cómo mientras en el año 1966 un día de salario mínimo pagaba 70 pasajes en TPCU, en la actualidad esa misma cantidad de dinero

alcanza únicamente para pagar 15. Esta situación sin duda afecta a las familias de menores recursos que serían las llamadas a utilizar este servicio de transporte. Parece claro que, de mantenerse esa tendencia, en el año 2039 un día de salario mínimo comprará tan solo 10 pasajes.

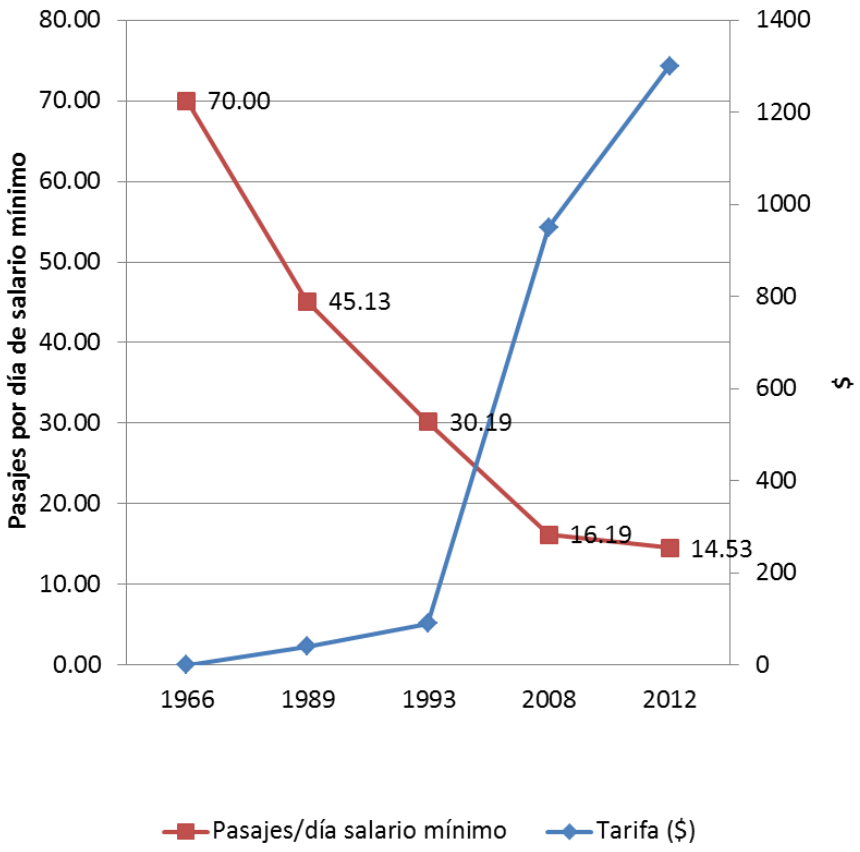


Figura 34. Comportamiento histórico de la tarifa del sistema TPCU

Fuente: Elaboración propia

3.2. Horizontes de planificación

En el presente estudio han sido considerados tres horizontes de planificación que corresponden con tres hitos importantes para la ciudad:

- 2015, que coincide con el final del periodo de gobierno de la actual administración municipal.
- 2019, que corresponde con la visión Colombia bicentenario, y
- 2039, cuando serán celebrados los 500 años de fundación hispánica de la ciudad de Tunja.

3.2.1. 2015

La visión del gobierno municipal, de conformidad con las políticas principales formuladas en el Plan de Desarrollo Municipal (PDM) “Hechos de Verdad, por una Tunja más humana, saludable, segura y sostenible”, se refiere fundamentalmente a la consolidación del modelo físico, que con relación al sistema de transporte plantea los siguientes aspectos:

- Lograr una movilidad eficiente y amigable con el medio ambiente.
- Promover los viajes peatonales y en bicicleta, brindando un espacio público e infraestructura apropiada y segura.
- Regular el servicio de transporte público con el ánimo de acabar con la guerra del centavo.
- Desincentivar el uso del vehículo particular.

Los aspectos considerados por la Alcaldía como visión del modelo físico, se asocian claramente con lo que en la literatura se ha llamado el transporte verde, cuya jerarquía privilegia los modos no motorizados y deja en último lugar a los autos, especialmente aquellos con bajos niveles de ocupación, tal jerarquía que privilegia los desplazamientos no motorizados puede verse en la Figura 35.

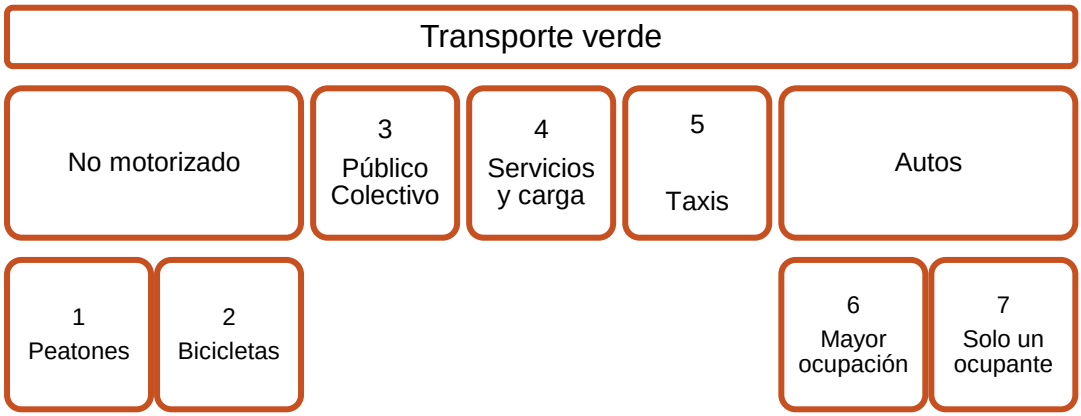


Figura 35. Jerarquía del transporte verde

Fuente: Litman, 2008

En este sentido, en lugar de estudiar el problema desde la perspectiva de los modos de transporte motorizados como se hace habitualmente, se considera necesario estudiar todos los modos de transporte y sus conexiones, en el marco de un proceso de planificación multimodal de transporte, que involucre una variedad de opciones de mejoramiento y que evalúe los impactos significativos, tales como la congestión, costos, accidentes y polución.

3.2.2. 2019

La visión Colombia II Centenario 2019 constituye una iniciativa impulsada por el Gobierno Nacional para pensar y construir un país a largo plazo, a partir de un panorama de formulación de políticas públicas sectoriales, en materias como crecimiento económico, infraestructura física, capital humano, y desarrollo social y territorial, entre otras.

En el sector transporte, la visión 2019 sugiere el desarrollo de una infraestructura de punta, acorde con las necesidades de desarrollo del país y los retos comerciales que se avecinan, que cuente con mayor participación del sector privado y que funcione bajo esquemas empresariales modernos, dinámicos y eficientes.

En materia de transporte urbano para el año 2019, se espera contar con[15]:

- Esquemas de transporte urbano que promuevan el desarrollo de ciudades con mayores densidades. Para esto, los esquemas que se planteen deben permitir la recuperación y el aprovechamiento de las áreas públicas y privadas deterioradas o subutilizadas y los espacios peatonales.
- Sistemas de transporte articulados con los ejes de vivienda, espacio público, servicios públicos y equipamientos que estén en armonía con el medio ambiente.
- Sistemas eficientes de transporte urbano colectivo que se constituyan en una alternativa atractiva para los usuarios del transporte privado.
- Esquemas institucionales que armonicen las relaciones entre los particulares y el Gobierno, con miras a la optimización del servicio de transporte público urbano.
- Equipos con tecnologías limpias.
- Sistemas de operación y despacho unificados.
- Estándares de pago para el transporte público unificados.
- Uso de sistemas alternativos de transporte no motorizado y la existencia de la infraestructura necesaria para este tipo de transporte.

Muchos de estas aspiraciones no pueden ser simuladas en la herramienta de modelación del transporte ya que están relacionadas con el sistema de gestión, con aspectos institucionales y estándares operativos que difícilmente pueden ser entendidos por un modelo analítico de transporte, pero es claro que dichos aspectos deben ser tomados en cuenta al momento de armonizar las propuestas de movilidad futuras.

[15] Departamento Nacional de Planeación. 2019 Visión Colombia II Centenario: Construir ciudades amables. Imprenta Nacional de Colombia, 2006.

A pesar de las limitaciones del modelo, no debe perderse de vista que, según la visión Colombia II Centenario 2019, el transporte de las ciudades colombianas deberá ser:

- **Eficiente**: La máxima utilización de los recursos, bajo criterios de seguridad.
- **Responsable**: Que cumpla con la regulación, que se ofrezcan servicios oportunos, puntuales y con gran calidad. Además, se entiende que el Estado debe recibir la retribución fiscal por la explotación privada de una actividad comercial.
- **Equitativo**: Que ofrezca la oportunidad a todos los ciudadanos de movilizarse rápidamente, ofreciendo tarifas accesibles, deberá responder de igual manera a todos los ciudadanos especialmente a aquellos que poseen algún tipo de discapacidad.
- **Ambientalmente sostenible**: Que todas las alternativas ofrecidas propendan por aire más puro, menor ruido y menor accidentalidad.
- **A la medida**: Que cada ciudad o municipio desarrolle modos que faciliten a sus ciudadanos la movilidad.

3.2.3. 2039

En la actualidad el municipio está en proceso de construcción de la Agenda Tunja 2039 Ciudad del conocimiento, de manera articulada con los objetivos y políticas del plan de ordenamiento territorial, en especial Tunja ciudad educativa, educadora y educable y Tunja ciudad región.

En este marco, está prevista la conformación del espacio público y de servicios a lo largo de la vía del ferrocarril y las vías paralelas a los Ríos Jordán y La Vega, como ejes de especialización del territorio y del desarrollo de la ciudad educativa, cultural y turística.

Según el POT se trata de un área longitudinal que integrará las universidades, centros educativos importantes e instituciones de investigación a través de corredores viales ya existentes a lo largo de la ronda de los Ríos Jordán y La Vega, integrando la línea del ferrocarril y la Avenida Universitaria. Así mismo, se articularán los principales escenarios deportivos, paisajísticos con el centro histórico de la ciudad[16]. En términos generales, las estrategias territoriales propuestas por el POT son resumidas en la Figura 36.

[16] Concejo municipal de Tunja. Acuerdo No. 014 del 2001, por medio del cual se adopta el Plan de ordenamiento territorial del municipio de Tunja, 2001.



Figura 36. Estrategias territoriales

Fuente: Acuerdo No. 14 de 2001

Entre los aspectos prioritarios contenidos en el POT surgen los proyectos viales oriente – occidente y el desplazamiento del tráfico regional y nacional a las zonas periféricas.

3.3. Consideraciones a los escenarios de modelación

Es importante señalar que la configuración de los escenarios de modelación está subordinada a las normas nacionales y municipales vigentes y a los planes de mayor jerarquía como el plan de ordenamiento territorial y el plan de desarrollo municipal, entre otros tal como se ve en la Figura 37.

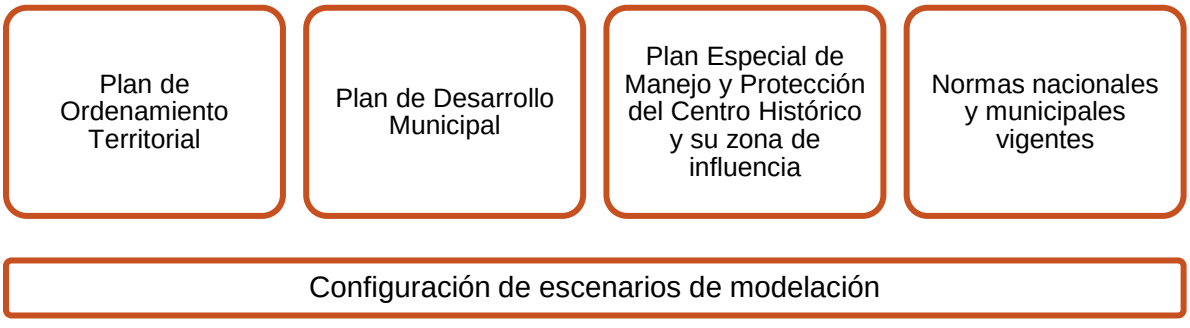


Figura 37. Jerarquía de planes y normas para configuración de escenarios

Fuente: Elaboración propia

De manera más específica y articulada con el PDM, la configuración de escenarios de modelación refuerza el desarrollo de los ejes estructurales considerados (Figura 38), como se explica a continuación:

- En el eje estructural 3, “Tunja humana, saludable y activa” los escenarios de modelación construidos apoyan la identificación de recorridos a pie y en bicicletas como una movilidad amigable con el medio ambiente.
- En el eje estructural 4, “Tunja solidaria, incluyente, equitativa y segura”, se articula la propuesta de mejoramiento del servicio de TPCU en el marco de los lineamientos para un transporte público amigable.
- En el eje estructural 6, “Tunja planeada y amigable con el medio ambiente”, se configuran escenarios para recomendar acciones con las que se puedan mejorar las calidades urbanas para peatones, vehículos y ciclistas, priorizando proyectos para una malla vial que garantice una movilidad eficiente y mejore las condiciones de transporte urbano
- En el eje estructural 7, “Tunja competitiva en lo local, regional y con impulso mundial”, aunque la herramienta de modelación no permite simular correctamente el impacto de proyectos regionales, se intenta a partir del análisis del patrón de flujos identificar las estrategias para interconectar a Tunja con la región, especialmente con los municipios más cercanos como Soracá, Motativa, Cómbita y Oicatá.

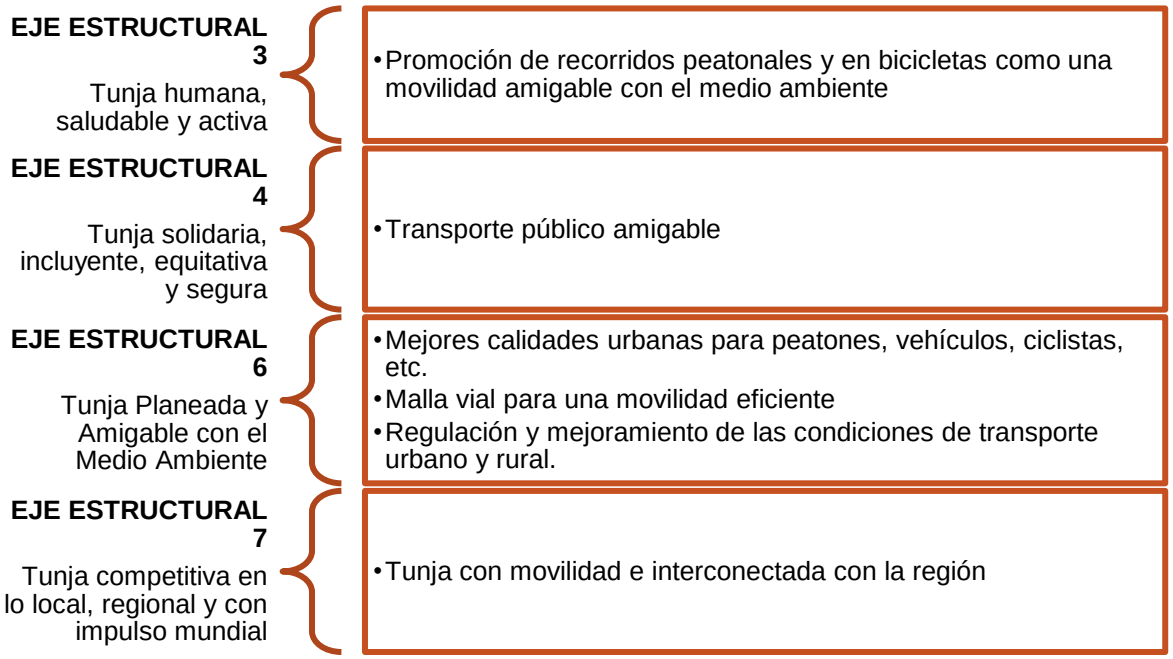


Figura 38. Ejes estructurales del plan de desarrollo municipal

Fuente: Elaboración propia con base en PDM, 2012-2015

3.4. Viajes futuros

Las previsiones de demanda de transporte se basan fundamentalmente en comportamientos históricos de variables demográficas y socioeconómicas cuyos valores normalmente corresponden a los que definen las proyecciones oficiales. Aunque los análisis de crecimiento de demanda son presentados en detalle en el documento E. Modelo de transporte, se presenta en la Tabla 16 un resumen de los factores de crecimiento de viajes específicos para cada macro-zona con respecto a los viajes del año 2012.

Se puede ver cómo en las macro-zonas oriental y nororiental se espera un crecimiento tendencial mayor al que tiene el resto de la ciudad, aunque no se debe perder de vista que se pueden generar crecimientos específicos tratados a manera de escenario de demanda, en razón al desarrollo de proyectos de urbanización de gran tamaño, por relocalización de actividades, por cambios en el uso de suelo o por la construcción de grandes atractores de viajes.

Tabla 16. Factores de crecimiento por macro-zona con respecto al 2012

MACROZONA	2015	2019	2039
Centro histórico	1.0240	1.0721	1.3236
Centro Norte	1.0464	1.1390	1.6435
Noroccidental	1.0631	1.1891	1.8942
Nororiental	1.1416	1.4244	3.1883
Extremo Norte	1.0212	1.0635	1.2838
Oriental	1.1481	1.4439	3.3039
Suroriental	1.0341	1.1021	1.4648
Occidental	1.0141	1.0423	1.1871
Sur	1.0238	1.0712	1.3194
Extremo Sur	1.0731	1.2190	2.0478
GENERAL	1.0426	1.1276	1.6102

Fuente: Elaboración propia

4. Medidas de gestión de tráfico

Las medidas de gestión del tránsito son acciones de bajo costo que pueden ser implementadas en el corto plazo y generan mejoras operativas. A continuación se muestran algunas de las medidas planteadas y su resultado según el modelo utilizado.

4.1. Optimización de ciclos semafóricos en la red

La primera medida factible y muy viable para Tunja es la optimización de ciclos semafóricos. Esta es una medida de gestión muy eficiente por su relación costo/beneficio, básicamente consiste en mejorar la operación de los semáforos en las intersecciones en función de sus características y las del flujo de tráfico. Al probar esta alternativa para toda la red, en el periodo de la mañana, se obtiene el reporte que se muestra en la Figura 39.

Network Totals

Number of Intersections	99
Control Delay / Veh (s/v)	43
Queue Delay / Veh (s/v)	2
Total Delay / Veh (s/v)	45
Total Delay (hr)	1281
Stops / Veh	0.48
Stops (#)	49217
Average Speed (km/hr	12
Total Travel Time (hr)	1949
Distance Traveled (km)	23635
Fuel Consumed (l)	6741
Fuel Economy (km/l)	3.5
CO Emissions (kg)	125.38
NOx Emissions (kg)	24.20
VOC Emissions (kg)	28.92
Unserved Vehicles (#)	2614
Vehicles in dilemma zone (#)	0
Performance Index	1417.5

Figura 39. Reporte Synchro 6® medidas de efectividad para toda la red modelada – Fases optimizadas

Fuente: Elaboración propia

Con esta alternativa se observan cambios muy significativos en la operación de la red vial de la ciudad, por ejemplo, la velocidad media de viaje se incrementaría en un 20%, la demora media en las intersecciones se reduciría en un 27%, y el tiempo de viaje se reduciría en un 20%, el consumo de combustible sería un 16% menor.

Debe tenerse en cuenta que esta alternativa ha sido evaluada para un solo periodo de tráfico en el día, el de alta demanda de la mañana. Para llevar a la realidad esta alternativa es necesario realizar un estudio de todas las intersecciones semaforizadas con el ánimo de realizar el diseño del plan de fases óptimo tanto para días normales como fines de semana. De la misma forma debe ser prioritario mantener o mejorar la sincronización de los semáforos en los principales corredores de la red en función de los periodos del día y la velocidad de operación.

4.2. Intersecciones giratorias

Esta opción consiste en cambiar la forma operacional de las intersecciones, por ejemplo, una intersección que está controlada con señales de tránsito o una intersección semaforizada podría ser convertida en una glorieta pequeña o una mini-glorieta.

Se realizó un análisis de viabilidad de algunas alternativas puntuales en la red de la ciudad con la ayuda del modelo de micro-simulación, a continuación se presenta el resultado obtenido para la intersección entre la avenida oriental y la avenida Suárez, más conocida como “Los Hongos”.

Según los reportes del modelo, la intersección está funcionando a nivel de servicio E con una demora media de 74 seg/veh en el periodo de alta demanda de la mañana como se muestra en la Tabla 17. Esta condición muestra que la intersección se encuentra muy cerca de la capacidad.

Para esta intersección se evaluó la alternativa de optimizar las fases del semáforo, encontrándose una mejora general en las condiciones operativas como puede notarse en la tercera columna de la Tabla 17. Finalmente se realizó una evaluación con un escenario que consiste en convertir la intersección en una glorieta con un diámetro de la isla central de 30 m y un anillo de circulación con dos carriles con un ancho de 10 m.

De las medidas consideradas, desde el punto de vista de la capacidad y el nivel de servicio ofrecido, la glorieta muestra los mejores indicadores operativos con una mayor efectividad en condiciones generales.

Para la implementación de esta medida es necesario considerar la seguridad como elemento primordial en la operación del tráfico, de esta forma debe diseñarse adecuadamente el paso de peatones por la intersección y controlarse la velocidad de acceso y salida de los vehículos. Así mismo, si se decide optar por esta alternativa se hace necesario adelantar estudios más detallados que permitan determinar las características geométricas específicas de la intersección.

Tabla 17. Medidas de efectividad escenarios – Intersección "Los Hongos"

MEDIDA DE EFECTIVIDAD	ACTUAL	Fases Óptimas	Glorieta
Volumen (Veh/hr)	1721	1721	1721
Demora por control / Veh (s/v)	74	64	14.2
Demora total (hr)	35	30	6.8
Paradas / Veh	0.83	0.85	1
Paradas (#)	1433	1465	1721
Velocidad media (km/hr)	11	12	44
Tiempo de viaje total (hr)	46	41	11
Distancia recorrida (km)	496	496	497
Combustible consumido (l)	173	161	81
Rendimiento del combustible (km/l)	2.9	3.1	6.1
Emisiones de CO (kg)	3.22	2.99	1.51
Emisiones de NOx (kg)	0.62	0.58	0.29
Emisiones de VOC (kg)	0.74	0.69	0.35
Vehículos en cola al final de periodo (#)	85	78	0

Fuente: Elaboración propia

La Figura 40 muestra una imagen del modelo de la intersección operando con la glorieta en una vista desde el costado sur-oriental de la intersección.

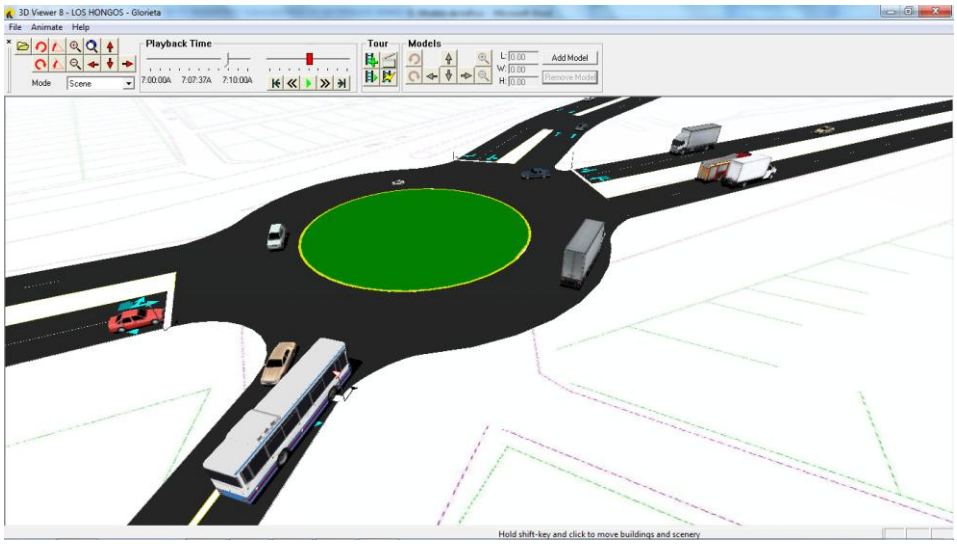


Figura 40. Modelo tridimensional intersección "Los Hongos" con glorieta

Fuente: Elaboración propia

En la modelación puede apreciarse que esta medida no requiere una fuerte inversión monetaria para su implementación, pues el requerimiento de espacio adicional es mínimo y las dimensiones de la intersección favorecen esta

modificación. Se recomienda realizar conteos de tráfico en diferentes periodos para verificar la efectividad de la medida y los parámetros base del diseño.

Un aspecto importante que debe considerarse al implementar esta medida es la pérdida de jerarquía vial, esto implica que las dos vías que se intersectan serían consideradas en el mismo nivel desde el punto de vista operativo de la intersección.

Otra de las intersecciones evaluadas por sus condiciones operativas es la avenida Maldonado con Avenida Colón y Transversal 11, más conocida como “Hugolino”. La problemática que tiene esta intersección tiene relación con su geometría asimétrica como se muestra en la Figura 41, esta condición sumada a un alto flujo de peatones en sentido norte-sur, parada de buses y estacionamiento en la rama de la transversal 11 hace que su operación sea compleja.

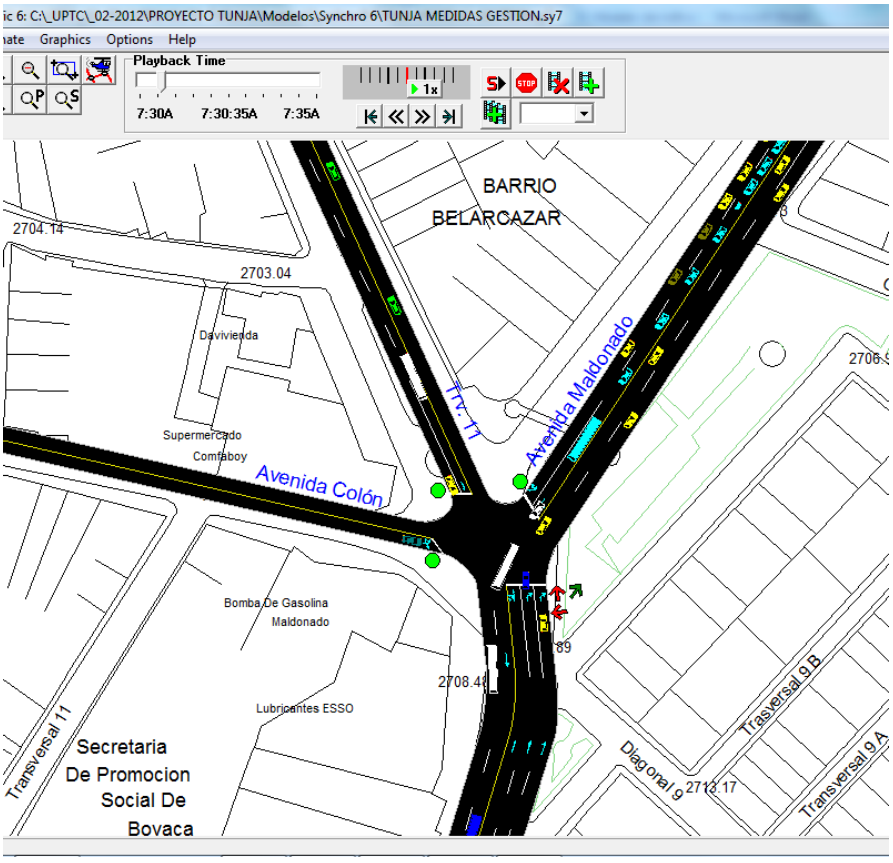


Figura 41. Geometría de la intersección “Hugolino”

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 muestra un comparativo de los reportes obtenidos para esta intersección, de nuevo la alternativa de convertirla en giratoria muestra ventajas, sin embargo sus beneficios no son tan altos como en el caso de “Los Hongos”,

además la geometría del sector solo permite una glorieta con un diámetro externo de máximo 36 metros, por lo que se podría trabajar una glorieta pequeña con diámetro de la isla central de 16 metros, este dato fue corroborado mediante levantamiento topográfico de precisión. Un modelo tridimensional se muestra en la Figura 42.

Tabla 18. Medidas de efectividad en varios escenarios – Intersección "Hugolino"

MEDIDA DE EFECTIVIDAD	ACTUAL	Fases Óptimas	Glorieta
Volumen (Veh/hr)	2336	2336	2336
Demora por control / Veh (s/v)	18	14	8
Demora total (hr)	12	9	5.2
Paradas / Veh	0.52	0.5	1
Paradas (#)	1226	1177	2336
Velocidad media (km/hr)	21	24	37
Tiempo de viaje total (hr)	21	18	9
Distancia recorrida (km)	424	424	424
Combustible consumido (l)	101	92	92
Rendimiento del combustible (km/l)	4.2	4.6	4.8
Emisiones de CO (kg)	1.87	1.71	1.61
Emisiones de NOx (kg)	0.36	0.33	0.24
Emisiones de VOC (kg)	0.43	0.39	0.33

Fuente: Elaboración propia

Esta medida se recomienda en este punto como una forma de pacificación del tránsito y permite mejorar la conectividad de la red. Uno de los posibles aspectos negativos de esta solución es el manejo seguro del paso de peatones y bicicletas, por esta razón esta medida debe contemplar un diseño adecuado para garantizar esta condición.

4.3. Retiro y colocación de semáforos

En la red vial de la ciudad pueden realizarse modificaciones que a la luz de la micro-simulación arrojan viabilidad para el periodo de alta demanda de la mañana, estas modificaciones relacionadas con el tipo de control de las intersecciones se convierten en buenas posibilidades para mejorar la operación de la red vial, con un criterio de seguridad y eficiencia.

El primer caso a considerar en este punto es la intersección de la carrera 16 con calle 32, esta es una intersección que presenta asimetría en sus accesos y salidas por la carrera 16, pues en este punto cambia la sección de dos calzadas a desnivel a una sola calzada con dos carriles de circulación, uno por sentido. Esta condición se ve agravada por la pendiente de la calle 32 que supera el 12% lo que

hace que la operación de la intersección con semáforo sea poco conveniente por la dificultad de la maniobra de arranque en una pendiente tan alta.

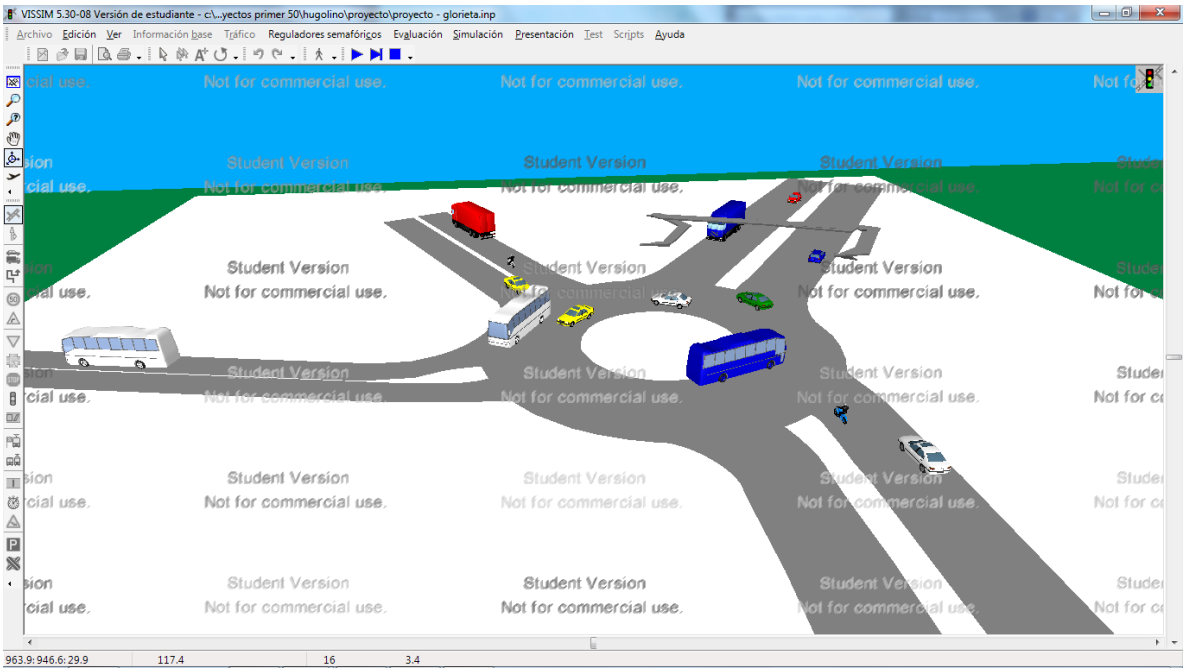


Figura 42. Modelo tridimensional intersección "Hugolino"

Fuente: Elaboración propia

La Figura 43 muestra el volumen vehicular del periodo de máxima demanda de la mañana, expresado en vehículos por hora. Puede notarse que en general el volumen vehicular es bajo y predomina el tráfico en sentido occidente – oriente.

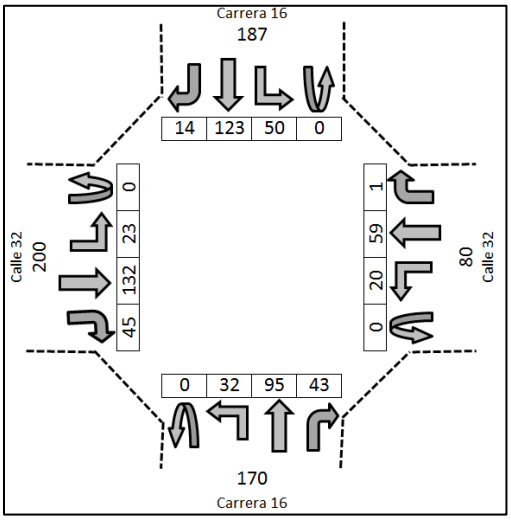


Figura 43. Volumen vehicular en la Cr. 16 con Cl. 32

Fuente: Elaboración propia

En las condiciones actuales, la demora media es de 43 segundos por vehículo en la intersección y opera a un nivel de servicio D para el periodo pico de la mañana. Si se cambia la forma de controlar la intersección por una intersección señalizada de prioridad controlada con señal de PARE en los accesos de la carrera 16, dando derecho de vía libre a los vehículos que circulan por la calle 32 se obtiene que la demora media es de 11.3 segundos por vehículo y el nivel de servicio es C. al implementar esta acción debe tenerse en cuenta la seguridad en la intersección mediante la implementación de dispositivos reductores de velocidad en la intersección y otras medidas para control de paso peatonal.

Con base en la modelación del periodo pico de la mañana, se encontró que hay otras intersecciones en las que podría retirarse el semáforo dado que se podrían lograr reducciones significativas en las demoras para el periodo de la mañana, estas son:

- Carrera 11 & Calle 21
- Carrera 9 & Calle 18
- Carrera 8 & Calle 17

Por otra parte, la intersección de la Avenida Oriental con carrera 9 (casas fiscales) requiere la instalación de un semáforo debido a que la demora en el acceso de la carrera es muy alta y la formación de colas es excesiva. La Figura 44 muestra un modelo tridimensional y su posible localización.

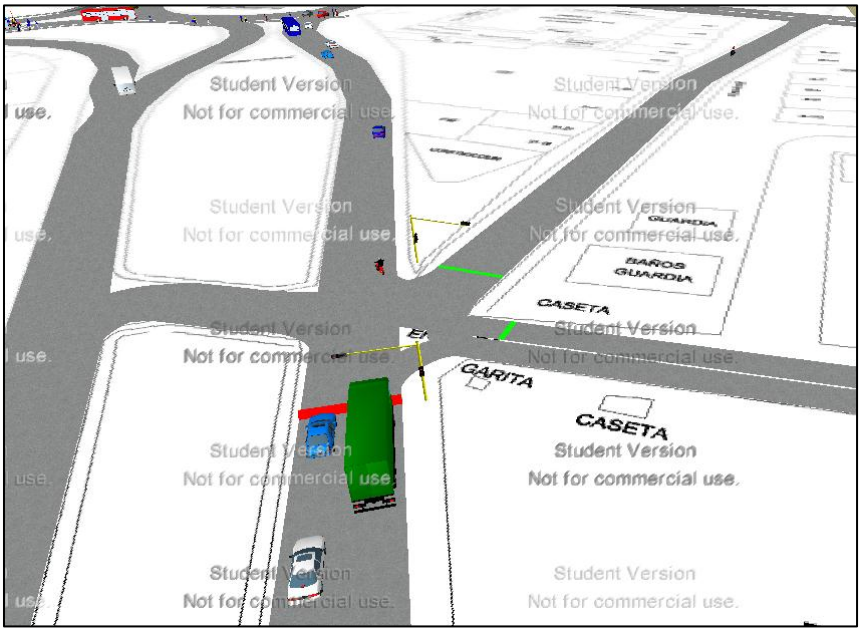


Figura 44. Posible semáforo en la Av. Oriental con Cr. 9 – Casas fiscales

Fuente: Elaboración propia

Como consideración adicional cabe mencionar que en caso de implementarse esta solución debe configurarse una operación sincronizada con el semáforo aguas arriba (Av. Oriental con Cr. 7) para definir ola verde por la Avenida Oriental.

4.4. Modificaciones en la red vial del centro de Tunja

Debido a la entrada en vigencia del Plan Especial de Manejo del Centro Histórico de la ciudad (PEM), que entre otras actuaciones estructurantes contempla la peatonalización de algunas calles definidas allí, como las calles reales, que se muestran en la Figura 45; esta situación genera algunos cambios que impactan la movilidad en el centro de la ciudad.



Figura 45. Calles reales de Tunja - PEM

Fuente: Alcaldía de Tunja. Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico de Tunja y su área de influencia.

Las vías que el PEM plantea peatonalizar son: carrera 10 desde el Bosque de la República hasta la plaza de la cultura Muisca – Las Nieves - , Calle 19 y calle 20 desde la carrera 6 hasta la carrera 15. Como resultado de la peatonalización de estas vías, se requiere ajustar las características y uso de la red en el centro

histórico de la ciudad, desde la calle 25 hasta la calle 16 y desde la carrera 7 hasta la carrera 14. Una vez realizado un análisis de posibilidades, de encuentra que la configuración de los sentidos viales en el centro de Tunja puede darse de muchas formas, sin embargo resulta imprescindible que se tenga en cuenta la prelación de la movilidad no motorizada y el sistema de transporte público colectivo urbano.

Una de las propuestas de configuración de la red vial en el centro de Tunja que ha mostrado mejores resultados en el modelo de meso-simulación se ilustra en la Figura 46, en esta alternativa se contemplan algunos cambios como:

- La carrera 7 se defina en un solo sentido en dirección sur-norte en el tramo entre la calle 15 y la calle 21,
- La carrera 8 en un solo sentido en dirección sur-norte desde la calle 16 hasta la calle 25,
- La carrera 9 en dirección norte-sur desde la calle 16 hasta la calle 25 y en dirección sur norte desde la calle 12 hasta la calle 16,
- La carrera 10 es una vía exclusiva para peatones desde la calle 13 hasta la calle25,
- La carrera 12 en un solo sentido en dirección sur-norte desde la calle 13 – Avenida Colón - hasta la calle 23 – Avenida Colón -,
- La calle 21 en dirección oriente-occidente desde la carrera 8 hasta la carrera14,
- La calle 20 exclusiva para peatones desde la carrera 7 hasta la carrera 15,
- La calle 19 exclusiva para peatones desde la carrera 7 hasta la carrera 15,
- La calle 16 en sentido oriente-occidente desde la carrera 7 hasta la carrera 8, en doble sentido entre la carrera 8 y la carrera 9, y en sentido oriente-occidente desde la carrera 9 hasta la carrera 14.

Una vez definidos estos elementos se realizó una simulación de la red vial del centro manteniendo el supuesto de flujos vehiculares actuales y una reducción en el número de vehículos de transporte público colectivo urbano. En la Tabla 19 se muestran las principales medidas de efectividad comparando la situación actual versus la misma red con los cambios de sentido. Se aprecian reducciones significativas en los tiempos de viaje y demoras operacionales, se estima que la velocidad media de viaje aumentaría cerca de un 40% por lo que el desempeño de la red será mucho más eficiente.

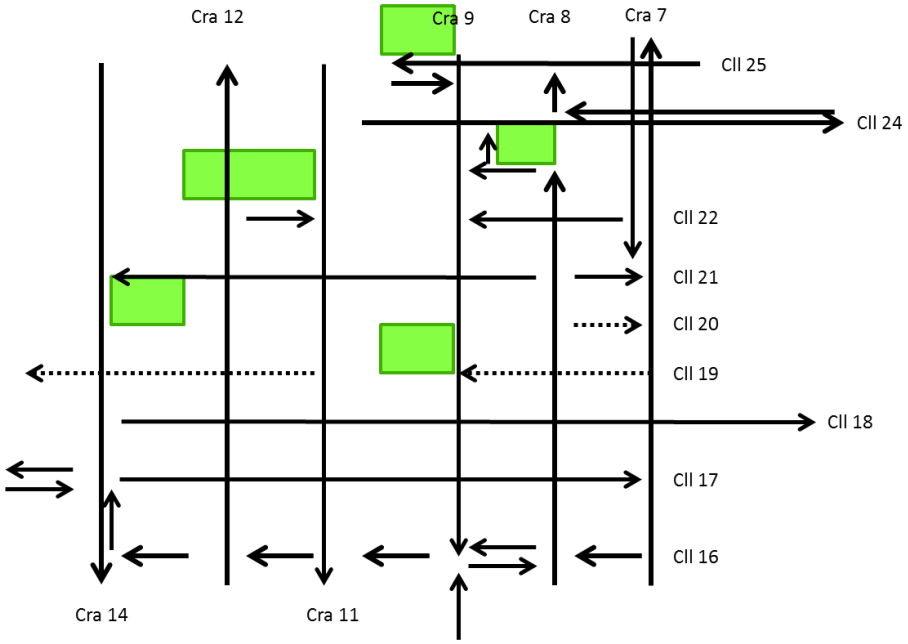


Figura 46. Propuesta cambio de sentidos viales en el centro de Tunja

Fuente: Elaboración propia

Esta alternativa considera la carrera 9 y la carrera 12 como corredores prioritarios de transporte público con una posible restricción al transporte particular y definición adecuada de paraderos de transporte público colectivo y zonas de taxi. Al respecto se plantea que por la carrera 9 se define un paradero en el parque pinzón – entre la calle 23 y 24 – y otro en la plaza de Bolívar – entre la calle 19 y 20 – y finalmente otro entre la calle 16 y 17, el objetivo es aprovechar los tramos con dos o más carriles para permitir el adelantamiento y evitar el bloqueo del corredor.

Otra alternativa que arrojó resultados positivos en las medidas operativas de la red vial se denominó “ejes estructurantes” y se muestra en la Figura 47, básicamente consiste en mantener muy similares las condiciones actuales de sentidos viales, modificando la carrera 14 que sería de doble sentido y la calle 21 hacia el occidente.

La esencia de esta alternativa es definir la carrera 9 y la carrera 11 como corredores estructurantes de transporte público en la ciudad, así, las rutas de TPCU que van hacia el sur tomarían la carrera 11 haciendo un giro en la calle 22 desde la carrera 12. En este caso la carrera 9 y la 11 serían exclusivas para transporte público colectivo urbano. Así mismo la carrera 12 en sentido norte-sur y la carrera 8 en sentido sur-norte serían exclusivas para vehículos particulares.

Tabla 19. Medidas de efectividad cambio de sentidos en el centro histórico

MEDIDA DE EFECTIVIDAD	ACTUAL	CAMBIO DE SENTIDOS
Número de Intersecciones	69	53
Demora por control / Veh (s/v)	61	43
Demora en Cola / Veh (s/v)	2	3
Demora total / Veh (s/v)	63	46
Demora total (hr)	988	582
Paradas / Veh	0.42	0.43
Paradas (#)	23653	19472
Velocidad media (km/hr)	5	7
Tiempo de viaje total (hr)	1312	827
Distancia recorrida (km)	6763	5820
Combustible consumido (l)	3798	2523
Rendimiento del combustible (km/l)	1.8	2.3
Emisiones de CO (kg)	70.65	46.93
Emisiones de NOx (kg)	13.64	9.06
Emisiones de VOC (kg)	16.29	10.82
Vehículos no atendidos (#)	1859	1589
Vehículos en zona de dilema (#)	0	0
Índice de Desempeño	1053.4	635.9

Fuente: Elaboración propia

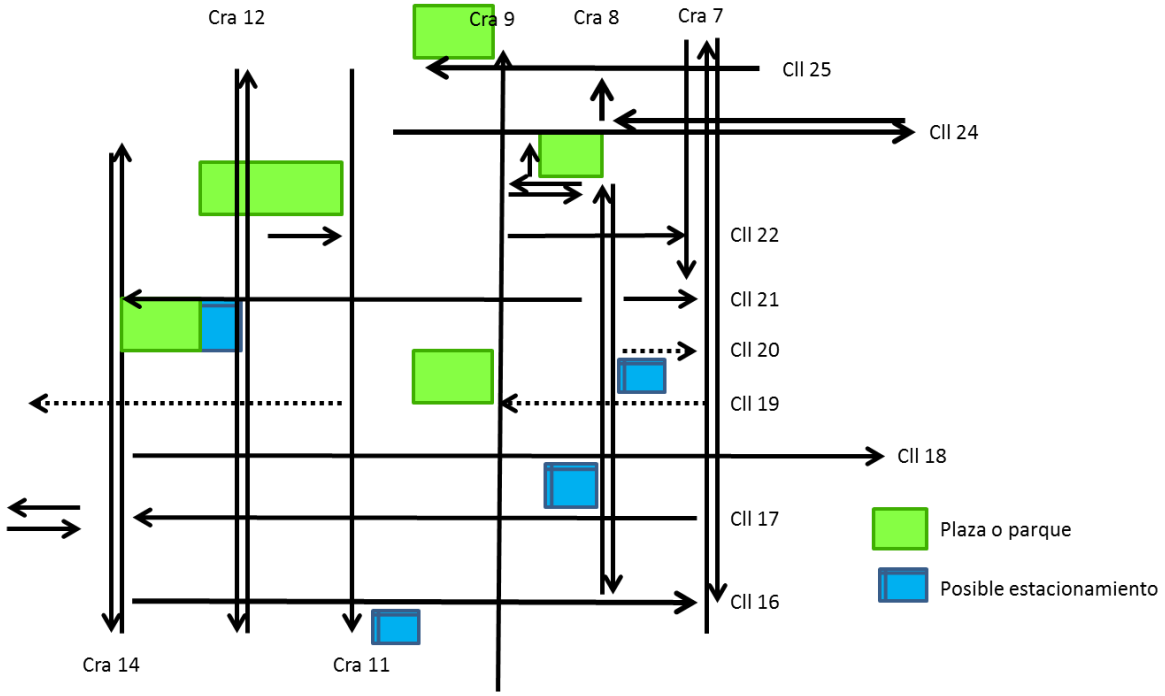


Figura 47. Propuesta de ejes estructurantes en el centro de Tunja

Fuente: Elaboración propia

Esta opción plantea la definición de pares viales a partir de la calle 18 y la calle 21, de manera que de la calle 18 hacia el sur cada calle tiene sentido contrario a la anterior, lo mismo ocurre de la calle 21 hacia el norte como se puede ver en la Figura 47.

La modelación de esta alternativa mostró mejoras en la movilidad en general como se muestra en la Tabla 20, sin embargo en una magnitud inferior a la propuesta del cambio de sentidos. Además presenta algunas problemáticas en cuanto a la factibilidad operativa, por ejemplo la calle 17 tiene una pendiente alta entre la carrera 7 y la carrera 9 que al operar en sentido oriente-occidente podría presentar inconvenientes en cuanto a la seguridad, velocidad y emisión de contaminantes.

Tabla 20. Medidas de efectividad cambio de sentidos en el centro histórico

MEDIDA DE EFECTIVIDAD	ACTUAL	EJES ESTRUCTURANTES
Número de Intersecciones	69	53
Demora por control / Veh (s/v)	61	52
Demora en Cola / Veh (s/v)	2	4
Demora total / Veh (s/v)	63	56
Demora total (hr)	988	723
Paradas / Veh	0.42	0.44
Paradas (#)	23653	21327
Velocidad media (km/hr)	5	6
Tiempo de viaje total (hr)	1312	1121
Distancia recorrida (km)	6763	5870
Combustible consumido (l)	3798	2876
Rendimiento del combustible (km/l)	1.8	2.1
Emisiones de CO (kg)	70.65	54.68
Emisiones de NOx (kg)	13.64	10.98
Emisiones de VOC (kg)	16.29	13.64
Vehículos no atendidos (#)	1859	1614
Vehículos en zona de dilema (#)	0	0
Índice de Desempeño	1053.4	815.3

Fuente: Elaboración propia

4.5. Gestión de estacionamientos

La gestión de la oferta de sitios para estacionar es un aspecto clave en la estructuración de la movilidad en la ciudad, así por ejemplo políticas como el control de precios y espacios para estacionar en ciertas zonas permiten desincentivar el uso del automóvil particular y motivar el transporte público colectivo. Ese es el enfoque que se pretende dar al centro histórico de Tunja.

En resumen, se debe buscar que los vehículos particulares que circulen por el centro de la ciudad lo hagan en función del sitio para estacionar, por lo que según los lineamientos del Plan de Movilidad y el Plan Especial de Manejo del Centro

Histórico deben definirse zonas estratégicas para estacionamiento en la zona periférica del centro histórico, estas zonas tienen una función de integración y permiten con facilidad la realización de cambios de modo o transbordos, de esta forma pueden y deben considerarse todos los sistemas de transporte de la ciudad en estos puntos, buscando siempre una movilidad no motorizada en el centro de la ciudad en el marco de la sostenibilidad.

Por ejemplo, la Figura 48 muestra una forma de integración entre bicicleta y transporte público colectivo urbano que permite al usuario sortear pendientes fuertes o longitudes de viaje grandes.



Figura 48. Integración entre bicicletas y autobuses

Fuente: Horst, Marcus. Portabicis en los autobuses públicos de Montreal. Disponible en línea en http://www.yorokobu.es/portabicis-en-los-autobuses-publicos-de-montreal/. Fecha de consulta: 29/11/2012

La sugerencia en materia de estacionamientos es definir para cada macro-zona de la ciudad el corredor de transporte estructurante o eje de la macro-zona y de esta forma identificar los grandes atractores de viajes y plantear la mejor disposición de estacionamientos de forma que se priorice la movilidad en la red vial y la facilidad de acceso de los usuarios al estacionamiento y su lugar de destino.

Existen muchas posibilidades en materia de estacionamientos que pueden ser revisadas, principalmente debe pensarse en la densificación y optimización del espacio buscando el estacionamiento vertical o subterráneo, por ejemplo en puntos como la plaza de la cultura Muisca más conocido como “Las Nieves” puede plantearse la construcción de una estación subterránea de buses y estacionamiento vehicular como la que se muestra en la Figura 49, esto facilita el ingreso de los usuarios a zonas con escaza oferta vial y facilita la integración modal y peatonalización de las zonas urbanas.



Figura 49. Estación subterránea de buses

Fuente: http: Proyecto del Baluarte de Palma, Pamplona. Disponible en línea en http://www.pamplona.es/VerPagina.asp?idPag=795&idioma=1. Fecha de consulta: 29/11/2012

Con respecto al estacionamiento para bicicletas, estos deben colocarse en los sitios atractores y garantizar a los usuarios la seguridad, eficiencia, economía y comodidad que haga que sea atractivo el uso de estos modos de transporte. La Figura 50 muestra un sistema de estacionamiento colgante que ha sido implementado en varias ciudades del mundo exitosamente. También existen sistemas subterráneos que resultan muy eficientes en el uso del espacio.



Figura 50. Estacionamiento elevado para bicicletas

Fuente: http: Disponible en línea en //www.rodadas.net/2008/05/12/aparcamientos-para-bicis/#.ULf7QKzX6YB. Fecha de consulta: 29/11/2012

5. Modelación de escenarios tendenciales

Con el fin de tener una situación base que sirva de referencia para analizar los resultados de los escenarios con actuación, se supondrá que el sistema de transporte vehicular, que es utilizado para resolver los viajes en auto, mantiene su condición actual, mientras que la demanda de transporte aumenta en cada uno de los horizontes de planificación.

Esta estrategia de modelación permite identificar los sitios críticos, en términos de la magnitud de los flujos o de la relación entre volumen y capacidad, que ameritarían algún tipo de intervención en el futuro. Igualmente, se pueden identificar los efectos diferenciales en términos del costo generalizado de viaje o de la distancia total recorrida entre cada uno de los horizontes de planificación y la situación base.

Aunque la herramienta de modelación permite probar todas las combinaciones posibles entre escenarios, el presente informe sintetizará sólo algunas de ellas para evitar ser repetitivo ya que en algunos casos los resultados obtenidos son muy parecidos entre un horizonte y otro.

5.1. Viajes en auto

Debido al incremento de la demanda de transporte, en caso de no intervenir el sistema se espera un aumento de la congestión y en consecuencia podrán ser identificados los sitios críticos y se podrán esbozar algunas actuaciones de mejoramiento.

A continuación se presentarán los resultados del modelo para cada uno de los horizontes de planificación. En términos generales se encuentra que de no implementar ninguna actuación sobre el sistema la situación se tornaría realmente crítica en el horizonte de planificación del año 2039.

Se puede observar cómo en el sector nororiental de la ciudad el problema de la congestión será cada vez más crítico, en especial para los habitantes del barrio Santa Inés y de las urbanizaciones vecinas.

Los incrementos en el costo generalizado de los viajeros así como en el consumo energético podrían justificar no solo actuaciones en materia de gestión de la demanda sino también en materia de infraestructura.

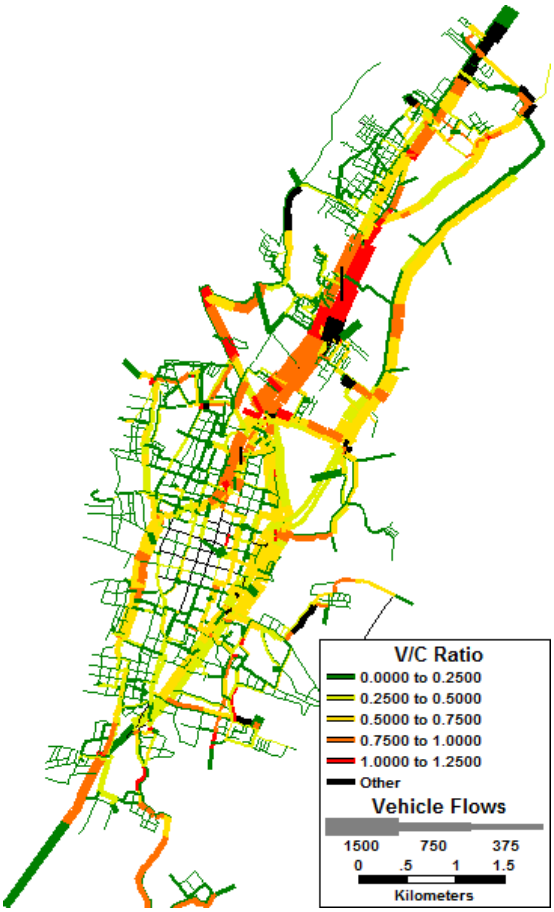


Figura 51. Asignación de autos pico AM 2015

Fuente: Modelo de transporte

La modelación de autos en el periodo pico de la mañana para el horizonte de modelación del año 2015 (Figura 51) permite identificar cómo se va haciendo cada vez más crítica la congestión en el entorno del barrio Santa Inés.

Específicamente se identifican los siguientes sitios críticos:

- Av. Norte, saliendo del barrio Santa Inés
- Calle 41 en el sector del barrio Santa Inés - Unicentro
- Acceso a la glorieta de la casa del gobernador desde el barrio El Dorado.
- Glorieta Norte.

Al comparar los indicadores del año base con los obtenidos en la modelación del año 2015 (Tabla 21) se encuentra un leve incremento en el tiempo medio de los usuarios.

Tabla 21. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2015

Indicador	Unidad	Valor 2012	Valor 2015
Tiempo total del sistema	Hora	3,036	3,237
Distancia total recorrida	Km	62,758	65,408
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	133	142
Distancia desde centroides	Km	3,353	3,555
Diferencia de tiempo	Hora	2,240	2,426
Diferencia de distancia	Km	45,836	48,284
Velocidad media	Km/h	20.67	20.21
Tiempo medio por usuario	min	13.77	13.98
Distancia media por usuario	km	4.75	4.75

Fuente: Modelo de transporte

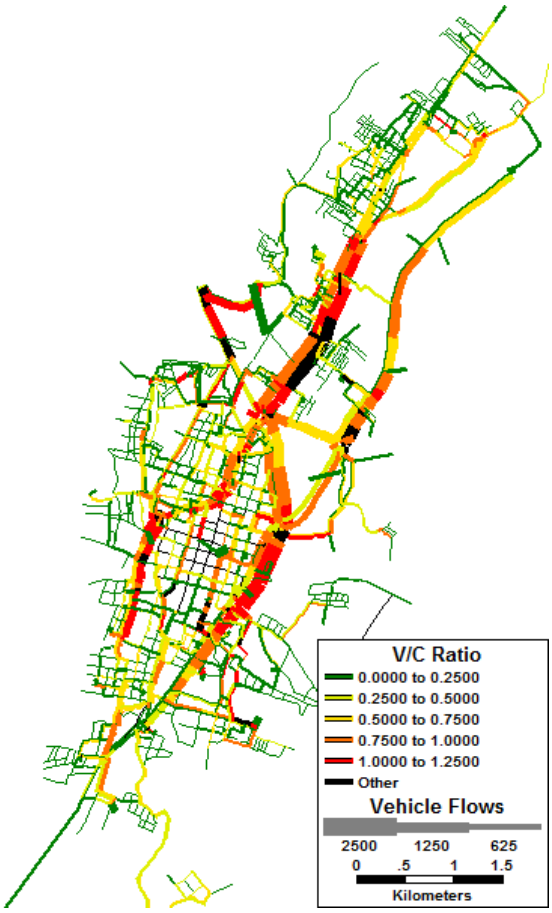


Figura 52. Asignación de autos pico AM 2019

Fuente: Modelo de transporte

La modelación de autos en el periodo pico de la mañana para el horizonte de modelación del año 2019 (Figura 52) reafirma la presencia de los puntos críticos previamente identificados y resalta otros puntos críticos que deben ser evaluados:

- Av. Universitaria desde la glorieta de la Casa del Gobernador hacia el Norte.
- Av. Norte en el sector del Pozo de Donato.
- Semáforo de Olímpica
- Salida a Moniquirá en el sector del semáforo de La María

La Tabla 22 muestra cómo el tiempo promedio de los usuarios en auto se incrementa en 15.62% con respecto al tiempo medio de referencia en el año base. Así mismo, la distancia media de recorrido se incrementa 6.10% con relación al año base.

Tabla 22. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2019

Indicador	Unidad	Valor 2012	Valor 2019
Tiempo total del sistema	Hora	3,036	3,989
Distancia total recorrida	Km	62,758	75,707
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	133	131
Distancia desde centroides	Km	3,353	3,294
Diferencia de tiempo	Hora	2,240	3,149
Diferencia de distancia	Km	45,836	58,844
Velocidad media	Km/h	20.67	18.98
Tiempo medio por usuario	min	13.77	15.92
Distancia media por usuario	km	4.75	5.04

Fuente: Modelo de transporte

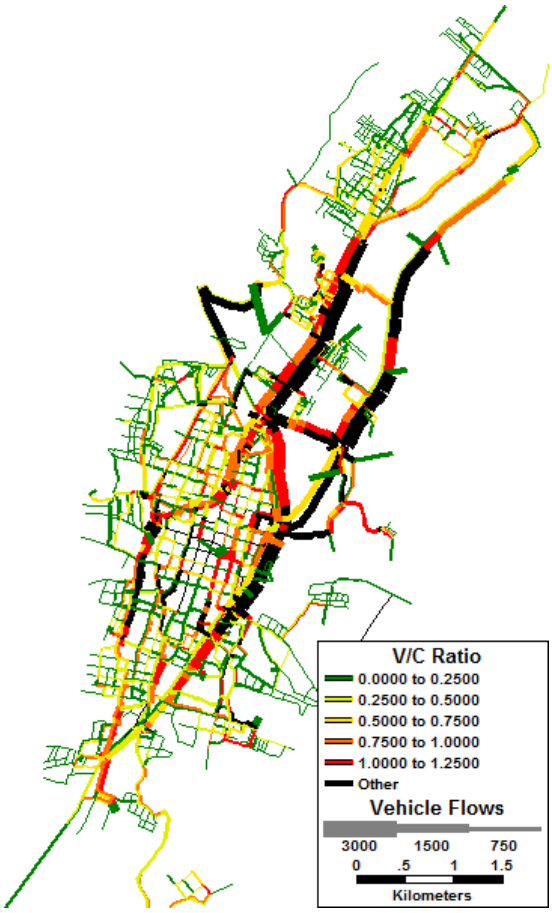


Figura 53. Asignación de autos pico AM 2039

Fuente: Modelo de transporte

Tal como se ve en la Figura 53, el patrón de flujos en auto para el periodo pico de la mañana en el horizonte de modelación del año 2039 evidencia una situación crítica en el sector nororiental de la ciudad, que en caso de no ser atendida generaría importantes costos a causa de la congestión vehicular. Así mismo se observa una relación volumen/capacidad crítica en la vía que comunica a Moniquirá.

Los indicadores contenidos en la Tabla 23 cuantifican la magnitud del problema de congestión en caso de mantener hasta el año 2039 el estado de infraestructura o gestión de la demanda actuales, pues el tiempo total del sistema se multiplica en ese horizonte por 1.85, situación que parece insostenible.

Tabla 23. Indicadores de asignación de viajes en Auto Pico AM, 2039

Indicador	Unidad	Valor 2012	Valor 2039
Tiempo total del sistema	Hora	3,036	9,174
Distancia total recorrida	Km	62,758	109,116
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	133	201
Distancia desde centroides	Km	3,353	5,033
Diferencia de tiempo	Hora	2,240	8,016
Diferencia de distancia	Km	45,836	90,513
Velocidad media	Km/h	20.67	11.89
Tiempo medio por usuario	min	13.77	25.45
Distancia media por usuario	km	4.75	5.04

Fuente: Modelo de transporte

En caso de no generar ninguna actuación sobre el sistema de transporte vehicular en la ciudad de Tunja para el año 2039, el costo generalizado adicional del sistema para el año 2039 sería de 22’096,800 $/hora pico.

5.2. Viajes en TPCU

Los resultados de la modelación del transporte en el período pico de la mañana para los horizontes de planificación considerados (2015, 2019 y 2039) se presentan a continuación.

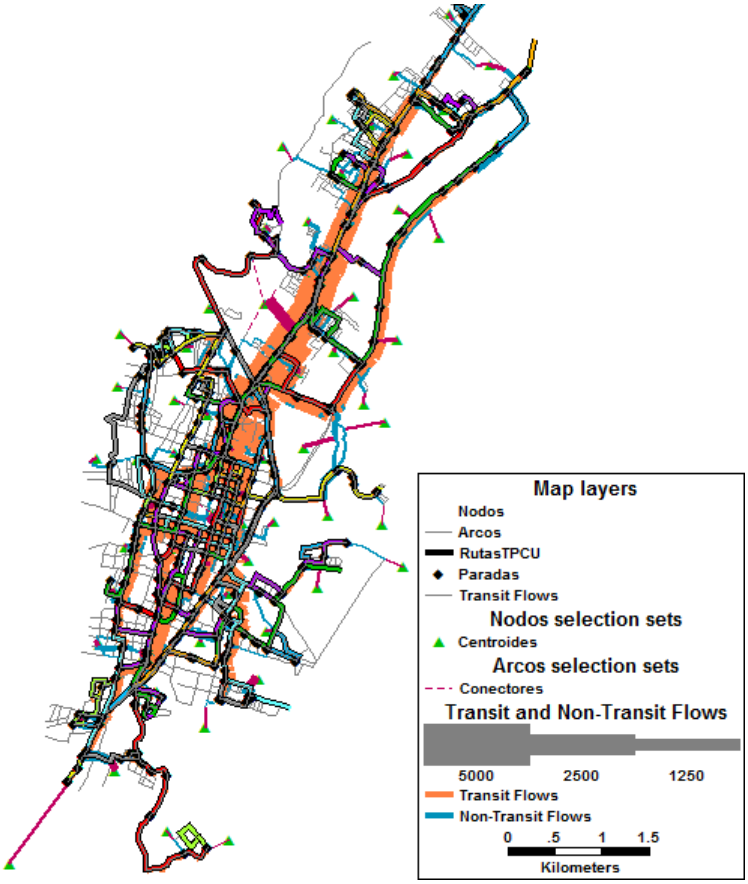


Figura 54. Asignación TPCU pico AM 2015

Fuente: Modelo de transporte

Gráficamente (Figura 54), con base en los flujos modelados, resulta posible identificar los corredores de mayor importancia.

El patrón de flujos no exhibe una diferencia significativa con respecto a la situación base del mismo periodo pico en el año 2012.

De acuerdo con el modelo, para las 33 rutas simuladas en el periodo pico de la mañana, sería necesario realizar un total de 391 despachos a razón de 11.85 veh/hora.

De este modo, al considerar un tiempo de ciclo promedio de 80 minutos se encuentra que sería necesario contar con un parque automotor de 528 vehículos para atender la demanda del periodo pico de la mañana en el año 2015.

Tabla 24. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2015

Indicador	Unidad	Base 2012	Indicador 2015
Costo generalizado	Pesos	4,557.35	4,585.36
Tiempo de acceso	min	4.41	4.44
Tiempo a bordo	min	17.38	17.46
Tiempo de egreso	min	5.70	5.75
Distancia a bordo	Km	4.44	4.47
Tiempo TPCU	min	27.50	27.65

Fuente: Modelo de transporte



Gráficamente (Figura 55), con base en los flujos modelados, resulta posible identificar los corredores de mayor importancia.

El patrón de flujos no exhibe una diferencia significativa con respecto a la situación base del mismo periodo pico en el año 2012.

De acuerdo con el modelo, para las 33 rutas simuladas en el periodo pico de la mañana, sería necesario realizar un total de 428 despachos a razón de 12.97 veh/hora.

Figura 55. Asignación TPCU pico AM 2019

Fuente: Modelo de transporte

De este modo, al considerar un tiempo de ciclo promedio de 80 minutos se encuentra que sería necesario contar con un parque automotor de 561 vehículos para atender la demanda del periodo pico de la mañana en el año 2019.

Tabla 25. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2019

Indicador	Unidad	Base 2012	Indicador 2019
Costo generalizado	Pesos	4,557.35	4,632.61
Tiempo de acceso	min	4.41	4.49
Tiempo a bordo	min	17.38	17.58
Tiempo de egreso	min	5.70	5.83
Distancia a bordo	Km	4.44	4.51
Tiempo TPCU	min	27.50	27.90

Fuente: Modelo de transporte

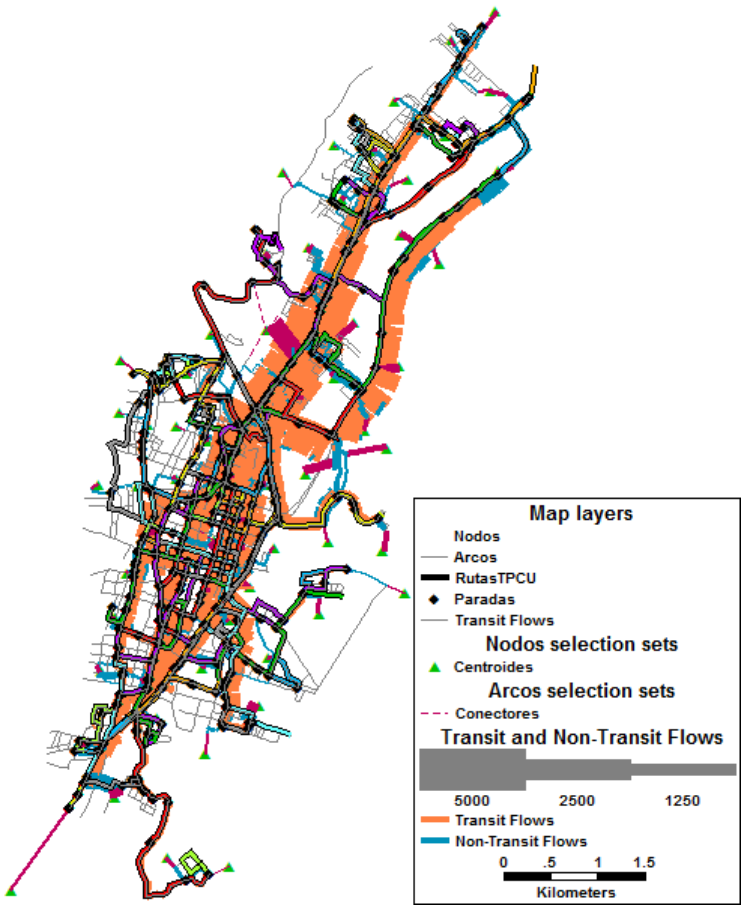


Figura 56. Asignación TPCU pico AM 2039

Fuente: Modelo de transporte

Gráficamente (Figura 56), con base en los flujos modelados, resulta posible identificar los corredores de mayor importancia.

El patrón de flujos no exhibe una diferencia significativa con respecto a la situación base del mismo periodo pico en el año 2012.

De acuerdo con el modelo, para las 33 rutas simuladas en el periodo pico de la mañana, sería necesario realizar un total de 641 despachos a razón de 19.42 veh/hora.

De este modo, al mantener la misma tecnología y considerar un tiempo de ciclo promedio de 80 minutos se encuentra que sería necesario contar con un parque automotor de 858 vehículos para atender la demanda del periodo pico de la mañana en el año 2039.

Tabla 26. Indicadores de asignación de viajes en TPCU Pico AM, 2039

Indicador	Unidad	Base 2012	Indicador 2039
Costo generalizado	Pesos	4,557.35	4,803.16
Tiempo de acceso	min	4.41	4.69
Tiempo a bordo	min	17.38	17.90
Tiempo de egreso	min	5.70	6.12
Distancia a bordo	Km	4.44	4.62
Tiempo TPCU	min	27.50	28.71

Fuente: Modelo de transporte

5.3. Transversales oriente – occidente

La modelación de los escenarios tendenciales se complementó con el análisis de corredores transversales para mejorar la conectividad en el sentido oriente – occidente y viceversa. Este análisis no pudo realizarse de manera eficiente con el modelo de transporte pues en la actualidad los desplazamientos vehiculares transversales oriente – occidente no son significativos aunque se podrían promover en el futuro gracias a la provisión de infraestructura. No obstante fue posible identificar un grupo de proyectos denominado transversales del norte.

Transversales del Norte

- TN01: Asís –Muiscas – Reserva Campestre.
- TN02: Los Cedros – Concesionarios – Av. Universitaria
- TN03: Los Héroes – Centro Norte – Las Quintas – Av. Universitaria

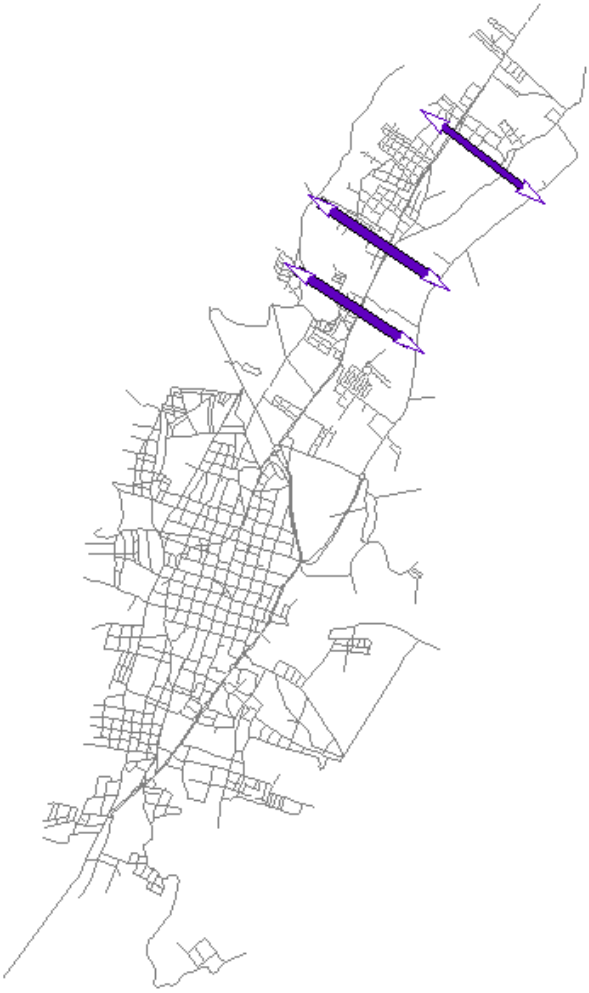


Figura 57. Transversales del Norte

Fuente: Modelo de transporte

5.4. Identificación de zonas de reserva

La asignación de flujos en los escenarios tendenciales considerados ha permitido concluir que los principales corredores, hoy por hoy congestionados en los periodos de máxima demanda, verán incrementados sus problemas de congestión en el futuro. Por tal razón parece razonable identificar algunas zonas de reserva para ampliaciones futuras de infraestructura.

En este sentido, la modelación de escenarios futuros (con horizonte al año 2039) permite identificar zonas de reserva para constitución de futuras afectaciones en terrenos destinados a vías:

- Avenida Norte, desde la glorieta Norte hasta el sector de los concesionarios.
- Avenida Universitaria, desde la glorieta de la Gobernación hasta su conexión con la variante de Tunja al norte.
- Avenida Oriental, desde Los Hongos hasta la glorieta Norte.
- Avenida Olímpica.
- Salida a Moniquirá, desde la Glorieta Norte hasta límite de la ciudad.

6. Modelación de escenarios inmediatos

La construcción de escenarios implica la definición de unos estados hipotéticos futuros, del sistema de transporte y del sistema de actividades, con elementos característicos, particulares y asumidos, bien sea por el equipo consultor o en otros casos sugeridos o exigidos por la Administración Municipal.

Tradicionalmente se establecen escenarios con componentes que alterarían en el futuro las condiciones de la demanda y oferta del sistema analizado, cuya finalidad radica en la medición del impacto que tendrían dichas características en la operación y funcionamiento del sistema analizado. Además de la construcción del escenario base, se prevé la construcción de escenarios en el corto, mediano y largo plazo.

Algunos escenarios han sido ya definidos por otros planes que son tomados como referencia y corresponde ahora medir cuál podría ser el impacto de esas actuaciones.

6.1. Escenario 1: Carrera 10 peatonalizada

La peatonalización de la carrera 10 implica una modificación a los patrones de flujo de los vehículos privados y de transporte público. En el primer caso, debido a una nueva restricción a la circulación vehicular se esperaría un mayor tiempo de viaje de los usuarios y, en el segundo, es posible que se desmejoren las condiciones de acceso a los usuarios del sistema de transporte público, vía un incremento en las distancias recorridas para ingresar o salir del sistema.

El escenario 1, carrera 10 peatonalizada, supone que la demanda se mantiene constante en cada uno de los horizontes de planificación, es decir que se base en un supuesto de inelasticidad de la demanda según el cual, independientemente del posible incremento de los costos de viaje la magnitud de éstos se mantiene invariable.

Este escenario se considera muy probable ya que en los planes analizados ha sido incluido en forma recurrente. Así mismo, este es un escenario de corto plazo ya que su implementación no requiere de grandes inversiones ni de previsiones de espacio adicional para su puesta en marcha.

A continuación se presenta el impacto de dicho escenario en la utilización de las redes de autos y de transporte público en cada uno de los horizontes de planificación.

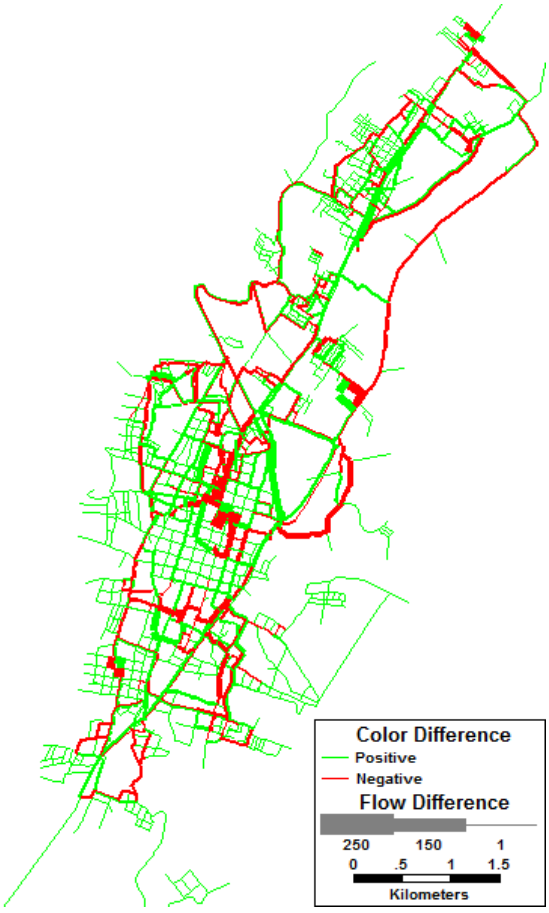


Figura 58. Diferencias de asignación Escenario 1-2015

Fuente: Modelo de transporte

La Figura 58 compara los resultados del modelo de asignación entre la situación base del año 2015 y la simulación de peatonalización de la carrera 10.

Al respecto se observa cómo el efecto de reasignación en la red supone que los usuarios cambian sus caminos originales para tratar de acomodarse a este nuevo cambio, tratando de mantener sus tiempos de viaje originales.

La Tabla 11 muestra cómo el tiempo medio de recorrido por usuario aumenta levemente, pero no de manera significativa, con respecto a la situación base inicial.

Tabla 27. Indicadores de viajes en Auto Pico AM, Escenario 1-2015

Indicador	Unidad	Base 2015	Escenario 1
Tiempo total del sistema	Hora	3,237	3,254
Distancia total recorrida	Km	65,408	65,406
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	142	142
Distancia desde centroides	Km	3,555	3,560
Diferencia de tiempo	Hora	2,426	2,445
Diferencia de distancia	Km	48,284	48,264
Velocidad media	Km/h	20.21	20.10
Tiempo medio por usuario	min	13.98	14.05
Distancia media por usuario	km	4.75	4.71

Fuente: Modelo de transporte

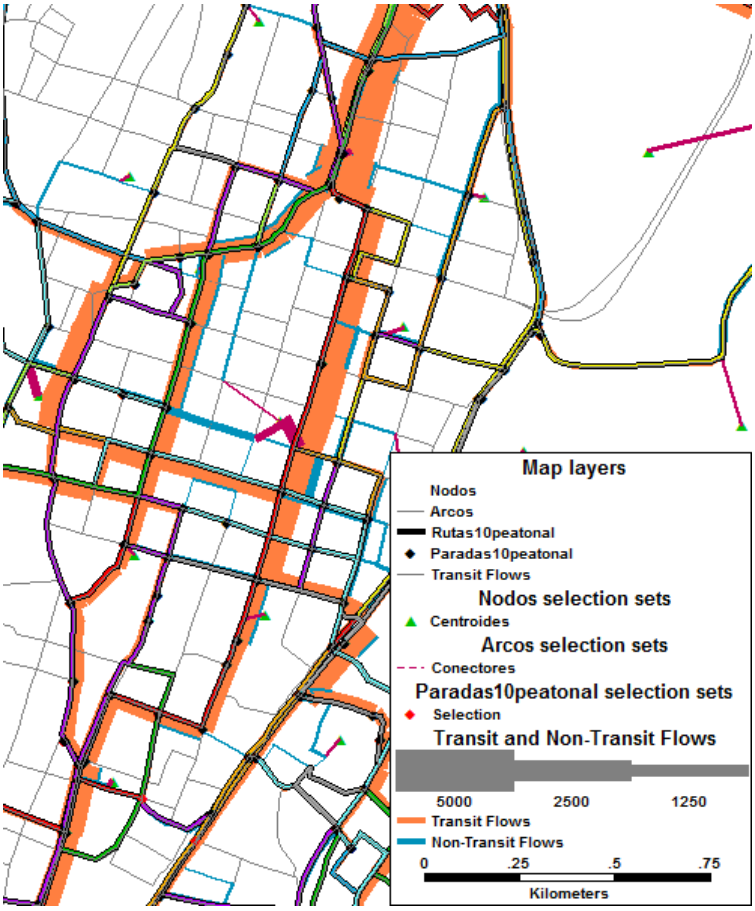


Figura 59. Asignación TPCU pico AM, Escenario 1-2015

Fuente: Modelo de transporte

La Figura 59 muestra el detalle del patrón de flujos para el sistema de TPCU obtenido bajo el supuesto de peatonalización de la carrera 10.

Se puede observar un incremento del flujo peatonal por la calle 19 desde la carrera 10 hasta llegar a la carrera 12.

Se encuentra un pequeño aumento, inferior al 1%, no significativo, en el costo generalizado de viaje, al igual que en el tiempo total del sistema.

Debido a unos mayores tiempos de caminata que se producen por la pérdida de acceso al sistema, el costo generalizado de viaje por usuario aumenta en unos 60.08 $/usuario, valor que no parece importante dado que representa un incremento que no llega al 1.5% del valor de referencia.

Tabla 28. Indicadores de viajes en TPCU Pico AM, Escenario 1-2015

Indicador	Unidad	Base 2015	Escenario 1
Costo generalizado	Pesos	4,557.35	4,617.43
Tiempo de acceso	min	4.41	4.47
Tiempo a bordo	min	17.38	17.48
Tiempo de egreso	min	5.70	5.87
Distancia a bordo	Km	4.44	4.47
Tiempo TPCU	min	27.50	27.82

Fuente: Modelo de transporte

6.2. Escenario 2: Carrera 10 peatonalizada + cambio sentidos de circulación

La estrategia de cambiar los sentidos de circulación, para establecer los que se muestran en la Figura 60, se modeló inicialmente en la plataforma de micro-simulación encontrando resultados satisfactorios y ahora se modela en la plataforma de macro-simulación para corroborar o descartar los resultados iniciales.

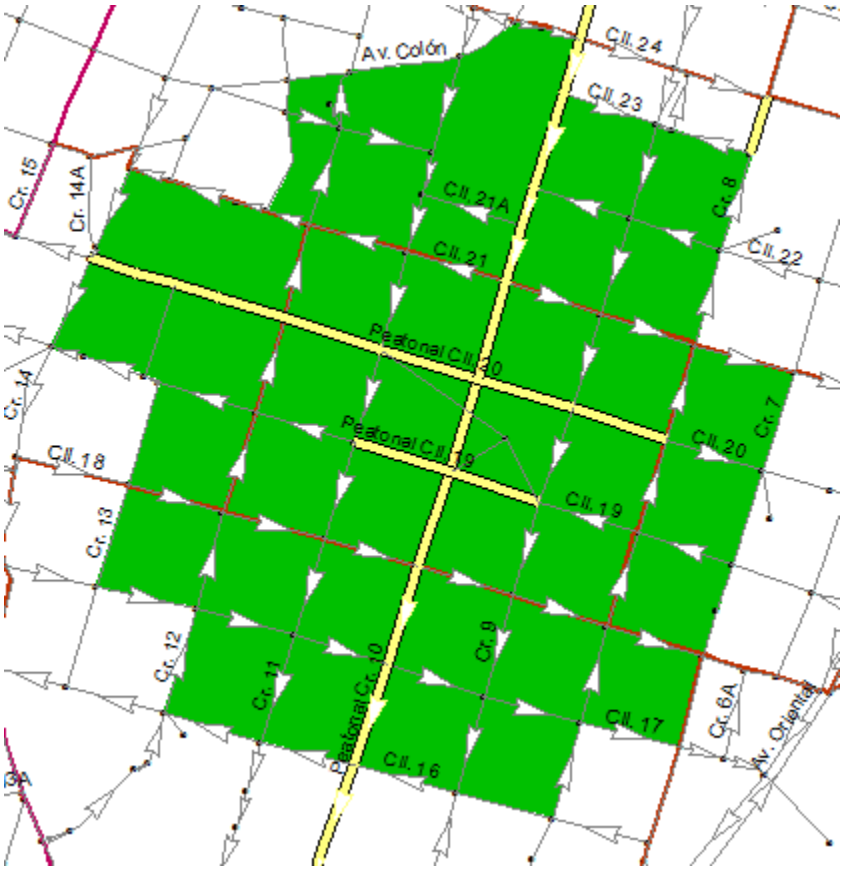


Figura 60. Nuevos sentidos de circulación evaluados

Fuente: Modelo de transporte

En síntesis, los cambios de sentido de circulación se explican así:

- Carrera 9 en sentido N-S hasta la calle 16.
- Carrera 12 en sentido S-N
- Carrera 8 en sentido S-N
- Calle 16 en sentido O-W, excepto entre carreras 9 y 8 que tendría doble sentido de circulación.

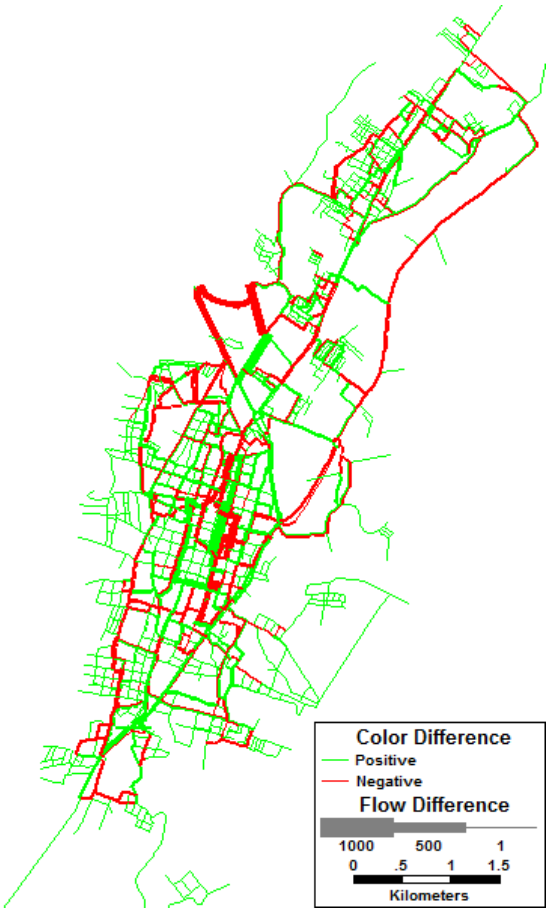


Figura 61. Diferencias de asignación Escenario 2-2015

Fuente: Modelo de transporte

La Figura 61 compara los resultados del modelo de asignación entre la situación base del año 2015 y la simulación de peatonalización de la carrera 10.

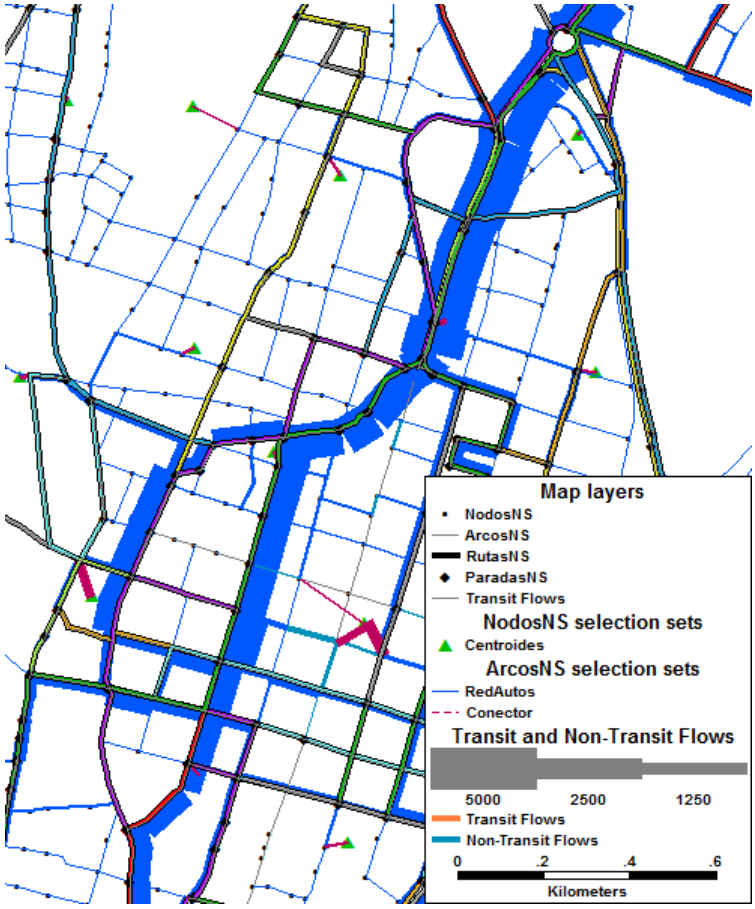
Al respecto se observa cómo el efecto de reasignación en la red supone que los usuarios varían sus caminos originales para tratar de acomodarse a este nuevo cambio, tratando de mantener sus tiempos de viaje originales.

La Tabla 29 muestra cómo la distancia media recorrida por usuario disminuye levemente con respecto a la situación de peatonalizar la carrera 10 sin modificar los sentidos de circulación.

Tabla 29. Indicadores de viajes en Auto Pico AM, Escenario 2-2015

Indicador	Unidad	Escenario 1	Escenario 2
Tiempo total del sistema	Hora	3,254	3,235
Distancia total recorrida	Km	65,406	65,246
Tiempo de acceso desde centroides	Hora	142	138
Distancia desde centroides	Km	3,560	3,470
Diferencia de tiempo	Hora	2,445	2,444
Diferencia de distancia	Km	48,264	48,304
Velocidad media	Km/h	20.10	20.17
Tiempo medio por usuario	min	14.05	13.97
Distancia media por usuario	km	4.71	4.70

Fuente: Modelo de transporte



La Figura 62 muestra el detalle del patrón de flujos obtenido para el supuesto de peatonalización de la carrera 10 y cambios de sentido de circulación.

Se puede observar la consolidación de la carrera 12 como corredor de transporte público hacia el Norte.

Es observada una leve disminución del tiempo a bordo de los vehículos de transporte público.

Figura 62. Asignación TPCU pico AM, Escenario 2-2015

Fuente: Modelo de transporte

En general, no es evidente una mejoría en el sistema de TPCU al cambiar los sentidos de circulación bajo el supuesto de peatonalización de la carrera 10

Tabla 30. Indicadores de viajes en TPCU Pico AM, Escenario 2-2015

Indicador	Unidad	Escenario 1	Escenario 2
Costo generalizado	Pesos	4,617.43	4,664.27
Tiempo de acceso	min	4.47	4.52
Tiempo a bordo	min	17.48	17.15
Tiempo de egreso	min	5.87	6.26
Distancia a bordo	Km	4.47	4.46
Tiempo TPCU	min	27.82	27.93

Fuente: Modelo de transporte

7. Propuesta de movilidad no motorizada

La propuesta de movilidad no motorizada se sustenta en una serie de políticas, programas y proyectos contenidos en los principales planes tomados como referencia, tal como se indica en la Figura 63.



Figura 63. Referentes para las propuestas de movilidad futura

Fuente: Elaboración propia

El plan de ordenamiento territorial, adoptado mediante Acuerdo 14 de fecha 31 mayo de 2001 establece, con relación al transporte no motorizado, una serie de actuaciones a saber:

- Priorización y especialización de la red de espacio público y el sistema vial como sistemas de soporte del centro, en particular con la ampliación de las vías peatonales existentes y la recuperación del espacio público.
- Recuperación y mantenimiento de los espacios públicos en el centro histórico, conformando una red articulada de edificios patrimoniales, vías peatonales, parques y plazas.

- Conformación de un sistema de espacio público adecuado para el desarrollo de la FRANJA UNIVERSITARIA AMBIENTAL (a lo largo de la vía del ferrocarril y las vías paralelas a los Ríos Jordán y La Vega).
- Promoción de la peatonalización y el control de acceso vehicular al centro histórico.
- Promoción de sistemas de transporte alternativos como la bicicleta.
- Desestimulo al uso vehicular en el centro histórico dando prioridad al espacio público peatonal, recreativo y lúdico, como respuesta a su carácter cultural, institucional y turístico.
- Promoción del uso de las bicicletas y definir ciclo-rutas en algunas vías planas como La Universitaria.

Por su parte, el plan especial de manejo y protección del centro histórico, adoptado mediante Resolución 428 de fecha 27 marzo 2012, del Ministerio de Cultura, traza como líneas generales las siguientes:

- El centro para el peatón
- Peatonalización de la carrera 10 y las calles19 y 20 (Complementación)
- Prelación peatonal en las carreras 9 y 11
- Desincentivar presencia de vehículos en el CH
- Avenida Colón: Transporte público y Privado, arborización y andenes amplios.
- Plaza de Las Nieves: Adecuación espacio público e integración con solución vial.

Apoyando lo anterior, el plan de desarrollo municipal adoptado mediante Acuerdo 5 de fecha 21 de junio de 2012, promueve:

- Promoción de recorridos peatonales y en bicicletas como una movilidad amigable con el medio ambiente
- Mejores calidades urbanas para peatones, vehículos, ciclistas, etc.

En este ámbito, se entiende que el sistema de transporte es esencial más no suficiente para garantizar el desarrollo urbanístico y económico deseado de la ciudad y la región, siendo necesario articular todos los componentes de la ciudad (Figura 64) mediante una serie de equipamientos que abarcan entre otros los siguientes aspectos:

- Salud
- Educación
- Culturales
- Deportivos

- Recreativos
- Religiosos



Figura 64. Componentes de la ciudad

Fuente: Elaboración propia

Para tal fin, es indispensable contar con la provisión de infraestructura de transporte, así:

- Peatonal
- Bicicleta
- TPCU
- Vehicular

7.1. Bases de la movilidad no motorizada

La integración de los aspectos previamente descritos puede hacerse desde varias perspectivas, siendo una de las más recomendables la de movilidad sostenible que se caracteriza por:

- Permite que las necesidades básicas de acceso de las personas se cumplan de manera segura y consistente con la salud humana y del ecosistema y equitativamente entre generaciones.
- Es alcanzable, opera razonablemente, ofrece escogencia modal y soporta una economía en crecimiento.
- Limita las emisiones y los desperdicios dentro de la habilidad del planeta para absorberlos; optimiza el consumo de recursos (no renovables y renovables).

- Reutiliza y recicla sus componentes y minimiza el uso de la tierra y la producción de ruido y contaminación visual.

En este marco, la prioridad en la toma de decisiones para dar solución a los problemas de movilidad debería estar jerarquizada como se indica en la Figura 65, es decir, debería estar sustentada en la movilidad no motorizada.

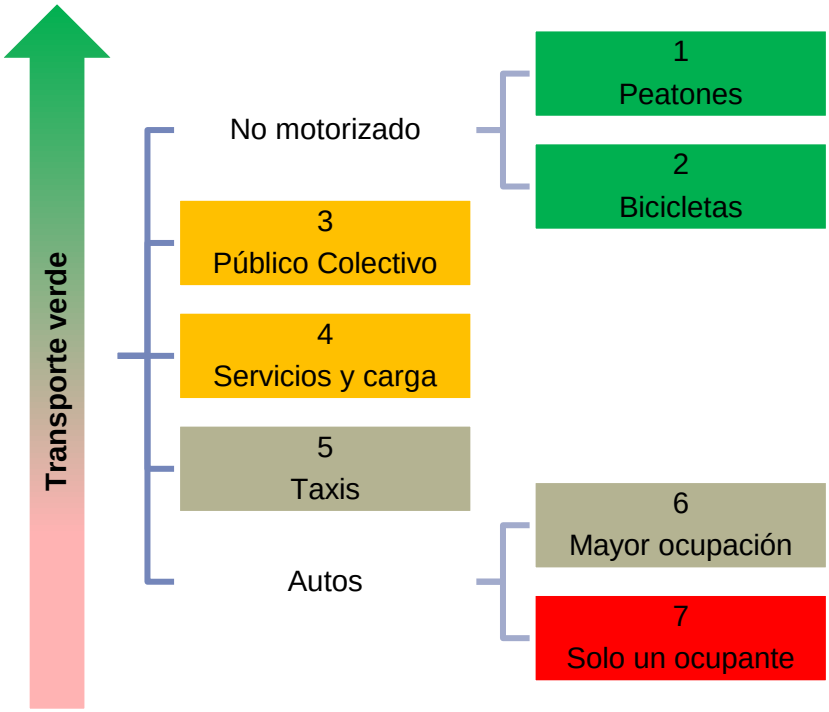


Figura 65. Jerarquía en la toma de decisiones

Fuente: Elaboración propia

Como estrategia fundamental para la promoción de los viajes no motorizados se plantea el aprovechamiento de la capacidad autónoma del ser humano para desplazarse, situación que puede ser alcanzada proponiendo:

- Reducción de desplazamientos de larga distancia
- Creación de condiciones favorables para desplazamientos no motorizados

Esto implica un cambio en los objetivos de valoración de las políticas en materia de movilidad para dar paso a la medición de beneficios en términos de accesibilidad, tales como la valoración del ejercicio físico que conlleva beneficios a la salud y la valoración de la mejor salud que supone una mayor productividad de las personas. La Figura 66 sintetiza las estrategias a seguir para mejorar las condiciones de accesibilidad de las personas, que en términos generales se debiera caracterizar por:

- Facilidad de acceso a actividades económicas, servicios y equipamientos.
- Reducción de la demanda de desplazamientos motorizados.
- Integración entre modos de transporte

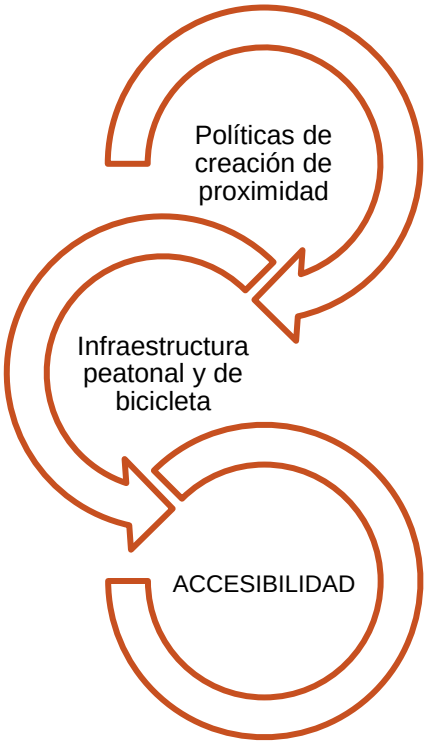


Figura 66. Estrategias para promover la accesibilidad

Fuente: Elaboración propia

Desarrollando el esquema propuesto, se puede mencionar que las políticas de creación de proximidad significan:

- Acercamiento y descentralización de servicios y equipamientos hasta el radio de acción de la caminata y la bicicleta.
- Regulación de usos de suelo evitando sectores mono-funcionales.
- Zonas con mayor densidad
- Vialidad orientada al tráfico calmado, promoviendo bajas velocidades del automóvil.

Mientras que disponer de infraestructura peatonal y de bicicleta supone:

- Promoción de desplazamientos no motorizados.
- Mejoramiento del entorno
- Supresión de barreras para peatones y ciclistas
- Infraestructura vial diseñada para calmar tráfico

7.2. Identificación de proyectos peatonales

Retomando el análisis geográfico con el modelo de transporte, esta vez para estudiar las líneas de deseo de viaje que tienen vocación no motorizada, en general asociadas con desplazamientos hasta de 2 km (Figura 67), es posible identificar unos patrones predominantes.

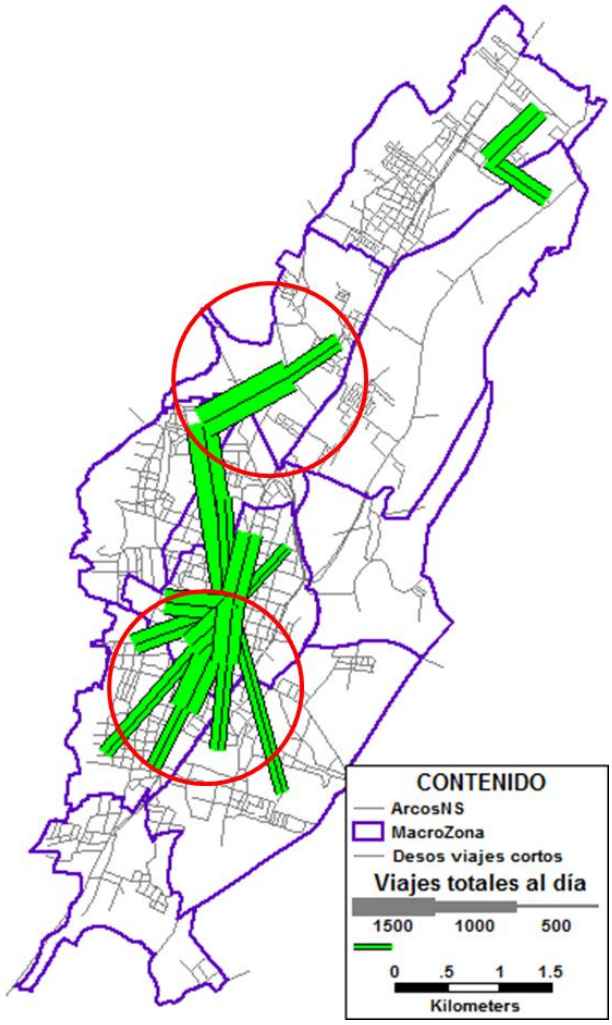


Figura 67. Líneas de viajes principales con vocación no motorizada

Fuente: Modelo de transporte

Los principales flujos, en términos de su magnitud, que pudieran tener vocación para ser atendidos por infraestructura de viajes no motorizados son:

- UPTC – La Calleja – Gaitán
- CH – La Fuente – Calleja
- CH – Suárez – Quiminza
- CH – Consuelo

- CH – El Topo
- CH – Las Nieves
- CH – Nueva Santa Bárbara
- CH – Ricaurte

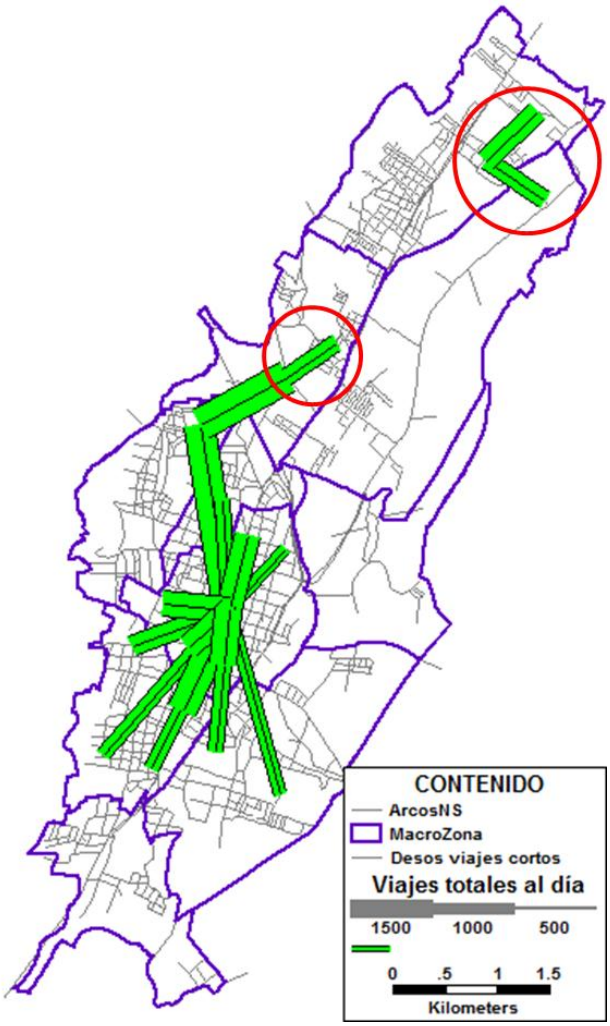


Figura 68. Líneas de viajes secundarias con vocación no motorizada

Fuente: Modelo de transporte

Los flujos secundarios con vocación no motorizada (Figura 68) han sido identificados así:

- MUISCAS – Suamox – Arboleda
- MUISCAS – UNIBOYACÁ
- UPTC – J.J. Camacho

- CH – Licorera
- CH – El Carmen
- CH – Surinama
- CH – Cementerio Central
- CH – Libertador
- CH – Cooservicios

El análisis realizado permitió identificar los siguientes proyectos relacionados con infraestructura peatonal.



Figura 69. Eje peatonal universitario EPU01-UPTC

Fuente: Modelo de transporte

EPU01-UPTC

La Figura 69 identifica al proyecto EPU01-UPTC, el cual incluye los siguientes tramos que deberían ser objeto de mejoramiento de infraestructura peatonal:

- UPTC – Salida R. – Gaitán – Calleja – Fuente
- UPTC – Salida principal – Av. Norte – Glorieta
- UPTC – Salida principal – Av. Norte – Centro Norte – Las Quintas
- UPTC – Salida Rosales – J.J. Camacho

Este proyecto comunica a las dos sedes con mayor número de estudiantes de la ciudad:

- Normal Femenina, la sede de mayor tamaño con 3,020 estudiantes.
- Normal Central, la segunda sede con 2,877 estudiantes.

Otros proyectos relacionados con el mejoramiento de infraestructura peatonal son descritos a continuación.

EPU02-UNIBOYACÁ

Descripción:

- UNIBOYACÁ – Suamox – Muiscas
- UNIBOYACÁ – Capitolio – Arboleda
- UNIBOYACÁ – Campus UNIBOYACÁ

Comunica a los colegios:

- Los Ángeles (14-863)
- Andino (30-366)
- Gimnasio campestre (32-312)



Figura 70. Eje peatonal universitario EPU02-UNIBOYACÁ

Fuente: Modelo de transporte

EPU03-SANTO TOMÁS

Descripción:

- SANTO TOMÁS – Cl. 19 – Topo
- SANTO TOMÁS – Cl. 19 – Santa Clara La Real
- Está prevista la peatonalización de la Cl. 19 en el PEMPCH.

Comunica a los colegios:

- Boyacá central (9-1,905)
- Colegio COMFABOY (29- 377)
- El Rosario (17- 799)



Figura 71. Eje peatonal universitario EPU03-SANTO TOMÁS

Fuente: Modelo de transporte

EPLCH – Eje peatonal longitudinal del CH

Descripción:

- Plazoleta de Las Nieves – CH – Cr. 10 – Bosque de la República
- Está previsto en el PEMPCH.

Comunica a los colegios:

- Boyacá central (9-1,905)
- Gran Colombia (10-1,076)
- Salesiano (16- 808)
- El Rosario (17- 799)
- Boyacá J.I.M. (33- 310)



Figura 72. EPLCH – Eje peatonal longitudinal del CH

Fuente: Modelo de transporte

EPO – Eje peatonal Occidental

Descripción:

- Cr. 15 – Tr. 19 - salida a Villa de Leyva
- Cr. 15 – hacia el sur hasta la Cl. 9
- Se prevé la interconexión con la peatonalización de la Cl. 19 según el PEMPCH.

Comunica a los colegios:

- INEM – Sede Central (4-1,889)
- Instituto Técnico Gonzalo Suárez Rendón (5-1,533)
- Señora de Fátima (24- 443)

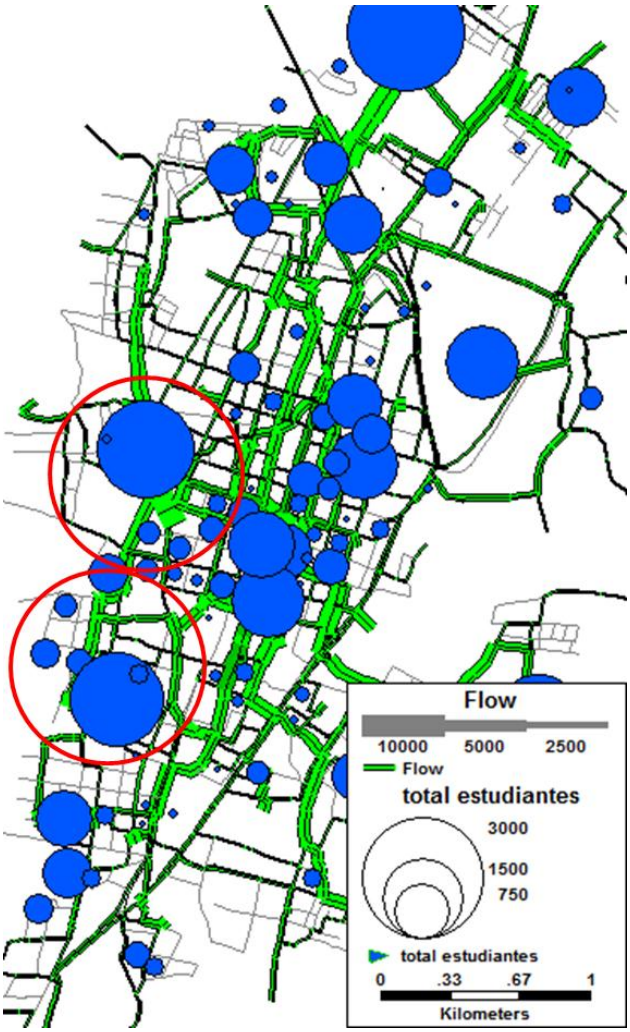


Figura 73. EPO – Eje peatonal Occidental

Fuente: Modelo de transporte

ENO – Eje peatonal Nororiental

Descripción

- Glorieta de la Gobernación – UNICENTRO – Las Quintas – SaludCoop – Colegio Cristo Rey
- Conecta con EPU02-UNIBOYACÁ



Figura 74. ENO – Eje peatonal Nororiental

Fuente: Modelo de transporte

TPO – Transversal peatonal Oriental

Descripción:

- Silvino Rodríguez sede Manzanares – Cr. 2 – Av. Los Patriotas – Cr. 7 – Cl. 16 – Cr. 10
- Conecta con el eje peatonal de la Cr. 10 previsto en el PEMPCH.

Comunica al colegio:

- Silvino Rodríguez – Sede Manzanares (3-2,128).

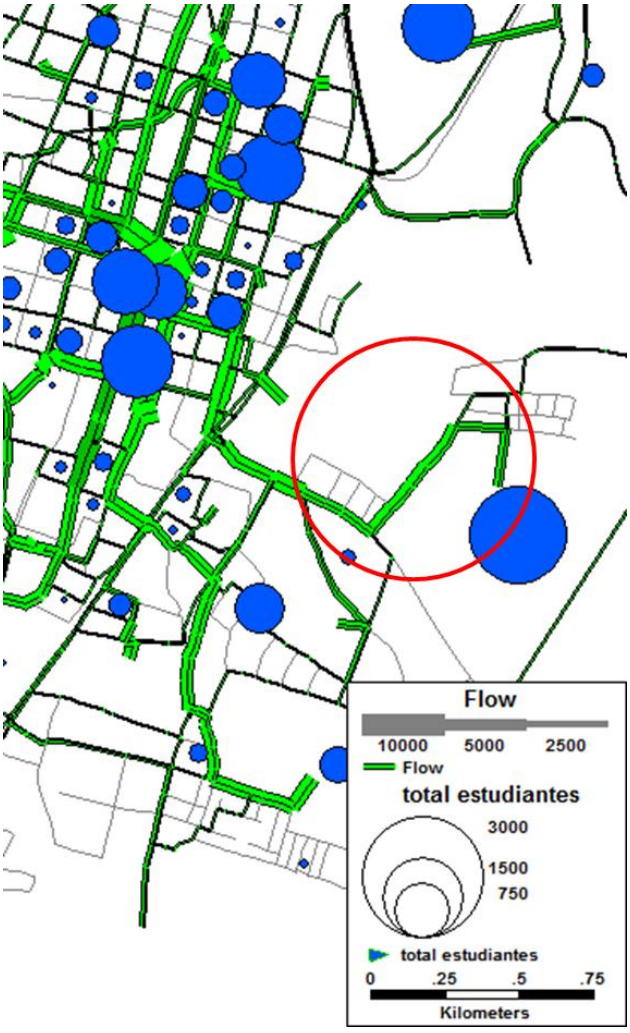


Figura 75. TPO – Transversal peatonal Oriental

Fuente: Modelo de transporte

ECO – Eje complementario Oriental

Descripción:

- Cooservicios – Cr. 4C – Cr. 5 – Cr. 6 – TPO (Transversal Peatonal Oriental)

Comunica a los colegios:

- Cooservicios (27-421).
- Silvino Rodríguez Sede San Antonio (23-455).

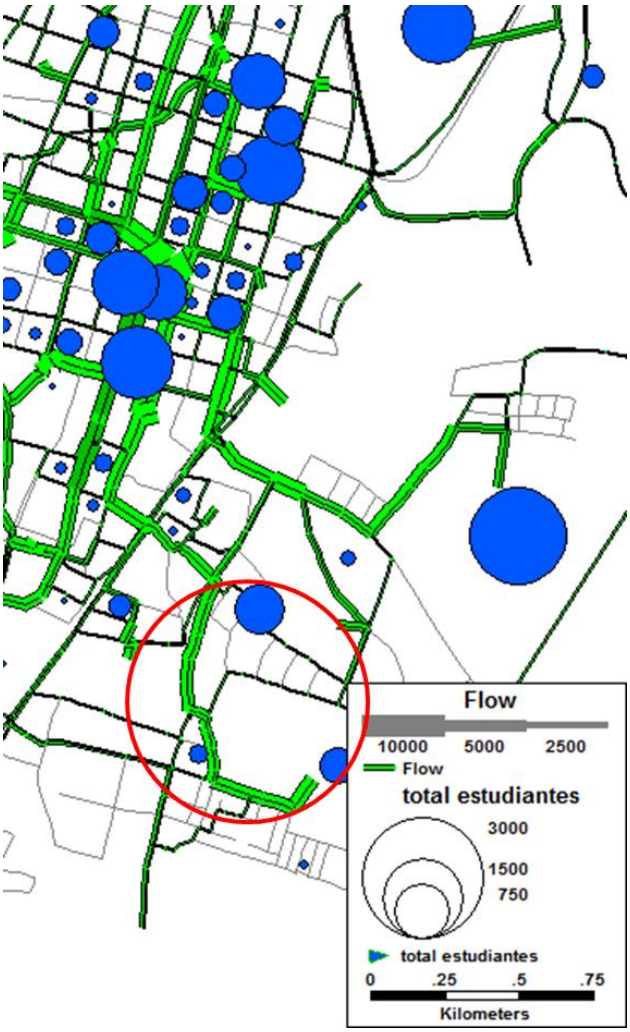


Figura 76. ECO – Eje complementario Oriental

Fuente: Modelo de transporte

ECAO – Eje complementario Av. Olímpica

Descripción:

- Glorieta Gobernación – Glorieta Norte – Doña Limbania
- Conecta con EPU01-UPTC

Comunica al colegio:

- La Presentación (13-889).

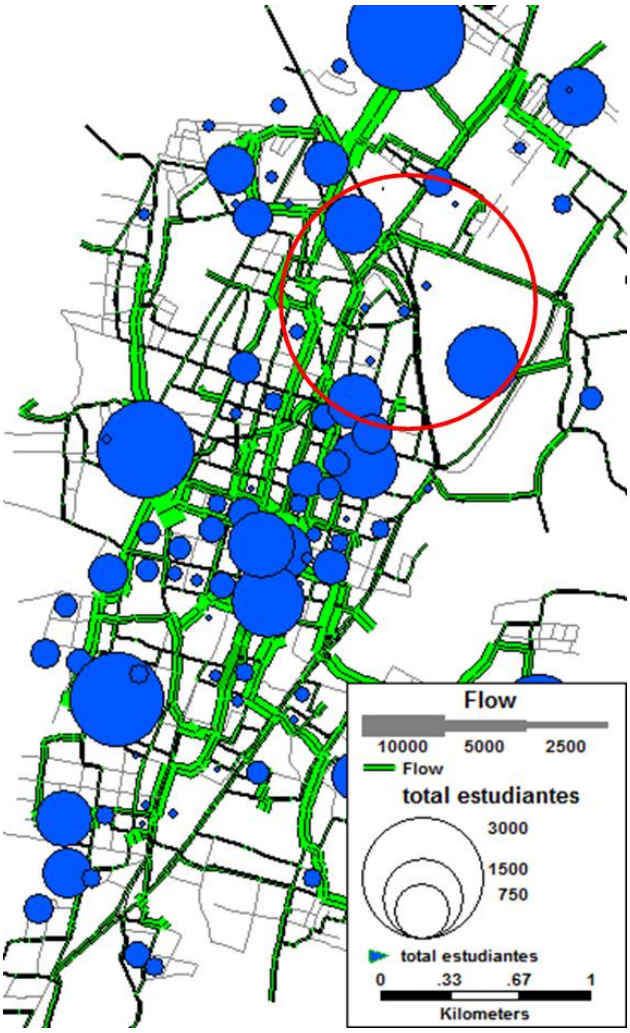


Figura 77. ECAO – Eje complementario Av. Olímpica

Fuente: Modelo de transporte

Los proyectos propuestos generan unos conflictos importantes entre el tráfico vehicular y peatonal que deben ser resueltos.

TPO – Transversal peatonal Oriental

- En conflicto con Av. Oriental, en el sector del actual Terminal de Transporte

ECAO – Eje complementario Av. Olímpica

- En conflicto con Av. Norte, en el sector de la Glorieta Norte.

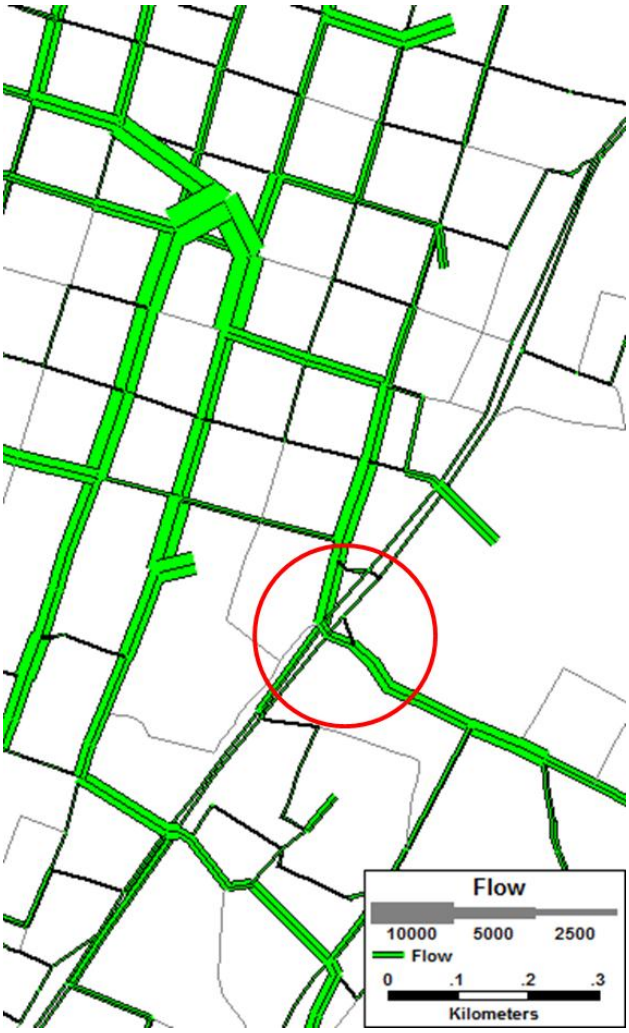


Figura 78. Conflictos peatonales a resolver

Fuente: Modelo de transporte

Resumen de infraestructura peatonal

9 proyectos: 21 km

- EPLCH: 1.0 km
- EPU01: 4.6 km
- EPU02: 2.9 km
- EPU03: 0.6 km
- EPO: 2.7 km
- ENO: 3.4 km
- TPO: 1.9 km
- ECO: 1.4 km
- ECAO: 2.3 km

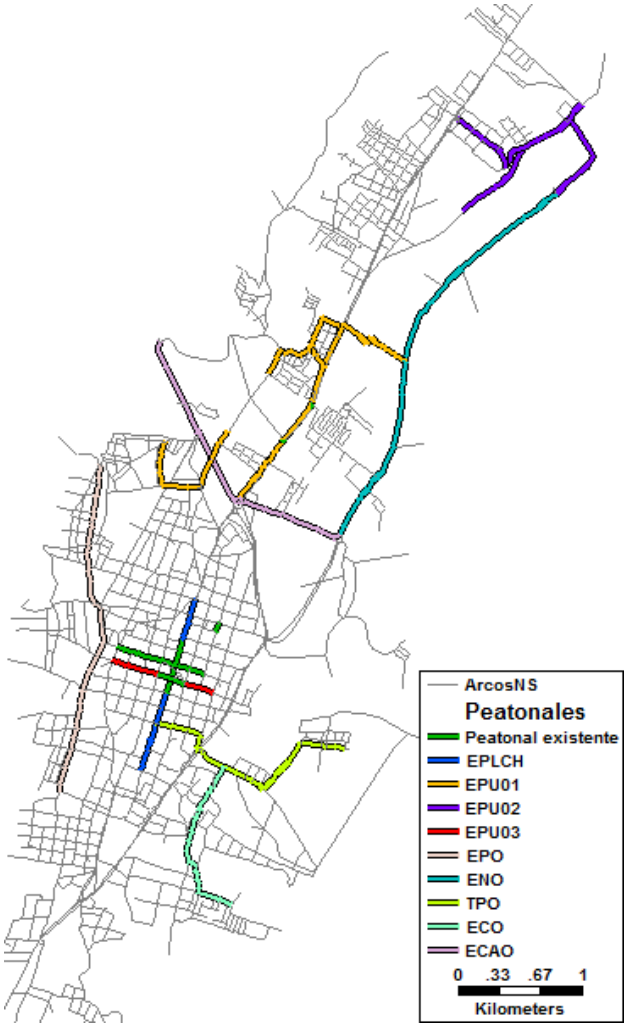


Figura 79. Corredores peatonales propuestos

Fuente: Modelo de transporte

Otros posibles proyectos de infraestructura peatonal a considerar son:

- Av. Maldonado
- Cr. 11 al Sur

7.3. Consideraciones a la infraestructura peatonal

Por definición la infraestructura peatonal debe cumplir una serie de premisas de diseño a saber:

- Seguridad: libre de conflictos y obstáculos
- Accesibilidad: prelación de acceso a sitios con mayor afluencia y a paradas de buses.
- Conectividad: Trayectos continuos que conecten con grandes centros atractores.
- Simplicidad: Lógica y viable, que no genere confusión.
- Estética: Armonía con parques, sitios históricos, etc.

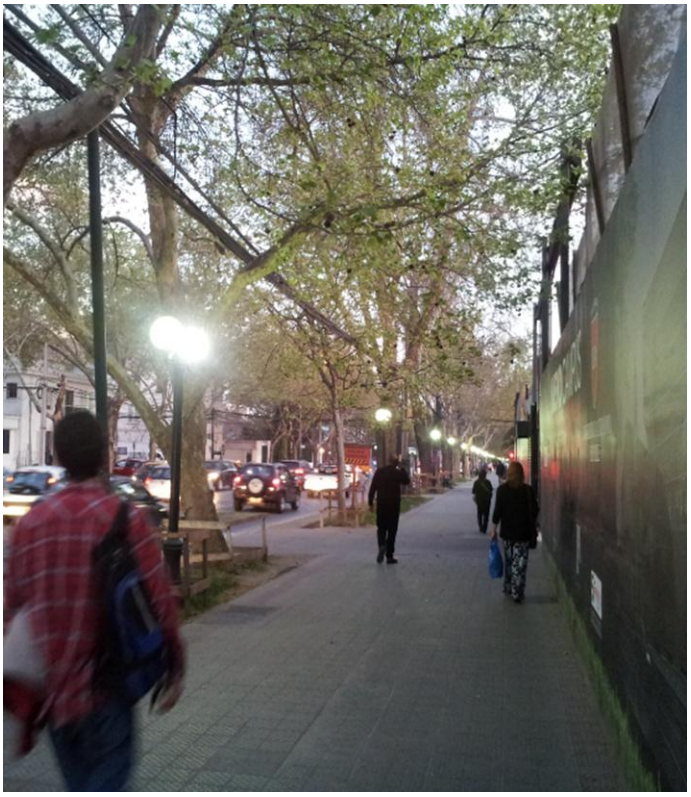


Figura 80. Ejemplo de infraestructura peatonal

Fuente: Archivo personal LGMD, 2012

El plan de ordenamiento territorial de la ciudad también brinda unos lineamientos en materia de infraestructura peatonal:

- Las áreas de cesión deberán ser diseñadas, equipadas, construidas y entregadas por el urbanizador, para lo cual en el diseño deberá incluir: unidad integral recreativa, senderos peatonales, bancos y lugares de descanso, amueblamiento urbano, señalización visual, sistema de iluminación, sistema de recolección de basura y sistema de arborización y ornato.
- Sobre vías de carácter peatonal no se autoriza la construcción de voladizos.
- Se exigirá la construcción de ochavas para brindar visibilidad peatonal y vehicular.

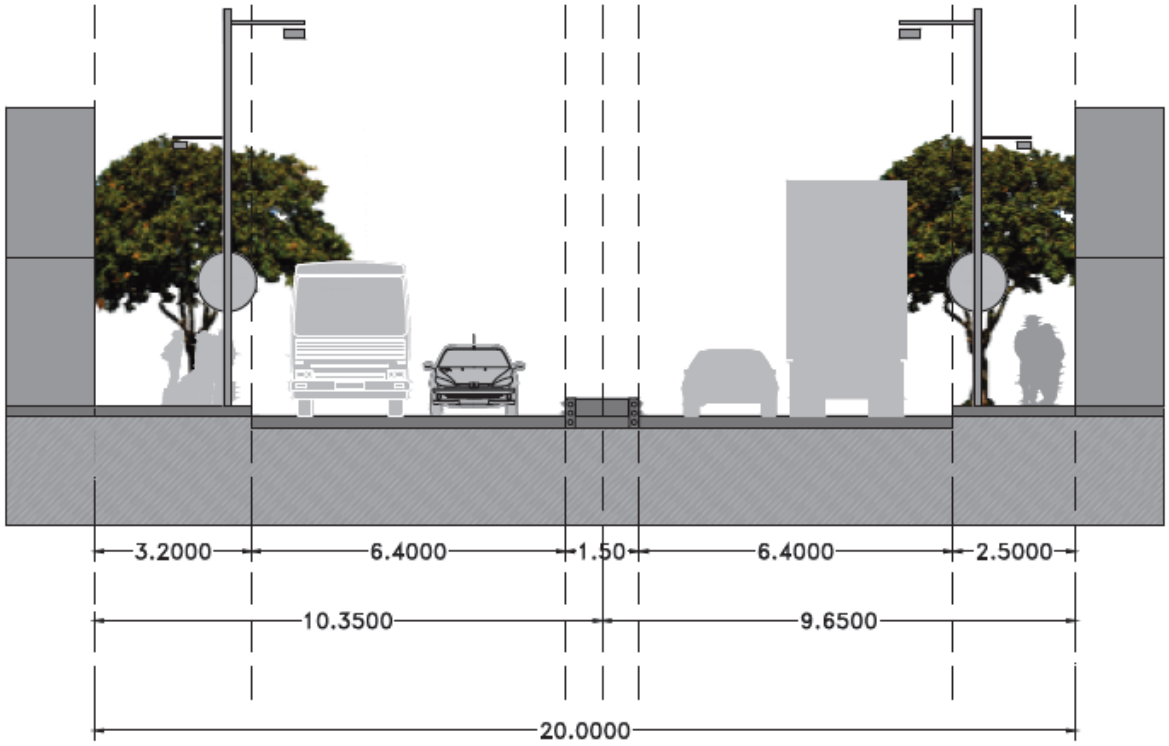


Figura 81. Sección transversal con mejoramiento peatonal

Fuente: Plan de movilidad, 2009

7.4. Identificación de infraestructura para bicicleta

Siguiendo la misma línea de análisis que se utilizó en la identificación de infraestructura peatonal, se ha hecho la identificación de infraestructura para bicicleta tratando de articular lo existente con los planes.

EBSCH – Eje de bicicleta Sur – CH

Descripción

- Prolongación de la ciclo-ruta actual hacia el CH, aprovechando pendiente del terreno.
- Prolongación al Sur, hacia el sector del barrio San Francisco para generar continuidad.
- Articulación con eje ambiental Paseo del Río

Requerimientos:

- Estacionamiento de bicicletas en el CH



Figura 82. EBSCH – Eje de bicicleta Sur – CH

Fuente: Modelo de transporte

EBPR – Eje de bicicleta Paseo del Río

Descripción:

- Pendiente favorable
- Integración con el proyecto Eje ambiental Paseo del Río

Requerimientos:

Integración con principales atractores y provisión de estacionamiento en:

- Estación del Ferrocarril (Terminal de Transporte actual)
- Conexión con ciclo-ruta de UNICENTRO
- UPTC - Centro comercial CENTRO NORTE – UNIBOYACÁ



Figura 83. EBPR – Eje de bicicleta Paseo del Río

Fuente: Modelo de transporte

EBN – Eje de bicicleta Norte

Descripción:

- Pendiente favorable
- Complemento al Eje de Bicicleta Paseo del Río
- Conexión al sur con la ciclo-ruta de Unicentro
- Conexión al norte con la ciclo-ruta EBPR.



Figura 84. EBSCH – Eje de bicicleta Sur – CH

Fuente: Modelo de transporte

8. Estrategias para desincentivar uso del auto

El POT de la ciudad es claro al plantear que se debe desestimular el uso vehicular en el centro histórico dando prioridad al espacio público peatonal, recreativo y lúdico, como respuesta a su carácter cultural, institucional y turístico.

Como se explicó previamente, esta idea de desalentar el uso del auto, especialmente en el centro de la ciudad, es reafirmada también por el PEMPCH y por el PDM.

A continuación se presentan algunas estrategias que ayudarían a desincentivar el uso del auto en la ciudad

8.1. CARPOOLING – Viaje compartido en auto

Tratar de aumentar el índice de ocupación de los autos en el centro de la ciudad es una buena forma de aliviar la presión que produce en el centro histórico un uso ineficiente de los autos.

Algunas ventajas de la medida:

- Los participantes pueden reducir sus costos de viaje
- Descongestiona el CH

Requerimientos

- Compromiso empresarial: Dar prelación a los usuarios del *Carpooling*. Se esperaría que la propia Alcaldía y otras entidades gubernamentales y privadas que tienen su sede en el centro de la ciudad tomaran la iniciativa para promover entre sus trabajadores el uso compartido del auto.
- Creación de una red de usuarios: Facilitar el contacto de las personas que habitan en unidades residenciales vecinas y que desarrollan sus actividades productivas en el centro de la ciudad sería una buena idea para fomentar la medida. Nuevamente la Alcaldía y demás entidades del sector deberían liderar esta actividad.

Riesgos

- Incumplimiento de algunos usuarios por cambios en las necesidades de viajar.

Esta idea debería ser acompañada de otras estrategias que forzaran a los usuarios a compartir el auto para ingresar al centro de la ciudad.

8.2. CIAO - Control de Ingreso de Alta Ocupación

Tal como se ve en la Figura 85 la estrategia CIAO propone el establecimiento de unos puntos de control, que coinciden en todo caso con las intersecciones de acceso al centro de la ciudad, para evitar que autos que no tengan un número determinado de ocupantes hagan uso de la vialidad reservada para autos que tengan una ocupación mayor.

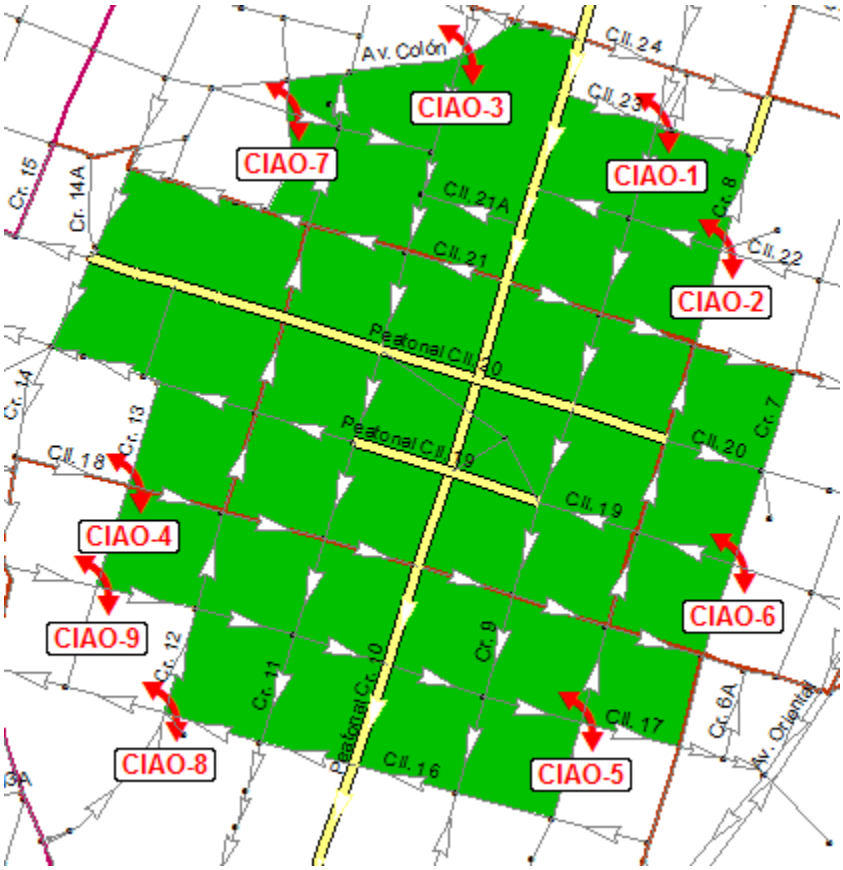


Figura 85. CIAO - Control de Ingreso de Alta Ocupación

Fuente: Modelo de transporte

Ventajas

- Incentiva el *Carpooling*
- Descongestiona el CH

Requerimientos

- Información a los usuarios
- Señalización

- Control – Sanción

Riesgos

- Control ineficiente
- Favorecimiento a ciertos grupos
- Protesta comerciantes

8.3. CxC – Cobro por congestión

La medida anterior podría ser remplazada por un sistema de cobro por congestión que podría ser controlado en los mismos puntos de acceso definidos previamente, solo que ahora, en lugar de restringir el ingreso de vehículos de menor ocupación, se causaría un cobro por ingresar a la zona congestionada (Figura 86).

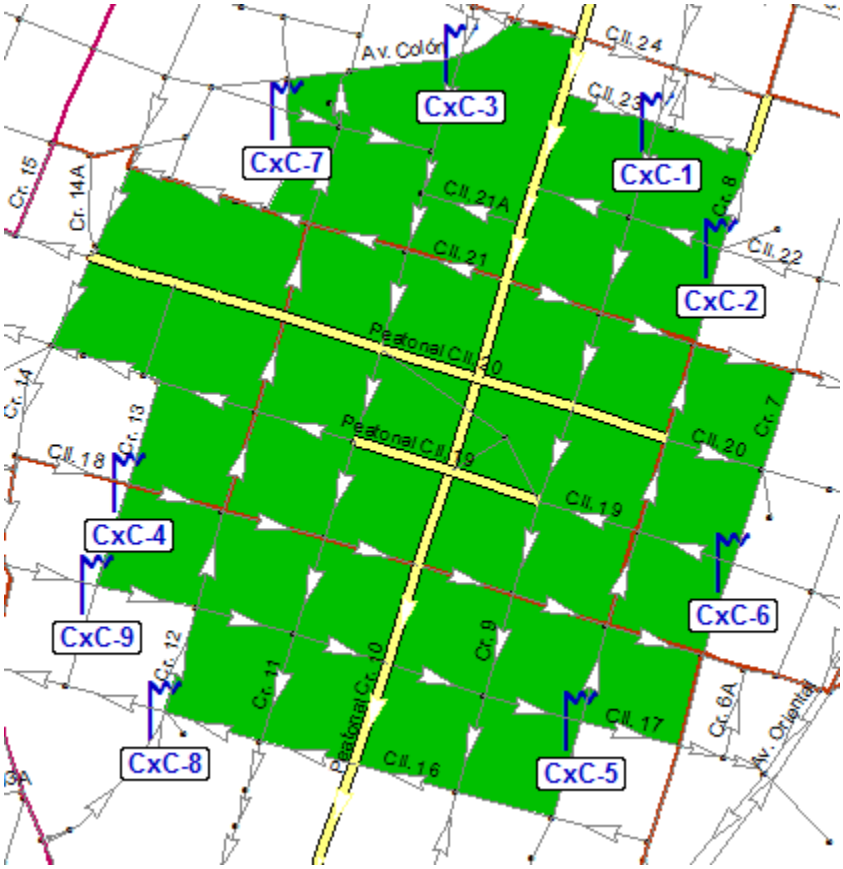


Figura 86. CxC – Cobro por congestión

Fuente: Modelo de transporte

Ventajas

- Descongestiona el CH

- Mecanismo de precios para cobrar a los usuarios externalidades en periodos pico.
- Puede tratar 3 perspectivas: económica, ambiental y de planificación.

Requerimientos

- Estudio técnico para determinación del cobro.
- Tecnológicos en el sistema de control y cobro.

Riesgos

- Exclusión a usuarios de menores ingresos.

8.4. TP – Tarificación de parqueaderos

Otra medida a considerar es el cobro de unas tarifas diferenciales de parqueo, donde parquear al interior de la zona congestionada sea mucho más costoso que parquear en la periferia.

Ventajas

- Menos uso del auto
- Mayor ingreso municipal por incremento del impuesto predial a parqueaderos en el CH

Requerimientos

- Estudio técnico para determinación del cobro.

Riesgos

- Que los mayores ingresos por cobro de tarifas diferenciales se queden en manos de los particulares en lugar de ingresar a las arcas públicas para fomentar el uso de modos no motorizados y mejorar el sistema de TPCU.
- Rechazo por parte de los comerciantes.
- Exclusión a usuarios de menores ingresos.

9. Transporte de carga

En la actualidad, al transporte urbano de mercancías se le ha dado la importancia que requiere, debido a que su actividad dentro de la ciudad produce impactos negativos, los cuales no pueden ser ignorados ni minimizados. Por tal razón, desde hace poco tiempo se ha venido desarrollando una nueva área, que involucra el estudio a la situación presentada y a la cual se le ha identificado como *Logística Urbana*.

Es evidente que la presencia continua de los vehículos de carga dentro de una ciudad le genera inconvenientes, los cuales pueden agruparse en impactos negativos traducidos en:

- Congestión en las vías urbanas
- Accidentalidad vial a nivel urbano
- Problemas ambientales
- Efectos sociales y económicos

El concepto de Logística urbana se ha definido de la siguiente manera: proceso para optimizar la logística y actividades de transporte en áreas urbanas, considerando la congestión, el medio ambiente, el consumo de energía y los aspectos económicos de la población[17].

En el manejo de las mercancías se presentan diversos actores, quienes deben ser tenidos en cuenta a la hora de hacer los análisis de las situaciones presentadas, ya que son quienes se ven afectados por las medidas que se implementen. Estos actores son:

- Los dueños de la carga (*shippers*)
- Los transportadores (*carriers*)
- Residentes
- Gobernantes

Es evidente que cada uno de los actores tiene sus propios intereses. Por ejemplo, el shipper tiende a maximizar su nivel de servicio, teniendo en cuenta aspectos como costo, tiempo de empaque y envío, y confiabilidad del servicio de transporte[18].

[17] Taniguchi, E. et ál. City logistics: network modeling and intelligent transport systems. Pergamon, 2001.
[18] ibid.

En la siguiente figura se aprecia el esquema seguido para la logística urbana:

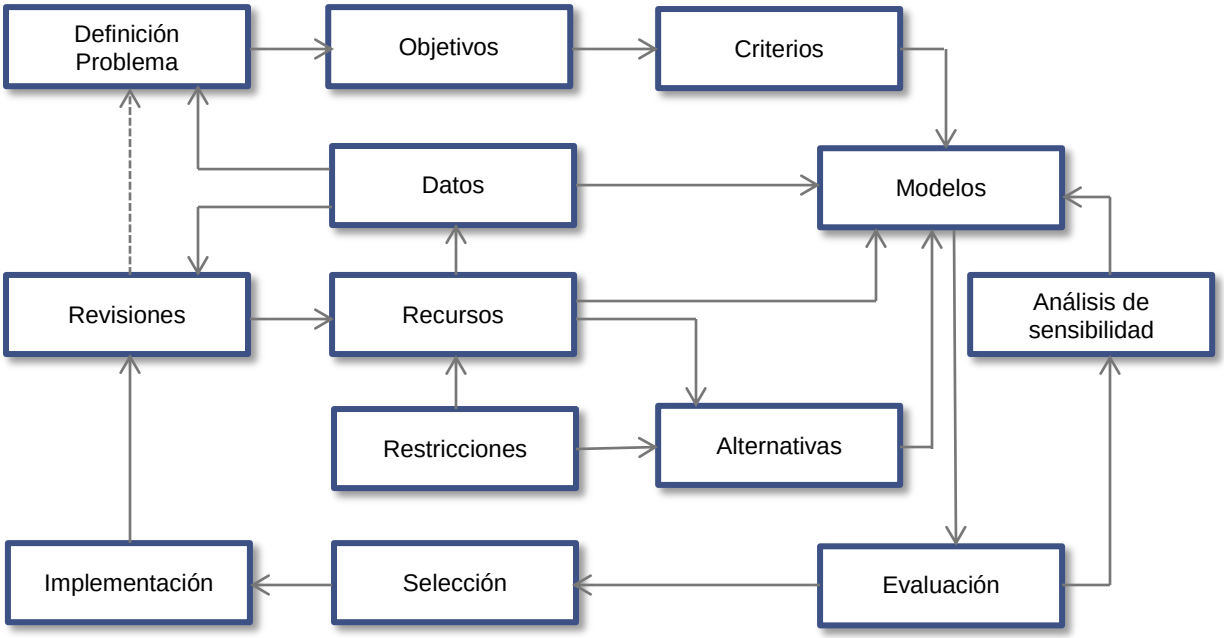


Figura 87. Esquema para la logística urbana

Fuente: Taniguchi, E. et ál. City logistics: network modeling intelligent transport systems. Pergamon, 2001. Page 9

Finalmente, en la logística urbana se toman en cuenta los llamados modelos de impacto[19], los cuales hacen estimaciones sobre los siguientes aspectos:

- Impactos sociales por congestión de tráfico y accidentalidad
- Impactos económicos originados por cambios en los costos fijos y costos de operación
- Impactos ambientales relacionados con emisiones de CO_2 o NO_2, así como niveles de ruido y la vibración que provocan los vehículos pesados al pasar cerca de las viviendas
- Consumo de energía por cambios en la cantidad de combustible usado

9.1. Situación en Tunja

En el marco del estudio de movilidad contratado por el municipio de Tunja, se hizo un análisis de la situación actual relacionada con el transporte de mercancías presente en la ciudad.

[19] ibid.

Los datos de los movimientos de carga se tomaron en los sitios que cumplen un papel fundamental en estos movimientos, por ser atractores de carga, los cuales para el caso de Tunja son:

- Plaza de mercado del sur
- Plaza de mercado del norte
- Sector de las ferreterías y materiales de construcción (carrera 14)

Otros sitios considerados en el análisis fueron los almacenes de grandes superficies, tales como Carrefour, Éxito, MAKRO, el Tía, el Paraíso y el Chispazo.

Una vez procesados los datos de campo, se pudo comprobar que la influencia de los vehículos pesados dedicados al transporte de mercancías sobre la red vial de la ciudad, es relativamente baja, lo que muestra el escaso impacto que tiene sobre la ciudad.

Es posible que lo anterior obedezca a situaciones particulares que se presentan en Tunja, como es el caso de las vías alternas que no entran a la ciudad y que son utilizadas por vehículos de carga en los recorridos por el corredor Sogamoso-Bogotá y Sogamoso-Bucaramanga.

De otro lado, la localización de los puntos relacionados con el suministro de víveres influye en la escasa ocupación de vehículos pesados por las vías principales de la ciudad. Además, el reparto de mercancías dentro de la ciudad se hace en vehículos más pequeños, los cuales no causan tantos efectos negativos como los vehículos pesados.

En el caso de los grandes almacenes que están localizados en el centro de la ciudad, se encontró un efecto reducido debido a la utilización de vehículos de tamaño mediano y a la definición de horarios en los cuales los vehículos de carga no entran en conflicto con los vehículos particulares y con los que prestan el servicio público

En general, se encuentra una situación apropiada que no causa mayores dificultades a la ciudad.

9.2. Recomendaciones

A pesar de la situación aparentemente buena, es necesario considerar algunas recomendaciones que se hacen para un futuro a corto y mediano plazo, las cuales se presentan a continuación:

- Las vías que utilizan los vehículos pesados a su paso por la ciudad de Tunja son fácilmente identificables. Sobre estos corredores es necesario

hacer estudios de los impactos que se generan y que tienen que ver principalmente con impactos ambientales representados en polución del aire, ruido y vibración. Sobre este último aspecto se debe estar alerta dada la presencia de construcciones en taludes inestables, que sufren por el paso de los vehículos.

- Es necesario hacer un estudio detallado de los movimientos que se dan por la presencia de vehículos de carga pequeños, los cuales cumplen un papel de distribución de mercancías en toda la ciudad.
- En concordancia con el documento CONPES 3547, Política Nacional de Logística, se han definido varios corredores logísticos de importancia para el país. Boyacá se identifica como una región agrícola que juega un papel importante en el abastecimiento de víveres, en el cual Tunja cumple un rol fundamental por su localización y conexión con diversas zonas.
- El documento CONPES 3547 involucra el término Plataforma Logística, al cual define como el conjunto de instalaciones inmobiliarias y el transporte físico de mercancías entre diversos agentes, en donde se involucra totalmente a la infraestructura de transporte como medio de conexión entre ellos[20].
- La *European Association of Freigth Villages EUROPLATFORMS* define la Plataforma Logística[21] como un área dentro de la cual todas las actividades relativas al transporte, logística y distribución de bienes, tanto para el tránsito nacional o internacional, son llevadas a cabo por varios operadores, con gestión pública o privada y que cuenta con los servicios requeridos para prestar sus servicios.
- El concepto de plataforma logística podría ser utilizado para mejorar la actividad relacionada con el transporte de mercancías, debido a que es un modelo que permite concentrar y organizar las actividades relacionadas con la distribución de mercancías para la ciudad. En el caso de Tunja, podría pensarse en un centro de distribución unimodal, la cual está orientada al mejoramiento de actividades de distribución.

[20] CONPES 3547.Política Nacional Logística. 2008, página 15.
[21] CEPAL. Boletín FAL. Plataformas logísticas: elementos conceptuales y rol del sector público. 2009.

10. Reestructuración del sistema de TPCU

Los análisis realizados sobre el servicio de TPCU permitieron concluir que el sistema se encuentra sobre-dimensionado y que por lo tanto es necesario proponer la reestructuración del mismo.

10.1. Fundamento legal

La reestructuración de los servicios de transporte público está sustentada en un sinnúmero de normas del orden nacional tal como se describe a continuación:

CONSTITUCIÓN NACIONAL

- La función administrativa del Estado se desarrolla con fundamento en los principios Constitucionales de eficiencia, eficacia y transparencia siempre en garantía del interés general (CN, 1991).
- El Estado intervendrá en la explotación de los servicios públicos y privados con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano (CN, 1991).

LEYES

- El Transporte Público tiene como principio el acceso al transporte, exigiéndose a las autoridades competentes el diseño y ejecución de políticas dirigidas a fomentar el uso de los medios de transporte, racionalizando los equipos apropiados de acuerdo con la demanda, y propendiendo por el uso de medios de transporte masivo (Ley 105, 1993).
- Las autoridades competentes deben exigir y verificar las condiciones de seguridad, comodidad y accesibilidad requeridas, que garanticen a los habitantes la eficiente prestación del servicio básico y de los demás niveles que se establezcan al interior de cada modo, dándole prioridad a la utilización de medios de transporte masivo (Ley 336, 1996).

DECRETOS NACIONALES

- La autoridad competente podrá en cualquier tiempo, cuando las necesidades de los usuarios lo exijan, re-estructurar oficiosamente el servicio, el cual se sustentará con un estudio técnico en condiciones normales de demanda (Decreto 170 de 2001).
- La re-estructuración del servicio implica: suprimir, modificar, recortar, fusionar, empalmar o prolongar las actuales rutas, sin que para ello existan limitaciones de longitud, recorrido y/o nivel de servicio. Así mismo, modificar

las frecuencias, horarios y clase, capacidad transportadora y número de vehículos".

Como se ve, el sustento legal es amplio y suficiente. En el ámbito técnico se ha propuesto adelantar la reestructuración de rutas en tres fases, tal como se describe en la Figura 88.

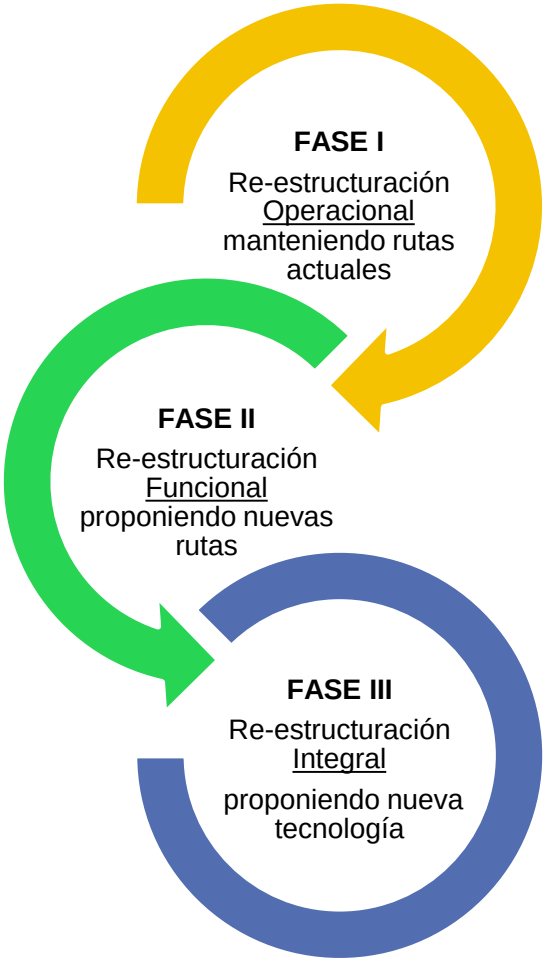


Figura 88. Fases propuestas para la reestructuración de rutas

Fuente: Elaboración propia

10.2. ROC – Reestructuración operacional corto plazo

La reestructuración operacional se refiere a una optimización del servicio actual, mediante un ajuste de la flota a las verdaderas condiciones de demanda de transporte en alguno de los periodos picos, de tal forma que la programación efectuada responda a las condiciones más críticas del sistema. En los demás periodos no modelados deberían implementarse unos ajustes a las frecuencias de despacho en función de los cambios en la demanda de viajes.

Los supuestos asociados con la Fase I son:

- Prestación del servicio con rutas actuales ajustando su recorrido a los cambios en la infraestructura urbana.
- Uso de vehículos actuales con ajuste en la programación según demanda
- Simulación de 2 escenarios asociados con el volumen del servicio en el periodo de máxima demanda (Figura 89):
    - Escenario 1 – Nivel de Servicio C: 19 pasajeros
    - Escenario 2 – Nivel de Servicio D: 23 pasajeros

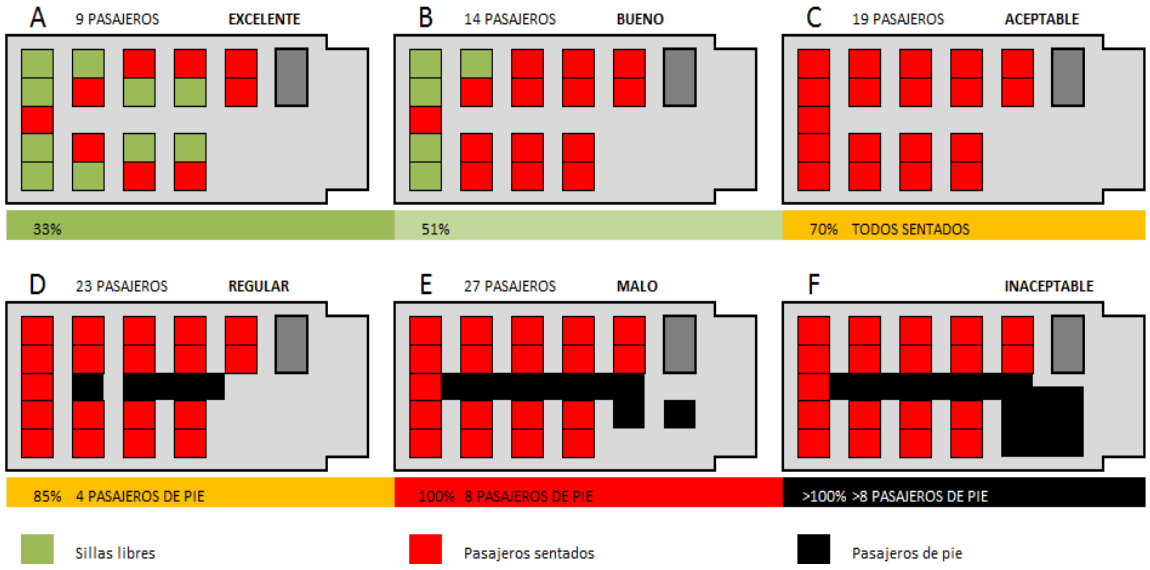


Figura 89. Especificación del volumen de servicio

Fuente: Elaboración propia

Los impactos esperados de la implementación de esta fase son resumidos en la Figura 90 donde se destacan los siguientes impactos positivos para los usuarios:

- Menor tarifa
- Aumento de usuarios, especialmente aquellos que provienen de estratos bajos.
- Disminución de la congestión al programar una menor cantidad de parque automotor.

Para los operadores las ventajas serían:

- Menores costos de operación
- Menor congestión
- Mayor demanda por vehículo en servicio

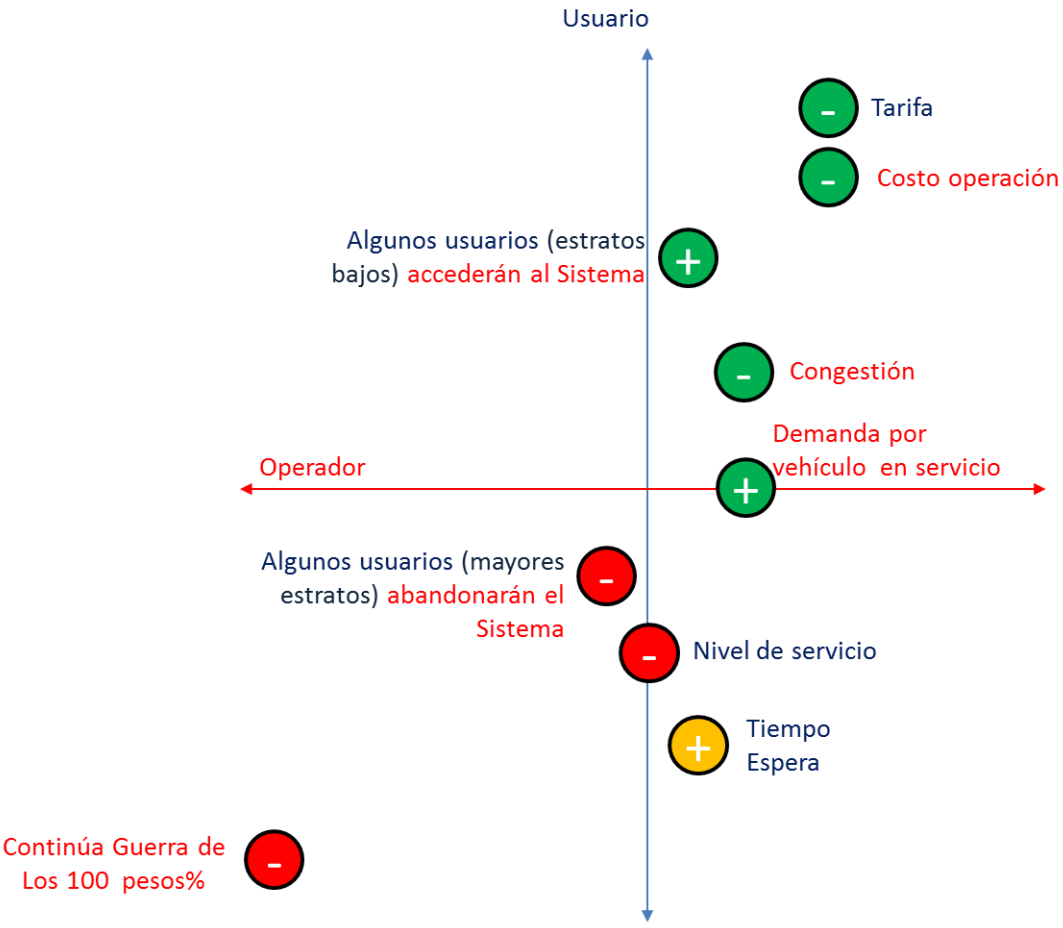


Figura 90. Posibles impactos ROC

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores generales obtenidos para la modelación del Escenario 1 (Tabla 31) indican que se requiere un intervalo medio por ruta de 12.8 minutos, una flota media por ruta de 13 vehículos y que en general, el costo generalizado de los usuarios con respecto al escenario base de referencia aumentaría en 360 $/usuario.

Tabla 31. Indicadores generales ROC – Escenario 1

Indicador servicio	Unidad	Valor
Intervalo medio	min	12.8
Flota media por ruta	veh	13
Tiempo de espera medio por ruta	min	6.4
Incremento del costo generalizado del viaje con respecto a la situación base	$	360

Fuente: Elaboración propia

La ficha de reestructuración presentada en la Figura 91 indica que el número de vehículos requerido en el sistema bajo las condiciones actuales de demanda sería igual a 293 unidades y que, de mantenerse la tendencia, solo hasta el año 2039 sería necesario contar una flota de 504 vehículos, cercana a la flota vehicular que tiene la ciudad hoy día.

Flota requerida y pasajeros movilizados por ruta

Año	Vehículos	Pax/veh/día
2012	293	422
2015	308	421
2019	337	421
2039	504	420

Estrategia de adopción inmediata:

PICO y PLACA TPCU:

Restringir el uso del **20%** del parque, según último dígito de la placa, así

- LUN: **1 y 2**
- MAR: **3 y 4**
- MIE: **5 y 6**
- JUE: **7 y 8**
- VIE: **9 y 0**

Estrategia definitiva:

Modificación capacidad transportadora

Figura 91. Ficha de reestructuración ROC – Escenario 1

Fuente: Elaboración propia

Una estrategia de adopción inmediata sería el establecimiento de la medida Pico y Placa para el servicio de TPCU, restringiendo como mínimo el 20% del parque cada día hábil, en los términos explicados en la ficha de reestructuración ROC.

Así mismo, será necesario realizar un ajuste a las tarifas para que respondan a las verdaderas condiciones de prestación del servicio y de paso compensen el incremento en el costo generalizado de viaje que sufrirían los usuarios del servicio.

Mayores detalles del ajuste realizado a la programación de la operación en el Escenario 1 son mostrados en la Tabla 32, que muestra el cálculo de la flota requerida por ruta para el sentido más cargado, en el periodo de máxima demanda de cada ruta.

Tabla 32. Indicadores detallados ROC – Escenario 1

Código TRANSCAD	Pasaj. Período	Frec.	Interv. (min)	Índice de renovación	Volumen de servicio	Tiempo de ciclo (min)	Flota operativa	Flota de reserva	Flota requerida por sentido	Flota por ruta
1011	905	12	5	1.93	19	87	17.4	2	19	19
1012	857	12	5	1.84			17.4	2	19	
1021	388	4	17	1.94	19	105	6.2	1	7	7
1022	245	2	30	2.22			3.5	0	4	
1041	600	8	8	1.32	19	64	8	1	9	9
1042	701	8	8	1.74			8	1	9	
1051	962	20	3	1.37	19	77	25.7	3	28	28
1052	670	12	5	1.60			15.4	2	17	
1061	681	6	10	1.92	19	55	5.5	1	6	6
1062	547	6	10	1.64			5.5	1	6	
1071	518	5	13	1.93	19	73	5.6	1	6	6
1072	211	2	30	3.10			2.4	0	3	
2011	843	7	9	2.17	19	102	11.3	1	12	12
2012	655	5	11	2.11			9.3	1	10	
2021	421	8	8	1.47	19	67	8.4	1	9	9
2022	235	5	13	1.35			5.2	1	6	
2031	313	4	17	1.60	19	91	5.4	1	6	6
2032	242	2	29	2.07			3.1	0	3	
2041	651	6	10	1.87	19	95	9.5	1	10	10
2042	509	4	14	2.13			6.8	1	7	
2051	400	3	19	2.17	19	87	4.6	0	5	7
2052	399	5	13	1.57			6.7	1	7	
2061	184	4	15	1.18	19	86	5.7	1	6	6
2062	168	3	20	1.45			4.3	0	5	
2071	514	5	11	1.60	19	80	7.3	1	8	8
2072	414	5	12	1.50			6.7	1	7	
2081	31	2	30	1.33	19	69	2.3	0	3	3
2082	74	2	30	2.03			2.3	0	3	
2101	461	5	12	1.56	19	63	5.3	1	6	7
2102	519	6	10	1.50			6.3	1	7	
2111	622	6	10	1.76	19	90	9	1	10	10
2112	459	4	16	2.12			4.8	0	5	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Indicadores detallados ROC – Escenario 1 (Continuación)

Código TRANSCAD	Pasaj. Período	Frec.	Interv. (min)	Índice de renovación	Volumen de servicio	Tiempo de ciclo (min)	Flota operativa	Flota de reserva	Flota requerida por sentido	Flota por ruta
4021	736	8	8	1.68	19	76	9.5	1	10	10
4022	692	8	8	1.69			9.5	1	10	
4061	408	7	9	1.62	19	68	7.6	1	8	8
4062	461	5	11	2.22			6.3	1	7	
4071	320	8	8	1.16	19	78	9.8	1	11	11
4072	226	4	17	1.67			4.6	0	5	
4101	489	5	11	1.61	19	88	8	1	9	9
4102	468	4	14	1.85			6.3	1	7	
4131	711	9	7	1.54	19	73	10.4	1	11	11
4132	567	5	11	1.84			6.6	1	7	
4141	603	5	13	2.21	19	81	6.2	1	7	7
4142	374	3	19	2.06			4.3	0	5	
4161	213	2	30	2.22	19	81	2.7	0	3	5
4162	282	3	18	1.47			4.5	0	5	
4171	886	15	4	1.45	19	75	18.8	2	21	28
4172	1136	20	3	1.39			25	3	28	
4181	424	5	12	1.53	19	72	6	1	7	7
4182	565	4	17	2.73			4.2	0	5	
4191	396	4	14	1.66	19	82	5.9	1	6	8
4192	536	5	11	1.68			7.5	1	8	
4201	138	2	30	1.65	19	68	2.3	0	3	3
4202	152	2	27	1.18			2.5	0	3	
4221	264	5	12	1.41	19	88	7.3	1	8	8
4222	294	5	12	1.53			7.3	1	8	
4231	647	7	9	1.62	19	70	7.8	1	9	9
4232	444	3	21	2.76			3.3	0	4	
4281	19	2	30	2.00	19	74	2.5	0	3	3
4282	89	2	30	1.36			2.5	0	3	
4321	258	2	27	2.07	19	94	3.5	0	4	4
4322	56	2	30	1.20			3.1	0	3	
3041	400	4	15	2.80	19	62	4.1	0	5	5
3051	400	4	15	2.80	19	65	4.3	0	5	5

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores generales del escenario 2, que supone un nivel de servicio D en el periodo, tramo y sentido más cargados, muestran una disminución significativa de la flota requerida, aumentando el costo generalizado de viaje con respecto a la situación base y con respecto al escenario 1, que supone un nivel de servicio C.

Tabla 33. Indicadores generales ROC – Escenario 2

Indicador servicio	Unidad	Valor Escenario 1	Valor Escenario 2
Intervalo medio	min	12.8	15.1
Flota media por ruta	veh	13	9
Tiempo de espera medio por ruta	min	6.4	7.5
Incremento del costo generalizado del viaje con respecto a la situación base	$	360	490

Fuente: Elaboración propia

Flota requerida y pasajeros movilizados por ruta

Año	Vehículos	Pax/veh/día
2012	255	485
2015	268	484
2019	294	483
2039	440	482

Estrategia de adopción inmediata:

PICO y PLACA TPCU:

Restringir el uso del **40%** del parque, según último dígito de la placa, así

- LUN: **9 – 0 – 1 y 2**
- MAR: **3 – 4 – 5 y 6**
- MIE: **7 – 8 – 9 y 0**
- JUE: **1 – 2 – 3 y 4**
- VIE: **5 – 6 – 7 y 8**

Estrategia definitiva:

Modificación capacidad transportadora

Figura 92. Ficha de reestructuración ROC – Escenario 2

Fuente: Elaboración propia

La ficha de reestructuración del escenario 2 (Figura 92) enseña que la flota requerida para la ciudad en el horizonte de planificación del año 2039 sería tan solo de 440 vehículos más la flota de reserva.

Tabla 34. Indicadores detallados ROC – Escenario 2

Código TRANSCAD	Pasaj. Período	Frec.	Interv. (min)	Índice de renovación	Volumen de servicio	Tiempo de ciclo (min)	Flota operativa	Flota de reserva	Flota requerida por sentido	Flota por ruta
1011	10	6	1.93	23	87	15	2	17	17	10
1012	10	6	1.84	23		15	2	17	19	10
1021	3	21	1.94	23	105	5	1	6	6	3
1022	2	30	2.22	23		4	0	4	4	2
1041	7	9	1.32	23	64	7	1	8	8	7
1042	6	10	1.74	23		6	1	7	9	6
1051	15	4	1.37	23	77	19	2	21	21	15
1052	9	7	1.60	23		11	1	12	17	9
1061	5	12	1.92	23	55	5	1	6	6	5
1062	5	12	1.64	23		5	1	6	6	5
1071	4	15	1.93	23	73	5	1	6	6	4
1072	1	30	3.10	23		2	0	2	3	1
2011	6	11	2.17	23	102	9	1	10	10	6
2012	4	13	2.11	23		8	1	9	10	4
2021	6	10	1.47	23	67	7	1	8	8	6
2022	4	16	1.35	23		4	0	4	6	4
2031	3	21	1.60	23	91	4	0	4	4	3
2032	2	30	2.07	23		3	0	3	3	2
2041	5	12	1.87	23	95	8	1	9	9	5
2042	3	17	2.13	23		6	1	7	7	3
2051	3	22	2.17	23	87	4	0	4	6	3
2052	4	16	1.57	23		5	1	6	7	4
2061	3	18	1.18	23	86	5	1	6	6	3
2062	3	24	1.45	23		4	0	4	5	3
2071	5	13	1.60	23	80	6	1	7	7	5
2072	4	15	1.50	23		5	1	6	7	4
2081	1	30	1.33	23	69	2	0	2	2	1
2082	1	30	2.03	23		2	0	2	3	1
2101	4	14	1.56	23	63	5	1	6	6	4
2102	5	12	1.50	23		5	1	6	7	5
2111	5	12	1.76	23	90	8	1	9	9	5
2112	3	19	2.12	23		4	0	4	5	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Indicadores detallados ROC – Escenario 2 (Continuación)

Código TRANSCAD	Pasaj. Período	Frec.	Interv. (min)	Índice de renovación	Volumen de servicio	Tiempo de ciclo (min)	Flota operativa	Flota de reserva	Flota requerida por sentido	Flota por ruta
4021	6	9	1.68	23	76	8	1	9	9	6
4022	6	10	1.69	23		8	1	9	10	6
4061	5	11	1.62	23	68	6	1	7	7	5
4062	5	13	2.22	23		5	1	6	7	5
4071	6	10	1.16	23	78	8	1	9	9	6
4072	3	20	1.67	23		4	0	4	5	3
4101	4	14	1.61	23	88	6	1	7	7	4
4102	4	16	1.85	23		6	1	7	7	4
4131	7	9	1.54	23	73	8	1	9	9	7
4132	4	13	1.84	23		6	1	7	7	4
4141	4	15	2.21	23	81	5	1	6	6	4
4142	3	23	2.06	23		4	0	4	5	3
4161	1	30	2.22	23	81	3	0	3	4	1
4162	3	22	1.47	23		4	0	4	5	3
4171	13	5	1.45	23	75	15	2	17	28	13
4172	18	3	1.39	23		25	3	28	28	18
4181	4	15	1.53	23	72	5	1	6	6	4
4182	3	20	2.73	23		4	0	4	5	3
4191	3	17	1.66	23	82	5	1	6	7	3
4192	5	13	1.68	23		6	1	7	8	5
4201	1	30	1.65	23	68	2	0	2	2	1
4202	2	30	1.18	23		2	0	2	3	2
4221	4	15	1.41	23	88	6	1	7	7	4
4222	4	14	1.53	23		6	1	7	8	4
4231	6	10	1.62	23	70	7	1	8	8	6
4232	2	26	2.76	23		3	0	3	4	2
4281	0	30	2.00	23	74	2	0	2	2	0
4282	1	30	1.36	23		2	0	2	3	1
4321	2	30	2.07	23	94	3	0	3	3	2
4322	1	30	1.20	23		3	0	3	3	1
3041	3	20	2.80	23	62	3	0	3	5	3
3051	3	20	2.80	23	65	3	0	3	5	3

Fuente: Elaboración propia

10.3. RUM – Reestructuración funcional mediano plazo

La reestructuración funcional adopta un sistema tronco-alimentado cuya estructura jerárquica implica el diseño de unas rutas troncales en los corredores de mayor demanda, que se complementa con otras tipologías de rutas con funciones claramente diferenciadas. La estructura general del sistema está integrada como se ve en la Figura 93.

Rutas Troncales

- Rutas de alta capacidad
- Priorizan la función transporte
- Los vehículos circulan en corredores de alta demanda
- Facilidad de acceso a usuarios para el embarque y desembarque.

Rutas Auxiliares

- Apoyan la función de las rutas troncales como eje estructurador del sistema
- Atienden corredores de menor capacidad

Rutas alimentadoras

- Rutas de media y baja capacidad
- Priorizan la función captación/distribución
- Los vehículos circulan por las calles de los barrios, con velocidades bajas dado que los usuarios están dispersos y se requiere hacer paradas más frecuentes.

Rutas complementarias

- Veredas

Figura 93. Clasificación funcional de rutas de TPCU

Fuente: Elaboración propia

Técnicamente se espera que en función del rango de demanda esperado para cada ruta se establezca la clase de vehículo con la que se debería prestar el servicio, tal como se ve en la Tabla 35.

Tabla 35. Tipología vehicular según rango de demanda de TPCU

Clase	Capacidad de Diseño	Intervalo mínimo de hora pico (min)	Rango de demanda (pax/hora)
Microbús	23	5	Hasta 276
Buseta	40	5	276 – 480
Bus	50	4	480 – 750
Padrón	80	3	750 – 1,600
Articulado	150	2	Ajustado a demanda
Biarticulado	250	1	Ajustado a demanda

Fuente: Elaboración propia

Los supuestos asociados con la modelación de la Fase II son:

- Jerarquización de corredores.
- Especificación funcional de tipos de rutas.
- Adopción de tipología vehicular en función de la demanda de transporte por corredor y tipo de ruta.
- Criterios de operación:
- Sistema integrado
- Sistema de recaudo unificado
- Sistema dinámico técnica y jurídicamente para ajustar la oferta a la demanda.

Adicionalmente, con respecto a la malla vial, se supone que la carrera 9 va hacia el Sur hasta la calle 16 y que la carrera 12 opera únicamente en un sentido de circulación hacia el norte.

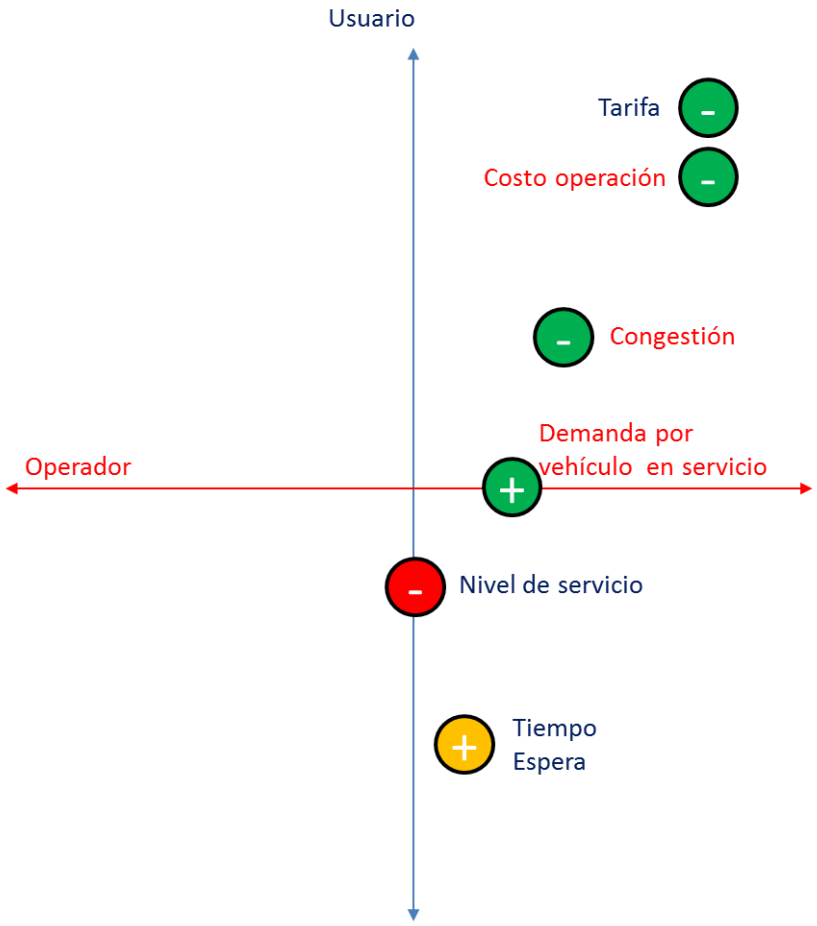


Figura 94. Posibles impactos RUM

Fuente: Elaboración propia

Las rutas con las que se estructuró el sistema tronco-alimentado son presentadas a continuación. Se aclara además que el modelo de transporte está en capacidad de simular cualquier otra configuración de rutas, es decir que si más adelante, después de la socialización definitiva que se haga con operadores, surgen cambios, el modelo está en capacidad de simularlos para obtener nuevos indicadores.

Troncal Extremo Norte: Av. Norte hasta Plazoleta Muisca:

- 3,432 m
- 17 paradas
- 1 parada cada 200 m

El retorno se hace por la misma vialidad

No son identificadas más rutas troncales.

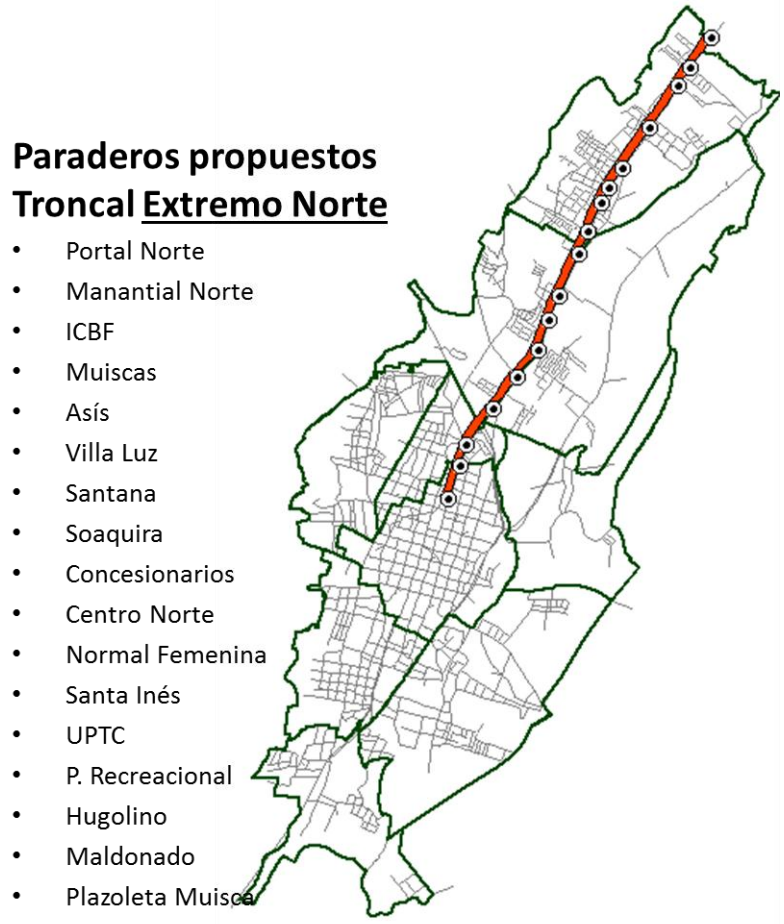


Figura 95. Ruta Troncal Extremo Norte

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar NorOriental: Barrio Muiscas hasta Plazoleta Muisca:

- 4,363 m
- 11 paradas
- 1 parada cada 400 m

El retorno se hace por la misma vialidad



Figura 96. Ruta Auxiliar Nororiental

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Extremo Sur: Plazoleta Muisca – Carrera 9 – Calle 16 – Carrera 11 – Portal Sur:

- 2,570 m
- 12 paradas
- 1 parada cada 200 m

El retorno se hace por la Carrera 12 desde Conboy.

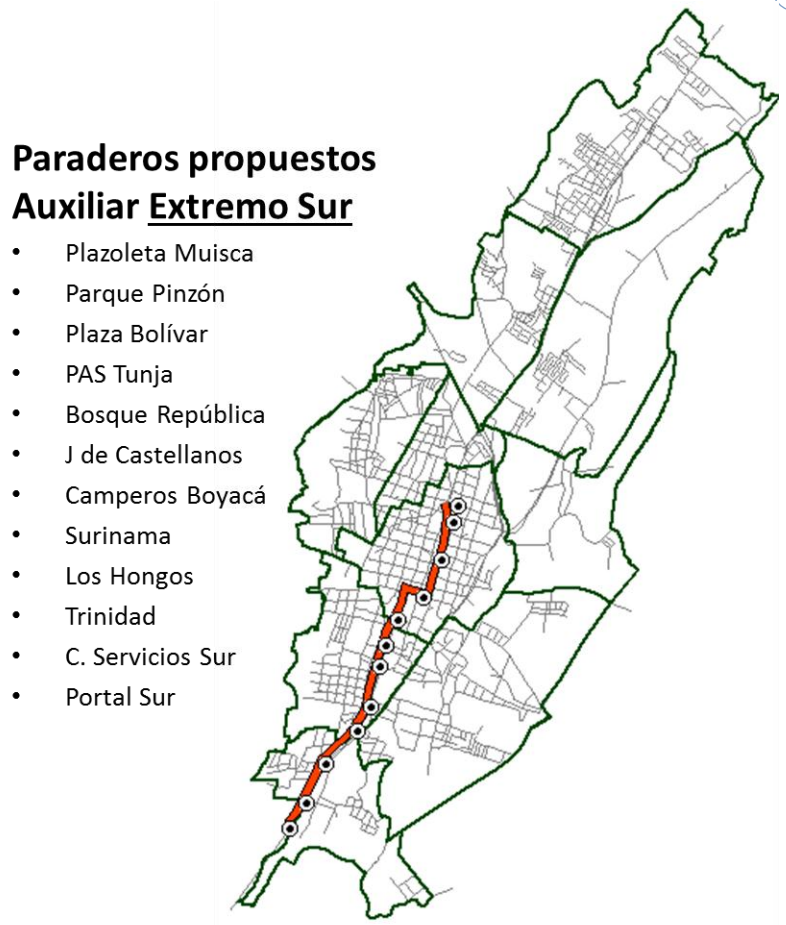


Figura 97. Ruta Auxiliar Extremo Sur

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Sur: Plazoleta Muisca – Carrera 14 – Carrera 11 – Florida – San Francisco – Ciudad Jardín:

- 3,770 m
- 13 paradas
- 1 parada cada 300 m

El retorno se hace por la Carrera 12 desde Conboy.



Figura 98. Ruta Auxiliar Sur

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Suroriente: Plazoleta Muisca – Carrera 9 – Calle 18 – Los Hongos – Nazareth - Cooservicios:

- 2,370 m
- 12 paradas
- 1 parada cada 200 m

El retorno se hace por la Av. Oriental saliendo por el Nazareth hacia el Norte.

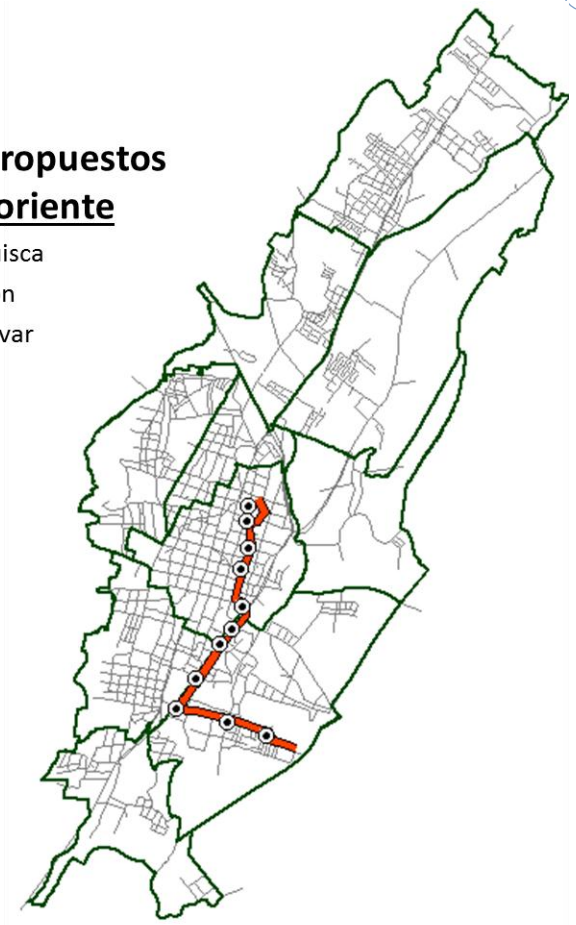


Figura 99. Ruta Auxiliar Suroriente

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar San Antonio: Plazoleta Muisca – Carrera 14 – Calle 18 – Carrera 7 – Terminal – San Antonio:

- 2,460 m
- 11 paradas
- 1 parada cada 220 m

El retorno se hace saliendo por el Barrio Hunza y tomando la calle 16 hasta la carrera 12.



Figura 100. Ruta Auxiliar San Antonio

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Silvino: Plazoleta Muisca – Carrera 9 – Calle 18 – Terminal – Patriotas – Silvino – Variante:

- 2,240 m
- 9 paradas
- 1 parada cada 250 m

El retorno se hace tomando la calle 16 hasta la carrera 12.



Figura 101. Ruta Auxiliar Silvino

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Oriental: Plazoleta Muisca – Carrera 9 – Calle 21 – Bomberos – Pinos de Oriente:

- 1,700 m
- 8 paradas
- 1 parada cada 200 m

El retorno va por la Avenida Oriental y sube por la carrera 7 hasta la Plazoleta Muisca.



Figura 102. Ruta Auxiliar Oriental

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Noroccidental: Salida Moniquirá – Hugolino – Hospital – Plazoleta Muisca:

- 2,520 m
- 14 paradas
- 1 parada cada 200 m

El retorno va por la carrera 7 hacia la Avenida Oriental..



Figura 103. Ruta Auxiliar Noroccidental

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar Occidental: Plazoleta Muisca – Secretaría de Salud – Plaza Real – STT - :

- 1,880 m
- 11 paradas
- 1 parada cada 170 m

El retorno toma la carrera 12 hacia el sur.

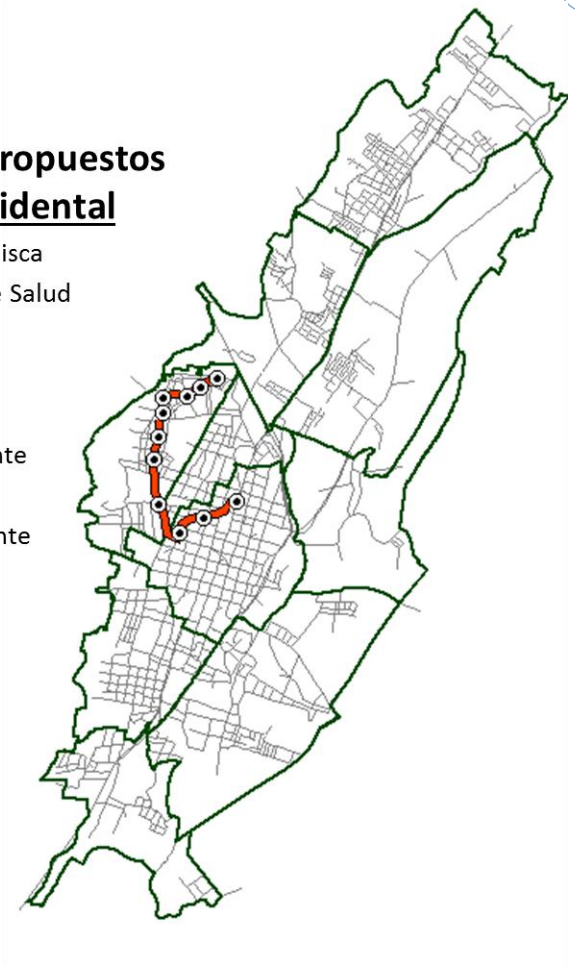


Figura 104. Ruta Auxiliar Occidental

Fuente: Elaboración propia

Auxiliar El Triunfo: El Triunfo – Plazoleta Muisca:

- 2,100 m
- 15 paradas
- 1 parada cada 150 m

El retorno toma por la Avenida colón hasta la carrera 15.



Figura 105. Ruta Auxiliar El Triunfo

Fuente: Elaboración propia

No.	Nombre
1	**Troncal Extremo Norte 01**
2	**Troncal Extremo Norte 02**
3	Auxiliar Nororiental 01
4	Auxiliar Nororiental 02
5	Auxiliar Extremo Sur 01
6	Auxiliar Extremo Sur 02
7	Auxiliar Sur 01
8	Auxiliar Sur 02
9	Auxiliar Suroriental 01
10	Auxiliar Suroriental 02
11	Auxiliar San Antonio 01
12	Auxiliar San Antonio 02
13	Auxiliar Silvino 01
14	Auxiliar Silvino 02
15	Auxiliar Oriental 01
16	Auxiliar Oriental 02
17	Auxiliar Noroccidental 01
18	Auxiliar Noroccidental 02
19	Auxiliar Occidental 01
20	Auxiliar Occidental 02
21	Auxiliar El Triunfo 01
22	Auxiliar El Triunfo 02

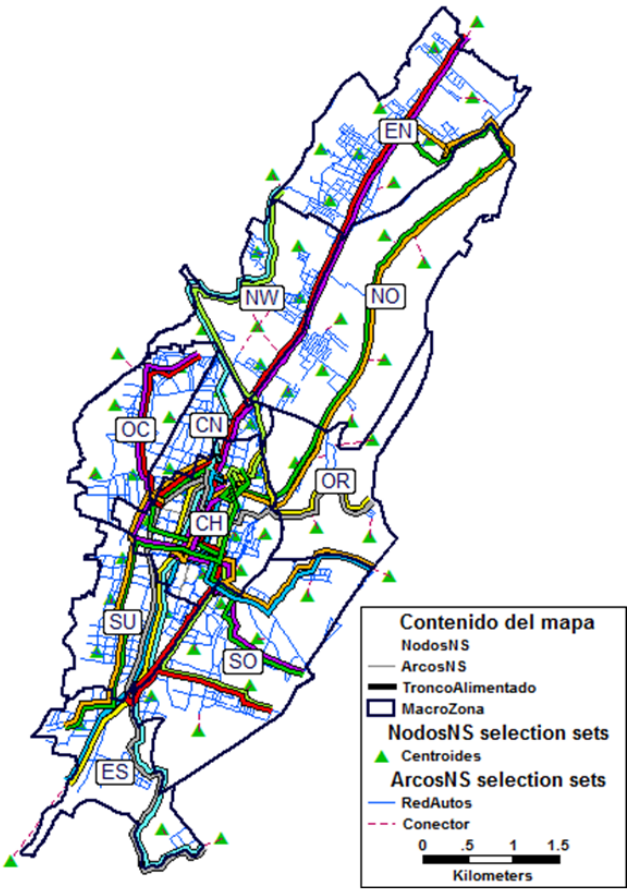


Figura 106. Resumen del sistema Tronco-alimentado

Fuente: Elaboración propia

La simulación del sistema tronco-alimentado en el periodo pico de la mañana entregó los indicadores que se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Indicadores generales RUM – Pico AM 2015

Indicador	Unidad	Mínimo	Medio	Máximo
Costo generalizado	Pesos	1,942.50	4,505.57	9,095.96
Tiempo de acceso	min	0.00	4.60	16.04
Tiempo a bordo	min	3.32	14.61	27.59
Tiempo de egreso	min	0.00	5.07	19.06
Distancia a bordo	Km	0.17	3.77	11.58
Tiempo TPCU	min	3.32	24.27	62.69
Transferencias	número	0.00	0.71	2.00

Fuente: Elaboración propia

La Figura 107, que contiene el cargamento general del sistema y el número de ascensos en cada ruta, muestra como efectivamente las troncales propuestas exhiben un número de ascensos significativamente superior al de otras rutas. No obstante, algunas rutas que reciben cargamentos importantes podrían ser, en el futuro, convertidas a troncales para estructurar mejor el sistema.

No.	Nombre	Ascensos
1	Troncal Extremo Norte 01	1,649
2	Troncal Extremo Norte 02	2,699
3	Auxiliar Nororiental 01	788
4	Auxiliar Nororiental 02	1,560
5	Auxiliar Extremo Sur 01	527
6	Auxiliar Extremo Sur 02	1,191
7	Auxiliar Sur 01	582
8	Auxiliar Sur 02	641
9	Auxiliar Suroriental 01	1,604
10	Auxiliar Suroriental 02	467
11	Auxiliar San Antonio 01	413
12	Auxiliar San Antonio 02	357
13	Auxiliar Silvino 01	150
14	Auxiliar Silvino 02	622
15	Auxiliar Oriental 01	585
16	Auxiliar Oriental 02	308
17	Auxiliar Noroccidental 01	807
18	Auxiliar Noroccidental 02	161
19	Auxiliar Occidental 01	230
20	Auxiliar Occidental 02	1,881
21	Auxiliar El Triunfo 01	1,564
22	Auxiliar El Triunfo 02	363

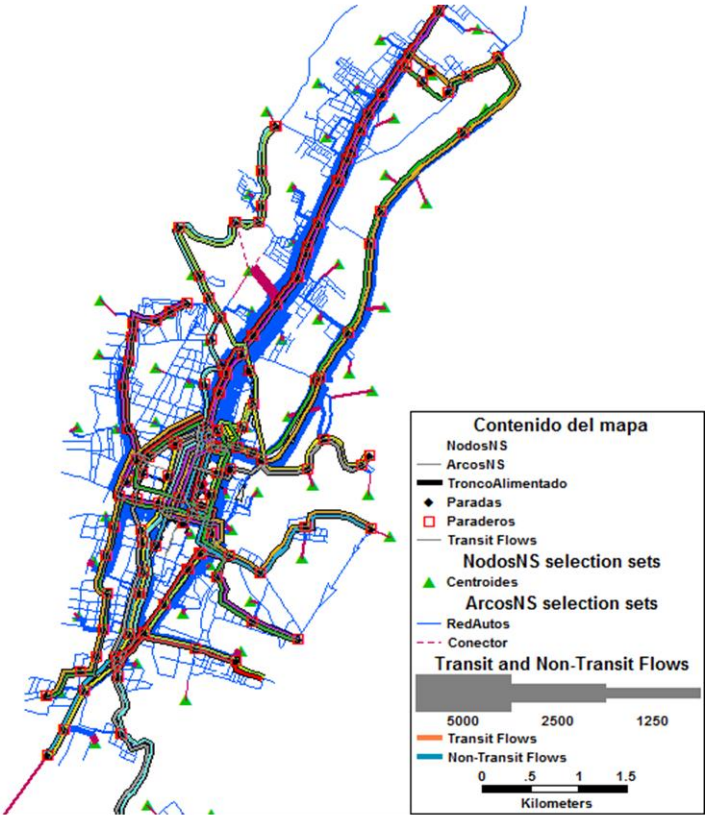
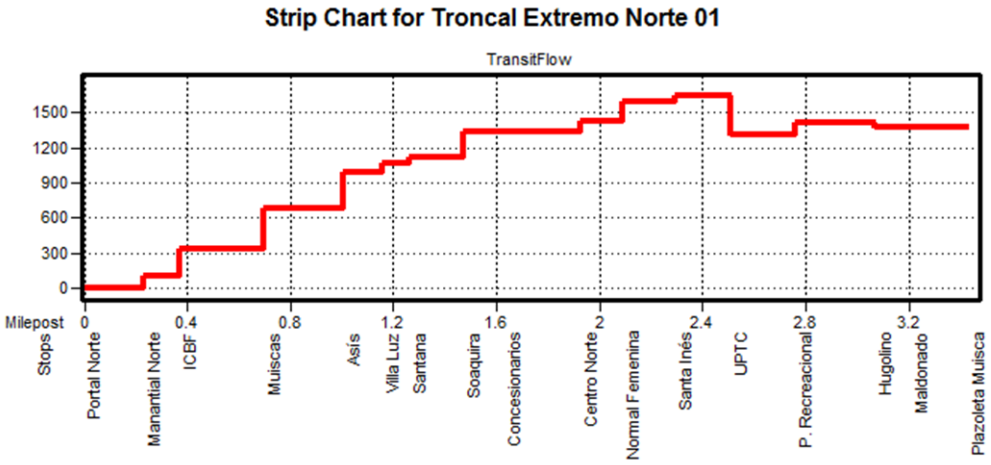


Figura 107. Cargamento por ruta RUM – Pico AM 2015

Fuente: Elaboración propia

El modelo permite obtener adicionalmente los perfiles de cargamento de cada ruta, a fin de identificar el tramo más cargado y de esa forma calcular el número de despachos requeridos para la prestación del servicio.

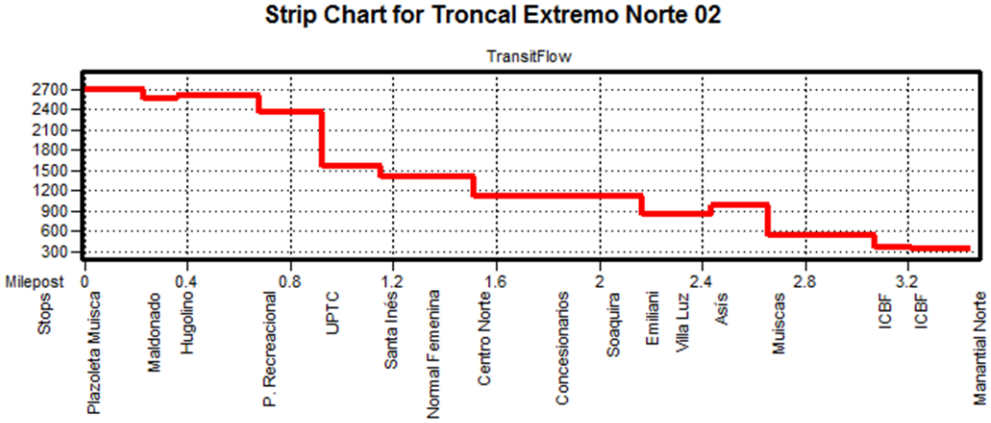
A manera de ejemplo se muestran a continuación algunos de los perfiles obtenidos y se aclara que toda la información está disponible en forma interactiva en el software de modelación. Para acceder a esa información se debe contar con una licencia de TRANSCAD versión 5.0 r4 o superior.



Clase	Capacidad de Diseño	Despachos	Intervalo mínimo de Hora pico (min)
Padrón	80	21	2.86
Articulado	150	11	5.45
Biarticulado	250	7	8.57

Figura 108. Perfil de carga Extremo Norte 01

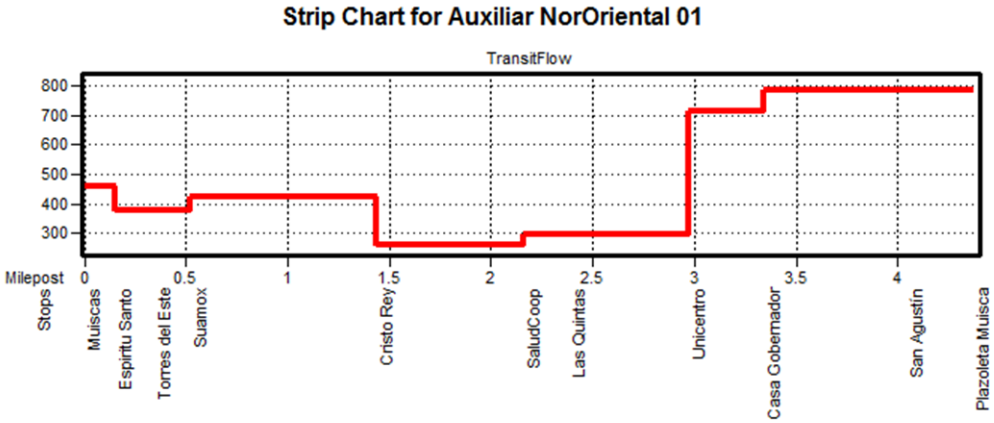
Fuente: Elaboración propia



Clase	Capacidad de Diseño	Despachos	Intervalo mínimo de Hora pico (min)
Padrón	80	34	1.76
Articulado	150	18	3.33
Biarticulado	250	11	5.45

Figura 109. Perfil de carga Extremo Norte 02

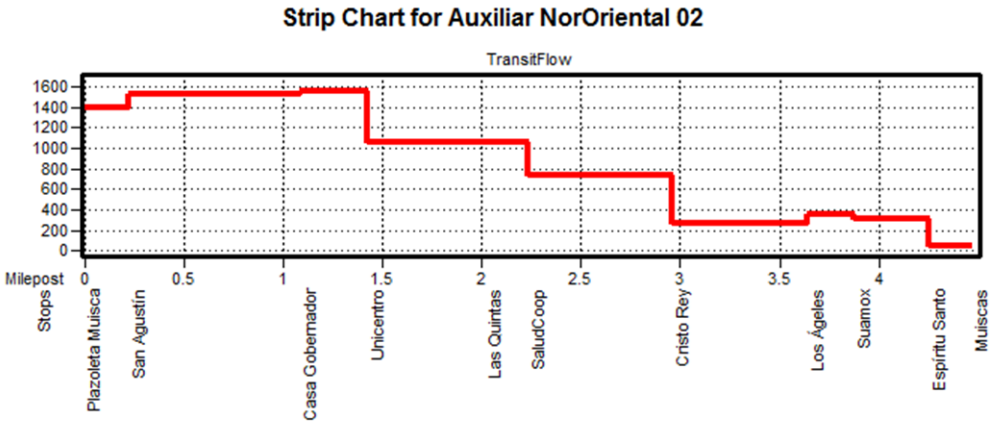
Fuente: Elaboración propia



Clase	Capacidad de Diseño	Despachos	Intervalo mínimo de Hora pico (min)
Microbús	23	34	1.76
Buseta	40	20	3.00
Padrón	80	10	6.00

Figura 110. Perfil de carga Auxiliar Nororiental 01

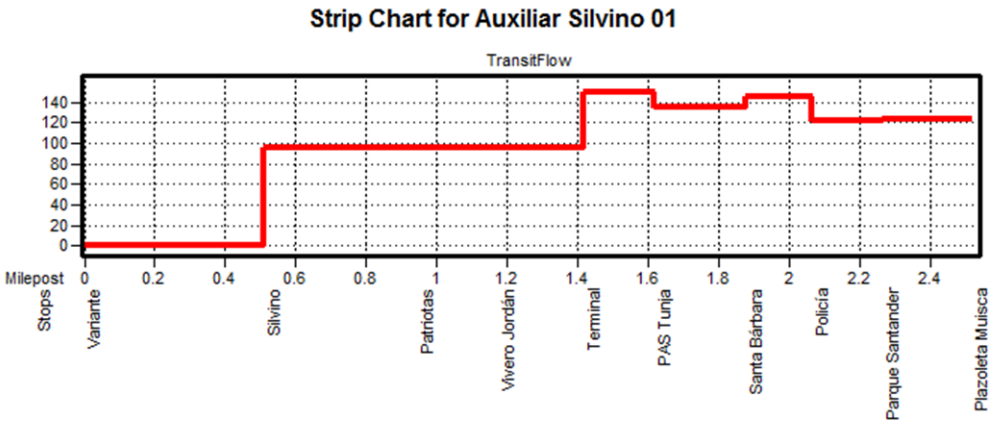
Fuente: Elaboración propia



Clase	Capacidad de Diseño	Despachos	Intervalo mínimo de Hora pico (min)
Microbús	23	34	1.76
Buseta	40	20	3.00
Padrón	80	10	6.00

Figura 111. Perfil de carga Auxiliar Nororiental 01

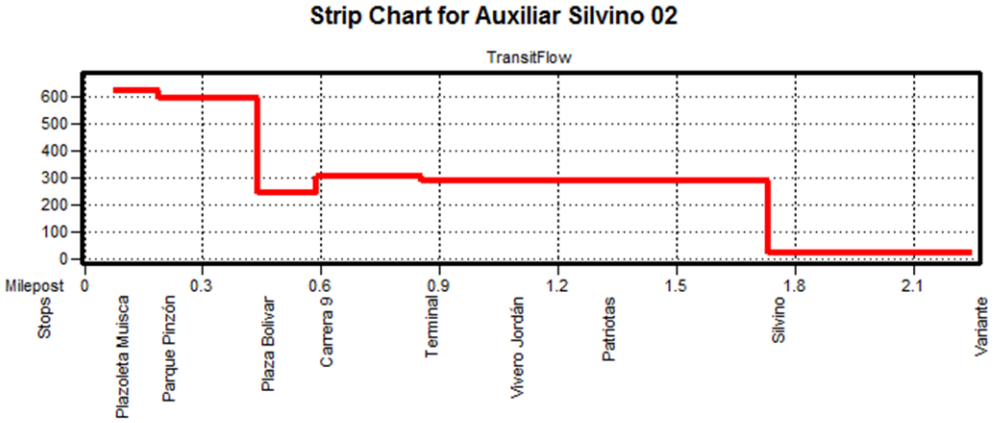
Fuente: Elaboración propia



Clase	Capacidad de Diseño	Despachos	Intervalo mínimo de Hora pico (min)
Microbús	23	7	8.57
Buseta	40	4	15.0
Padrón	80	3	20.0

Figura 112. Perfil de carga Auxiliar Silvino 01

Fuente: Elaboración propia



Clase	Capacidad de Diseño	Despachos	Intervalo mínimo de Hora pico (min)
Microbús	23	27	2.22
Buseta	40	16	3.75
Padrón	80	8	7.5

Figura 113. Perfil de carga Auxiliar Silvino 02

Fuente: Elaboración propia

El número de despachos requeridos en cada uno de los periodos modelados es presentado a continuación.

Hora pico de la mañana 2015

176 despachos

- 34 padrones
- 142 microbuses

Hora pico del medio día 2015

195 despachos

- 51 padrones
- 144 microbuses

Hora pico de la tarde 2015

146 despachos

- 36 padrones
- 110 microbuses

10.4. Modelos de operación

Normalmente los modelos de operación para un sistema tronco-alimentado, como el que se propone, son:

- Por ruta
- Grupo de rutas
- Por red
- Por lotes de vehículos
- Por zonas

Las características de cada uno de esos sistemas son:

POR RUTA

- Operación de servicios entre orígenes y destinos específicos dentro de itinerarios fijos.
- La delegación del sistema es hecha por ruta.
- Cada concesionario opera una ruta, aunque un mismo operador puede operar más de una; en esencia cada ruta es una concesión.
- Históricamente ha sido el más utilizado.
- Dificulta la implantación del sistema Tronco-alimentado.

GRUPO DE RUTAS

- El sistema se basa en el concepto de servicios específicos entre orígenes y destinos determinados.
- La delegación del sistema se asigna a un concesionario, al que se le otorgan un grupo de rutas.
- Estas rutas, independientemente de su localización, se agrupan en conjuntos.
- Un ejemplo claro de este tipo de organización, ocurre cuando el grupo de rutas es un tipo de servicio como alimentador, troncal, etc.
- Disminuye la competencia entre rutas, en la medida que hay menos operadores, especialmente si los grupos de rutas son grandes.

POR RED

- Similar al anterior modelo.
- La diferencia radica en que los grupos de rutas se estructuran por tipología.
- La delegación del sistema es hecha por grupo de rutas que pertenecen a una determinada tipología de red (red estructural, red de rutas alimentadoras, red de rutas auxiliares y complementarias).
- Este modelo permite la integración del sistema de transporte.

POR LOTES DE VEHÍCULOS

- La operación se estructura alrededor de rutas por tipología o jerarquía de red.
- Los operadores suministran y operan los equipos de acuerdo con la regulación y control directo del gestor del sistema.
- La delegación del sistema es hecha por lotes de vehículos.
- El gestor operacional del sistema define las rutas y la programación de los vehículos.
- El municipio mantiene la responsabilidad de la planeación, programación, regulación y control de la operación de los servicios.
- Tiene muchas ventajas sobre los anteriores sistemas pero… presenta dificultad de ejercer control sobre el sistema

POR ZONAS

- Se define un área geográfica en la que el operador será responsable por el suministro de transporte.
- Inicialmente se define un grupo de rutas que con el tiempo, la experiencia del concesionario y la interacción con la comunidad puede ser modificada.

- Un modelo comparable conceptualmente, es el que utilizan generalmente algunas ciudades del mundo en la concesión de los servicios de recolección de desechos sólidos, es decir, por áreas.
- La definición de las zonas, en general, sigue una lógica similar a la de una cuenca fluvial, en la cual las rutas convergen en un corredor.
- La zona central o del centro expandido, donde normalmente existe una superposición de rutas, provenientes de varias zonas, puede ser definida como una zona neutra.
- Este tipo de solución es puesta en práctica en ciudades de tamaño mediano y grande, en las cuales la delegación se realiza mediante un proceso de concesión.

El modelo recomendado es por lotes de vehículos que se integra cuando la totalidad de los servicios de la ciudad son planificados, regulados y controlados por una sola organización en la cual los concesionarios se limitan al suministro y operación de los equipos. En tal sentido se esperaría que:

- El Municipio mantenga la responsabilidad de la planeación, programación, regulación y control de la operación de los servicios.
- El concesionario o los concesionarios suministren los vehículos y los conductores de acuerdo con los requerimientos establecidos por las autoridades.
- La administración municipal defina las características de patrones de la flota tales como: capacidad, modelo de vehículo, condiciones de mantenimiento, etc.

Claramente este tipo de organización desestimula la creación de empresas de transporte y por tanto inhibe la competencia entre empresas, pues no tiene como objetivo captar demanda. El riesgo de la demanda en últimas resulta siendo del poder concedente, en este caso el Municipio de Tunja.

Si el Municipio finalmente opta por este esquema de operación debería adelantar o contratar un estudio técnico específico para estructurar el sistema desde los aspectos legales, técnicos, tarifarios, de operación y de gestión, entre otros.

10.5. RIL – Reestructuración integral largo plazo

La reestructuración integral a largo plazo RIL considera la utilización de Tranvías en un sistema Tronco-alimentado. Esto da a entender que en la propuesta de reestructuración funcional de mediano plazo RUM no se debe pensar en paradas a desnivel como las que se han venido implantando los sistemas de tipo TRB, sino que debe mantenerse el acceso al sistema mediante paradas a nivel.

Los supuestos de la Fase III son:

- Los mismos de la Fase II.
- Cambio tecnológico referido al uso de Tranvías en el sistema integrado.

Igualmente, con relación a la malla vial, se supone que la carrera 9 va hacia el Sur hasta la calle 16 y que la carrera 12 opera únicamente en un sentido de circulación hacia el norte.

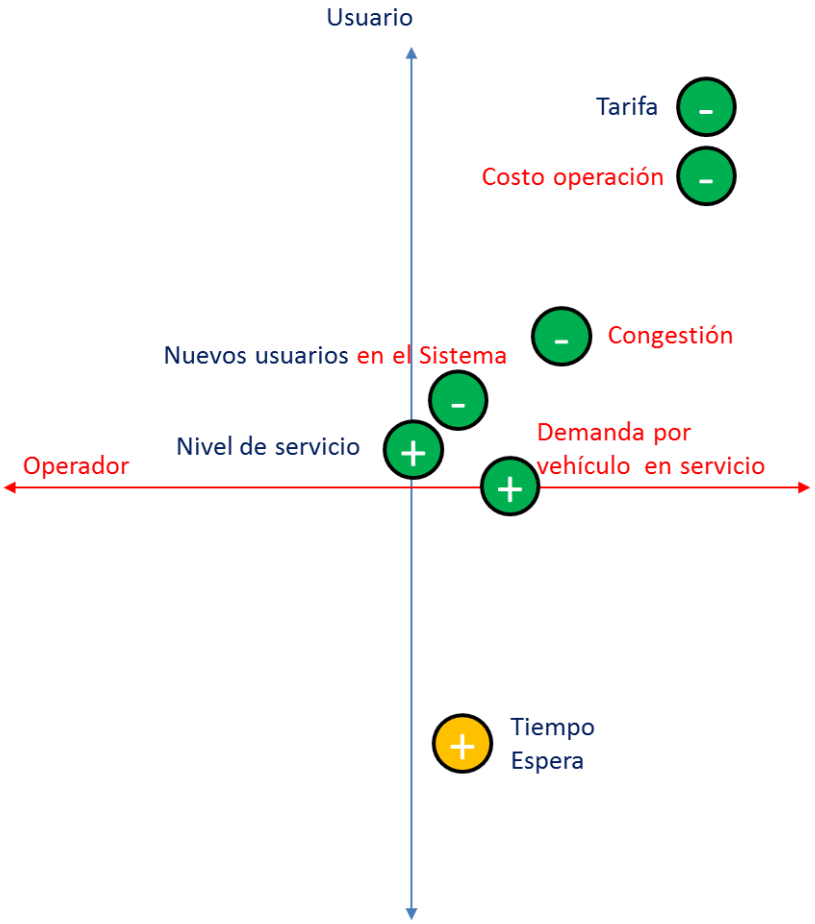


Figura 114. Posibles impactos RIL

Fuente: Elaboración propia

Las principales características del tranvía, a manera de referente, son presentadas en la Figura 115, que como se ve logra integrarse perfectamente con otros modos de transporte, especialmente los no motorizados. Posiblemente uno de los aspectos negativos del sistema es su costo de instalación que puede rondar los 4 millones de dólares por kilómetro; sin embargo la inversión es recuperada con creces dados los bajos costos de operación.

TRANVÍA

- Bajo coeficiente de rozamiento entre la rueda y la guía
- Se integra bien con el ambiente (incluso circula en superficies empradizadas).
- Funciona en tráfico mixto.
- Los vehículos e infraestructuras sencillas.
- La capacidad puede superar 6000 pax/h para intervalos inferiores a 2 min.

COSTOS

- Vía y Potencia: 4 millones US$/km
- Vehículos para 100 viajeros: 300.000 US$/unidad.
- Costos de Operación: 2 a 8 centavos por pasajero/km
- Costos Totales: 3 a 10 centavos por pasajero/km



Figura 115. Características generales del Tranvía

Fuente: Elaboración propia con base en diversas fuentes

Otro aspecto negativo del tranvía, que sufren las ciudades con amplio uso de la bicicleta es el atascamiento que se produce de las ruedas de las bicicletas entre los carriles del sistema. No obstante esto ha sido resuelto con relativo éxito por municipalidades como Eindhoven en Holanda, donde se usa un sistema denominado *Phileas* (Figura 116) que gracias a unos sensores instalados bajo tierra cada 4 metros, permiten que circule incluso sin conductor.



Figura 116. *Phileas*: Tranvía – Bus o Bus – Tranvía

http://www.eindhoven.eu/en/Want_to/Want_to_work/Settling_in_Eindhoven_Region/Transport

Algunas características generales de este sistema son:

- Vehículo diesel/eléctrico de bajo consumo
- Capacidad flexible, desde 80 hasta 230 pasajeros
- Permite conducción manual por si acaso es necesario desviarse de la ruta prestablecida.