

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Dpto. de Expresión Gráfica

Doctorando en Ingeniería Gráfica, Geomática y Proyectos (P030)



Tesis Doctoral

**METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN
DE LA MOVILIDAD EN CIUDADES DE
TAMAÑO MEDIO. EL CASO DE MÉRIDA**

Autor: Enrique Eugenio Ruiz Labrador

CÁCERES, 2013

A blue ink signature of José Antonio Gutiérrez Gallego, written in a cursive style.

Director/Tutor: Dr. D. José Antonio Gutiérrez Gallego

A blue ink signature of Francisco Javier Jaraíz Cabanillas, written in a cursive style.

Codirector: Dr. D. Francisco Javier Jaraíz Cabanillas

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 PRESENTACIÓN.....	19
1.2 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	24
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	25
2.1 MOVILIDAD URBANA EN CIUDADES MEDIAS.....	27
2.1.1 DIRECTRICES EUROPEAS	36
2.1.2 DIRECTRICES NACIONALES.....	37
2.1.3 DIRECTRICES AUTONÓMICAS	41
2.2 MODELIZACIÓN URBANA	45
3. CUESTIONES DE INVESTIGACIÓN	53
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	57
4.1 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA.....	59
4.2 PECULIARIDADES DE LA MOVILIDAD URBANA EMERITENSE	64
5. METODOLOGÍA.....	69
5.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	72
5.1.1 FUENTES OFICIALES	72
5.1.2 FUENTES PROPIAS	73
5.2 AFORADO URBANO	74
5.2.1 JERARQUÍA VIARIA INICIAL.....	74
5.2.2 MÉTODO DE AFORADO VIARIO.....	76
5.2.3 VEHÍCULO FLOTANTE EN EL CÁLCULO DE DEMORAS.....	87
5.2.4 JERARQUÍA VIARIA DEFINITIVA	94
5.3 ESTUDIOS DE AUTOBÚS URBANO	95
5.3.1 GRADO DE OCUPACIÓN Y PERFIL TIPO DEL SERVICIO	95
5.3.2 ACCESIBILIDAD A LAS PARADAS	98
5.4 DETECCIÓN DE PUNTOS CONFLICTIVOS EN LA MOVILIDAD	100
5.5 ENCUESTAS DOMICILIARIAS.....	101

5.6 PROCESO DE MODELIZACIÓN	113
5.6.1 MODELIZACIÓN FÍSICA	118
5.6.2 PUNTOS DE GENERACIÓN-ATRACCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS.....	130
5.6.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS. MATRIZ O/D	133
5.6.4 ASIGNACIÓN DE VIAJES A LA RED	135
5.6.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO	140
6. ANÁLISIS.....	147
6.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA MOVILIDAD EN MÉRIDA.....	149
6.2 ESTUDIO DEL TRÁFICO VIARIO	164
6.3 ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD EN VEHÍCULO PRIVADO.....	182
6.4 ANÁLISIS DEL TRANSPORTE COLECTIVO	191
6.5 APLICACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN. CASO DE ESTUDIO.....	207
7. CONCLUSIONES	215
8. PROPUESTAS	223
9. BIBLIOGRAFÍA.....	227
10. ANEXOS	237
10.1 PLANTILLA DE AFORADO EN INTERSECCIONES	239
10.2 FORMULARIO DE AFORO EN EL PUNTO DE REFERENCIA PRINCIPAL.....	241
10.3 PLANTILLA DE AFORADO EN VEHÍCULO FLOTANTE.....	243
10.4 PLANTILLA DE ENTREVISTAS Y OCUPACIÓN EN AUTOBÚS URBANO.....	245
10.5 MODELO DE ENCUESTA DOMICILIARIA	247
10.6 ENCUESTAS DE INTERCEPTACIÓN POR PANTALLA.....	249
10.7 FUNCIÓN R PARA CALCULAR PUNTOS MEDIOS DE CADA TRAMO.....	251

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de tareas desarrolladas en el PMUS de Mérida	23
Figura 2. Localización de Mérida	59
Figura 3. Estructura de la población en el año 2010.....	62
Figura 4. Distribución de trabajadores por sector de actividad en Mérida	63
Figura 5. Evolución del parque motorizado en Mérida	64
Figura 6. Servicio de autobús urbano ofertado en Mérida	65
Figura 7. Jerarquización inicial del viario	75
Figura 8. Emplazamiento de los aforos del viario	77
Figura 9. Aforos de cordón entorno al centro urbano de Mérida	78
Figura 10. Visualización de la base de datos generada (Aforo de referencia)	80
Figura 11. Croquis de intersección y nomenclatura utilizada en los aforos.....	81
Figura 12. Ejemplo de ficha resultado referida a un aforo de densificación (A2)	82
Figura 13. Localización de intersecciones a tratar.....	84
Figura 14. Cálculo de aforo en los tramos entre intersecciones	84
Figura 15. Situación de la estación BA-354-1	85
Figura 16. Situación de la estación BA-480	86
Figura 17. Itinerario 1: anillo perimetral de la ciudad	89
Figura 18. Itinerario 2: diagonal este-oeste	89
Figura 19. Itinerario 3: diagonal norte-sur	90
Figura 20. Relación del tamaño muestral y el error máximo admisible	102
Figura 21. Formulario de caracterización muestral en la base de datos	108
Figura 22. Formulario de volcado de desplazamientos en la base de datos.....	109
Figura 23. Fases en el diseño del modelo de asignación emeritense	115
Figura 24. Cartografía base utilizada en el modelo de asignación	117
Figura 25. Esquema para obtener la red viaria base del modelo	119
Figura 26. Geolocalización de la población residente para el modelo	121
Figura 27. Esquema de asignación de la población a la red del sistema.....	125
Figura 28. Dibujo esquemático de la asignación poblacional a su barriada	126
Figura 29. Localización de portales y población vinculada en Mérida	127
Figura 30. Localización de puntos de acceso externos a la ciudad.....	129
Figura 31. Cartografía definitiva para la fase de modelización.....	133
Figura 32. Matriz O/D entre barriadas extraída con las encuestas domiciliarias	134
Figura 33. Dibujo esquemático de la distribución proporcional de viajes	135
Figura 34. Experiencias iniciales y representación básica de un grafo.....	136
Figura 35. Configuración de rutas óptimas teniendo en cuenta la red viaria	137
Figura 36. Herramientas de análisis de redes propias de aplicaciones SIG	138
Figura 37. Mapa de densidad de viajes por tramo de vía.....	138
Figura 38. Aplicación <i>Model Builder</i> para obtener viajes predichos del modelo	139
Figura 39. Localización de los puntos de interceptación	144
Figura 40. Localización del casco urbano central de Mérida.....	146
Figura 41. Distribución por género de la muestra	151
Figura 42. Comparativa entre pirámides muestral y población real	151
Figura 43. Porcentaje de modos de transporte disponibles en el hogar	152
Figura 44. Modos de transporte utilizados en los desplazamientos.....	153
Figura 45. Viajes realizados en transporte público por cada 100 en vehículo privado	153
Figura 46. Distribución porcentual ajustada de los motivos de desplazamiento.....	155
Figura 47. Clasificación de motivos por hora de salida ajustados.....	156
Figura 48. Clasificación de motivos por hora de llegada ajustados	157

Figura 49. Principales orígenes y destinos detectados tras la encuesta	158
Figura 50. Clasificación de modos según hora de salida ajustados	159
Figura 51. Clasificación de modos según hora de llegada ajustados.....	160
Figura 52. Clasificación de modos por grupos de edad ajustados.....	160
Figura 53. Tiempo medio de los desplazamientos según modo	161
Figura 54. Promedio de desplazamientos por persona y barriada	162
Figura 55. Modos de transporte privados interceptados y ocupación.....	163
Figura 56. Jerarquización del viario.....	165
Figura 57. Mapa de ruido relativo a la red viaria de Mérida.....	166
Figura 58. Intersecciones con problemas de capacidad en HP.....	167
Figura 59. Intensidad en HP en vehículo privado.....	168
Figura 60. Intensidad en HP en vehículo privado (C2).....	169
Figura 61. Intensidad en HP en vehículo privado (C3).....	170
Figura 62. Intensidad en HP en vehículo privado (C4).....	171
Figura 63. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Ida)	172
Figura 64. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Vuelta).....	173
Figura 65. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Ida)	174
Figura 66. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Vuelta).....	175
Figura 67. Velocidades de recorrido del Itinerario 2 en HP (Ida)	177
Figura 68. Velocidades de recorrido del Itinerario 2 en HP (Vuelta).....	178
Figura 69. Velocidades de recorrido del Itinerario 3 en HP (Ida)	179
Figura 70. Velocidades de recorrido del Itinerario 3 en HP (Vuelta).....	180
Figura 71. Clasificación de itinerarios por diferencia de velocidad entre FL y HP	181
Figura 72. Desplazamientos ajustados en vehículo privado por barriada	182
Figura 73. Tiempo medio de desplazamiento en vehículo privado (min).....	183
Figura 74. Motivos de desplazamiento ajustados en vehículo privado	184
Figura 75. Motivos de desplazamiento en vehículo privado por género en HP.....	185
Figura 76. Distribución de hogares por número de vehículos disponibles	185
Figura 77. Desplazamientos estimados en vehículo privado por género y hora	186
Figura 78. Desplazamientos estimados en vehículo privado por edad y género.....	187
Figura 79. Desplazamientos estimados en vehículo privado en HP por edad y género	188
Figura 80. Porcentaje de desplazamientos estimados en vehículo privado en HP	189
Figura 81. Desplazamientos realizados en vehículo privado por la muestra	190
Figura 82. Porcentaje de desplazamientos en vehículo privado con respecto al total ..	190
Figura 83. Ocupación media del vehículo privado en Mérida	191
Figura 84. Tipos de billete adquiridos por los pasajeros del servicio	192
Figura 85. Porcentaje de hombres frente a mujeres del servicio	192
Figura 86. Clasificación de usuarios del servicio por grupos de edad.....	193
Figura 87. Grado de utilización del transporte urbano.....	194
Figura 88. Modos de desplazamiento desde el origen al acceso al servicio	194
Figura 89. Tiempos de llegada a la parada origen en minutos desde los hogares	195
Figura 90. Modos de desplazamiento desde el servicio hasta el destino final	195
Figura 91. Tiempos de llegada al destino final en minutos desde las paradas destino ..	196
Figura 92. Distribución de tiempos de espera (en minutos) en las paradas	196
Figura 93. Distribución de motivos de desplazamiento en el servicio	197
Figura 94. Grado de satisfacción de los usuarios con respecto al servicio	198
Figura 95. Ocupación media de cada línea del servicio.....	199
Figura 96. Plano de movimientos por parada en el servicio de autobús urbano	199
Figura 97. Frecuencias en paradas origen y destino del servicio	201
Figura 98. Mapa de puntos conflictivos detectados en el servicio de autobús urbano ..	202

Figura 99. Potenciales de población a menos de 5 minutos del servicio	203
Figura 100. Potenciales de población a menos de 10 minutos del servicio	204
Figura 101. Tiempo mínimo de acceso a las paradas del servicio.....	205
Figura 102. Indicador de accesibilidad absoluta del servicio.....	206
Figura 103. Consulta para obtener el volumen de desplazamientos externos.....	208
Figura 104. Área de estudio planteada para el análisis del modelo de asignación.....	210
Figura 105. Muestra del modelo de asignación generado.....	211
Figura 106. Comparativa de viajes predichos y aforados en el área de estudio.....	212
Figura 107. Comparativa de viajes con la vía abierta y cerrada al tráfico privado	213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Horarios y longitud recorrida por las líneas del servicio	66
Tabla 2. Volumen de viajeros por línea	67
Tabla 3. Jerarquización viaria por tipo y flujo de paso	74
Tabla 4. Cálculos para el aforo de densificación ejemplo	83
Tabla 5. Longitudes de los tramos de cada Itinerario	88
Tabla 6. Criterios de clasificación de tramos por categorías funcionales	91
Tabla 7. Criterios de clasificación de tramos por categorías de diseño	91
Tabla 8. Clasificación definitiva de tramos	92
Tabla 9. Niveles de servicio en función de las velocidades medias de recorrido	92
Tabla 10. Niveles de servicio atendiendo al porcentaje de velocidad libre	92
Tabla 11. Promedio de subidas del servicio	98
Tabla 12. Relación entre el error máximo y el número de encuestas	102
Tabla 13. Obtención de la muestra ajustada a encuestar en Mérida	105
Tabla 14. Coeficiente de ajuste y parámetros de la muestra	105
Tabla 15. Clasificación muestral y poblacional por edad y género	110
Tabla 16. Relación entre grupos quinquenales y edades	111
Tabla 17. Desplazamientos obtenidos para el periodo de HP	112
Tabla 18. Relación de desplazamientos por edad y género	112
Tabla 19. Datos clave adquiridos para diseñar el modelo de asignación	114
Tabla 20. Correspondencia de códigos de precisión en la herramienta <i>Localizador</i>	122
Tabla 21. Correspondencia de códigos con usos y aprovechamiento de edificios	131
Tabla 22. Intensidad de tráfico por acceso en hora punta	142
Tabla 23. N° de encuestas a realizar en cada punto de toma	142
Tabla 24. Distribución de encuestas a realizar en cada punto de toma	143
Tabla 25. Identificación de accesos a interceptar en cada punto de control	144
Tabla 26. Porcentaje de población externa que accede por punto de control	209
Tabla 27. Estimación de flujos en la glorieta de La Torre	213

ABREVIATURAS¹

AOTU: Áreas de actuación y ordenación del transporte urbano. Éstas son delimitaciones administrativas de origen francés.

AA.VV.: Hace mención a que varios autores han trabajado en una publicación.

Ayto.: Ayuntamiento.

BIC: Bienes de interés cultural.

CCE: Comisión de las comunidades europeas.

CE: Consejo europeo.

CIUMED: Ciudades medias. Estas siglas guardan relación con la Red para la promoción de las ciudades medias de la Unión Europea (**Red CIUMED**), encargada de dar a conocer buenas prácticas entre las ciudades socias en materia de movilidad urbana sostenible.

DESOSTE: Equipo de investigación perteneciente a la UEx, cuyas siglas obedecen a los ámbitos de actuación de sus estudios, “Desarrollo sostenible y planificación territorial”. Este grupo se creó en 2007 y pertenece a su vez a la red de extremeña de grupos **SOTEADE** (“Sociedad, territorio, ambiente y desarrollo”). Se caracteriza por ser un grupo multidisciplinar, que trabaja en temas relacionados con el análisis y diagnóstico de la movilidad urbana sostenible y la accesibilidad a los servicios, o el diseño de planes de movilidad urbana sostenible, entre otros temas de índole territorial.

EEMS: Estrategia española de movilidad sostenible.

EMG: Estudios de evaluación de la movilidad general.

EMTA: European metropolitan transport authorities.

ESRI: Enviromental system research institute.

etc.: etcétera.

ETRS89: Siglas en inglés de European terrestrial reference system 1989, es el sistema de referencia geodésico oficial en Europa. En él se basan también los sistemas modernos de navegación por satélite (GPS y GALILEO).

Eurostat: European commission statistical.

FEMP: Federación española de municipios y provincias.

FL: Flujo libre. Periodo de tiempo en el que la intensidad vehicular coincidente en una red viaria es nula o tan pequeña que no afecta de ninguna manera al tiempo empleado por los usuarios en sus desplazamientos urbanos, los cuales se pueden realizar en el menor tiempo posible.

¹ Todas las abreviaturas siguen la nomenclatura referida a la Real Academia Española de la lengua, al Libro de Estilo Interinstitucional de Europa y a las propias referencias dadas en sus respectivos enlaces web institucionales (INE, Eurostat, OSE, FEMP, etc.).

GEI: Gases de efecto invernadero.

GPS: Global positioning system o sistema de posicionamiento global, es un sistema global de navegación por satélite que permite localizar cualquier objeto a escala mundial con elevada precisión. En esta Tesis se refiere más que al sistema al instrumento utilizado para obtener información relativa a las velocidades de recorrido y localización de puntos problemáticos en los modos de transporte analizados. Así, el modelo utilizado en los mismos es GPS Garmin 60CSx.

h: Hora.

ha: Hectárea.

hab./habs.: Habitante/es.

HCM: En inglés Highway capacity manual. Hace referencia al manual de capacidad de ingeniería de tráfico del año 2000.

HP: Hora punta. Periodo de tiempo (una hora) en el que coincide la mayor intensidad vehicular en una red urbana.

HV: Hora valle. Periodo de tiempo (una hora) en el que la intensidad vehicular de una red urbana presenta condiciones de FL.

ID: Identificador único que se asigna a cada elemento de un conjunto de datos con el único fin de poder seleccionarlo de forma inequívoca, evitando así registros duplicados.

IDAE: Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía.

I+D+i: Investigación, desarrollo e innovación.

IH_{16h}: Intensidad vehicular detectada en el aforo de referencia de 16 horas realizado el lunes en la ciudad.

IHP: Intensidad vehicular detectada en el periodo de HP.

IMD: Intensidad media diaria.

INE: Instituto nacional de estadística.

km: Kilómetro.

LAURE: Ley francesa sobre el aire y la energía relativa al año 1996.

LOTI: Ley francesa de ordenación del transporte interior, del año 1982.

LTP: Local transport plans.

m: Metro.

min: Minuto.

MOVILIA: Encuesta de movilidad de las personas residentes en España.

O/D: Origen-Destino. Esta abreviatura se relaciona con la **matriz O/D** o matriz de viajes desde cualquier origen “o” a su respectivo destino “d”.

ODBC: Open database connectivity. Es un estándar de acceso a bases de datos utilizado por los sistemas Microsoft, por el que es posible conectarse a éstas siempre que dispongan del driver ODBC.

OSE: Observatorio de la sostenibilidad en España.

PDU: Plans de déplacements urbains.

PEIT: Plan estratégico de infraestructuras y transportes.

PGOU: Plan general de ordenación urbana.

PME: Plan de movilidad en empresas. Esta definición guarda una relación muy directa con los **PTT** (planes de transporte al trabajo).

PMUS: Planes de movilidad urbana sostenible españoles.

PUM: Piani urbani di mobilità.

PUT: Piani urbani di traffico.

s: Segundo.

SEXPE: Servicio extremeño público de empleo.

SIG: Sistemas de información geográfica. En el texto también se hace mención a los **entornos SIG** para hacer referencia a las aplicaciones utilizadas en este ámbito de trabajo.

SIT: Sistemas inteligentes de transporte.

SRU: Ley francesa de solidaridad y renovación urbana del año 2000.

TUMSL: Empresa de transportes urbanos de Mérida S.L.

UE: Siglas en inglés relativas al Equilibrio de usuario planteado por Wardrop en 1952.

UEx: Universidad de Extremadura.

UN: United nations.

UTM: Siglas en inglés de Universal transverse Mercator, hace mención al sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator (proyección cilíndrica conforme).

VE: Vehículo eléctrico.

veh.: Vehículos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

A lo largo de los últimos cuarenta años han surgido multitud de estudios y trabajos de investigación cuyo denominador común es el análisis de la movilidad urbana, teniendo en cuenta para ello la localización de los principales focos de atracción y las rutas elegidas por los usuarios para acceder a los mismos. El fin de este tipo de estudios guarda relación con la optimización de infraestructuras o la implantación de medidas que mejoren dicha movilidad y la hagan más sostenible. Además, la Comunidad Europea en este tiempo viene fomentando actuaciones que buscan una repartición más equitativa de los viajes entre los distintos modos de transporte ofertados en las ciudades, junto a un acceso universal y equitativo a los principales servicios ofertados en ellas. Para hacer realidad estas mejoras, surgen los llamados planes de movilidad urbana sostenible (en España PMUS), los cuales conllevan una fase previa de diagnóstico que recoge estudios parciales tan importantes como los que permiten caracterizar a la movilidad general. Todo ello unido a las iniciativas de tipo económico propuestas por las distintas administraciones nacionales y regionales en este ámbito y las tendencias demográficas a corto plazo, hacen que el interés por los estudios relacionados con la optimización de la movilidad en las ciudades vaya en aumento.

Un estudio muy interesante dentro de los PMUS, es la estimación de los viajes realizados en uno o varios modos de transporte y la obtención de los principales focos generadores o atractores de actividad en un núcleo urbano dado. Esto permite identificar áreas potencialmente problemáticas desde el punto de vista de la movilidad, haciendo posible la aplicación *a posteriori* de medidas correctoras al respecto. Otro punto destacado de esta estimación es que ofrece la posibilidad de identificar las rutas potencialmente utilizadas por la demanda para llevar a cabo estos desplazamientos urbanos, e incluso determinar el número de viajes que utilizan dichas rutas. Todo ello facilita la identificación de dichas áreas y ofrece la posibilidad de llevar a cabo iniciativas de racionalización de la movilidad.

Otra vertiente muy interesante dentro de los planteamientos abordados en estos años a cerca del análisis de la movilidad, es el diseño de los modelos de transporte. Estos permiten representar la parte de la realidad urbana que más interesa, en función del ámbito de actuación deseado, para predecir dinámicas globales o locales de movilidad. Para ello, normalmente se parte de un grupo de variables explicativas que se relacionan a través de expresiones matemáticas diversas, para dar respuesta a las cuestiones planteadas. Dichas cuestiones tradicionalmente han encontrado respuesta en el ámbito de la ingeniería del transporte, haciendo uso del llamado *modelo tradicional de cuatro etapas*, caracterizado por fraccionar los viajes provocados por la demanda en cuatro fases a saber: *generación/atracción* de viajes, *distribución* de los mismos, *repartición modal* y *asignación* de estos a la red urbana existente. Aunque un diseño global suele aunar las cuatro etapas anteriores, existen también numerosos estudios que abordan la estimación de únicamente una de estas etapas de forma independiente, en función de las necesidades de cada ciudad (estimación de *submodelos*). Este último, es el caso que se presenta en esta Tesis Doctoral.

De esta forma, el objetivo que se plantea en esta investigación es doble: por una parte, ofrecer una metodología de diagnóstico sobre la movilidad urbana existente en ciudades de tamaño medio², haciendo especial hincapié en los modos motorizados (por ser éstos los más problemáticos) y por otra, plantear una propuesta metodológica con la que diseñar un modelo de asignación que estime los viajes que atraviesan cada tramo de la red analizada, conociendo además los orígenes y destinos de cada uno de ellos de forma discreta. Para responder a este doble objetivo, la investigación se apoya en el diseño de encuestas domiciliarias con las que se obtiene una muestra representativa de los desplazamientos urbanos, junto a una serie de información cartográfica y un entorno SIG genérico que permite calcular rutas óptimas e implementar los resultados finales del modelo para su posterior interpretación.

Este planteamiento busca satisfacer las necesidades de optimización y racionalización de la movilidad detectado en ciudades de tamaño medio-pequeño, como es el caso concreto de Mérida, marco de trabajo de esta investigación. El uso de este tipo de procedimientos permiten simular y diagnosticar las pautas de movilidad que se producen en una ciudad de este tipo y ver cómo varían ante la incorporación de ciertos cambios puntuales en la oferta (por ejemplo modificaciones en parte de la red viaria) o en la demanda del sistema (como puede ser el crecimiento poblacional en una zona urbana concreta). Por otra parte, el hecho de utilizar entornos SIG genéricos de forma conjunta con bases de datos relacionales, agiliza y simplifica bastante la obtención de resultados ante preguntas como dónde se producen los problemas de congestión, qué tramos de vía son potencialmente adecuados para implantar infraestructuras propias de modos de transporte sostenibles, u ofrecer alternativas de acceso a un bien determinado en función de la localización en la ciudad de su demanda potencial. Todas estas posibilidades hacen de estos entornos SIG unas herramientas óptimas para este tipo de estudios y con una gran versatilidad de diseños dentro del ámbito de trabajo que nos ocupa.

La intención de este trabajo no es diseñar un modelo de transporte completo sino obtener una estimación estadísticamente significativa de los viajes realizados en la ciudad en modos motorizados y de sus orígenes y destinos concretos; para ello se parte de una muestra inicial de viajes obtenida en campo y de información cartográfica previamente tratada en un entorno SIG genérico.

Para dar respuesta a todo este planteamiento la Tesis Doctoral se divide en ocho capítulos (a los que se les unen la bibliografía y los anexos) en donde se aborda cada grupo de tareas llevadas a cabo en el diseño y aplicación de esta metodología. A su vez, cada capítulo se divide en diferentes apartados con el fin de ofrecer un seguimiento del documento lo más claro y sencillo posible. Tras una Introducción inicial a cerca de los motivos que han llevado a los autores a desarrollar esta investigación y de los objetivos planteados en la misma, se expone en el capítulo dos un Estado de la cuestión en donde se aborda una retrospectiva a cerca de la evolución llevada a cabo en el ámbito de la movilidad urbana en ciudades medias, incorporando las principales normas y documentos orientativos al respecto, seguida de una breve descripción acerca de la evolución en la investigación relacionada con el ámbito de la modelización de dichos

² Según fuentes como la Red para la Promoción de las Ciudades Medias de la Unión Europea (Red CIUMED), se entiende por ciudad media aquella cuya población es mayor de 20.000 habitantes y menor de 150.000 habitantes. Para mayor información sobre este concepto revisar el trabajo de López, 2008.

desplazamientos. Seguidamente, se muestra en el tercer capítulo una serie de Cuestiones propias de la Investigación a las que esta Tesis pretende dar respuesta. Tras este, se llega al capítulo en el que se describe el Área de Estudio desde dos puntos de vista: geográfico y de la movilidad ofertada.

Tras los capítulos anteriores, se muestran otros en donde se exponen los trabajos centrales realizados en esta investigación. En primer lugar, el quinto capítulo describe toda la Metodología seguida en cada trabajo concreto para el diagnóstico de la movilidad emeritense en modos motorizados así como el diseño y aplicación del modelo de asignación posterior. Para facilitar la comprensión del mismo, se divide en grandes bloques temáticos o subapartados que guardan relación bien con las fuentes utilizadas, bien con los modos de transporte analizados (transporte colectivo comparado con el vehículo privado) o finalmente, con el diseño del propio modelo de asignación de viajes. En segundo lugar, se llega al capítulo sexto en el que se muestran los principales resultados extraídos tras los Análisis realizados en la ciudad, los cuales son fruto de aplicar rigurosamente la metodología referida a cada ítem objeto de estudio. Este capítulo a su vez distingue aquellos resultados relacionados con la movilidad general de la ciudad, de aquellos otros que tienen que ver con cada modo de transporte estudiado. El último apartado muestra los resultados obtenidos de aplicar el modelo de asignación generado en esta Tesis a un área concreta de Mérida. Esta área resulta clave para mejorar la calidad de vida de los residentes en el casco urbano central, partiendo de un trasvase de flujos urbanos, desde los modos motorizados a aquellos denominados sostenibles.

Finalmente, se muestran las principales Conclusiones a las que se llega tras este estudio de investigación (capítulo 7), en el que además, se dan respuesta a aquellas cuestiones expuestas inicialmente y por ende, a los objetivos científicos planteados. Siguiendo el mismo esquema de otras fases del trabajo, se distinguen aquí las conclusiones que guardan relación con la eficiencia del tráfico viario, la movilidad en los diferentes modos de transporte motorizados analizados y el propio diseño del modelo de asignación. Para terminar, se muestran una serie de Propuestas o mejoras que, basándose en la investigación llevada a cabo y en la experiencia vivida durante este tiempo, permiten mejorar o más bien tener más en cuenta los análisis de movilidad y seguridad vial, en la planificación urbanística futura de la ciudad.

1.2 Motivación y justificación

La realización de esta Tesis Doctoral es el fruto de años de trabajo y especialización que van más allá de los últimos cuatro años directamente relacionados con la misma. Este trabajo es la meta a una convicción y a una necesidad de contribuir con mis conocimientos y habilidades a hacer de Extremadura una región un poco mejor en primera instancia y en segundo lugar, a contribuir con mi trabajo a resolver problemas reales que padecen diariamente los ciudadanos de cualquier territorio.

Para conseguir estas metas me licencié en Geografía por la UEx en contra de lo que las modas aconsejaban en aquella época (año 2000)... por aquello de *aprendiz de todo maestro de nada*. Decidí realizar esta titulación porque, ya en bachillerato, vi cumplidas las expectativas marcadas inicialmente cada vez que le sacaba utilidad a interpretar pirámides de población, o a estudiar los movimientos de las masas de aire y su efecto en el clima mundial. Y la verdad es que acerté porque vi en la Geografía una especialidad que me daba una perspectiva general de las cosas y me enseñaba a trabajar

en equipo (la idea de la multidisciplinariedad fue algo que ya tenía asimilado y que a lo largo de esta titulación se consolidó).

Sin embargo, tras mi paso por la administración y la empresa privada, me fui dando cuenta de las limitaciones que este tipo de trabajos monótonos ofrecían. Me resultaba demasiado simplista dedicar cada día el tiempo a realizar continuamente la misma tarea con la imposibilidad de aplicar mis ideas a resolver un problema concreto. Aunque aprendí mucho durante este periodo laboral, finalmente decidí probar suerte en el campo de la investigación..., y qué mejor modo que cumplir mis objetivos de investigar en la tierra a la que tanto aprecio y en la institución que mejor combina investigación con enseñanza (mi otra pasión), la Universidad. Así fue como, tras la realización de un máster universitario en SIG y teledetección, conocí al que hoy es mi maestro, amigo y padre académico, el profesor José Antonio Gutiérrez Gallego. Él fue el que me dio la oportunidad de entrar en este mundo y confianza para ayudar con mis humildes ideas a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos extremeños. Por todo ello y por su enorme ayuda en la realización de esta Tesis, le estaré eternamente agradecido.

Asimismo, he de agradecer la enorme ayuda, predisposición y colaboración prestadas al codirector de dicha Tesis, el doctor Francisco Javier Jaraíz Cabanillas, ya que sin él no habría sido posible hacer realidad este sueño. Del mismo modo, me gustaría extender este agradecimiento a todos aquellos compañeros y amigos de los departamentos de Expresión Gráfica y Arte y Ciencias del Territorio de la Universidad de Extremadura, por su colaboración en distintas fases de este trabajo, destacando al doctor José Castro Serrano como uno de los principales pilares de esta investigación, al doctor José Manuel Pérez Pintor y al profesor Juan Fernando Pedraza Majarrez por su inestimable ayuda en el diseño y ejecución de tareas más específicas, relacionadas con el aforado de vehículos en campo entre otras.

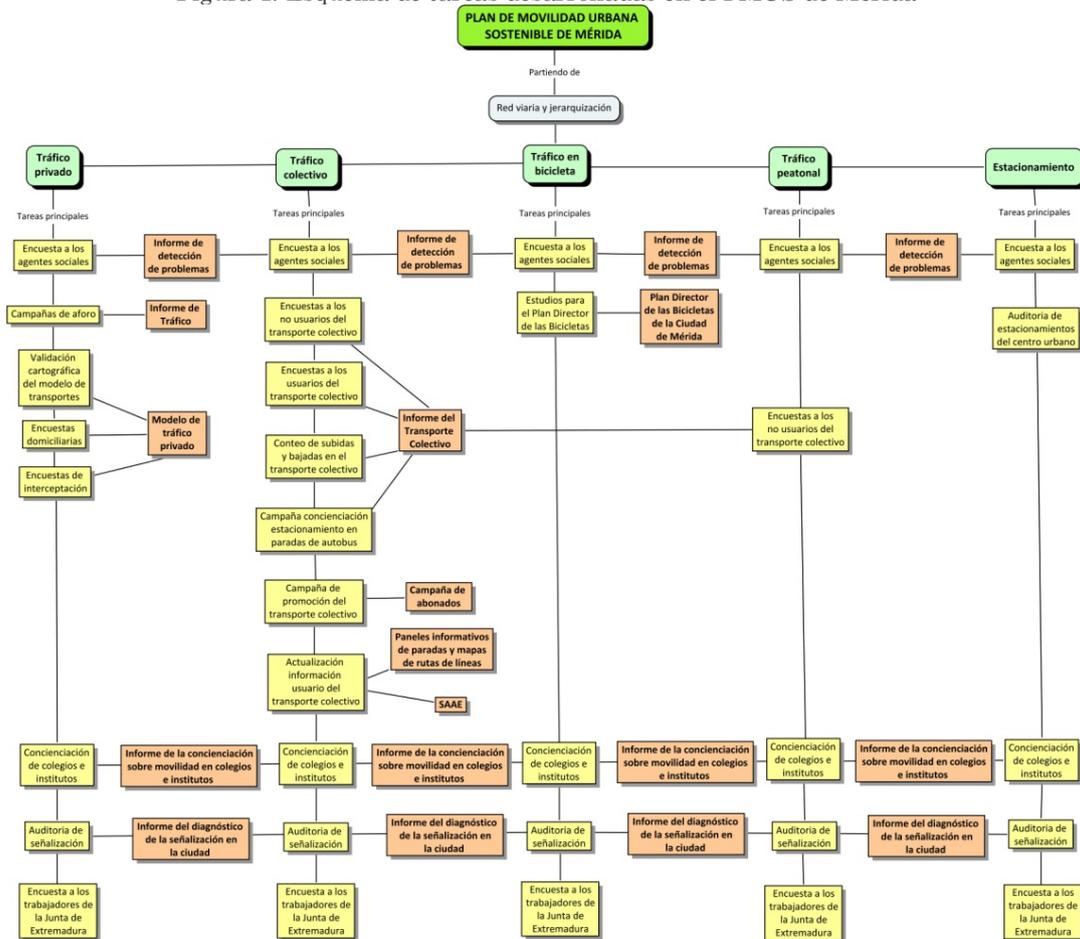
Agradezco también el apoyo institucional prestado por la Consejería de Empleo, Empresa e Innovación del Gobierno de Extremadura, por concederme una beca de Formación de Personal Investigador (F.P.I.) que sin duda ha contribuido a que pudiera dedicarme de forma exclusiva a la elaboración de dicha Tesis Doctoral (Referencia: PRE09142). Como no podría ser de otro modo, extiendo también mi más sincero agradecimiento al Centro Universitario de Mérida y a la Escuela Politécnica de Cáceres por haber puesto a mi disposición todos aquellos recursos necesarios para esta ingente tarea.

Tras los agradecimientos y volviendo a mis inicios en el ámbito de la investigación, en el año 2008 el grupo DESOSTE de la UEx estaba trabajando en un proyecto piloto en la región muy interesante: *el proyecto piloto municipal para la promoción de la movilidad sostenible de Mérida* (Referencia: 268/08). En dicho estudio se analizaba la movilidad urbana de la capital autonómica, con el fin de intentar optimizar su dinámica global. Aunque previamente había trabajado en otros proyectos de investigación relacionados con la frontera hispano-lusa, éste fue el proyecto que me ofreció la posibilidad de iniciar mis investigaciones en un ámbito científico tan interesante y actual como la movilidad urbana. Con todo ello, podría contribuir a la reducción o eliminación de problemas derivados de una movilidad poco sostenible, mejorando la calidad de vida de la población. Con la ayuda del profesor Gutiérrez y del doctor Castro solicité una beca de Formación de Personal Investigador (F.P.I.) a la Junta de Extremadura (Referencia: PRE09142), que sin duda me ayudó a hacer realidad este sueño. Además, tuve el placer de contar también con la colaboración del doctor Jaraíz

que se incorporó a este trabajo en calidad de codirector de Tesis. Con la ayuda de todos conseguimos no solo elaborar esta Tesis Doctoral, sino además realizar un trabajo y ofrecer una guía de actuaciones que permitían mejorar la movilidad urbana en Mérida.

El PMUS de Mérida en sí mismo abordaba varios ámbitos de actuación a través de los diferentes estudios parciales. Éstos permitieron recabar multitud de información con la que poder analizar la movilidad global de la ciudad, extraer las principales variables objeto de análisis y diseñar el modelo de asignación con el que gestionar el tráfico de este sistema urbano (todos ellos tenidos en cuenta en esta Tesis Doctoral).

Figura 1. Esquema de tareas desarrolladas en el PMUS de Mérida



Fuente. Elaboración propia.

Tal y como se observa en el esquema de la Figura 1, todos los estudios partían de un trabajo previo de jerarquización del viario urbano emeritense. Aunque se explica más adelante en este documento, esta jerarquización básicamente consistía en identificar aquellas vías que eran de primer, segundo, tercer o cuarto orden, en función del volumen y tipo de desplazamientos que soportaban (vías *de paso*, *arteriales*, *colectoras-distribuidoras* y *inicio/final* de los desplazamientos).

Todos los estudios parciales estaban clasificados por modo de transporte, ya que la mayoría de ellos se ajustaban a las necesidades concretas de cada modo de desplazamiento urbano. No obstante, existían trabajos que analizaban diferentes modos (de ahí que estos se repitan en cada uno de los modos sobre los que actúan). Al mismo

tiempo, el esquema muestra en tonos anaranjados los informes parciales que iban redactando, fruto de los estudios llevados a cabo a lo largo del PMUS.

Estas tareas derivadas del PMUS, junto a la información recabada con ellas y el cúmulo de circunstancias personales comentadas anteriormente, son las que han ido orientando mi actividad profesional hacia el análisis de la movilidad en ciudades medias y la indagación de instrumentos que permitan gestionarla de una forma más eficiente y segura (germen de esta Tesis).

1.3 Objetivos

En este apartado se exponen los objetivos planteados en este trabajo de investigación, distinguiendo entre un objetivo principal que engloba de forma genérica todo el trabajo desarrollado y otros que abordan aspectos particulares de la misma.

Así, se plantea como objetivo principal desarrollar una metodología que permita conocer las pautas de movilidad en ciudades de tamaño medio, a través de una serie de análisis parciales adaptados a los diferentes modos de transporte y a sus usuarios potenciales.

Al mismo tiempo, se tienen en cuenta otros objetivos como: extraer las principales variables que explican las pautas de movilidad cotidianas, e identificar los focos generadores y atractores de movimientos; determinar la demanda actual que soporta la red urbana emeritense y el grado de congestión de la misma; identificar los espacios problemáticos desde el punto de vista de la movilidad y ver en qué grado estos pueden repercutir en la dinámica global; diseñar un modelo de asignación de tráfico adaptado a las necesidades propias de ciudades de tamaño medio, con el que estimar el número de viajes que atraviesan cada tramo de la red, junto a sus orígenes y destinos.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Movilidad urbana en ciudades medias

La acción de mover objetos y/o personas es una de las actividades que más beneficios ha dado al ser humano asentado en un territorio (beneficios económicos y de bienestar social entre otros), máxime desde la revolución que ha supuesto la globalización producida durante la segunda mitad del siglo pasado y que ha llegado hasta nuestros días. Esta revolución ha permitido acercar a territorios que eran inaccesibles anteriormente, y que ahora presentan costes de desplazamiento en tiempo y monetarios más que asequibles (a modo de ejemplo, por unos 300 € una persona puede viajar desde Madrid a Berlín en tan solo 3 horas). Este acercamiento entre territorios, también se ha venido produciendo a nivel de país (en 2 horas y media prácticamente cualquier ciudadano puede realizar, de forma segura y confortable, desplazamientos cercanos a los 300 km entre dos puntos origen y destino ubicados en la Península, a través de la red viaria existente).

Dentro de los desplazamientos en general, destacan aquellos realizados en las áreas urbanas, por el mero hecho de que son estas las que soportan una mayor densidad poblacional. Así, el 52,1% de la población mundial reside en ciudades, mientras que a escala europea este porcentaje crece considerablemente hasta el 72,9% (UN, 2012). Este último valor es similar al español, donde se detecta que un 70% de la población reside en dichas áreas, a los que hay que añadir un 11% adicional que lo hacen en municipios mayores de 10.000 habitantes (INE, 2012). Este aumento poblacional ha provocado en España ya desde mediados de los años 70 del siglo pasado, una expansión muy pronunciada del suelo urbano en mancha de aceite, ligada a su vez a una zonificación de usos y un diseño de ciudad policéntrico. Este es el conocido modelo de “ciudad difusa” o “urban sprawl” tan extendido en la literatura (Seguí y Martínez, 2004; Monzón, 2009). Dicho modelo se caracteriza por:

- Desarrollo urbano ocupando cada vez zonas más extensas del territorio, alejándose del casco antiguo o centro urbano inicial. Esta expansión urbana viene provocada, entre otras cosas, por la presión demográfica a la que se ven sometidas, fruto de una inmigración intensa por parte de la población rural (González, 2009). Esta, accede a las ciudades en busca de oportunidades laborales y mejoras en la calidad de vida y el acceso a bienes/servicios numerosos y de calidad; estas últimas características no siempre se encuentran en los espacios rurales.
- Trasvase del uso residencial a zonas alejadas del centro urbano, debido en gran medida al aumento del precio del suelo, a la nueva ubicación del empleo y a nuevas pautas sociales (compra de vivienda por alquiler y preferencia por viviendas unifamiliares en detrimento de las viviendas en pisos). Esto provoca además una polarización en la distribución de las áreas de residencia y trabajo y la ubicación de dichos usos en zonas cercanas a una vía de comunicación importante, ya sea a nivel urbano, interurbano o ambos.
- Descentralización de las actividades industriales y terciarias a las periferias urbanas y aumento, a consecuencia de las características anteriores, de la cantidad de flujos (García-Palomares, 2008) y su velocidad (García-Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007), destacando aquellos considerados “obligatorios” u “obligados”.
- El modo de transporte más utilizado para realizar estos desplazamientos es el vehículo privado, con ocupaciones que apenas superan los 1,2 usuarios/veh. (Dombriz, 2009).

A nivel europeo, este modelo de crecimiento urbano no solo llevaba más tiempo detectándose (de 10 a 30 años antes), sino que ya incluso comenzaban a implementarse soluciones al problema de la congestión vehicular en infraestructuras de acceso de tipo radiales (acceso a los centros urbanos por parte de la población externa), mejorando, por tanto, la accesibilidad transversal y la conexión entre zonas de extrarradio a las que se les dotaba de servicios y equipamientos (Dombriz et al., 2008).

Este modelo de crecimiento urbano, sin duda ha modificado la forma de desplazarse de sus ciudadanos. Un buen ejemplo de ello es el estudio realizado por el profesor Gutiérrez Puebla en 1992. En él se analizaba el área metropolitana de Madrid en una época en que su crecimiento estaba aún muy polarizado. Además, la localización de gran parte de los bienes y servicios residía en el centro urbano primigenio, lo que provocaba que apenas hubiera conexiones transversales entre las zonas de extrarradio, teniendo que atravesar Madrid para realizar cualquier desplazamiento. Este modelo centralista del área metropolitana fomentaba una movilidad obligada al centro urbano y una desigualdad entre éste y la zona de extrarradio, que por aquella época comenzaban a crecer: mientras que el centro urbano era el principal foco de atracción poblacional (y por tanto de desplazamientos ligados al elevado volumen de empleo disponible en este área), en las zonas de extrarradio se acumulaban volúmenes cada vez mayores de residentes. Éstos, necesitaban desplazarse al centro para trabajar, estudiar o acceder a la mayor parte de los bienes y equipamientos ofertados en la ciudad y de los que aún no disfrutaban en sus áreas de residencia. La desigualdad provocada por el volumen de población ocupada con respecto a la oferta de empleo disponible entre otros elementos, permitió que en Madrid creciera considerablemente el parque motorizado y con ello, el número de viajes. He aquí un claro ejemplo de cómo las desigualdades territoriales y la falta de planificación urbana en este caso, son el inicio de problemas derivados de mayor escala.

Para tratar la dinámica de los desplazamientos urbanos en general, es necesario tener en cuenta al menos cuatro conceptos clave: transporte, movilidad, sostenibilidad y movilidad sostenible.

El primer concepto, el transporte, se define como “un proceso productivo que consiste en trasladar mercancías y/o personas de un sitio a otro” (Pérez et al., 2001). Esta actividad ha influido en gran medida en la configuración territorial a cualquier escala, ya sea europea, nacional o local y es un factor clave a la hora de buscar el desarrollo socioeconómico de un territorio (Ainstein, 2001). Además, favorece la integración de los núcleos de población ubicados en dicho territorio, por encima de otros factores como la localización, la estructura de asentamientos o la sectorización de la economía (Biehl et al., 1986). Entre los efectos más importantes que influyen en la consecución de este desarrollo socioeconómico, se diferencian aquellos que presentan una componente espacial de otros en los que dicha componente no existe, aunque no por ello son menos importantes (Gutiérrez Gallego et al., 2010). Con respecto a los primeros, destacan la propia localización de actividades siempre vinculadas a una infraestructura de vertebración del territorio importante, y el tipo de movilidad generada en dichas zonas. Por otro lado, en lo relativo a los efectos que carecen de la componente espacial, destacan aquellos relacionados con el incremento de la inversión económica que busca la construcción de nuevas infraestructuras (o mejora de las ya existentes), como efecto llamada para la localización de actividades económicas en el entorno cercano (Antón, 2013).

Por otro lado, esta localización de actividades en torno a infraestructuras de cierto interés atrae a su vez a un gran volumen de población activa, que ve en dichas zonas oportunidades laborales. De ahí que sea tan importante el estudio del transporte y la búsqueda de modos e infraestructuras cada vez más eficientes, con los que se consiga mover un mayor volumen de material, reduciendo al mismo tiempo los costes de transporte (De Castillo, 1992). A estas dos premisas en los últimos años se le une la reducción de los efectos negativos sobre la población y el medio ambiente (Mora et al., 2003).

El segundo concepto importante es la movilidad, definida como la caracterización cuantitativa y cualitativa de los viajes, entendidos éstos últimos como “los desplazamientos de una persona desde una zona de origen a una zona de destino para acceder a bienes y servicios en un territorio determinado” (Miralles-Guasch y Cebollada, 2009). La movilidad depende de la variabilidad detectada en varios factores: en el tiempo, en los modos de transporte, en la elección del usuario y el motivo del desplazamiento. La movilidad también se puede entender como aquellas actuaciones de las administraciones que buscan facilitar el acceso de los ciudadanos al trabajo, al estudio, a los servicios y al ocio, mediante diversos modos de transporte. Por tanto, se trata de un bien que impulsa el crecimiento económico, provocando un gran impacto en el desarrollo sostenible de cualquier territorio (CCE, 2006).

El incremento del “espacio vital” en los usuarios de los sistemas urbanos a consecuencia de las elevadas distancias que tienen que recorrer diariamente (Fariña y Naredo, 2010), da pie no solo a que se intensifique la movilidad con un mayor número de desplazamientos (Pozueta y Gurovich, 2007), sino también a que esta sea menos segura y conlleve costes asociados mucho mayores.

Para minimizar todos estos problemas derivados de una movilidad insostenible, la Unión Europea a través de sus organismos, viene fomentando e instando en los últimos años a los agentes gestores de la movilidad (tanto públicos como privados), a que tomen medidas para que esta sea mucho más eficiente, equitativa y segura. En este sentido, algunas de las medidas más aplaudidas según las revisiones del Libro Blanco del Transporte (CCE, 2011), van encaminadas a repartir el flujo de desplazamientos entre los distintos modos de transporte existentes, dando un mayor peso a los modos colectivos, ya que son éstos los que permiten reducir el número de vehículos en las vías y, con ellos, los problemas de congestión. Es aquí cuando el transporte público colectivo en general y el autobús en particular (Ibeas y Díaz, 2002), recupera ese valor destacado que ya tuvo durante el siglo XIX en detrimento de los modos privados (Terán, 1999). Además, se deben favorecer medidas que hagan que dicho modo colectivo deje de ser un servicio deficitario en términos económicos. Un ejemplo de este tipo de medidas bien podría ser la planteada por Rozas en 2010, en el que se comenta la necesidad de identificar umbrales de densidad edificatoria y/o poblacional superior a 20 viviendas/ha., como límite mínimo de rentabilidad para este modo de transporte.

El tercer concepto importante es el de la sostenibilidad, que se define como “los caminos de progreso que satisfagan las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987). De acuerdo con esta definición, los estudios actuales tratan el desarrollo sostenible en estas áreas como una actividad que impulsa el desarrollo económico unido a una accesibilidad máxima, al mismo tiempo que se mejora la calidad de vida de sus ciudadanos y la protección del medio ambiente (CCE,

2007). Con respecto a los problemas medioambientales, uno de los aspectos clave a día de hoy, está relacionado con las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), micropartículas en suspensión (PM), compuestos orgánicos volátiles (COV's), y óxidos de nitrógeno en general (NOx), emitidos todos ellos por el parque de vehículos que circula diariamente. Otro problema añadido es la contaminación acústica que sufren todos los usuarios, ya sean residentes o visitantes. Según el Informe Mundial de la Salud relativo al año 2002, la contaminación del aire es el causante del 1,4% de las muertes mundiales. Asimismo, la mitad de dicho impacto podría ser causado por las emisiones de los vehículos a motor. A esto se le suma el hecho de que el 80% del ruido generado en una ciudad, está causado por el tráfico existente en la misma (OSE, 2007).

En cuanto a la accesibilidad máxima, cabe resaltar un concepto muy importante dentro de los tres pilares fundamentales sobre los que se apoya el concepto de sostenibilidad (reducción de la contaminación ambiental citada en el párrafo anterior y desarrollo económico basado en el aprovechamiento racional y optimizado de recursos). De esta forma, la equidad se define como la necesidad y el derecho que tienen todos los usuarios potenciales de cualquier sistema (incluyendo el urbano), de circular libremente por el territorio y acceder de forma igualitaria a todos los bienes y servicios, sin importar su condición, género, o estatus socioeconómico (Gutiérrez Puebla, 2000; Gutiérrez Gallego et al., 2010). Asimismo, la equidad social también considera clave la distribución de estos bienes por el territorio (Vassallo y Pérez de Villar, 2008), de tal forma que para conseguir un acceso equitativo a los servicios, se debe disponer de una localización tal de estos, que favorezca este libre acceso a todos los usuarios potenciales. Para fomentar la equidad social en la plena accesibilidad a los servicios, es necesario disponer de una oferta de transporte que realmente tenga en cuenta este adjetivo, acercando la población a estos bienes demandados, de un modo sostenible y eficiente (CCE, 2011). Para ello, han de prevalecer los modos de transporte colectivos sobre los privados, y los “sostenibles” o “suaves”³ sobre los colectivos (Monzón et al., 2005; De Kassia, 2011).

Para paliar estos problemas de contaminación ambiental, se están llevando a cabo desde finales del siglo pasado numerosas acciones a nivel europeo, con el fin de implantar un modelo de movilidad en donde la reducción del volumen de contaminantes a proporciones menos nocivas (CCE, 1996; Directiva 34/CE, 2007⁴), la concienciación a la población de los beneficios que les supone una movilidad más sostenible y segura a sus vidas (conducción eficiente o restricciones al tráfico privado con tarifas que confinan este tránsito vehicular), sean ya una realidad (Sánchez y Sánchez, 2002). Para ello, se están fomentando a escala local la elaboración de planes de mitigación del ruido y planes de movilidad urbana sostenibles; ambos, permiten detectar los problemas existentes en cada caso y proponer medidas que, o bien los resuelvan, o cuanto menos los reduzcan.

Si se unen los conceptos de movilidad y sostenibilidad, se puede definir la movilidad sostenible como la equidad, la reducción de la congestión y el respeto al

³ Según la bibliografía, los modos de transporte sostenibles o suaves son aquellos no motorizados, cuya fuerza de tracción viene dada por un ser vivo (principalmente un ser humano). En el caso de los modos de transporte urbanos, estos adjetivos hacen mención casi exclusiva al desplazamiento peatonal o ciclista.

⁴ El Consejo Europeo en 2007 decidió imponer una reducción de estos contaminantes atmosféricos a un 20% para el año 2020, llegando así en esta fecha a niveles de contaminación existentes en 1990.

medio ambiente, en el acceso a los servicios. Si además se le añade el adjetivo de urbano a la movilidad sostenible, se limita esta actividad a los desplazamientos producidos en el ámbito urbano, manteniendo los parámetros de equidad en el acceso a los servicios y respeto al medio ambiente.

Partiendo de los cuatro pilares citados anteriormente, se extraen las líneas estratégicas que permiten optimizar la movilidad en una ciudad: racionalización del desplazamiento en vehículo privado, fomento de los modos de transporte colectivos y no motorizados (bicicleta y desplazamiento peatonal), y limitación en el acceso al casco urbano central de vehículos a motor (o a parte de él), ofreciendo a cambio alternativas que optimicen dicho acceso (estacionamientos disuasorios o estaciones intermodales en áreas cercanas de fácil acceso).

Toda esta batería de problemas ocasionados por una movilidad y un crecimiento urbano insostenibles, se da con mayor virulencia en las grandes ciudades, tanto europeas como españolas. Sin embargo, comienza a ser preocupante el hecho de que en ciudades de tamaño medio⁵ también comiencen a germinar este tipo de anomalías relacionadas con la movilidad a determinadas horas del día.

Este tipo de movilidad ocasiona problemas graves a los usuarios habituales del sistema urbano en cuestión, entre los que destacan fenómenos de congestión en algunas infraestructuras, contaminación atmosférica y acústica, descenso de la seguridad en los desplazamientos, uso irracional de los recursos naturales y económicos, por no hablar de problemas de salud (Osses et al., 2001; De Castro y Aloj, 2005; Messina et al., 2006 o Simões et al., 2011 entre otros), o de índole social (Fernández, 2005).

Entre todos los modos de transporte habitualmente utilizados en este modelo de ciudad difusa, destaca sobremanera como el modo más insostenible a la par que el más utilizado el vehículo privado (Bañobre y Romero, 2009). En este sentido, el aumento de este modo de transporte provoca una dinámica de dispersión caracterizada por un incremento en la movilidad urbana, dando lugar en algunos casos al colapso de las infraestructuras de transporte (Fariña y Naredo, 2010). Además, está demostrado que el volumen de desplazamientos realizados en vehículo privado en ciudades de tamaño medio-pequeño es mayor que en grandes ciudades, donde existe una oferta de transporte colectivo más amplia y sobretodo eficiente (Cascajo et al., 2008). Este modelo de movilidad presenta graves problemas ambientales, económicos y de equidad social (García-Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007). De ahí que sea tan importante el diagnóstico de su movilidad con vistas a la aplicación de medidas que racionalicen su uso (que no eliminarlo), para ofrecer una movilidad menos contaminante y más fluida a los ciudadanos residentes y/o visitantes de un núcleo urbano concreto.

Otro problema importante ocasionado por el aumento de los vehículos privados en los sistemas urbanos es el de la seguridad vial, tanto de los propios viajeros como de los usuarios del entorno afectado. Según la Comisión Europea (CE, 2012), el 61% de todos los accidentes ocurridos en carretera (y el 36% de los accidentes mortales) ocurren en áreas urbanas; de estos, más de la mitad tienen que ver con el vehículo privado (concretamente el 64%). Además, si se analiza el número de muertos por accidentes de tráfico a nivel europeo (Eurostat, 2010 y MAPFRE, 2010), resulta que la

⁵ Se entiende por ciudad de tamaño medio aquella que presenta un volumen de población comprendida entre los 20.000 y los 150.000 habitantes, según fuentes como la Red de Ciudades Medias Europea (CIUMED, 2011).

media de la Europa de los 27 ronda los 62 fallecidos/millón de habs.. En este sentido, España ocupa un nivel aceptable en la reducción de esta tasa de mortalidad (es el cuarto país en reducción de número de muertos entre el periodo 2001-2010, con una tasa actual de 54 fallecidos/millón de habs.). Sin embargo este descenso aún está lejano del conseguido por países como Holanda (con 32 fallecidos/millón de habs.), Reino Unido (con 31 fallecidos/millón de habs.), o Suecia (con 28 fallecidos/millón de habs.). Si se relacionan estos datos con el volumen promedio de vehículos detectados en diversas ciudades de la UE (Eurostat, 2012), resulta que el 71% de las ciudades auditadas sobrepasan el volumen europeo de vehículos por cada mil habitantes (428 para el periodo 2007-2009), con valores que rondan los 485 veh./mil habs. (dentro de este grupo destacan Palma de Mallorca con 594 veh./mil habs.; Vigo con 527 veh./mil habs.; Sta. Cruz de Tenerife con 525 veh./mil habs.; o Badajoz con 515 veh./mil habs. En el polo opuesto de este grupo nacional, se encuentran ciudades como Barcelona con 381 veh./mil habs. u Hospitalet de Llobregat con 342 veh./mil habs.).

Uno de los puntos fuertes en la implementación de medidas que optimicen el uso de este modo de transporte privado es el de la concienciación ciudadana sobre los beneficios de unas dinámicas más sostenibles y eficientes, en detrimento de las derivadas del modelo actual, donde el coche gana suelo urbano al ciudadano (Gutiérrez Puebla; García-Palomares, 2005 y Rozas, 2010). Así, cobran importancia las actuaciones de calmado de tráfico (implantación de cojines berlineses e iniciativas que “juegan” con la percepción visual de los conductores y el mobiliario urbano; un claro ejemplo son las medidas implantadas por el cuerpo de Policía Local de Alaquás en dicho núcleo, según Carrasco y Clemente, 2011), o restricciones de acceso llevadas a cabo en numerosos núcleos urbanos, máxime cuando se trata de ciudades con algún grado de protección histórico-artístico que va más allá del propio edificio o conjunto (en Lalana, 2011 se habla de “paisaje urbano histórico”). Otras alternativas muy aplaudidas por los agentes gestores de la movilidad, consisten en fomentar el uso del transporte colectivo y el intento de convertirle en un modo más competitivo con respecto al modo privado, a través de la generación de carriles segregados o “redes de tránsito rápido de autobús”, BRT (Bañobre y Romero, 2009). Esta desagregación del tráfico general, permite disminuir los tiempos de recorrido del servicio y mejorar la calidad del mismo (Matas, 1991; Sánchez y Romero, 2010; Toro et al., 2004; e Ibeas et al., 2008).

Estas medidas de optimización de la movilidad, obligan de alguna forma a diseñar modelos parciales de ciudad que busquen la consecución de los objetivos planteados anteriormente, tanto en cascos urbanos centrales, como en áreas de protección u otras zonas restringidas. Este es el caso de la “supermanzana” diseñada e implantada por Salvador Rueda en 2011, en el área metropolitana de Barcelona. Este modelo de ciudad surge como un diseño alternativo de movilidad urbana que la hace más eficiente, al desagregar el tráfico de paso del resto. Así se minimiza por una parte, el coste de desplazamiento de dichos vehículos de paso y por otra, se gana espacio urbano al vehículo privado en beneficio del peatón (según este trabajo, se detecta en nuestras ciudades que un 75% del suelo urbano está directa o indirectamente utilizado por el vehículo privado, dejando el 25% restante al usuario). De esta forma, se diseñan itinerarios por toda la ciudad formados por una serie de vías rápidas que son utilizados por los vehículos de paso. Estos itinerarios abarcan varias manzanas urbanas (de ahí el nombre de “supermanzanas”) y se les prohíbe a los usuarios que los utilicen el acceso al interior de las mismas. Por el contrario, las zonas internas de las supermanzanas (limitadas por los itinerarios de paso) pasan a ser áreas compartidas por los modos

peatonal, ciclista y por aquellos vehículos motorizados que realizan actividades de abastecimiento o labores de emergencia. A parte de esta distinción funcional existen también diferencias entre los itinerarios de paso y los interiores en las supermanzanas, en lo que a morfología urbana se refiere (plataforma única y velocidad de paso máxima de 10 km/h para el caso de los itinerarios interiores).

Sin embargo iniciativas como la implantación de la supermanzana, requieren previamente un adecuado diagnóstico de la movilidad y la oferta de transporte existentes en una ciudad, a lo que hay que añadir un elevado grado de participación/concienciación ciudadanas que favorezcan la heterogeneidad en los modos de transporte, minimizando el grado de rechazo de dichas iniciativas por parte de la población (Espluga et al., 2008). Además, este tipo de iniciativas deben buscar la optimización de recursos con el menor coste e impacto posibles para gestores y usuarios (máxime si se refieren a ciudades de tamaño medio o pequeño). De lo contrario, se va a mantener la relación social actual entre el tipo de vehículo y el estatus socioeconómico que éste representa, cuya consecuencia directa es la predominancia del vehículo privado en los desplazamientos urbanos en detrimento del transporte público. Además, la sociedad requiere un largo periodo de tiempo para cambiar sus prejuicios con respecto a este último modo de transporte, hecho éste que no se suele considerar y que tiene un gran calado en la aceptación o no de las medidas a adoptar por los agentes gestores de la movilidad (García, 2008). Junto a las iniciativas anteriores, se suelen promover otras de menor calado (aunque no por ello menos importantes), como las restricciones de acceso del vehículo privado a determinadas zonas y horas del día, el fomento del transporte colectivo y los modos no motorizados (Latorre et al., 2012) y la gestión racional del sistema urbano a través de los SIT (Seguí y Martínez, 2004), entre otras.

Para ofrecer un diagnóstico real y combatir todos los problemas derivados de una mayor concentración poblacional en las ciudades, un uso más amplio del territorio y con él una intensificación de la movilidad (Muñoz, 2009), han comenzado a surgir en los últimos años estudios técnicos de movilidad urbana de diversa índole, que buscan la aplicación real de una gestión más eficiente sobre este tipo de desplazamientos, tanto a nivel de movimientos internos, como externos (Antón, 2011). En lo que respecta a los movimientos internos, destacan los PMUS, como la herramienta óptima para gestionar la movilidad urbana sostenible y segura en un núcleo urbano dado (IDAE, 2006); además, se presta especial atención al autobús urbano como modo de transporte destacado en ciudades de tamaño medio o pequeño (Ibeas y Díaz, 2002) y con un alto grado de flexibilidad (Thomson, 2002), junto a modos no motorizados como son los desplazamientos a pie o en bici. El objetivo esencial que encierra este tipo de planes es el de acercar la ciudad al ciudadano, devolviéndole en la medida de lo posible el espacio público al mismo, en detrimento de la ocupación actual excesiva destinada a los modos motorizados (viario y áreas de estacionamiento). Se trata de recuperar la idea de “ciudad compacta” anterior a los años 60 del siglo pasado, en donde la mayoría de los desplazamientos se podían realizar a pie por la cercanía entre servicios y áreas residenciales. Además, los consumos energéticos eran mucho menores que los del modelo actual, al igual que ocurría con la generación de residuos (Rueda, 2002).

Con respecto a los PMUS, cabe destacar que surgen en Inglaterra, Francia e Italia principalmente, por la necesidad acuciante que tenían de mitigar los problemas de movilidad que llevaban tiempo padeciendo. Si se comparan estos planes con los PMUS españoles, se observan diferencias importantes relacionadas en su mayor parte con los procesos de seguimiento y la validez temporal de dichos instrumentos. Es en estas

diferencias donde se observa claramente un mayor grado de evolución de los primeros, tal y como se muestra en el siguiente esquema comparativo. Sin embargo, esto no quiere decir que las iniciativas llevadas a cabo en España sean improductivas sino más bien todo lo contrario, ya que se apoyan en experiencias exitosas en su momento. Por otra parte el hecho de que los PMUS surjan con posterioridad, permite subsanar algunas de las deficiencias de los planes primigenios, dotándoles de una mayor flexibilidad en la adaptación de medidas entre los diferentes organismos de gestión (nacional, regional y local).

	PDU Francia (Plans de Déplacements Urbains)	PUM Italia (Piani Urbani di Mobilità)	LTP Reino Unido (Local Transport Plans)	PMUS España (Planes Movilidad Urbana Sostenible)
Regulación inicial	Tres leyes: - Ley de Ordenación del Transporte Interior, LOTI (1982). - Ley sobre el Aire y Energía, LAURE (1996): · Obligatoriedad núcleos > 100.000 habs. - Ley Solidaridad y Renovación Urbana, SRU (2000): · Exigencia de compatibilidad entre PDU y planes de suelo (seguridad vial).	Varias leyes pero principalmente dos: - Directiva Plan Urbano de Tráfico, PUT (1996): · Obligatoriedad PUT núcleos > 30.000 habs. · Objetivos PUT: reorganizar la circulación de vehículos y el viario e identificar regiones altamente contaminadas. - Ley 340/2000 de normas y procedimientos para implementar un Plan General de Transporte (2000): · Obligatoriedad de PUT en todos núcleos. · Obligatoriedad de PUM solo núcleos > 100.000 habs.	Dos documentos importantes: - Libro Blanco del Transporte (1998): · Concepto de LTP: transporte integrado a nivel local y nacional. - Ley de Transporte (2000): · Otorga a autoridades locales competencias aplicar LTP, en condados. · Creación Ministerio de Transporte. · Coordinación sectorial e implementación con objetivos nacionales. · Sin mínimo poblacional para LTP. - Guía elaboración de LTP (2000): · Elaborar y evaluar un LTP. · Obligatoriedad de informes anuales de seguimiento.	Marco estratégico inicial: - Estrateg. Ahorro y Efic. Ener. 2004/2012 (E4): · Ayudas económicas a Aytos. para PMUS en ciudades > 100.000 habs./empresas > 200 trabaja. - Planes de Acción de E4 (2008/2012). - PEIT (2005): · Prioridad desarrollo PMUS en ciudades. - Plan Nacional Derechos de Emisión (2005): · Armonizar movilidad y accesibilidad con reducción de emisiones. - Red de Ciudades por el Clima (2006): · Entrar en la Red para reducir emisiones. Única norma PMUS: Ley de Movilidad de Cataluña (2003); obligación de PMUS en núcleos > 50.000 habs. (siguiendo Norma Régimen Local [1985] y Plan Director de Movilidad). Marco guía actual: - Guía PMUS IDAE (2006); núcleos > 50.000 habs.
Elaboración y revisión de planes	En las distintas Áreas de Actuación la propia AOTU es la encargada de todo. Pasos: - Elaboración del PDU. - Encuesta pública. - Aprobación PDU definitivo. - Revisión del plan. En París, el Estado se encarga de la elaboración, revisión y financiación PDU.	Los PUT son revisados por el Estado. Los PUM en manos del Ayuntamiento más importante en las Regiones o al Ayto. en PUM particulares: - Elaboración del PUM. - Consulta ciudadana. - Aprobación PUM. - Revisión del plan con indicadores. - Integrar PUM con otros instrumentos: PUT, Planes Ambientales/Urbanísticos.	La elaboración corre a cargo del condado: - Elaboración del LTP. - Aprobación LTP definitivo. La revisión corre a cargo del Estado: - Revisión de objetivos del LTP a través de informes.	La elaboración, aprobación y revisión corre a cargo de los núcleos en los que se lleve a cabo el PMUS (en este caso, núcleos > 50.000 habs.).
Financiación	Varias fuentes y épocas: - Hasta el año 2003 el Estado dotaba económicamente a las autoridades locales encargadas de la AOTU. - A partir del año 2003, las regiones y los departamentos de transportes financian el PDU (en ocasiones también reciben ayudas europeas). - En París el Estado financia.	Cofinanciación del PUM: - Hasta máx. 60% del total el Estado. - El resto lo aportan las Regiones, Ayuntamientos o ambos y han de dedicarse específicamente a la gestión del transporte público y a los planes de gestión de la demanda. El Ayto. puede cobrar tasas de estacionamiento y peajes. - Subvenciones adicionales en Regiones.	Financiación del LTP en parte Estatal: - Hasta un 75% inicial del coste total del LTP para el primer año. - Un 25% adicional cada año, en caso de que los informes anuales sean favorables (asignaciones "indicativas").	- La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética (E4) prevé ayudas económicas para núcleos que hacen PMUS. - Otras financiaciones: · Estatales derivadas de proyectos I+D+i.
Objetivos	- El principal: Reducir tráfico coches. - Secundarios: · Potenciar el transporte público. · Favorecer modos alternativos. · Equilibrio entre movilidad y accesibilidad. · Proteger medioambiente. · Asegurar la salud. · Mejorar la seguridad vial. · Optimización de la red viaria. · Incentivar PTT en empresas.	- Satisfacer la necesidad de movilidad. - Reducir contaminación atmosférica y acústica. - Disminución del consumo energético. - Aumento de la seguridad vial. - Reducción del uso del vehículo privado. - Fomento del <i>car-pooling</i> y <i>car-sharing</i> . - Objetivos para el transporte público: · Mejorar la calidad del servicio. · Eficiencia del sistema. · Mejoras en empresas locales del sector.	- LTP ligados a los objetivos nacionales: · Estrategias promover servicios de transporte seguros e integrados dentro del área en cuestión. - LTP debe realizar: · Análisis problemas y oportunidades: · Estrategia a largo plazo (10 años). · Programa de implementación a 5 años. · Diseñar un documento de indicadores para medir el progreso anual del LTP.	- Objetivos generales derivados del concepto "sostenible" (adaptados a cada caso). - Recomendación enmarcar PMUS en Estrategia Regional (definición objetivos). - Distinguir entre objetivos generales en una 1ª fase (pre-diagnóstico) y específicos (identificados ya los problemas concretos). - Crear lista de indicadores de cálculo anual, relacionados con la oferta, la demanda, la calidad urbana y social.
Instrumentos de actuación	<u>MicroPDU</u> : abordan propuestas del PDU de la zona (zonas 30, peatonalización, carriles bici, estacionamiento o acceso a equipamientos). <u>Medidas "blandas"</u> PDU.	Actuaciones contenidas en varios Sub-Planes (uno para cada modo de transporte).	Actuaciones de los propios LTP.	Actuaciones de los propios PMUS.
Vigencia	10 años	10 años (con revisiones bianuales)	5 años (con revisiones anuales)	De 2-8 años (según medidas del PMUS).

A los PMUS aplicados en ciudades europeas como Lille, Aalborg o Stuttgart entre otras (López y La Paix, 2008), se les suman otros aplicados a problemas incipientes propios de núcleos urbanos medios o pequeños, ya sean europeos (Peterborough, Vila Real o Torres Vedras), o españoles (Oviedo, Vitoria, Toledo, Ponferrada, o la propia Mérida).

La elaboración de PMUS como herramientas que permiten eliminar o reducir al máximo todos los problemas detectados en nuestros núcleos urbanos requiere, como casi cualquier otra actividad, un marco legislativo y regulador con el que se consiga generar e implementar una serie de medidas correctoras con un mínimo de coherencia y calidad. Así, este tipo de estudios están regulados por diferentes marcos políticos y legislativos a diferentes escalas (europea, nacional y autonómica). Esto asegura que los

planes llevados a cabo a escala local tengan una coherencia con respecto a las directrices marcadas desde la Unión Europea en materia de movilidad urbana sostenible.

Todas las directrices europeas junto a sus marcos legislativos, buscan los mismos principios comunes aplicables a una movilidad sostenible, a través de la implantación de un PMUS: dar más peso a los modos no motorizados y colectivos en detrimento del vehículo privado, reducir los elevados gastos energéticos y económicos empleados en nuestro modelo actual de movilidad y buscar en definitiva, una mejora palpable de la calidad de vida de sus ciudadanos. Se trata por tanto de volver al modelo de ciudad compacta mediterránea, en contraposición al modelo americano del urban sprawl tan extendido en los últimos años, con el fin de convertir el núcleo urbano en un espacio más ameno y “vivable”, devolviéndole la ciudad al peatón.

Los PMUS españoles actualmente cuentan con el marco estratégico y legislativo que se muestra en los apartados siguientes, distinguiendo por orden de importancia entre directrices europeas, nacionales y autonómicas. Este marco permite generar e implementar dichos instrumentos de gestión urbana con relativo éxito ya que, aunque se desarrollan los estudios técnicos pertinentes y se obtienen conclusiones y propuestas efectivas, algunos de los pactos iniciales terminan olvidándose y con ellos los propios planes.

2.1.1 Directrices europeas

Dentro de las directrices europeas, existe un buen número de ellas que de forma directa o indirecta, están relacionadas con el ámbito de la movilidad urbana sostenible y que legislan la sostenibilidad en la movilidad desde diversos puntos de vista. De toda esta documentación guía, se exponen a continuación los documentos más relevantes al respecto (López y La Paix, 2008; IDAE, 2006; FEMP, 2011):

- Directiva 1999/30/CE del Consejo relativa a los Valores Límite de Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno y Óxidos de Nitrógeno, Partículas y Plomo en el Aire Ambiente.
- Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los Valores Límites para el Benceno y el Monóxido de Carbono en el Aire Ambiente.
- Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la Evaluación de los Efectos de Determinados Planes y Programas en el Medio Ambiente (incluidos los PMUS).
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.
- Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la Calidad del Aire Ambiente y a una Atmósfera más Limpia en Europa.

Además de estas directivas europeas existen una serie de documentos que sirven para orientar a los agentes gestores del transporte y la movilidad en general, con el fin de llevar a cabo medidas que hagan de los desplazamientos una actividad segura, eficiente y sostenible (marco estratégico de actuación). Entre los documentos más destacados están:

- Comunicación de la Comisión [...] (COM{2001}31 Final). VI Programa de Acción de la Comunidad Europea en materia de Medio Ambiente. Medio Ambiente 2010: el futuro está en nuestras manos.
- Comunicación de la Comisión [...] (COM{2004}60 Final). Hacia una Estrategia Temática sobre el Medio Ambiente Urbano.
- Comunicación de la Comisión [...] (COM{2005}658 Final). Relativa a la Revisión de la Estrategia para un Desarrollo Sostenible. Plataforma de Acción.
- Libro Verde (COM{2006}105 Final). Estrategia Europea para una Energía Sostenible, Competitiva y Segura.
- Libro Verde (COM{2007}551 Final). Hacia una Nueva Cultura de la Movilidad Urbana.
- Comunicación de la Comisión [...] (COM{2009}490 Final). Plan de Acción de Movilidad Urbana.
- Libro Blanco (COM{2011}144 Final). Hoja de Ruta hacia un Espacio Único Europeo de Transporte: por una Política de Transportes Competitiva y Sostenible.
- Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo (COM{2011}856 Final). Sobre el Nivel Sonoro de los Vehículos de Motor.

2.1.2 Directrices nacionales

A día de hoy, no existe ninguna legislación estatal que regule la movilidad urbana en su conjunto. Más bien se ha de indicar que esta actividad viene regulada por una amalgama de instrumentos legales sectoriales (es decir, que cada instrumento legislativo actúa sobre un único problema derivado de la movilidad actual).

En lo que respecta a las competencias para elaborar los PMUS, hay que decir que ésta recae sobre los núcleos urbanos que, de acuerdo con la legislación existente relativa a diferentes temas y escalas espaciales, se encargan de elaborar los planes de movilidad conforme a unos criterios mínimos exigibles. Teniendo en cuenta este matiz, las directrices españolas en materia de transporte y movilidad se reducen a las siguientes:

- Ley 19/2001 sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial. Esta norma que reforma a la de 1990, tiene por objeto ordenar la circulación de vehículos por las vías urbanas españolas. Este documento le da una gran importancia a la movilidad urbana, implementando puntos que regulan la movilidad ciclista, las distancias mínimas de seguridad, el acceso equitativo a los servicios ofertados en dichos núcleos urbanos, la gestión de permisos especiales a personas con problemas graves de movilidad, la distribución equitativa de estacionamientos en la ciudad para no perjudicar a la fluidez del tráfico o las medidas para limitar esta oferta de estacionamiento mediante la rotación de los mismos entre otras iniciativas. Todo ello sin perder de vista la perspectiva de la seguridad en todos los desplazamientos.

- Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes, PEIT 2005-2020. Se aprobó por Acuerdo del Consejo de Ministros el 15 de julio de 2005 y tiene por objetivos generales *establecer un marco racional y eficiente para el sistema de transporte a medio-largo plazo*, a nivel estatal. Para conseguir este objetivo, el plan se apoya en cuatro puntos fuertes de actuación: 1) mejorar la eficiencia del sistema (a través de la participación pública, la racionalización de recursos y el aumento de los sistemas de seguridad en todos los modos de transporte), 2) fortalecer la cohesión social y territorial (garantizando un acceso universal a los servicios públicos, creando infraestructuras que mejoren la movilidad transversal y fomentando un reparto modal más equitativo entre los distintos modos de transporte motorizados), 3) contribuir a la sostenibilidad general del sistema (reduciendo las emisiones a la atmósfera de contaminantes como SO₂, NO_x, COV y NH₂ a niveles existentes en el año 1998, e integrando las distintas políticas de ordenación territorial, protección de la naturaleza y salud pública) e 4) impulsar el desarrollo económico y la competitividad (facilitando la inserción de las ciudades españolas en la red urbana europea, aumentando el presupuesto destinado a I+D+i con una rápida incorporación de resultados a la política de transporte nacional y disminuyendo la dependencia energética existente en la economía del país).

En lo que a movilidad urbana se refiere, el PEIT establece la necesidad de gestionar eficientemente la demanda de transporte en vehículo privado, disminuyéndola progresivamente (demanda per cápita) hasta dejarla en valores similares a los de 2005 (vehículos por kilómetro y habitante).

Otro dato interesante relacionado con la movilidad urbana es que se pretende garantizar la accesibilidad universal mínima a los servicios y equipamientos públicos, especialmente aquellos servicios cuyo volumen de atracción es elevado (por motivos de trabajo, ocio u otros). Además, el PEIT considera prioritario el desarrollo de PMUS en ciudades o áreas metropolitanas como algo más que meros estudios de transporte.
- Estrategia Española de Movilidad Sostenible 2009 (EEMS). Fue aprobada por Consejo de Ministros el día 30 de abril de 2009 y en ella se hace un diagnóstico general de la movilidad española; a partir de éste se engloban un conjunto de directrices y principios a escala nacional, que sirven para tener claros los objetivos a perseguir en la elaboración, entre otros, de PMUS. Concretamente, se describen 48 medidas englobadas en cinco macro-objetivos: 1) territorio, planificación del transporte e infraestructuras, 2) cambio climático y reducción de dependencia energética, 3) calidad del aire y ruido, 4) seguridad y salud y 5) gestión de la demanda. Todas estas medidas están orientadas a mejorar las deficiencias detectadas a nivel nacional en una serie de zonas denominadas “áreas prioritarias de actuación” (es decir áreas con una movilidad poco eficiente y un elevado grado de contaminación ambiental, principalmente). Un tema interesante en esta estrategia es la importancia que se le da a la necesidad de complementar de forma conjunta planificación urbanística, energética, seguridad vial y movilidad. Además, se habla de la necesidad de cambiar urgentemente las pautas actuales de movilidad, haciéndolas más sostenibles desde el punto de vista económico (visión tradicional del problema), social y ambiental; este modelo de movilidad se consigue a través de la implementación de PMUS en todos los núcleos en donde exista un servicio de transporte público colectivo, junto a PME’s (planes de movilidad a empresas).

- Ley 2/2011 de Economía Sostenible (2011). Esta ley aprobada por las Cortes Generales el día 4 de marzo de 2011, tiene por objeto la introducción de los cambios necesarios en la legislación estatal, con el fin de favorecer un desarrollo económico en el que se relacionen los atributos de economía, equidad, cohesión social y preservación ambiental. Para ello se describe un conjunto de medidas, organismos y funciones que aseguren este nuevo modelo de desarrollo y competitividad económica nacional. En lo que a la movilidad sostenible se refiere, destaca la obligatoriedad por parte de las administraciones públicas de promover políticas que preserven el derecho del ciudadano a acceder a los servicios mínimos con total garantía y seguridad, la participación ciudadana en la toma de decisiones sobre este tema y la necesidad de tener en cuenta a los modos de transporte que generan un menor coste social, ambiental y energético.
- Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 (E5). Se aprobó por Acuerdo del Consejo de Ministros el 29 de julio de 2011 y es la continuación del plan de ahorro y eficiencia energética anterior (E4, relativo al periodo 2004-2012). Este plan tiene como principal objetivo reducir en un 20% el consumo energético primario para el año 2020. Cabe destacar que de todo el consumo de energías nacional, el petróleo es el que más porcentaje de gasto supone (prácticamente el 50% del gasto total, según los escenarios de planificación energética de la Ley 2/2011 de Economía Sostenible).

Dentro del apartado de la movilidad, se presta especial interés (heredado del plan anterior) a la implementación de planes que gestionen la movilidad y planes de transporte para empresas. Así, se busca que estos resuelvan los problemas relacionados con el gasto energético del transporte en núcleos urbanos con más de 100.000 hab. y empresas que tengan plantillas superiores a 200 empleados.

- Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2013-2020. Este plan fue aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros el 28 de diciembre de 2012 y es el marco de referencia que regula el régimen de comercio de los derechos de emisión de los GEI en el periodo de vigencia del plan. El objetivo básico es reducir estas emisiones contaminantes, coordinando una política de transportes en la que se armonice la movilidad y accesibilidad, con los compromisos medioambientales adquiridos.
- Red de Ciudades por el Clima (2005). Surge gracias al Convenio de colaboración institucional entre la FEMP y el Ministerio de Medio Ambiente, el 4 de noviembre de 2004. Dicho organismo es una sección dentro de la FEMP y aglutina a todas las ciudades que quieren realizar labores de desarrollo sostenible y protección del clima, desde una óptima común de organización y actuación. Esta red actúa de dos formas: una, como foro de divulgación de experiencias entre los distintos núcleos urbanos y territorios, para intercambiar o aplicar dichas experiencias en espacios distintos; la otra vía de intervención de esta red, es servir de instrumento de apoyo técnico, administrativo... para los agentes locales, con el fin de facilitarles las herramientas para llevar a cabo su modelo local de desarrollo sostenible. Los ejes básicos de actuación de la red se resumen en 4 puntos: movilidad, edificación y planificación urbana, energía y gestión de recursos.

- **Guía Práctica para la Elaboración e Implementación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (2006).** Esta guía la elabora el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y es, igual que el documento redactado por la FEMP, un manual de referencia que orienta a cerca de cómo realizar un PMUS (esta guía se utiliza en mayor medida ya que profundiza más en la parte metodológica del diseño del PMUS que la guía de la FEMP). La metodología expuesta en este documento, describe qué tipo de estudios parciales se deben abordar en el plan, teniendo en cuenta a todos los modos de transporte (personas y mercancías). El objetivo perseguido es el de cambiar el actual peso que tiene el vehículo privado, en favor de modos más limpios y eficientes. Para ello, se plantea la planificación integral urbana y de servicios.

Aunque inicialmente este documento está pensado para aplicarlo en núcleos urbanos de más de 100.000 hab., la realidad es que desde el punto de vista administrativo y urbanístico, cada ciudad tiene sus propias características y problemática. Por ello, se recomienda la elaboración de estos planes en núcleos poblacionales con más de 50.000 hab. puesto que, según la Ley de las Bases de Régimen Local (1999), estos núcleos tienen obligación de prestar servicios de transporte público.
- **Guía de Implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (2011).** Esta guía está elaborada por la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) y es un manual de referencia que orienta acerca de los objetivos, actuaciones y método de seguimiento a realizar en la elaboración de PMUS, PME y medidas de impulso al VE. Además, se hace especial hincapié en las estrategias nacionales en vigor para fomentar el diseño de dichos instrumentos. En este documento destaca el Plan de Evaluación y Seguimiento de medidas adoptadas y el Análisis del Impacto Ambiental. El primero, es un documento que permite controlar por medio de una batería de indicadores (ambientales, modales, energéticos y socioeconómicos), el grado de aceptación que tiene cada una de las medidas puestas en marcha con estos instrumentos para, en caso de poca aceptación, poder rectificar y adoptar medidas alternativas con las que conseguir el fin deseado en cada caso. En cambio el Análisis del Impacto Ambiental, muestra el inventario energético consumido en la dinámica global de movilidad existente. Dentro de este inventario, se cuantifican los gastos energéticos y las emisiones contaminantes fruto de una movilidad insostenible. A modo informativo, se destaca en este documento la necesidad de disponer de un PMUS en un núcleo y los beneficios que éste genera en él (así esta implantación puede suponer un ahorro energético y una reducción de contaminantes atmosféricos del 10-15% con respecto al valor base previo a la implantación del plan).

2.1.3 Directrices autonómicas

En lo que respecta al marco autonómico, hay que destacar que aún no en todas las Comunidades Autónomas existe un marco político y mucho menos una legislación relativa a los PMUS. De todas las existentes, destacan por encima del resto Cataluña y el País Vasco que ya disponen de leyes de movilidad y guías metodológicas en las que se indica el procedimiento a seguir y las variables objeto de estudio a la hora de elaborar un PMUS. En suma, los principales documentos en este apartado se reducen a los siguientes:

- Ley 16/1987 de Ordenación de los Transportes Terrestres (revisión vigente desde el 6 de marzo de 2011). Este marco legislativo de origen estatal, se redacta para regular en cada Comunidad Autónoma española la ordenación en materia de transporte. En este sentido, esta norma se rige por una serie de principios generales divididos en dos grandes áreas temáticas: organización y funcionamiento del sistema de transportes y transporte de ciudadanos. Dentro de estas áreas temáticas abordadas, destacan el principio de mantenimiento de un sistema común de transporte en todo el país, la búsqueda de la satisfacción de las necesidades requeridas por la población en materia de transporte y el fomento de una óptima relación entre eficacia del sistema de transportes y la correcta utilización de los recursos disponibles. Lo más destacable de esta norma es que legisla la actividad desde todos los puntos de vista posibles (usuarios, competencias, coordinación entre administraciones, modos de transporte, permisos, seguros, derechos y deberes, costes de desplazamiento, etc.).
- Ley 11/1999 Reguladora de las Bases de Régimen Local. Esta norma actualizada a fecha de enero de 2002, dispone las competencias que les corresponden a los núcleos poblacionales españoles en función del número de habitantes residentes en cada caso. Así, las entidades locales se encargan de diseñar y organizar materias como la ordenación del tráfico vehicular y peatonal en sus vías, la disciplina urbanística, o el transporte público de viajeros (en este caso, los núcleos con una población mayor a 50.000 hab. o en aquellos casos en los que se detecte esta necesidad). Así, recae sobre estas entidades locales la tarea del diseño y ordenación de la movilidad urbana, de tal forma que mejore el acceso universal y equitativo a los servicios, disminuyendo el uso abusivo del vehículo privado. Además, dichos núcleos poblacionales deben interrelacionar urbanismo con movilidad, relación ésta indispensable en la implantación de un modelo más sostenible.
- Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid. El objetivo de esta ley es, como su nombre indica, llevar a cabo una ordenación urbanística del suelo en la región. Lo más destacado en relación a la movilidad sostenible es que, dentro del artículo 3 (Principios rectores y fines de la ordenación urbanística), se hace mención a la necesidad de asegurar una movilidad fluida, un acceso equitativo a los bienes y servicios ofertados en el área metropolitana y una correcta localización de dichos servicios urbanos (importante esta última medida porque influye enormemente en la equidad al acceso de dichos servicios y en el volumen de desplazamientos urbanos atraídos). Por otra parte, se obliga a considerar los volúmenes de tráfico generados en las urbanizaciones de nueva construcción, de cara a dotarlas de una oferta de transporte público que les satisfaga. Por tanto, en esta ley se tiene en cuenta a la movilidad en el diseño urbanístico de ciudad (algo que no es para nada una práctica habitual).

- Plan Director de Transporte Sostenible. La Política Común de Transportes en Euskadi 2002-2012. Este plan está embebido dentro del Programa Ambiental de la Comunidad Autónoma del País Vasco (2002). El plan director tiene por objetivos conseguir equilibrar la accesibilidad a los equipamientos y los desequilibrios en el transporte existentes en la región vasca, junto a la consecución de una movilidad más sostenible. Para ello se describen unas bases con las que regular la política de transporte, que permiten el cumplimiento de los objetivos generales citados anteriormente; algunas de las bases más destacadas en este sentido son la búsqueda de una accesibilidad universal, el equilibrio entre los diferentes modos de transporte existentes, la concienciación ciudadana sobre los beneficios de una movilidad sostenible, o la necesidad de discriminar entre desarrollo económico de un territorio y demanda de transporte existente en el mismo.

- Ley 9/2003 de la Movilidad en Cataluña. Esta ley pionera en Europa, se aprobó por el Parlamento catalán el día 13 de junio de 2003 y permite establecer en todo el territorio catalán unos objetivos y directrices que persiguen una movilidad sostenible en toda la región, al mismo tiempo que describen el procedimiento con el que analizar las necesidades de movilidad presentes y futuras en dicha comunidad. Los objetivos marcados en dicha ley se resumen en: integrar las políticas de desarrollo urbano y económico con las de movilidad, aprovechar al máximo los transportes colectivos, disminuir la congestión de las zonas urbanas con medidas de fomento del uso del transporte público y actuaciones disuasivas de la utilización del vehículo privado, o introducir nuevas tecnologías para ofertar un transporte más eficiente y seguro.

En lo referente a la movilidad urbana, la ley obliga a desarrollar un PMUS en aquellos núcleos poblacionales que tengan a su vez, obligatoriedad de ofertar un servicio de transporte público colectivo de viajeros, conforme a la Ley de Régimen Local (Ley 11/1999). Además, dentro de los tres primeros años de entrada en vigor del PMUS, las administraciones locales deben elaborar planes concretos para áreas industriales y disponer de una figura gestora de la movilidad en dichos espacios.

- Guía Metodológica para la Redacción de Planes Municipales de Movilidad Sostenible del Gobierno Vasco (2004). Esta guía recoge una serie de objetivos que deben perseguir los PMUS implantados en la región: poner a disposición del ciudadano alternativas al vehículo privado más eficaces y sostenibles, y convencer a los ciudadanos de la necesidad de su uso en detrimento del vehículo privado.

Para conseguir estos objetivos se crea esta guía, que permite evaluar la sostenibilidad del modelo actual de movilidad (tanto de personas como de mercancías), a través de una serie de indicadores. Además, se debe decidir qué peso hay que darle a cada modo de transporte alternativo al vehículo privado, en relación a cada motivo de desplazamiento y a las medidas a implantar según la situación y los recursos del municipio.

- Ley 6/2011 de Movilidad de la Comunidad Valenciana. Esta normativa con revisión vigente a fecha de 1 de enero de 2013, tiene por objetos: fomentar una movilidad que sea respetuosa con el medio ambiente, los recursos energéticos y la calidad del entorno urbano, sin menospreciar la seguridad vial; y regular para ello los instrumentos de planificación y los servicios de transporte público, taxi, infraestructuras de transporte y logística. Se observa por tanto en esta norma autonómica, un esfuerzo por integrar y coordinar todos los instrumentos a disposición de esta administración de cara a implantar una movilidad urbana más sostenible y eficiente. Para ello, se fomentan los desplazamientos no motorizados

(muy extendidos ya en esta comunidad), la redacción de planes de movilidad, la búsqueda de la compatibilidad del entorno con las infraestructuras de transporte ofertadas, o la regulación del transporte público (incluyendo taxis) entre otras. Además se le otorga a la Agencia Valenciana de Movilidad la potestad de gestionar todo lo relativo a esta actividad.

- Estrategia para el Desarrollo Sostenible de Extremadura (2011). Esta estrategia extremeña tiene por objetivo coordinar todas las acciones encaminadas a alcanzar el desarrollo económico y social en la región, sin perder de vista la dimensión ambiental y sostenible. Es fruto del Pacto Social y Político de Reformas para Extremadura (2009), por el que se obtienen un total de 21 acciones concretas que buscan el mencionado desarrollo regional (entre ellas se encuentra la redacción de esta estrategia de desarrollo sostenible).

En lo referente a la movilidad sostenible, se describe claramente que la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía del Gobierno de Extremadura, desarrolle actuaciones de difusión y puesta en marcha de medidas con las que se busque reducir el tráfico rodado y los niveles de contaminación atmosférica, promoviendo además el transporte colectivo (tanto inter como intraurbano).

Para conseguir estos objetivos (similares a los de cualquier PMUS), se erigen como puntos clave los trabajos iniciales encaminados al diagnóstico de la movilidad general relativa a un núcleo urbano dado y a la detección de puntos conflictivos sobre los que poder actuar posteriormente, para mejorar la calidad de los usuarios del sistema y la eficiencia en los desplazamientos. Según la bibliografía consultada, destacan como estudios parciales ineludibles, dentro del diagnóstico de la movilidad previo, los siguientes (un resumen de estos trabajos previos puede verse por ejemplo en Lalana o Rozas, 2010):

- Estudios de evaluación de la movilidad general (EMG).- En contra de lo que usualmente se suele entender (un estudio de capacidad de la red, lo cual es un error muy extendido), el EMG es un trabajo técnico que ha de contemplar además del tráfico soportado, su propio entorno para mejorarlo desde el punto de vista de la eficiencia y la seguridad en los desplazamientos (lo que viene a ser el estudio de la “vialidad”⁶ y jerarquía viarias); junto a esto, se debe considerar también el estudio del área de influencia de dicho núcleo urbano, la caracterización de los desplazamientos (demanda potencial de la red) y de los modos de transporte ofertados en este sistema, junto a la accesibilidad a los diferentes equipamientos ofertados en el mismo. De esta forma, es posible gestionar la demanda y satisfacer sus necesidades, racionalizando los recursos disponibles para ello (en contra del aumento clásico de capacidad viaria planteado como solución al problema años atrás).

⁶ Luís Santos y Juan Luís de las Rivas en 2008 describieron el término “vialidad”, utilizado con anterioridad por Ildefonso Cerdá, como el conjunto formado por el propio viario urbano, el movimiento o tránsito existente en términos espaciales y el entorno cercano a éste.

- Estudios de ocupación y diagnóstico del transporte público colectivo.- En el que se analiza el volumen diario de subidas, los perfiles tipo de los usuarios habituales y el grado de satisfacción con respecto al servicio ofertado.
- Análisis de los desplazamientos en modos no motorizados.- Identificando los itinerarios por modo de transporte, la demanda de los mismos y los motivos de desplazamiento.
- Diagnóstico del sistema de estacionamientos.- Observando su distribución a lo largo de todo el casco urbano, según tipos edificatorios y usos del suelo y extrayendo las áreas deficitarias. Además, este tipo de estudios también permiten detectar áreas puntualmente problemáticas, a través de la identificación del porcentaje de estacionamientos “ilegales” existentes en las mismas.
- Evaluación de la sostenibilidad del sistema.- Realizando estudios en los que se analicen los tres pilares del concepto de sostenibilidad: equidad, viabilidad económica y contaminación ambiental.

Todos estos estudios parciales tienen en común la obligatoriedad de presentar propuestas que reduzcan o eliminen los problemas detectados en cada caso.

La problemática de movilidad planteada anteriormente y derivada del modelo actual de ciudad, por tanto, requiere de una identificación previa de aquellos elementos que influyen en las pautas de movilidad adquiridas, junto a una detección de puntos conflictivos, cuyos problemas han de resolverse con la implantación de un PMUS. Todo ello forma parte como idea previa de investigación de la Tesis Doctoral planteada en este documento.

Con respecto a la detección de puntos conflictivos, es necesario comentar que esta investigación se centra de forma particular, en la identificación de puntos en los que la movilidad global de la ciudad presenta problemas de congestión. Así, se parte de la hipótesis de que las zonas que son problemáticas para un modo de transporte motorizado, lo va a ser igualmente para el resto de modos de transporte, dadas las características comunes a toda ciudad de tamaño medio-pequeño: jerarquía viaria muy diferenciada entre lo que son vías distribuidoras y colectoras del resto, existencia de un casco histórico cuyo origen es anterior a finales del siglo XVIII, lo que repercute en bajos niveles de servicio de sus vías (carriles estrechos de sentido único, accesos muy limitados para el vehículo privado, etc.), y existencia de itinerarios comunes para gran parte de los desplazamientos urbanos soportados por la red.

2.2 Modelización urbana

Uno de los problemas más acuciantes dentro de la movilidad urbana, consiste en entender la dinámica global de los desplazamientos y poder gestionarlos con el fin de satisfacer las necesidades de la demanda. Dentro de la dinámica global de la movilidad, destaca el creciente número de movimientos considerados obligados (es decir, aquellos que se realizan bien por trabajo, o bien por estudios); este incremento de flujos obligados, surge de la unión de todas las características y elementos descritos anteriormente.

Para tener una visión general a cerca de las pautas de movilidad globales en cualquier área metropolitana y por ende, en las ciudades de tamaño medio, se vienen utilizando en los últimos años técnicas de modelización urbana, con las que los agentes públicos y privados toman decisiones más ajustadas a la realidad. Así, se minimizan los costes derivados de cualquier acción concreta efectuada sobre la oferta o la demanda del sistema urbano. Con este tipo de técnicas, no solo se acomete un problema puntual con la máxima eficiencia, sino que además permite predecir cambios partiendo de unas situaciones iniciales, que pueden ser o no reales.

La modelización en general ha de cumplir las siguientes condiciones (Felicísimo, 1994): debe ser una representación simplificada de la realidad; ha de permitirse la variación de las condiciones del entorno de modelización al que éste hace referencia, con el fin de llevar a cabo tareas de simulación; y los resultados obtenidos tras dicha simulación, han de ofrecer una respuesta similar a la que se obtendría en la realidad, siendo esta última una respuesta previamente observada y conocida.

La representación simplificada de la realidad, consiste en transformar la parte de ella que resulta más interesante para el análisis a través de un conjunto de componentes. Esta representación ha de tener muy en cuenta las escalas espaciales y temporales, utilizando aquellas que permitan identificar claramente los elementos del modelo y la información derivada de los procesos realizados con el mismo. Además, es necesaria la posibilidad de simular y replicar eventos para analizar cómo repercuten los cambios de alguna variable del sistema (variables o parámetros de entrada) en los resultados finales del proceso (generación de escenarios). Estos resultados han de ofrecer una respuesta C' tal, que sea muy similar a la respuesta conocida y observada en la realidad (respuesta C). De esta forma, el modelador se asegura que el modelo diseñado es "efectivo" y ofrece una respuesta "ajustada" a la realidad que analiza (De Cea et al., 2003).

Un modelo correctamente diseñado ha de ofrecer soluciones extrapolables a la realidad que representan. De esta forma, si se obtiene en la experimentación que la incorporación de un nuevo puente mejora las condiciones de tráfico en otras vías cercanas que sufrían fenómenos de congestión, la implementación de ese puente debería ser una opción factible y posible de realizar en la realidad y los resultados esperados deberían ser similares a los obtenidos con la ejecución del modelo⁷.

⁷ Esta capacidad de extrapolación de la información analizada con el modelo a la realidad, recibe el nombre de "relación reversible o simétrica".

Teniendo en cuenta las pautas básicas abordadas anteriormente para mejorar la movilidad urbana en las ciudades medias, diversos investigadores afrontan el diseño de modelos de gestión del tráfico (Gentile et al., 2007; Sundaram et al., 2011; Ben-Akiva et al., 2012; Watling et al., 2012; Peer et al., 2012; entre otros) para fines tan diversos como la modelización de la asignación dinámica de tráfico a la red teniendo en cuenta los efectos de colas y desbordamientos, los SIT y las variaciones puntuales del sistema, la modelización de redes urbanas muy congestionadas con vistas a la predicción de flujos existentes, la influencia de actuaciones puntuales en la reducción de capacidad de la red, o el análisis del grado de variabilidad de los tiempos de viaje en función de la capacidad (incluso con reducciones puntuales de la misma) y la demanda existentes en una red viaria respectivamente, entre otras muchas aplicaciones. Este tipo de modelos consisten básicamente en simular la dinámica global del tráfico en una ciudad para predecir el comportamiento de los usuarios ante cambios puntuales de parte de dicho sistema. Para ello utilizan funciones que relacionan la capacidad o nivel de servicio de cada tramo, el tiempo de viaje requerido para realizar cada ruta concreta y la demanda existente para dichos desplazamientos. La bondad de este tipo de modelos radica en que con estas simulaciones, los agentes gestores de la movilidad pueden predecir con gran exactitud cómo se va a desplazar dicha demanda urbana y anticiparse a los posibles problemas derivados sin necesidad de que estos ocurran en la realidad (De Cea et al., 2003), lo que mejora enormemente la toma de decisiones. Además, dichos modelos tienen en cuenta los comportamientos de elección de los usuarios y los costes generalizados de los viajes (Ortúzar y Román, 2003), como se muestra más adelante.

Dentro de la gran variedad de técnicas de modelización existentes, se ha optado tradicionalmente por los “matemáticos” a la hora de diseñar modelos de transporte (o de planificación del transporte, son aquellos destinados a la gestión del tráfico). Éstos se caracterizan por la representación de la realidad mediante expresiones matemáticas, basadas en el uso de una función objetivo a la que hay que minimizar para obtener el resultado apropiado en cada caso. Este tipo de simulaciones han cobrado mucha importancia en los últimos cuarenta años (Loterio, 2010) y prácticamente han sido abordados en su totalidad por la ingeniería del transporte (de ahí el enfoque matemático actual y las aplicaciones utilizadas para ello).

La ingeniería del transporte normalmente se ha apoyado en el modelo de “cuatro etapas” a la hora de afrontar este tipo de problemas. Este enfoque tradicional y determinista, fruto de la experiencia adquirida durante los años 50 y 60 del siglo pasado, identifica claramente cuatro ítems a responder por parte del modelador y también del usuario que, de forma secuencial y ordenada, va respondiéndose dichos ítems cada vez que decide realizar un viaje en el que minimice sus costes de desplazamiento (económicos, monetarios o ambos). Estos ítems son (Ortúzar y Willumsen, 2008):

- **Generación:** se identifica el número de viajes que se pueden generar y atraer para cada una de las zonas en las que se divide el área de estudio.
- **Distribución zonal:** se describe la distribución de viajes entre las distintas zonas objeto de análisis (determinación de zonas origen/destino y número de viajes entre ambas). El resultado de este apartado es disponer de una matriz de viajes (matriz O/D) en donde, para cada par origen-destino se recuenta el número de viajes existentes.
- **Distribución modal:** se distribuyen el total de viajes que se producen entre las zonas analizadas por modo de transporte utilizado.
- **Asignación:** se representa la repartición del total de flujos entre toda la red viaria relativa al área de estudio para cada par O/D, teniendo en cuenta las características de dicha red.

Independientemente del tipo de modelo a diseñar, una parte importantísima es la cartografía base sobre la que se sustenta toda la información atributiva, tanto de la demanda estimada como de la oferta existente relacionada con los análisis de movilidad. Ésta, suele ser de dos tipos: “puntos”, que representan a los diferentes orígenes y destinos potenciales de una ciudad y “líneas”, que representan la red de transportes existente en ella (red viaria); estas líneas a su vez suelen estar divididas en tramos, con el fin de obtener parámetros de costes más ajustados a la realidad (Gómez, 2005). Tanto puntos como líneas, guardan información útil relacionada con el volumen de viajes generados/atraídos, la longitud y velocidad máxima de paso por cada tramo⁸ (en función a su vez del modo de transporte utilizado en cada caso), las funciones flujo-coste o el nivel de servicio y costes derivados de atravesarlos (monetarios o de tiempo principalmente), para acceder a uno u otro destino (Cortínez y Domínguez, 2010).

En general, los modelos de planificación representan situaciones reales relativas a una o varias de las etapas clásicas citadas anteriormente (modelos parciales o generales), con las que se responden a cada ítem en cuestión. En el caso del modelo de cuatro etapas, toma como información de entrada la demanda de transporte existente en una ciudad (submodelo de generación); el resultado extraído de la primera etapa (salidas del modelo) pasa como información de entrada en la etapa siguiente (distribución). Aunque este parece un modelo de fácil comprensión y diseño, con el que se ofrecen en principio buenos resultados, Ortúzar y Willumsen recogen algunas críticas relacionadas con la secuencia ordenada utilizada por el mismo, argumentando que las decisiones tomadas por un usuario a la hora de realizar un viaje determinado no siempre siguen esta secuencia de generación-distribución-reparto modal-asignación. A esto se le añade el hecho de que este modelo no tiene en cuenta una gama más amplia de comportamientos seguidos por los usuarios a la hora de desplazarse cuando surgen problemas puntuales en la ruta habitualmente utilizada para dicho desplazamiento (por ejemplo que se produzca congestión en una parte de dicho itinerario); así, estos cambios puntuales pueden hacer que un usuario cambie su recorrido, modo de desplazamiento, hora de salida o incluso el destino para acceder a un mismo bien o servicio. Por este motivo, no es ya inusual que comiencen a surgir cada vez más avances en la modelización que busca unificar varias de estas etapas en un único paso, a través de la generación de una única función objetivo o de utilidad a minimizar (Zargari et al., 2009).

⁸ Según autores como Gómez, 2005 se suele dividir el entramado urbano lineal en segmentos llamados “tramos”. Estos, están limitados por puntos inicio y final en donde se localizan cruces entre vías o puntos inicio-final de recorridos. Esta partición permite precisar más los costes de desplazamiento.

Sin menospreciar críticas al modelo de cuatro etapas como las recogidas anteriormente, este sí puede ser útil para organizar ciertas tareas y realizar un seguimiento en el diseño de modelos que no utilizan programación secuencial, ya que los resultados obtenidos en cada caso no se pierden entre un paso y otro y son controlados por el planificador de transporte. Además, es un esquema que facilita el uso de este tipo de herramientas por personas que no están muy especializadas en este ámbito científico (y que van a tener que trabajar con ellas para gestionar información derivada de los PMUS). Es por ello que dicho modelo ha perdurado hasta nuestros días y aún hoy sigue utilizándose en la modelización del transporte.

Dentro de los modelos de transporte en general existen diversos métodos de clasificación, atendiendo al nivel de precisión y agregación de la información con la que trabajan, a la necesidad de tener en cuenta o no el fenómeno de congestión en la red, si se considera cierto grado de incertidumbre en las variables que intervienen en la modelización, o el problema que abordan en cada caso, etc. (Gómez, 2005). Una de las más extendidas en la bibliografía y que nos resulta muy apropiada para este trabajo, distingue a los modelos en función de si permiten simular procesos, teniendo en cuenta cambios en el sistema (Peeta y Ziliaskopoulos, 2001). Así, se distinguen modelos estáticos de dinámicos. Los primeros, son típicos de la década de los años 60 del siglo pasado y modelizan una parte de la realidad urbana en un momento concreto. Sería similar a una fotografía tomada con una cámara (analiza el sistema urbano en un instante y por tanto, no permite la simulación de procesos). Sin embargo, el segundo tipo de modelos (dinámicos) sí permiten simular procesos y cambios en los flujos de tráfico del sistema ante variaciones puntuales del mismo (como es el caso de una demanda de viajeros o una oferta de la red, cambiantes ambos a lo largo del tiempo). Así, cada cambio de una o varias variables independientes generan un “escenario” determinado sobre el que el modelo devuelve un resultado dado. Los modelos dinámicos comenzaron a proliferar a partir de la década de los años 70 del siglo pasado. Hoy en día aún siguen utilizándose ya que se los considera una herramienta óptima para este tipo de estudios.

Por otra parte, los modelos dinámicos se pueden clasificar en dos tipos, atendiendo al modo de cargar los flujos a la red: 1) analíticos, basados en la búsqueda de la optimización de una formulación matemática determinada para asignar flujos a una red relativos a un mismo par O/D, y 2) los modelos basados en la simulación, que tienen en cuenta las experiencias reales adquiridas por los usuarios del sistema en lo que a carga de flujos en la red se refiere (es decir, tratan de replicar la verdadera dinámica del tráfico en una ciudad, sin tener tanto en cuenta las propiedades matemáticas de la formulación ni las de la solución obtenida, cosa que sí tienen en cuenta los modelos analíticos). Estos métodos de carga se basan en mayor medida en métodos prácticos (Szeto y Lo, 2006). De esta forma, aunque los modelos basados en la simulación requieren un trabajo de campo quizás más exhaustivo, son más intuitivos que los analíticos y más fáciles de diseñar por gestores menos especializados.

A su vez, dentro de los modelos dinámicos de simulación se pueden distinguir tres tipos según el grado de detalle con el que estos trabajan para predecir dinámicas de movilidad (Juran et al., 2009): por un lado están los modelos macroscópicos (tipo 1), que describen el tráfico de un grupo de usuarios con características socioeconómicas similares y un alto nivel de agregación, es decir, trabajan con datos que representan a un grupo de usuarios determinado (a mayor representación por dato, mayor nivel de agregación del modelo). Se da por tanto más peso a la dinámica global de la movilidad que a las singularidades; por otro lado están los modelos mesoscópicos (tipo 2), que tratan los flujos de los usuarios de una forma desagregada (teniendo en cuenta cada viaje de forma singular y mostrando un nivel de agregación intermedio entre los modelos tipo 1 y 3) y sin llegar a considerar detalles como la probabilidad que tiene un vehículo de cambiarse de carril en un tramo, o el tiempo medio de parada en hileras de tráfico; y finalmente están los modelos microscópicos (tipo 3), que utilizan datos con mucho detalle sobre los desplazamientos realizados en la ciudad y se basan en reglas estocásticas⁹ (éstas se apoyan a su vez en la probabilidad que existe de que un individuo elija una ruta u otra en función de una serie de variables conocidas).

Con respecto a las investigaciones y aplicaciones llevadas a cabo en los últimos treinta años para abordar cada uno de los ítems propios del modelo tradicional de cuatro etapas, destacan aquellas líneas encaminadas a resolver el proceso de la asignación de viajes a las rutas consideradas óptimas. Estos se basan en identificar la demanda existente del sistema por un lado y en asignar los viajes producidos por esta a una o varias rutas óptimas del conjunto viario global, atendiendo a unas características de configuración de la red determinadas. Esto es lo que se conoce como estimación del modelo de oferta y demanda del sistema en cuestión (Cascetta y Cantarella, 1993). Gran parte de los diseños realizados tienen en cuenta un cierto nivel de agregación en la demanda (paquetes), por la que se agrupan usuarios que muestran las mismas pautas de comportamiento a la hora de elegir una ruta. Estas pautas se suelen implementar en el modelo a través de probabilidades de elección de ruta en función de las características de la red; por otro lado, el comportamiento de los usuarios se mide a través de los flujos que se asignan en cada tramo de la red, en función de sus propias experiencias adquiridas a lo largo del tiempo (Long et al., 2011).

En este sentido, destacan los modelos de simulación basados en la asignación dinámica de los flujos de tráfico o modelos “DTA”. Este tipo de modelos permiten simular las dinámicas de movilidad existentes en un sistema determinado, ya sea interurbano o urbano, ante cambios de algunas variables iniciales que influyen en esta dinámica. Estos modelos de asignación muestran un grado muy elevado de ajuste con respecto a los movimientos que se producen en la realidad objeto de estudio, porque predicen los flujos y su carga en la red teniendo en cuenta el volumen de desplazamientos de forma discreta a nivel de individuo (muestra expandida) y las interacciones entre vehículos. Otra ventaja añadida es que permiten evaluar las distintas estrategias de gestión y ver sus repercusiones en la dinámica global del sistema. Por el contrario, se detectan dos problemas principales en este tipo de modelos (Ran et al., 1992; Nie, 2010; Ben-Akiva et al., 2012): la eficiencia computacional a la hora de ejecutar el modelo y cómo replicar la congestión de una red de forma realista.

⁹ El término estocástico hace mención a la aleatoriedad del mismo a lo largo del tiempo.

A grandes rasgos, los modelos de simulación DTA consisten en la aplicación de dos métodos:

- El primer método calcula los intervalos de flujo que atraviesan cada ruta de la red, teniendo en cuenta las variaciones existentes a lo largo del tiempo y los distintos niveles de servicio que ofrece cada tramo. Esto es lo que en la bibliografía recibe el nombre de “modelo de demanda”. Este modelo de demanda no solo estima los flujos para cada par O/D y las decisiones de los conductores, sino también se agregan dichos flujos a nivel de vehículo (llamados paquetes). Esta demanda resultante es agregada como dato de entrada al modelo de oferta posterior.
- El segundo método carga el flujo de la red objeto de estudio, teniendo en cuenta aquellos elementos que determinan la configuración de la misma y la variación de dicha configuración a lo largo del tiempo. Esto es lo que se conoce como “modelo de oferta” y simula la relación existente entre la demanda y la red del sistema, es decir, asigna a cada ruta elegida como óptima por sus características, un volumen de tráfico determinado para cada par O/D.

En este tipo de modelos, normalmente se suelen utilizar como variables independientes los flujos realizados por los usuarios en cada par O/D, las características propias de cada arco de la red como longitud, velocidad y capacidad, el coste temporal o monetario de atravesar cada ruta, junto a otras variables que indirectamente permiten estimar el número de viajes a realizar en cada zona de la ciudad: renta y tipo de hogares, población, tipos de centros de actividad y densidad de empleo, etc. (Matas, 1991; Hernández, 2006; Lema y Pedreira, 2009; Cardozo et al., 2010).

En lo que respecta al resultado final de la asignación del modelo, cabe destacar que la mayor parte de la bibliografía consultada tiene en cuenta el llamado equilibrio del usuario (UE) a la hora de valorar la asignación inicial de los flujos a la red (Wen-Long, 2007). A grandes rasgos, el UE de un sistema o modelo consiste en asegurarse que todos los usuarios que utilizan cada una de las rutas para desplazarse desde un origen a sus respectivos destinos, están asignados dentro del sistema. En otras palabras, que el sumatorio de todos los viajes generados es igual al sumatorio de todos los viajes atraídos. Además, este equilibrio tiene relación con el primer principio planteado por Wardrop (1952), por el que se llega al acuerdo de que cualquier usuario del sistema va a utilizar siempre la ruta que le proporcione unos costes de desplazamiento menores.

Una de las cuestiones que más llama la atención de las referencias consultadas sobre este ámbito de trabajo, es el hecho de que no proliferan estudios donde se utilicen aplicaciones SIG y bases de datos relacionales, para diseñar modelos de transporte que analicen o predigan flujos de tráfico y tiempos de viaje en cada par O/D, teniendo en cuenta que éstas cobran un papel fundamental en los últimos años en gran parte de los trabajos de investigación relacionados con el análisis del transporte en general (Seguí y Martínez, 2003). Este tipo de aplicaciones parten de la identificación de rutas óptimas en la red (Chen et al., 2011), para posteriormente obtener resultados al respecto más entendibles y sencillos de gestionar, relacionando estas variables con la localización geográfica (Cardozo et al., 2010). Otro punto fuerte del uso de estas aplicaciones, es que se puede trabajar con información complementaria lo que favorece la gestión conjunta de información derivada de proyectos tales como los PMUS. Una tercera potencialidad de este tipo de entornos es que trabajan con la topología de la red, es decir, con los atributos acerca de cómo están conectados los arcos y nodos de la misma, cuáles son sus

sentidos de circulación o qué restricciones de acceso tienen. Este hecho, mejora sin duda la exactitud de las predicciones en este tipo de modelos (Mejías et al., 2010). Finalmente, es una cuestión muy a tener en cuenta el hecho de que este tipo de aplicaciones requieren un menor grado de especialización humana y los costes de implementación se reducen considerablemente con respecto a programas más específicos de gestión de tráfico.

En este sentido, es de destacar que aunque comienzan actualmente a aparecer diseños que utilizan este tipo de aplicaciones, las referencias al respecto son aún escasas (Mora et al., 2003; Chen et al., 2011; Gutiérrez Puebla et al., 2008 y 2011; Cardozo et al., 2012; Scott y He, 2012; García-Palomares et al., 2012), relacionadas con la demanda de usuarios que acceden a diversos servicios y equipamientos (acceso a estaciones de metro, préstamo de bicicletas, localización de servicios, etc.). Lo más destacado de estos trabajos, es que parten de información obtenida en campo por medio de encuestas y aforos de tráfico (Ibeas et al., 2007), para posteriormente diseñar y ajustar un modelo concreto basándose en las variables previamente recogidas. Destaca en este tipo de estudios los modelos de regresión ponderado por funciones de distancia de decaimiento (*distance-decay functions*), que tienen en cuenta un potencial de acceso menor al bien cuanto mayor sea la distancia a la que dicha población se encuentra con respecto al mismo (Gutiérrez Puebla et al., 2011). Este tipo de procesos de modelización resultan más efectivos que otros como el modelo de cuatro etapas, porque elevan el grado de exactitud de las predicciones en escalas locales en contra de los segundos, diseñados para predicciones a escala regional.

En cualquier caso, este tipo de estudios parten en la mayor parte de los casos de información obtenida directamente en campo, a través de encuestas y aforos relativos a un día habitual o al día anterior a la encuesta (Gutiérrez Puebla, 1985; Ibeas, 2007) con la que diseñar el modelo que mejor predice las pautas globales de movilidad observadas. Teniendo en cuenta todas estas aportaciones, se ofrece en este trabajo un diseño metodológico sobre el que implementar datos procedentes de PMUS y gestionar la dinámica global de movilidad urbana en una ciudad de tamaño medio, haciendo uso de las aplicaciones SIG y de bases de datos relacionales, evitando aplicaciones y modelos mucho más complejos.

3. CUESTIONES DE INVESTIGACIÓN

Atendiendo a los problemas inherentes a la movilidad tratados anteriormente, se plantea una batería de cuestiones propias de la investigación que han de ser comprobadas en este estudio y que indirectamente, llevarán a la consecución de los objetivos planteados en la misma. Cada una de estas preguntas está a su vez clasificada en distintas áreas temáticas. De esta forma los planteamientos a considerar son los siguientes:

Movilidad general

¿Influye el género, la edad y la localización de los individuos en el modo de desplazamiento?

¿Qué relación existe entre el uso del transporte privado y público?

¿Qué motivos de desplazamiento son mayoritarios en las horas de máxima ocupación de la red?

¿Existe algún patrón horario en la ciudad en lo que respecta a los motivos de desplazamiento?

¿Existe igualmente algún patrón horario en la ciudad en lo que respecta a los modos de desplazamiento?

Aforado urbano

¿Existen intersecciones problemáticas desde el punto de vista de su capacidad?

¿Existen rutas alternativas de desplazamiento que eviten pasar por intersecciones congestionadas?

¿Existen diferencias significativas en los tiempos de desplazamiento entre los periodos de hora punta y valle en la red urbana?

Transporte público

¿Cuál es el perfil tipo de los usuarios que habitualmente utilizan el autobús urbano?

¿Existe algún grado de fidelización por parte de los usuarios del autobús urbano?

¿Cuál es el grado de ocupación que tiene el servicio de autobús urbano de Mérida?

El autobús urbano, ¿es un servicio accesible para toda la población emeritense?

¿El uso del servicio de autobús urbano está condicionado por el tiempo de recorrido de las líneas?

Modelo de asignación

¿La desagregación de la población a nivel de eje de calle mejora el grado de exactitud del modelo de asignación?

¿Ofrece un buen ajuste el método de asignación “todo o nada” en redes como la analizada en esta investigación?

¿Se puede implementar un modelo de asignación haciendo uso de un sistema de información geográfica de propósito general?

4. ÁREA DE ESTUDIO

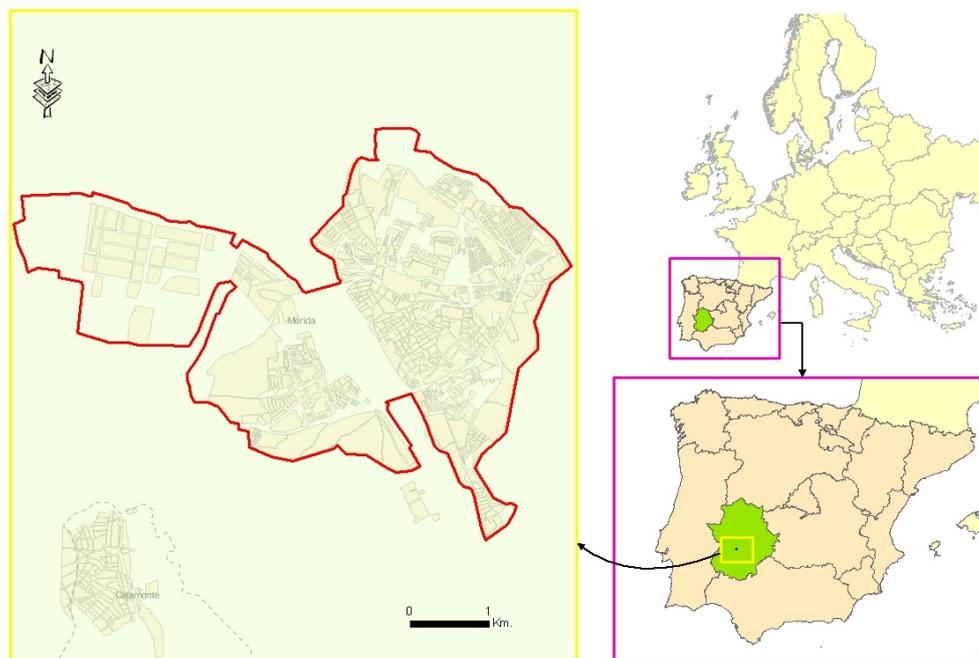
4.1 Descripción geográfica

El marco de trabajo de esta Tesis Doctoral se centra en el casco urbano de Mérida, la capital autonómica de Extremadura (España). Mérida es una ciudad española de tamaño medio, situada al norte de la provincia de Badajoz, en el centro de la región extremeña y cuya altitud media sobre el nivel del mar es de 219 m (sus coordenadas geográficas son: 38° 55´ latitud norte y 6° 20´ longitud oeste).

El término municipal de Mérida cuenta con una superficie de 866 Km² (La Caixa, 2011) de los cuales aproximadamente 16,24 Km² pertenecen al casco urbano de dicho núcleo poblacional. Además, cuenta con una población residente en el término municipal de 57.797 habitantes, de los cuales residen en el casco urbano un total de 56.226 habitantes (INE, 2011); esto supone una densidad de población en el término municipal de 66,7 hab/Km² e indica que el 97,3% de la población residente lo hace en la propia ciudad (Figura 2).

En cuanto a sus fronteras administrativas, Mérida limita al norte con Carrascalejo, al sur con Don Álvaro y Calamonte, al este con San Pedro de Mérida y al oeste con La Garrovilla.

Figura 2. Localización de Mérida



Fuente. *Elaboración propia.*

En esta ciudad confluyen una serie de factores, tanto de índole físicos como humanos, muy a tener en cuenta para comprender su dinámica de movilidad urbana analizada a lo largo de esta Tesis. Estos, se pueden resumir en:

- Factores físicos: por su localización geográfica, la ciudad presenta dos efectos barrera importantes: los ríos Guadiana y Albarregas. Estos dividen a la ciudad en este-oeste (río Guadiana) y en norte-sur (río Albarregas). Para poder sobrepasar dichos accidentes naturales, la ciudad cuenta con cuatro puentes (dos abiertos al tráfico motorizado, uno restringido al uso peatonal y un cuarto restringido al ferrocarril) que encauzan enormemente el tráfico.

- Factores humanos: derivados estos de las continuas modificaciones del medio por parte del hombre, destacan:
 - La ciudad cuenta con una infraestructura férrea que sigue una orientación similar a la del río Albarregas (es decir, sirve de elemento de división urbana en sentido norte-sur) y que ayuda a constreñir más si cabe el flujo de usuarios desde una zona a otra de la ciudad.
 - Presenta una trama urbana herencia de su pasado histórico con vestigios romanos, árabes y cristianos. Muestra de ello es su declaración como Conjunto Arqueológico y Ciudad Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año 1993. El resultado de esta herencia es un casco urbano central con una red viaria muy irregular, cuya capacidad es muy baja para soportar volúmenes de tráfico de cierto calado (muchas de estas vías disponen de un único sentido de circulación o en el mejor de los casos, doble sentido de circulación con un único carril por sentido), ya que fueron concebidas para otras necesidades históricas.
 - Al punto anterior se le suma el rol de capital autonómica que ejerce la ciudad, concentrando en su casco urbano numerosas sedes pertenecientes a la administración regional (además de las propias locales), junto a otros aprovechamientos de diversa índole (hospital, centros educativos de niveles medio-alto, ocio, centros comerciales, etc.). Esto atrae a un volumen de población externa cercano a los 5.000 usuarios/día que se añade a la ya creciente población residente de la ciudad. Todos estos usos y aprovechamientos conviven con el rol turístico que soporta la ciudad, justificado en el punto anterior, lo que complica más si cabe la movilidad urbana existente.
 - Mérida se ha sumado en los últimos años a la moda tan extendida del diseño de *ciudad difusa*, en donde predominan la zonificación de usos y ubicación de estos en las áreas de extrarradio, o incluso en los núcleos poblacionales limítrofes (uso residencial, industrial y ocio); esto prácticamente obliga a un uso mayoritario de modos de transporte motorizados. A esto se le añade el estatus que la sociedad actual le da a la posesión del vehículo privado (con el consiguiente recelo hacia otros modos de transportes como los colectivos, la bicicleta o el desplazamiento peatonal) y los hábitos de desplazamientos que vamos adquiriendo con el tiempo en función de nuestras necesidades. Esto ha dado lugar a un progresivo aumento del parque automovilístico cuya presión urbana resulta a día de hoy cuanto menos preocupante. También se ha visto incrementada exponencialmente la demanda de movilidad de los emeritenses y de quienes vienen diaria u ocasionalmente a la ciudad.

- Por otro lado, esta ciudad extremeña, como cualquier otra, tiene su propio ritmo urbano. Así, a determinadas horas (coincidentes con las entradas-salidas del trabajo, comercio, centros educativos y administración regional/local) la ciudad ve incrementados sus volúmenes de desplazamiento, cuyos orígenes o destinos son el centro histórico por ser este el principal enclave de servicios y centros administrativos de la ciudad.

La unión de todos estos factores da como resultado el aumento de problemas como la falta de estacionamientos en la vía pública (que conlleva además un aumento del llamado tráfico de agitación¹⁰ en las mismas) y los fenómenos derivados de la congestión vehicular (inseguridad en los desplazamientos, aumento del estrés en los usuarios, mayores costes económicos y de tiempo, incremento de la contaminación ambiental que perjudica enormemente la salud de los usuarios y el patrimonio arquitectónico protegido de ciudades como Mérida, etc.), que caracterizan a este espacio urbano.

Además, un análisis realista de todos los factores que inciden en la movilidad de la ciudad no puede pasar por alto el problema de la disciplina circulatoria y la seguridad vial. Considerando que es mejor la prevención y la disuasión que el ejercicio de la actividad sancionadora para mejorar los hábitos de circulación, se ha de reconocer que el personal de la Policía Local y los Agentes de Movilidad destinados a la regulación del tráfico aún es insuficiente para atender las necesidades de la ciudad, especialmente en infracciones circulatorias como la doble fila, el estacionamiento en espacios no autorizados, la carga/descarga y la vigilancia en las distintas zonas de la misma.

Por otra parte, la localización estratégica de Mérida le hacen estar cerca de los principales núcleos de la región, destacando a las dos capitales de provincia de las que prácticamente equidista (está a 62 km al este de Badajoz y a 70 km al sur de Cáceres). Además, por este área urbana cruzan dos vías importantísimas a escala nacional y regional como son la autovía A-5 que une Lisboa con Madrid y la autovía A-66 Ruta de la Plata que une Sevilla con Gijón; a esto se le añade el hecho de contar con una infraestructura férrea que, aunque actualmente está en bastante desuso, permite conectar a la ciudad con las capitales provinciales y con la región urbana de Don Benito-Villanueva de la Serena (núcleos estos últimos destacados en la región extremeña desde el punto de vista socioeconómico); dicha infraestructura férrea también conecta a Mérida con Lisboa y Madrid. Todo ello le confiere a Mérida un atractivo socioeconómico muy importante que se ve acrecentado por los roles de ciudad administrativa y ciudad turística.

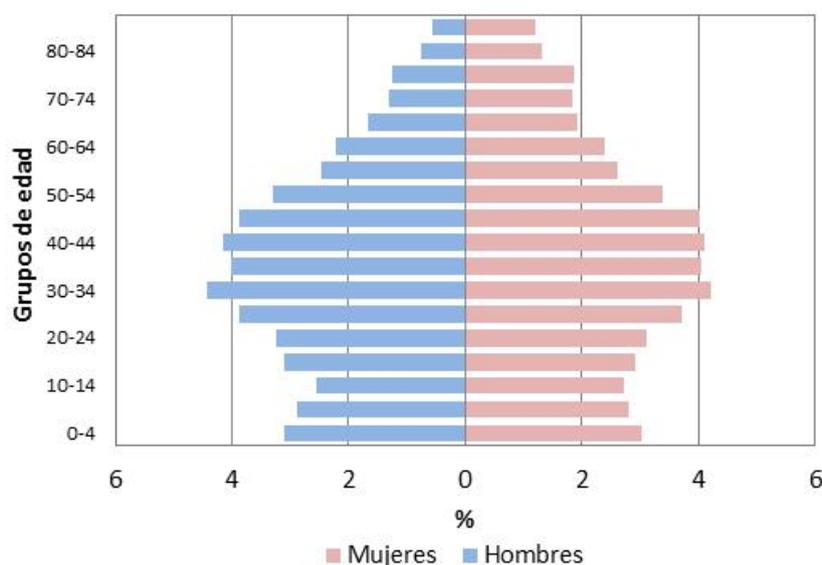
La gran extensión de este término municipal da lugar a que converjan en él una gran variedad de aprovechamientos y espacios, tanto naturales como antrópicos, que le confieren un encanto especial más allá del conjunto arquitectónico de la ciudad. Así, en esta gran extensión se pueden encontrar humedales (ríos, arroyos, lagos y embalses) que conviven en perfecta armonía con áreas medianamente escarpadas (Sierra Bermeja o Sierra del Moro) y las típicas zonas adhesionadas, explotaciones de secano y grandes extensiones de pastizales del centro-sur extremeño. La causa de todo esto es la gran biodiversidad existente en la zona, tanto faunística como vegetal, enmarcada por el

¹⁰ Según estudios como el de Sánchez y Sánchez en 2008, se define el tráfico de búsqueda o agitación como aquel *creado por los vehículos que no tienen por un tiempo indefinido un destino cierto; es decir, el formado por aquellos que se encuentran en situación de búsqueda de aparcamiento.*

bosque mediterráneo de pastizal y encinas salpicadas por matorrales de jara y romero. Muestra de esta riqueza natural son los espacios protegidos del Parque Natural de Cornalvo y la zona ZEPA de dicho embalse y Sierra Bermeja.

En lo referente a las características socioeconómicas de Mérida, decir que aunque la estructura de la población muestra cierto envejecimiento de la misma, si se atiende a las tasas de natalidad (14,07‰ de Mérida frente al 10,42‰ nacional), fecundidad (48,83‰, frente al 39,11‰ nacional), juventud (17,07% de Mérida, frente al 10,39% nacional), o a la propia base de la pirámide poblacional (Figura 3), se observa cierta recuperación demográfica. Muestra de ello son además los porcentajes de variación poblacional extraídos del anuario estadístico de La Caixa, donde se detecta una variación poblacional cercana al 6,6% en términos positivos, la cual es muy superior a la variación registrada a nivel provincial y regional. No obstante, el crecimiento medio anual es más modesto, en torno al 1,8%.

Figura 3. Estructura de la población en el año 2010



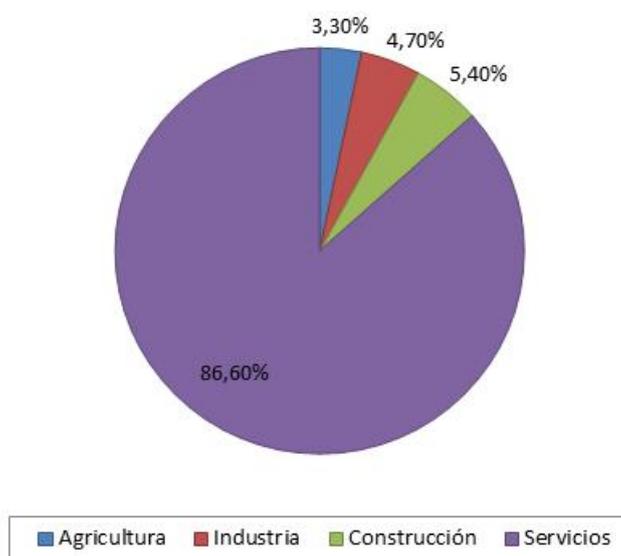
Fuente. Padrón municipal de habitantes del año 2010.

Este incremento poblacional se explica entre otras cosas, por el gran número de jóvenes que fijan su residencia en la ciudad, gracias al gran desarrollo urbanístico acaecido en los últimos años y a las oportunidades laborales que dicha población encuentra en la misma.

En relación a las características económicas de la ciudad, esta se caracteriza por una tasa de actividad (57,8%) superior a la media nacional (54,9%), regional (51%) y provincial (52,6%). A esto se ha de unir el hecho de que la población no ocupada en edad activa presenta una buena cualificación y un nivel educativo medio-alto (un 28,54% de la población emeritense en edad activa no ocupada presenta estudios de bachillerato o superiores, lo que supone un 3,53% más que la media provincial y un 2,77% que la regional según datos del SEXPE). No obstante, la población demandante de empleo no está muy por encima de la media nacional (con un 12,8% de la población emeritense frente al 8,7% de la población española).

La actividad económica de la ciudad está basada en su mayor parte en el sector servicios, fruto de las propias necesidades de su población por ser el centro administrativo de la Comunidad Autónoma de Extremadura y por el interés turístico que suscita (Figura 4). En lo relativo a las actividades comerciales mayoristas, destacan sobremanera aquellas relacionadas con las materias primas agropecuarias y la alimentación (con un 43,4% del total de actividades comerciales), seguida muy de lejos por actividades comerciales al por mayor interindustriales y las actividades de comercio duradero (con un 18,4% y 18,3% respectivamente). En cuanto a las actividades comerciales minoristas, destacan aquellas destinadas a productos no alimenticios y dedicados al hogar, con más de un 75% del total de actividades comerciales minoristas emeritenses.

Figura 4. Distribución de trabajadores por sector de actividad en Mérida



Fuente. Atlas de la vivienda 2008, Ministerio de Fomento.

Otro sector económico importante en la ciudad es el turístico gracias a su conjunto arquitectónico singular y al enclave de diversos BIC como el Museo Nacional de Arte Romano o el Teatro Romano entre otros. Todo ello atrae a una importante afluencia de turistas que aprovechan los periodos vacacionales y/o los fines de semana para disfrutar de sus monumentos. Para abastecer esta demanda turística, la ciudad ha venido ofertando una amplia gama de establecimientos hoteleros y de restauración que sin duda le ha supuesto una fuente de ingresos nada desdeñable.

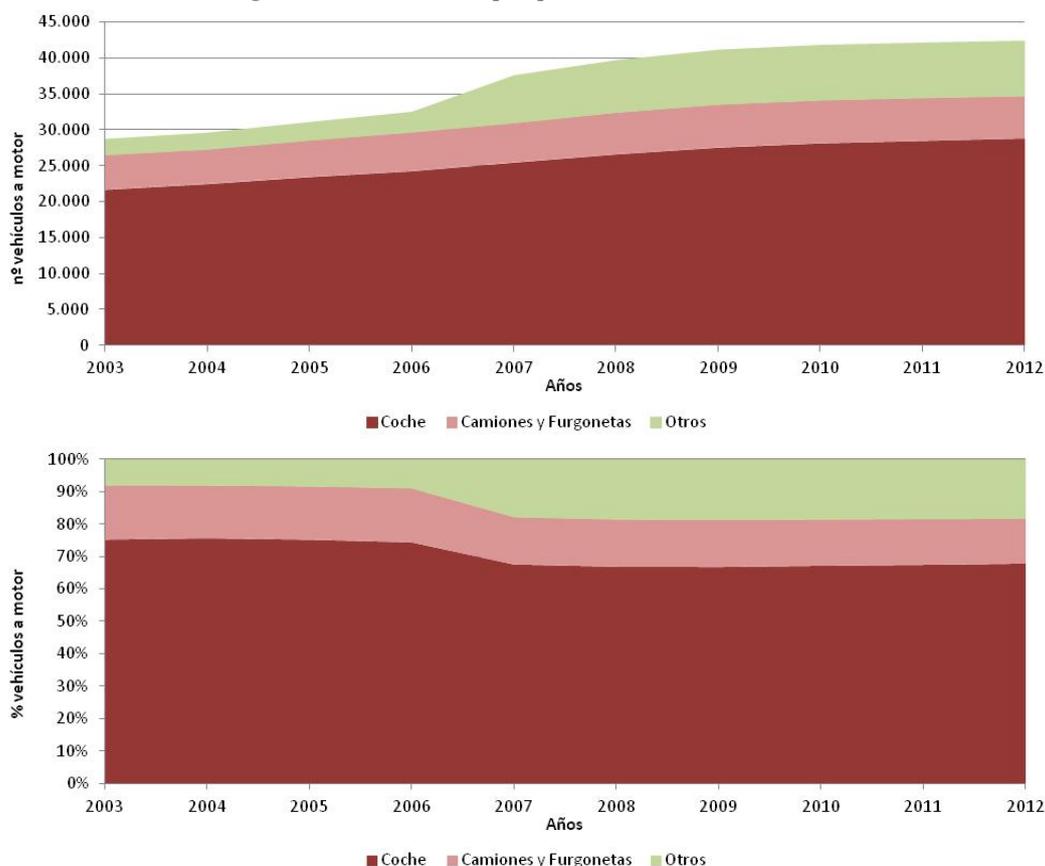
Este tipo de actividades económicas junto a las derivadas del turismo, hacen que en Mérida hayan aumentado en los últimos diez años el número de licencias económicas relacionadas con el sector terciario en un 20%.

4.2 Peculiaridades de la movilidad urbana emeritense

Con toda la actividad que converge en la ciudad unido a las características propias de la misma, Mérida presenta una movilidad urbana particular y muy condicionada por las barreras físicas y antrópicas comentadas en apartados anteriores. Esto hace que el tráfico motorizado se canalice enormemente en los puentes que cruzan la ciudad de este a oeste y en determinadas vías, lo que provoca ciertos problemas de movilidad a determinadas horas¹¹ (aquellas en las que coinciden las entradas/salidas al trabajo, centros comerciales y centros educativos principalmente).

En cuanto a la oferta existente, Mérida ha visto acrecentado su parque motorizado en los últimos años, como lo demuestra la Figura 5.

Figura 5. Evolución del parque motorizado en Mérida



Fuente. Anuario estadístico de La Caixa, 2012. Elaboración propia.

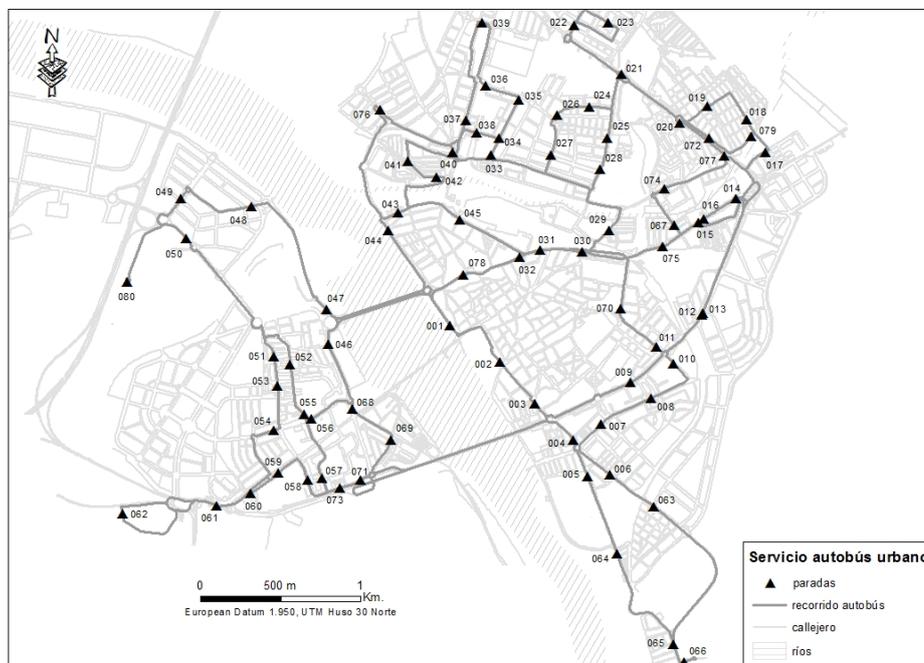
En los gráficos relativos a la figura anterior, se observa una tendencia claramente ascendente en el parque motorizado en general entre los años 2003 y 2007, seguida de una tendencia creciente aunque en menor medida, desde el año 2007 hasta la actualidad. Así, la ciudad ha incrementado su parque motorizado en un 40% con respecto al volumen registrado en 2003. Destaca sobremanera el porcentaje destinado al vehículo privado, que ha crecido en un 25% en los últimos nueve años, lo que hace que este modo de transporte se erija como el más utilizado en la ciudad. En este sentido, teniendo en cuenta la población residente en el casco urbano y dicho volumen vehicular,

¹¹ En los estudios de tráfico y movilidad en general se distinguen los periodos de “hora punta” (HP) como aquellos en los que se detecta un pico máximo de desplazamientos a lo largo de un día, frente a los periodos de “hora valle” (HV) en donde los flujos en dicha jornada diaria son mínimos.

se obtiene una tasa de motorización en vehículo privado ligeramente superior a la tasa media europea (715 veh./1.000 hab. de Mérida, frente a los 480 veh./1.000 hab. de la UE según EMTA, 2012), regional (703 veh./1.000 hab.) y provincial (698 veh./1.000 hab.). Esto indica que, aun siendo Mérida una ciudad más pequeña en superficie y población que otras europeas (lo que conlleva recorridos y volúmenes de viaje menores), mantiene un volumen vehicular similar a ellas. Por otra parte, si se comparan estos datos locales con los totales provinciales, se aprecia cómo Mérida crece en el número de vehículos a motor a un ritmo similar a la media extremeña (38,2%) y ligeramente por debajo de la media provincial (41,1%), en estos últimos años. No obstante, este incremento vehicular no deja de ser elevado, incluso teniendo en cuenta el estancamiento detectado a partir del año 2007, fruto de la crisis económica que sufre el país.

En lo que respecta a la oferta de transporte público existente (Figura 6), esta se reduce al servicio de autobús urbano, gestionado por la empresa municipal TUMSL.

Figura 6. Servicio de autobús urbano ofertado en Mérida



Fuente. Transportes Urbanos de Mérida S.L. Elaboración propia.

El servicio de autobús urbano de Mérida está compuesto por 9 líneas y 80 paradas distribuidas por todo el casco urbano. La longitud total de todos los recorridos del servicio es de 107,53 km mientras que la longitud media de cada línea es de 12 km. Estos recorridos permiten una velocidad comercial del servicio media que está comprendida entre los 18 y los 20 km/h.

La flota con la que cuenta el servicio es de 15 autobuses (dos de ellos actúan como refuerzos de las líneas en caso de retraso o problema durante el periodo escolar anual), de los cuales 10 tienen rampa para favorecer la accesibilidad al servicio para personas con dificultad en la movilidad. El número medio de plazas ofertadas por vehículo es de 81 unidades. Para mover a esta flota de vehículos la empresa TUMSL cuenta con un total de 34 conductores fijos a los que se les unen hasta 5 conductores más en caso de aumentos puntuales de la demanda como es el caso del periodo estival.

Con respecto a los horarios del servicio, Mérida cuenta con una buena amplitud horaria ya que la mayor parte de las líneas permanecen operativas desde las 7h hasta las 22h a lo largo de todos los días hábiles del año, tal y como se ve en la tabla de horarios que se muestra a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Horarios y longitud recorrida por las líneas del servicio

LÍNEA	FRECUENCIA	DÍAS SERVICIO	KM VUELTA	VIAJES	KM DIARIOS	KM ANUALES
LÍNEA 2	DE LUNES A DOMINGO	365	8,70	31	269,70	98.440,50
LÍNEA 3	DE LUNES A DOMINGO	365	10,16	31	314,96	114.960,40
LÍNEA 4	DE LUNES A SÁBADO	313	8,00	31	248,00	90.520,00
LÍNEA 5	DE LUNES A VIERNES	260	15,50	15	232,50	57.660,00
LÍNEA 6	DE LUNES A SÁBADO	313	8,70	31	269,70	80.910,00
LÍNEA 7	DE LUNES A VIERNES	260	8,00	31	248,00	90.520,00
LÍNEA 8	DE LUNES A VIERNES	260	18,07	15	271,05	67.220,40
LÍNEA 9	DE LUNES A VIERNES	260	12,33	21	258,93	64.214,64
NOCTURNO	DE VIERNES A DOMINGO	104	18,07	6	108,42	11.275,68
TOTALES		2.500	107,53	212	2.221,26	675.721,62

Fuente. Transportes Urbanos de Mérida S.L. Elaboración propia.

De este modo, destacan las líneas 2 y 3 como las que más días operativos tienen (todos los días del año); por el contrario, se observa tan solo una única línea (LNocturno) que está operativa únicamente los viernes y sábados (en total 104 días de servicio anuales). El resto de líneas operan durante los días hábiles del año. En lo que respecta a las líneas que realizan el servicio durante los fines de semana (L2, L3, L4, L6 y LNocturno), decir que no se añaden líneas nuevas para satisfacer esta demanda potencial sino que se unen los recorridos pertenecientes a las L2-L3 y a las L4-L6 iniciales, para formar dos líneas conjuntas de fin de semana. Estas, se unen a la LNocturna ya existente.

Las frecuencias de paso por parada que ofrece el servicio están comprendidas entre los 30 minutos (L2, L3, L4, L6 y L7) y los 60 minutos (L5 y L8). Entre estas dos frecuencias principales se oferta la L9 con una frecuencia de 45 minutos.

Para finalizar con la descripción del servicio de autobús urbano emeritense, es necesario mostrar el volumen actual de viajeros que mueve este modo de transporte (Tabla 2).

Tabla 2. Volumen de viajeros por línea

LÍNEAS	VIAJEROS ANUALES	VIAJEROS DIARIOS
LÍNEA 2	204.356	559,87
LÍNEA 3	150.956	431,57
LÍNEA 4	330.680	905,97
LÍNEA 5	132.180	532,98
LÍNEA 6	247.906	826,35
LÍNEA 7	187.659	514,13
LÍNEA 8	127.165	512,76
LÍNEA 9	159.639	643,7
NOCTURNO	-	-
TOTAL	1.540.541	4.927,33

Fuente. Transportes Urbanos de Mérida S.L. Elaboración propia.

A la vista de la tabla anterior, se observa que utilizan el servicio diariamente 4.927 viajeros repartidos por todas las líneas que forman la oferta, según los datos facilitados por la empresa TUMSL para los años 2009-2010. Esto supone un volumen anual de 1.540.541 viajeros.

5. METODOLOGÍA

Una vez expuestos los objetivos y descrito el marco de trabajo de esta investigación, se describen a lo largo de este capítulo los procedimientos metodológicos seguidos para dar respuesta a las cuestiones planteadas anteriormente. A grandes rasgos se parte de una muestra de viajes representativa de la población residente emeritense, fruto de las encuestas domiciliarias realizadas en la ciudad. Tras la obtención de dicha muestra, tal y como se verá a continuación, se realiza un proceso de extrapolación de esta muestra al total poblacional, haciendo uso en este caso de la pirámide de población de Mérida (para dicha extrapolación, se tiene en cuenta a los grupos de edad y el sexo de la misma).

Junto a esta muestra de desplazamientos, se extrae además información relativa a los flujos de tráfico soportados en la red urbana haciendo uso del método de aforado manual, en puntos bien distribuidos de la ciudad. Esto permite obtener el flujo de entradas y salidas en cada acceso de cada intersección analizada junto a las rutas tenidas en cuenta por los usuarios a la hora de acceder a cada destino. En este estudio de tráfico se tiene también en cuenta la posibilidad de analizar los flujos urbanos y cómo estos repercuten en las posibles demoras. Para obtener esta información, se parte de la elección de tres itinerarios tipo que atraviesan las principales zonas urbanas (tanto casco urbano central como el extrarradio) para posteriormente, extraer una muestra representativa de tiempos y velocidades en cada uno de ellos, tanto en FL como en HP. Esta muestra permite obtener información veraz acerca de las diferencias de tiempo existente entre desplazarse por la ciudad en HP o hacerlo en condiciones de FL. Del mismo modo, este método consigue detectar los puntos conflictivos de la movilidad y validar aquellos detectados en el servicio de autobús urbano (GPS).

En el caso del análisis del servicio de autobús urbano emeritense, se busca obtener el perfil tipo del usuario habitual junto a la ocupación promedio real del servicio. Para ello, se encuesta a un volumen representativo de la población usuaria de este modo de transporte, extrayéndose de aquí toda la información necesaria para la caracterización del servicio y la obtención del volumen de movimientos soportados en cada parada del mismo. Además, durante el periodo de recogida de información en cada línea del servicio, se introduce un GPS que recaba datos acerca de la velocidad de paso de cada autobús urbano y el tiempo de recorrido entre paradas. Este proceso de captación se lleva a cabo a lo largo de todo el periodo efectivo de las mismas y tiene por objetivo detectar aquellos puntos en los que la movilidad se ralentiza o estanca.

Con el fin de gestionar todos los datos obtenidos tras los estudios del PMUS de Mérida y estimar el volumen de viajes que atraviesan cada tramo de la red viaria, se diseña un modelo de asignación que parte de la obtención de rutas óptimas para cada par O/D, a las que se implementan a continuación el número de viajes asignados al respecto. Finalmente, los volúmenes muestrales asignados son extrapolados al total poblacional y distribuidos proporcionalmente entre los portales de cada barriada, en función de la población residente en los mismos.

La estructura seguida en este capítulo es la siguiente: en primer lugar se enumeran las fuentes de información utilizadas en dicha investigación. Posteriormente, se explica la metodología relativa al proceso de aforado realizado en las principales intersecciones de la ciudad y que permiten además, diagnosticar la movilidad global de Mérida. En tercer lugar se exponen los procesos seguidos para analizar el transporte público en dicha área urbana (concretamente el servicio de autobús urbano, único modo de transporte colectivo ofertado). El cuarto apartado muestra las pautas de trabajo que orientan la detección de puntos conflictivos en la red desde el punto de vista de la movilidad. Tras este, se incide en el diseño de las encuestas domiciliarias realizadas a los usuarios del sistema como pilar fundamental para los análisis ulteriores y finalmente, se aclara el desarrollo metodológico del modelo de asignación propuesto, junto a su calibración.

5.1 Fuentes de información

En este primer apartado se exponen todas las fuentes de información recabadas para la generación del modelo de asignación descrito en esta Tesis. A su vez, estas fuentes se dividen en oficiales y propias, según hayan sido cedidas por organismos externos o no, respectivamente. Aquella información cedida por organismos externos en formatos no compatibles con entornos SIG han sido transformados a formatos que sí lo fueran (“.shp” o “.dbf”), con el fin de poder ser tratadas por estos. Además, se unifica inicialmente toda la cartografía al sistema de referencia *European Datum 1.950, UTM Huso 30 norte*, ya que buena parte de la información recibida por estos estaban en este sistema de referencia. Posteriormente se transforma toda la información al sistema de referencia *ETRS89, UTM Huso 30 norte*, siguiendo la directiva *INSPIRE* y el *Real Decreto 1.071/2007* de 27 de julio.

5.1.1 Fuentes oficiales

Información tabulada sobre la población residente en la ciudad de Mérida desagregada a nivel individual (Fuente: Ayuntamiento de Mérida). En esta tabla se dispone de cada uno de los individuos residentes empadronados en la ciudad (identificado tan solo por un código único) junto a información relativa al sexo, fecha de nacimiento y dirección postal de residencia desagregada a nivel de portal.

Listado de barriadas de Mérida (Fuente: Ayuntamiento de Mérida). Esta información viene determinada por el conjunto de calles que pertenecen a cada una de las barriadas.

Listado de centros dotacionales existentes en Mérida clasificados por tipo (Fuente: Ayuntamiento de Mérida).

Cartografía vectorial de tipo puntual, lineal y poligonal (formato “.dwg” de AutoCAD) que representa el plano urbano de Mérida junto a sus usos y aprovechamientos (Fuente: Ayuntamiento de Mérida). Esta cartografía es la empleada en el PGOU.

Ortofotos aéreas digitales, relativas a la zona en la que se ubica el casco urbano de Mérida y referidas al año 2007 (Fuente: Consejería de Fomento, Junta de Extremadura). Dichas ortoimágenes tienen una resolución espacial de 0,25 m.

5.1.2 Fuentes propias

Cartografía vectorial de tipo lineal que representa a la red viaria urbana (oferta infraestructural de la ciudad). A su vez esta red está dividida en 3.302 tramos, que contienen la siguiente información atributiva: identificador de tramo, nombre de la calle, velocidad máxima de paso permitida, longitud, jerarquía del viario e impedancia (entendida como coste o resistencia que ofrece un tramo concreto al tránsito por él de cualquier usuario).

Cartografía vectorial de tipo puntual que representa a la población residente en cada tramo de la red viaria urbana. Cada punto agrupa el número de portales que están localizados en dicho tramo junto a la población residente en los mismos, un identificador de calle a la que pertenece y la barriada del punto. Estos puntos se localizan en la mitad de sus respectivos tramos de red.

Cartografía vectorial de tipo puntual que representa a los diferentes centros dotacionales/equipamientos localizados en Mérida (principales centros de atracción poblacional), con la siguiente información alfanumérica: nombre y dirección postal del bien, aforo afectado (trabajadores+visitantes), existencia de acceso rodado y número, disponibilidad de parking y tipo (público o privado) y número de accesos peatonales.

Cartografía vectorial de tipo poligonal que representa a las 37 barriadas (zonas) que conforman la ciudad, con la siguiente información atributiva: nombre de la barriada, distrito censal al que pertenece, longitud del perímetro, superficie y población residente.

Cartografía vectorial de tipo puntual que representa a los 11 puntos de acceso externo a Mérida (utilizados por la población externa para acceder a esta) y que llevan asociada la siguiente información atributiva: identificador de cada acceso y núcleos cuya población puede acceder potencialmente a la ciudad.

Cartografía vectorial de tipo puntual que representa a los 105 puntos de aforo de tráfico, referidos a un total de 17 intersecciones y 13 puntos de sección distribuidos por toda la ciudad. Además, se guarda la siguiente información atributiva: identificador del tramo en el que se localiza el punto de aforo, realización de encuestas de interceptación o no, flujo viario aforado en julio, flujo viario aforado en septiembre y flujo promedio.

Información tabular relativa a la muestra representativa de los viajes realizados habitualmente por la población residente en Mérida (matriz O/D fruto de las encuestas domiciliarias). Esta tabla contiene información acerca del origen y el destino de cada ruta junto al número de desplazamientos realizados para cada ruta concreta.

Información tabular relativa a todas las rutas óptimas referidas a cada par O/D de la muestra extraída con las encuestas domiciliarias que atraviesan cada uno de los puntos de control establecidos (correspondientes estos últimos con los puntos de aforo de tráfico). Esta tabla contiene la siguiente información: identificador de ruta, origen, destino y punto de control por donde pasa dicha ruta. En este caso hay que aclarar que inicialmente es posible generar una cartografía vectorial de tipo lineal para representar cada una de estas rutas, siempre y cuando el número de orígenes y destinos no sea muy elevado. En este caso, el número sí es elevado y la aplicación SIG da problemas de ejecución por lo que se opta por intersectar estas rutas con los puntos de control y extraer como resultado definitivo la tabla descrita al inicio de este párrafo. De esta forma la aplicación no se satura y el tiempo de ejecución se reduce considerablemente.

5.2 Aforado urbano

Una de las tareas más importantes de este trabajo consiste en determinar el volumen de tráfico existente en la ciudad. Con la aplicación de esta misma metodología, se consigue obtener una jerarquía viaria de la red que permite detectar cuáles son las vías más importantes y donde se concentran los problemas de tráfico de mayor calado dentro del sistema urbano analizado. Además, es crucial obtener información relativa a la posible diferencia existente entre desplazarse por la ciudad en HP y hacerlo en HV (es decir con o sin congestión). Para conseguir todo esto se plantea una metodología de trabajo global, compuesta por distintos grupos de tareas parciales a desarrollar. Todas ellas se describen en los apartados siguientes.

5.2.1 Jerarquía viaria inicial

La primera tarea a realizar consiste en establecer una jerarquía de la oferta infraestructural existente en Mérida. Para ello se entablan conversaciones con agentes del cuerpo de policía local junto al director del Servicio de Movilidad y Seguridad Vial, ambos pertenecientes al Ayuntamiento de Mérida, para extraer una primera jerarquía basada en la experiencia adquirida por estos agentes en lo que a movilidad urbana se refiere. Además, se tiene en cuenta la tipología de los desplazamientos soportados por dicha red urbana a la hora de establecer esta clasificación.

La metodología seguida es realizar directamente sesiones multidisciplinares y, con un plano en la mesa, identificar qué vías pertenecen a un tipo de desplazamiento u otro y qué vías soportan volúmenes de tráfico de mayor o menor calado, todo ello apoyándose en la experiencia de los especialistas municipales. En lo referido a la clasificación viaria atendiendo a la tipología de desplazamientos soportados, se establecen cuatro niveles tipológicos (Tabla 3) que mantienen una misma estructura homogénea, siguiendo los criterios anteriormente citados.

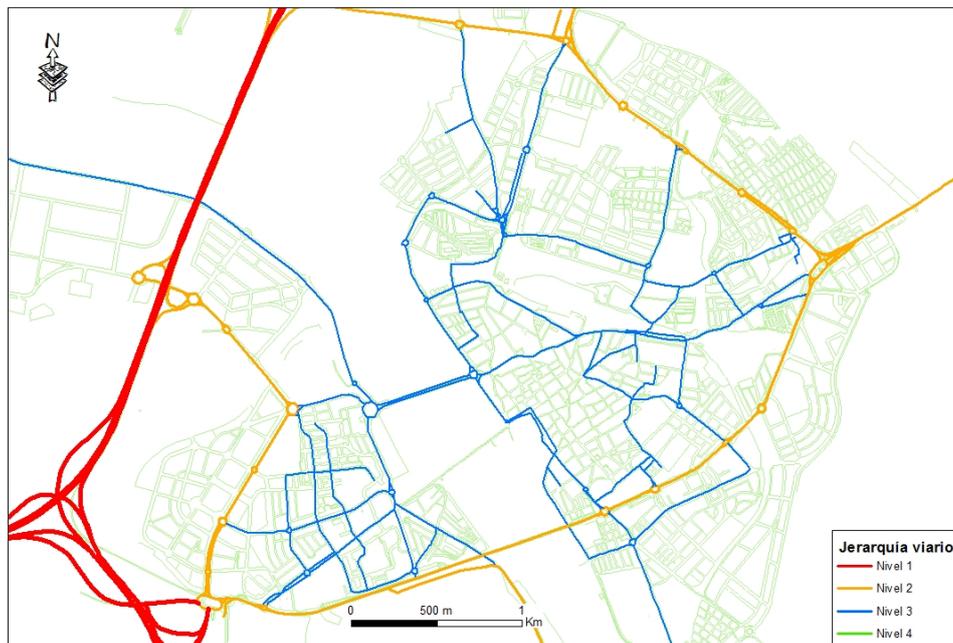
Tabla 3. Jerarquización viaria por tipo y flujo de paso

JERARQUÍA	TIPOLOGÍA	INTENSIDAD MEDIA DIARIA (IMD)
Nivel 1	Gran recorrido	mayor a 15.000 vehículos/día
Nivel 2	Conectoras	entre 10.000 y 15.000 vehículos/día
Nivel 3	Colectoras/Distribuidoras	entre 5.000 y 10.000 vehículos/día
Nivel 4	Origen/Destino finales	menor a 5.000 vehículos/día

Fuente. *Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta la jerarquía viaria planteada inicialmente, se muestra en la Figura 7 la representación cartográfica de la misma. Esta clasificación de la red es la utilizada para llevar a cabo los aforos de tráfico en fases posteriores del trabajo.

Figura 7. Jerarquización inicial del viario



Fuente. Elaboración propia.

Observando la Figura 7 resultante, se identifican las siguientes vías dentro de cada nivel:

- Nivel 1 (Vías de gran recorrido): red que soporta tráfico de paso y constituye el principal acceso de la población con el exterior. En este grupo se encuentran todas aquellas vías de color rojo.
- Nivel 2 (Vías conectoras): vías urbanas consideradas principales o arteriales porque conectan con el viario de paso (Nivel 1), al mismo tiempo que dan servicio a los desplazamientos urbanos considerados de largo recorrido. En este grupo se encuentra el anillo principal de Mérida (remarcado con color naranja en el mapa anterior).
- Nivel 3 (Vías colectoras/distribuidoras): en este grupo pertenecen las vías consideradas secundarias o calles importantes, caracterizadas como su propio nombre indica por distribuir los viajes interzonales o de largo recorrido entre los diferentes orígenes/destino. Por tanto, se encuentran subordinadas a las vías arteriales (Nivel 2) y constituyen una transición a la calle como tal. Este grupo se encuentra identificado en el mapa anterior con color azul.
- Nivel 4 (Vías origen/destino finales): aquí se engloban el resto de calles que permiten acceder a los orígenes y destinos concretos de la ciudad como destinos finales de los desplazamientos.

5.2.2 Método de aforado viario

Una vez realizada la jerarquización viaria de referencia, se procede a diseñar la metodología de trabajo con la que extraer toda la información relativa al volumen de tráfico demandante en la ciudad. Así, se procede a la realización de una serie de aforos manuales bien distribuidos por toda la red urbana. Este tipo de técnicas tienen la ventaja de aportar adicionalmente una clasificación más precisa de los modos de transporte utilizados en los desplazamientos urbanos que otras técnicas automatizadas (como el conteo por tubos neumáticos conectados a un software informático de captación), las cuales pueden generar ocasionalmente errores.

Teniendo en cuenta estas peculiaridades, la metodología de aforo parte de un estudio inicial relativo al **Ciclo Diario** de tráfico, en el que se selecciona el punto clave sobre el que obtener la dinámica de movilidad diaria con el menor error posible. Dicho punto debe cumplir las siguientes características: deben pasar por él el mayor número de desplazamientos urbanos posible y éstos deben ser lo más heterogéneos, es decir, se debe contemplar el mayor número de orígenes y destinos existentes en la ciudad distribuidos por la misma. Para seleccionar el punto sobre el que realizar este “Aforo de Referencia”, se tiene en cuenta la información disponible en el Ayuntamiento de la ciudad junto a la experiencia del personal especializado en este ámbito. En este caso, se elige como punto objetivo el puente Lusitania (localizado en el centro de la ciudad y por donde pasa el mayor volumen de tráfico).

Con el estudio del ciclo diario se obtienen datos cuantitativos que permiten establecer dónde se localizan los picos de movilidad diaria. Para ello, se realiza un primer aforo de 16 horas en un día laborable (lunes, de 7h a 23h). De igual manera, este aforo se realiza en dos días festivos (sábado y domingo con idéntico horario). Las 8 horas restantes (es decir desde las 23h a las 7h), representan una parte muy pequeña del flujo diario y por tanto, se decide no contar con ellas directamente (se tendrán en cuenta a través de los respectivos coeficientes de expansión para el cálculo de las IMD viarias).

Una vez detectadas las HP, se procede con el diseño del estudio relativo al **Ciclo Semanal**. Este análisis basado en las puntas del día laboral, consiste en realizar un aforo de tráfico solo en dicho periodo punta detectado inicialmente (en este caso en la hora punta más problemática, entre las 14h y las 15h¹²), repitiendo el aforo durante los cinco días laborales de la semana. Además, con el fin de evitar posibles cambios en la dinámica de movilidad, se repite el proceso descrito anteriormente en dos periodos bien diferenciados del año: julio (periodo estival relativo a la primera campaña de aforado) y octubre (periodo invernal relativo a la segunda campaña de aforado), ambos referidos al año 2009. De esta forma se captura la intensidad vehicular de un primer periodo con menor flujo y cuya dinámica es ligeramente distinta (primera campaña), junto a un segundo periodo donde, con el comienzo de clases en centros educativos y la incorporación en general de la población a sus puestos de trabajo, se detecta un volumen mayor y más prolongado en el tiempo (segunda campaña). También se obtiene con esta información el **Ciclo Estacional** de los desplazamientos.

¹² Para asegurarse de que se tiene en cuenta el periodo punta más problemático de la ciudad, evitando pérdidas de información útil y posibles oscilaciones en la intensidad vehicular, se decide considerar para todos los cálculos el periodo temporal comprendido entre las 13:45h y las 15:45h, ambas inclusive.

Sin embargo, toda esta información se centra exclusivamente en el punto de referencia del tráfico urbano y para detectar la dinámica global de la ciudad, es necesario establecer una red de aforos que devuelvan la intensidad global en el periodo de análisis. Para ello se diseña una red de aforos de **Densificación Espacial** que cubren la mayor parte de la red viaria y que permiten tener una idea clara acerca de cómo se mueve la población por Mérida. En cada uno de estos aforos se repite el mismo procedimiento que para el aforo de referencia citado anteriormente, en los días laborales distintos al lunes (día de referencia de 16 horas), es decir, reduciéndose el tiempo de toma exclusivamente al periodo punta de captura para las dos campañas de aforo. Con el fin de identificar de forma única cada punto de aforo, se les asigna un identificador. El resultado de este proceso de toma de datos se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Emplazamiento de los aforos del viario



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida.

Como se puede comprobar en la Figura 9, la red de aforos diseñada permite conocer tanto los desplazamientos internos como los externos que atrae la ciudad.

Figura 9. Aforos de cordón entorno al centro urbano de Mérida



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida.

Esta posibilidad planteada en la Figura 9 es importante de cara a comprender el diseño posterior del modelo de asignación. Por otra parte, esta distribución permite detectar el porcentaje de flujos que acceden al casco urbano central, con lo que se obtienen resultados muy interesantes de cara a posibles actuaciones futuras. En este sentido, téngase en cuenta que es en dicha zona donde se concentran los problemas más acuciados en lo que a movilidad urbana y sostenibilidad se refieren y también los principales equipamientos y servicios urbanos.

Con la identificación de los diferentes puntos a aforar en la ciudad y el periodo de toma claramente definido, se diseña la toma de datos que consiste en la generación de dos procedimientos distintos: un aforo semiautomático mediante el diseño de un formulario en MS Access y su implementación en una Tablet Pc, con la que recabar la información relativa al aforo de referencia; y un aforo completamente manual mediante el diseño previo de una plantilla en papel, para recabar la información del tráfico observado en los diferentes aforos de densificación espacial. En este sentido, cabe destacar que aunque la base metodológica es la misma en ambos procedimientos, el empleo del aforo semiautomático ofrece más eficiencia, comodidad y rapidez en la toma a los aforadores. Por tanto, el diseño semiautomático se ajusta más al aforo de referencia por concentrar éste un volumen de tráfico importante y que difícilmente sería abordable con otros métodos de aforado manuales (diríjase a “Anexos”, apartado 10.2). Sin embargo, el reducido tiempo de toma de los aforos de densificación espacial, unido al mayor número de aforadores disponibles, a un volumen de tráfico de paso significativamente menor que en el aforo de referencia y a la existencia de periodos de tiempo sin tráfico de paso mayores, permite una toma de datos más rudimentaria (que no menos exhaustiva) en dichos puntos. Esto explica el uso aquí de los aforos manuales realizados en papel directamente en campo (diríjase a “Anexos”, apartado 10.1). En el caso de aforos de densificación espacial relativos a grandes intersecciones de tipo

glorieta, se emplea además el video como método de captación de tráfico para, posteriormente en oficina, llevar a cabo el aforo manual en papel. La justificación de este último procedimiento radica en que las dimensiones de dichas glorietas dificultan la visibilidad a la hora de clasificar el tráfico observado en cada acceso de salida. Dichas grabaciones se realizan desde un punto elevado ubicado cerca de cada glorieta objetivo, siguiendo el mismo procedimiento y periodo de toma descrito anteriormente.

En cualquier caso, se anota en ambos métodos el número de vehículos y el acceso de salida de los mismos, junto a una clasificación de los mismos en función de su tipología. Además se almacena la hora de paso de cada vehículo (en el caso del aforo de referencia con un nivel de precisión de segundos y en el caso de los aforos de densificación con un nivel de precisión de diez minutos). La clasificación vehicular tiene en consideración los siguientes ítems: autobuses, bicicletas, camiones con remolque, camiones y furgonetas, motos y turismos.

Cabe destacar que en el caso del aforo de referencia, es posible agrupar los datos obtenidos en cualquier periodo de conteo ya que se recoge la hora exacta de paso del vehículo en cuestión, pudiendo de esta forma recabarse si fuera necesario información relativa a condiciones muy particulares del tráfico con un cierto grado de estabilidad en la información. Sin embargo, el procesamiento se realiza en periodos de tiempo de 5, 15 y 60 minutos, de los cuales se seleccionan como más relevantes para este trabajo los dos últimos (sobre todo el periodo de 60 minutos que es imprescindible para el diseño posterior del modelo de asignación).

En cuanto a la planificación de los aforadores se refiere, comentar que para abordar la captura de 16 horas en el punto de referencia, se realizan cuatro grupos de dos personas que recogen datos durante periodos de 4 horas por grupo. Cada una de ellas se encarga de contar y clasificar el flujo de vehículos que circula en un sentido (un aforador por sentido) del puente. Estos, van equipados con una Tablet Pc e indumentaria adecuada para una correcta identificación del estudio abordado.

Con toda la información de campo recabada, se procede a la implementación de todos los datos en una base de datos relacional que permite corregirla, tratarla y extraer los principales resultados (Figura 10).

Figura 10. Visualización de la base de datos generada (Aforo de referencia)

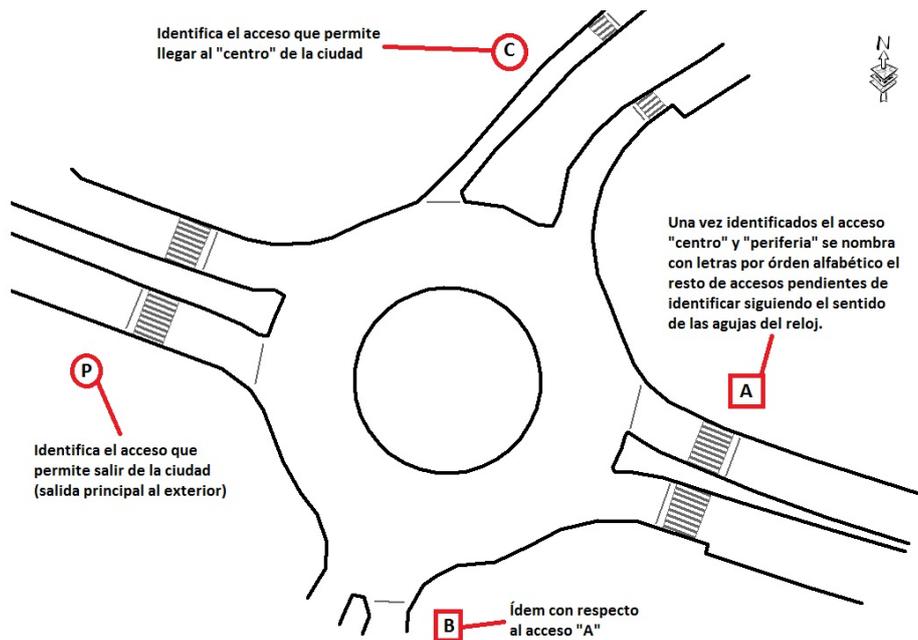
Tablas	ID_aforo	Categoria_tram	Tramo	Aforo	Equipo	Sentido	Fecha	Tipo
7302	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:01:02	Turismo	
7303	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:01:05	Turismo	
7304	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:01:36	Camiones y furgonetas	
7305	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:01:44	Turismo	
7306	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:01:46	Turismo	
7307	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:02:11	Turismo	
7308	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:02:29	Turismo	
7309	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:02:46	Turismo	
7310	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:02:49	Turismo	
7311	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:02:50	Turismo	
7312	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:03:11	Turismo	
7313	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:03:14	Turismo	
7314	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:04:02	Turismo	
7315	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:04:41	Turismo	
7316	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:04:46	Camiones y furgonetas	
7317	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:04:59	Turismo	
7318	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:05:03	Motos	
7319	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:05:18	Turismo	
7320	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:05:34	Turismo	
7321	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:02	Camiones y furgonetas	
7322	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:06	Turismo	
7323	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:10	Turismo	
7324	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:25	Turismo	
7325	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:27	Turismo	
7326	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:29	Turismo	
7327	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:31	Turismo	
7328	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:33	Turismo	
7329	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:52	Turismo	
7330	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:53	Turismo	
7331	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:06:54	Turismo	
7332	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:10	Turismo	
7333	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:20	Motos	
7334	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:21	Turismo	
7335	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:22	Turismo	
7336	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:24	Camiones y furgonetas	
7337	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:49	Turismo	
7338	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:50	Turismo	
7339	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:07:52	Autobuses	
7340	3	0	1	2	centro-puente	06/07/2009 7:08:10	Turismo	

Fuente. *Elaboración propia.*

En el caso del estudio de tráfico relativo a los aforos de densificación espacial, cabe destacar que la mayoría de ellos se refieren a intersecciones del tipo glorieta (característica peculiar de Mérida), lo que permite analizar el flujo global existente en la ciudad a través del aforado de accesos localizados en cada una de ellas.

Debido a la importancia de las intersecciones ubicadas en los distintos niveles jerárquicos del viario y su ubicación estratégica, se decide analizar aquellas emplazadas en los niveles 2 y 3. El total de movimientos se obtienen de aforar los accesos de entrada observando el destino de cada vehículo. Estos además se aprovechan también para realizar la clasificación de los vehículos. Para ello, se diseña una toma de datos en la que, para cada acceso de cada intersección (en función del volumen de tráfico que accede por cada entrada), se colocan dos aforadores que se encargan de contar y clasificar cada vehículo de entrada, anotando qué acceso de salida elige. Para evitar confusiones a la hora de nombrar cada acceso, se opta por utilizar una nomenclatura común en todas las intersecciones (Figura 11).

Figura 11. Croquis de intersección y nomenclatura utilizada en los aforos



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida.

Como se indica en el ejemplo esquemático anterior, todos los grupos identifican en primer lugar qué acceso permite a los usuarios salir de la ciudad (periferia) y qué acceso les permite acceder al núcleo urbano (centro). Una vez identificados estos accesos, se nombran el resto de accesos pendientes con letras, siguiendo el orden alfabético en el mismo sentido de las agujas del reloj. Estos mismos identificadores son los que aparecen en cada una de las plantillas de aforo en papel, las cuales guardan información adicional acerca del número de vehículos aforados en cada periodo de tiempo, junto a su tipología y acceso de salida.

Una vez realizados todos los aforos, se traspasa dicha información a formato digital para poder tratarla y analizarla. Con el fin de tener claro todos los datos a extraer, se diseñan unas plantillas digitales que los muestran claramente, sirviendo además para ofrecer los resultados del aforo de un modo más sencillo de entender. Muestra de ello es el ejemplo que se expone a continuación, en el que se ve primeramente un mapa localizador del aforo analizado (Figura 12) y a continuación su ficha correspondiente (Tabla 4).

Figura 12. Ejemplo de ficha resultado referida a un aforo de densificación (A2)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida.

En la tabla posterior aparecen datos descriptivos del aforo, e información relacionada con el cálculo de la IMD y los valores reales aforados en el periodo de referencia. Destacar que dicha intensidad se obtiene para los dos sentidos y para las 16 horas con mayor intensidad de tráfico, durante todo el día. Se observan también los resultados extraídos del conteo para cada uno de los modos de transporte dentro del periodo de referencia (información esta fraccionada en periodos de 15 minutos).

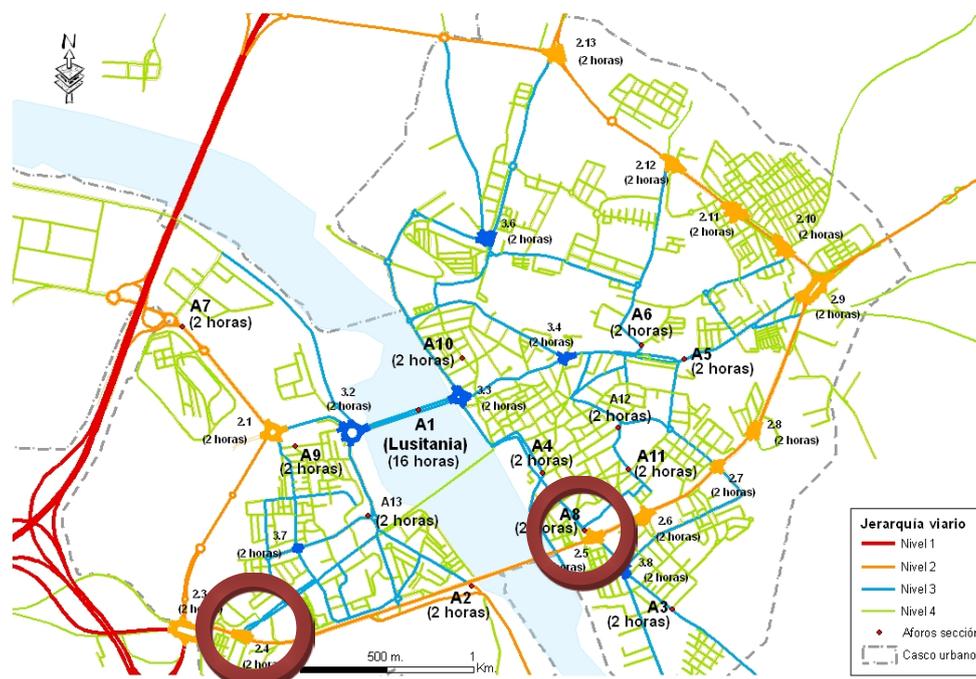
Tabla 4. Cálculos para el aforo de densificación ejemplo

TRATAMIENTO DE AFORO		OBTENCIÓN DE IMD		
IDENTIFICACIÓN: A-2		AFORO 2. CTRA. ALANGE		
EMPLAZAMIENTO: CTRA. ALANGE			SENTIDO 1 Alange-Mérida	SENTIDO 2 Mérida-Alange
FECHA: JULIO 2009				
PERIODO DE LECTURA		14:15-14:30	35	44
INICIO: 13:45 FIN: 15:45		14:30-14:45	29	49
		14:45-15:00	26	42
VARIABLE	REGISTROS	15:00-15:15	39	49
TODOS	563	IHPS	129	184
LIGEROS	496	IHP	313	
PESADOS	53	IH 16 hrs.	3.616	
DOS RUEDAS	14	IMD LABORABLES (JULIO)	4.014	
OBSERVACIONES:		IMD LABORABLES	3.934	
HORA PUNTA: 14:15 - 15:15.		IMD	3.706	
COEFICIENTES DE EXPANSIÓN:		IHPS LIGEROS	116	163
k= 11,55		IHP LIGEROS	279	
N JULIO = 1,11		IHPS PESADOS	10	17
L JULIO = 0,98		IHP PESADOS	27	
s = 0,942		IHPS DOS RUEDAS	4	3
		IHP DOS RUEDAS	7	

Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida.

Con la identificación de los flujos promedio en cada intersección relativos a las dos campañas, se obtiene el volumen de tráfico que pasa por sus tramos de red intermedios (tramos entre dos accesos de dos intersecciones aforadas). Para ello, simplemente se calcula el aforo promedio entre dos accesos aforados a ambos extremos de una misma dirección, de igual modo que se muestra en el caso real relativo a las intersecciones 2.4 y 2.5 (Figuras 13 y 14).

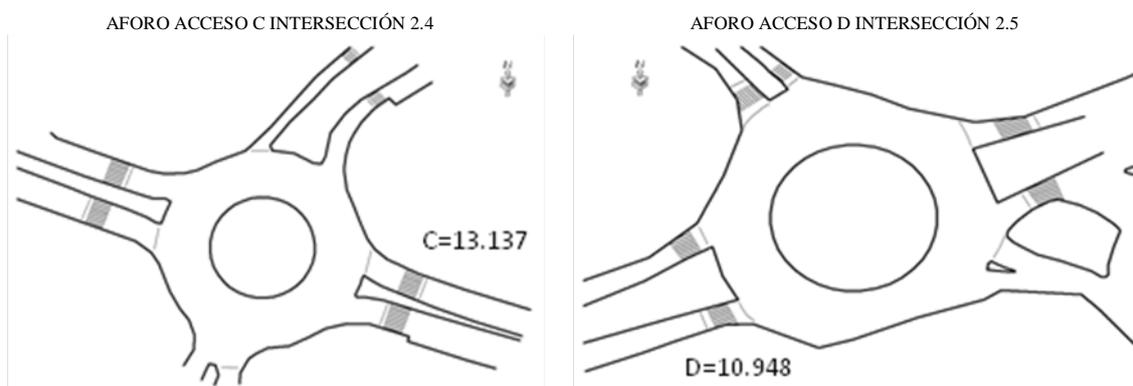
Figura 13. Localización de intersecciones a tratar



Fuente. Elaboración propia.

Este procedimiento permite expandir la jerarquía viaria desde las intersecciones analizadas al resto de la red, haciéndola definitiva. Para ello, se parte de la identificación de los accesos ubicados en ambos extremos del tramo de red objetivo; a continuación se calcula el flujo promedio del tramo en cuestión, en función de los aforos limítrofes; finalmente, se asigna la intensidad calculada al viario. Este mismo procedimiento se repite en toda la red, tanto para el cálculo de intensidades medias, como para la asignación de IMD, tal y como se describe más adelante.

Figura 14. Cálculo de aforo en los tramos entre intersecciones

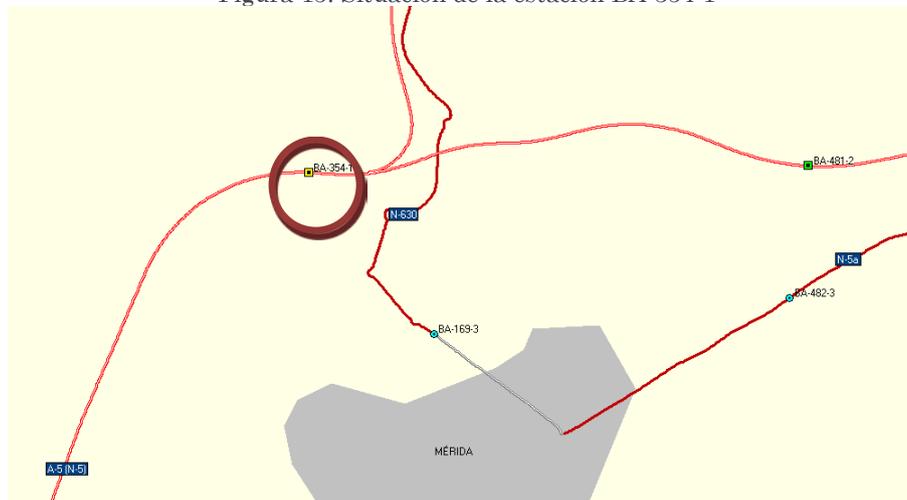


$$AFORO_{Promed} = \frac{Aforo_{Acceso C 2.4} + Aforo_{Acceso D 2.5}}{2} = 12.043 v/d$$

Finalmente, se realizan tareas encaminadas a transformar todos los aforos recogidos a una unidad estándar con la que comparar flujos de tráfico entre distintas ciudades (en este caso de tamaño medio y con características morfológicas similares). Esta unidad es la IMD y permite obtener una valoración cuantitativa de utilidad con la que establecer una clasificación de la red en términos absolutos. Para realizar dicha clasificación, se parte del hecho de que no existe en la ciudad información alguna sobre aforos que permitan obtener coeficientes de expansión necesarios en la estimación de esta variable, conforme a la metodología clásica de Ingeniería de Tráfico extraída del Highway Capacity Manual, HCM (TRB, 2000). Para resolver este problema, se hace uso de la información recabada en dos estaciones de aforo automático afines¹³ y permanentes, cercanas al casco urbano y cuyos usuarios presentan características socioeconómicas y de movilidad similares (la estación BA-354-1 y la estación de cobertura BA-480, tal y como se muestran en las Figuras 15 y 16 respectivamente, según la Red de Carreteras del Estado del año 2007). La información de estas estaciones permite obtener los coeficientes de expansión necesarios para el cálculo de las IMD.

Para llevar a cabo este procedimiento, se parte del volumen total de vehículos aforados en el punto de referencia de 16 horas relativo al lunes (IH_{16h}), junto con las intensidades en HP (IHP) relativas al aforo de vehículos realizado el resto de días laborales. De esta forma, se calculan los coeficientes de expansión necesarios para extrapolar la IHP de los días laborales comprendidos entre martes y viernes a IH_{16h} , punto de partida para el cálculo de IMD (recuérdese que en el aforo de referencia solo se dispone de esta información el lunes y que el resto de días laborales solo se tiene la IHP).

Figura 15. Situación de la estación BA-354-1



Fuente. Mapa Oficial de Carreteras.

¹³ Según la ingeniería del transporte, se define una *estación afín* como aquella estación permanente (con aforos de vehículos continuos en un tiempo determinado) que contiene información de intensidades, relativas estas a un conjunto de usuarios con características socioeconómicas similares a las de otra estación de menor rango, o donde se han obtenido datos de aforo en un periodo de tiempo menor. La utilidad de dichas estaciones radica en poder extraer los coeficientes de expansión necesarios para ser utilizados en el cálculo de IMD's en la estación de menor rango informativo.

El hecho de disponer de dos estaciones de aforo permanentes permite obtener unos coeficientes de expansión más ajustados a la realidad, ya que surgen como resultado del cálculo de ambos aforos en vez de considerar una sola estación.

Figura 16. Situación de la estación BA-480



Fuente. Mapa Oficial de Carreteras.

Con estas estaciones afines se obtienen los datos necesarios para calcular los coeficientes de expansión (K, L, N, F y S) distribuidos a lo largo de los 12 meses del año y obtener así el IMD en este caso del aforo de referencia. Los coeficientes a calcular son:

El **coeficiente K** de un mes determinado, es la media de todos los coeficientes k relativos a todos los días del mes, obtenidos para un día como el cociente entre el volumen total de tráfico durante las 16 horas que transcurren entre las 6h y las 22h de un mismo día y el total de tráfico durante las 6 horas transcurridas entre las 8h y las 14h también de ese mismo día.

$$K_{mes "t"} = Promed. (k_{tot.días mes "t"}); k_{día "n"} = \frac{IH_{16h (6h-22h)}}{IH_{6h (8h-14h)}}$$

El **coeficiente L** de un mes determinado, es el cociente entre la intensidad media anual de días laborales del año y la intensidad media mensual de días laborales del mes.

$$L_{mes "t"} = \frac{IMAn_{días laborales del año}}{IMMen_{días laborales del mes}}$$

El **coeficiente de nocturnidad N** de un mes determinado, es la media de los coeficientes n de todos los días del mes, obtenido para un día como el cociente del total de tráfico durante las 24 horas y el total de tráfico durante las 16 horas que transcurren entre las 6h y las 22h del mismo día.

$$N_{mes "t"} = Promed. (n_{tot.días mes "t"}); n_{día "n"} = \frac{IH_{24h}}{IH_{16h (6h-22h)}}$$

El **coeficiente F** de un mes determinado, es el producto de los coeficientes N y L del mes y el coeficiente S del tráfico total anual.

$$F_{mes "t"} = (N_{mes "h"} * L_{mes "h"}) * S_{tot.anual}$$

El **coeficiente S** se define como el cociente entre la IMD y la intensidad media anual de días laborales del año.

$$S_{año "p"} = \frac{IMD_{año "p"}}{IMAn_{días laborales del año}}$$

Una vez obtenidos todos los valores de los coeficientes de expansión, se procede a la expansión de la IH_{16h} para el resto de días laborales (de martes a viernes, ambos inclusive) en el punto de aforo de referencia (puente Lusitania), siguiendo los pasos y expresiones que se muestran a continuación:

Primero se pasa de IH_{16h} a $IMD_{días laborales julio}$:

$$IMD_{días laborales julio} = IH_{16h} * N_{julio}$$

En segundo lugar, se transforma el $IMD_{días laborales julio}$ (resultado de expresión anterior) en $IMD_{laborales}$:

$$IMD_{laborales} = IMD_{días laborales julio} * L_{julio}$$

Finalmente, se procede a pasar de $IMD_{laborales}$ a IMD :

$$IMD = IMD_{laborales} * S$$

Este mismo procedimiento metodológico se aplica en el estudio de los aforos de densificación espacial en donde, utilizando los mismos coeficientes de expansión ya calculados anteriormente, se obtienen los valores de IMD para cada acceso perteneciente a cada intersección analizada. Además, al estar todos los tramos de vía limitados por dos accesos aforados (uno a cada lado del mismo) es posible, tal y como se comentó anteriormente en el cálculo de la intensidad en HP, determinar la IMD como valor promedio de dichos accesos límite. Todos los resultados obtenidos junto a los aforos identificados, quedan reflejados en las distintas plantillas de cada estación.

5.2.3 Vehículo flotante en el cálculo de demoras

Dentro del estudio de tráfico planteado en esta Tesis se encuentra el análisis de las velocidades medias de recorrido, referidas a la red urbana de la ciudad. Con él, es posible detectar las diferencias existentes entre el desplazamiento en HP y en HV, comparando los tiempos de desplazamientos y las velocidades de recorrido en ambos periodos. Por otra parte, esta comparativa permite analizar el grado de eficiencia existente en los diferentes tramos que componen la red viaria, ya que se analizan principalmente las interacciones entre vehículos y el entorno de la misma (en este caso no se tiene en cuenta el efecto de los semáforos dado su reducido número, aunque también sería un factor a considerar en este tipo de trabajos).

De esta forma, se trata al viario como un conjunto de tramos separados por nodos, en donde cada uno de ellos representa las características morfológicas propias de cada segmento (longitud y velocidad máxima permitida principalmente). Por otra parte, se analiza la velocidad media de recorrido (directamente relacionada con el tiempo empleado para ello) como variable fundamental con la que determinar el nivel de servicio existente en la red. Así, se opta por el método de prospección vehicular, por el cual se extraen datos relativos a velocidades y tiempos de recorrido en cada tramo analizado directamente en campo, utilizando un vehículo flotante que sea representativo de los modos predominantes existentes en la ciudad. Dada su importancia de cara a la gestión de la movilidad urbana, se decide analizar únicamente el viario de nivel 2 y 3. Como se ha comentado anteriormente, para llevar a cabo dicho análisis, se diseñan tres circuitos representativos de los itinerarios emeritenses en función de la información facilitada por el Ayuntamiento de Mérida. Además, se decide repetir cada circuito 24 veces para obtener una muestra representativa de los tiempos y velocidades de recorrido (12 idas y 12 vueltas para el periodo de HP e ídem para el periodo de FL). Este método se repite en los dos periodos de trabajo citados anteriormente (julio y octubre de 2009).

Los itinerarios diseñados para esta tarea son: Itinerario 1, relativo al anillo perimetral de la ciudad, clasificado según la jerarquía viaria inicial como Nivel 2; Itinerario 2 que representa a la diagonal este-oeste, con jerarquía viaria de Nivel 3; e Itinerario 3 conformado por la diagonal norte-sur, con jerarquía viaria de Nivel 3 (en la Tabla 5 se muestran los diferentes puntos de control junto a la longitud de los tramos intermedios que componen cada itinerario).

Tabla 5. Longitudes de los tramos de cada Itinerario

ITINERARIO 1		ITINERARIO 2 IDA		ITINERARIO 2 VUELTA	
TRAMO	LONGITUD (m)	TRAMO	LONGITUD (m)	TRAMO	LONGITUD (m)
Gasolinera "Sierra Carija"	-	Tres Fuentes	-	TVE	-
Charca	872,19	Paso Inf. Sindicales	823,26	Lusitania Polígono	404,61
Tanatorio	580,48	Torre	630,62	Lusitania Centro	562,05
Montealto	466,89	Telepizza	582,48	Torre	623,45
Tres Fuentes	1.472,68	Loba	126,97	Paso Inf. Sindicales	630,62
Lidl	806,47	Lusitania Centro	299,70	Tres Fuentes	823,26
Velada	244,70	Lusitania Polígono	562,05	TOTAL ARTERIA	3.044,01
Verato	481,08	TVE	404,61		
Juan de Ávalos	269,73	TOTAL ARTERIA	3.429,71		
Foro	2.060,99	ITINERARIO 3			
Agricultura	241,72	TRAMO	LONGITUD (m)	TRAMO	LONGITUD (m)
Ciudad Deportiva	123,47	Juan de Ávalos	-	*Glor. Ferial	475,54
Constitución	270,87	Pza. de Toros	288,41	Glor. Mercadona	306,15
Hospital	298,07	Inicio John Lennon	305,31	Fomento	208,31
TVE	395,16	Pza. Rastro (Inicio)	398,32	Cementerio	228,88
Guardia Civil	563,62	Loba	404,08	Inter-(Oramba)	261,28
Autovía	211,39	Lusitania Centro	278,06	Tanatorio	138,26
TOTAL ARTERIA	9.359,57	Glor. Puente Vía*	332,46	TOTAL ARTERIA	3.625,09

Fuente. Elaboración propia.

El primero de estos itinerarios sirve para tener una idea clara a cerca de la movilidad en la zona perimetral de la ciudad (Nivel 2 de la jerarquía viaria), tal y como se muestra en la Figura 17.

Figura 17. Itinerario 1: anillo perimetral de la ciudad



Fuente. Elaboración propia.

En cambio el segundo (diagonal este-oeste de Nivel 3), es representativo de los desplazamientos que cruzan el casco urbano central (Figura 18).

Figura 18. Itinerario 2: diagonal este-oeste



Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, el tercer itinerario representa un desplazamiento muy utilizado por los usuarios del sistema (diagonal norte-sur también de Nivel 3), el cual atraviesa zonas donde confluyen volúmenes de tráfico importantes, bordeando el casco urbano central (Figura 19).

Figura 19. Itinerario 3: diagonal norte-sur



Fuente. Elaboración propia.

Para realizar el trabajo de campo se diseñan plantillas en papel ajustadas a cada uno de los tres itinerarios propuestos, en donde se van rellendo los campos tiempo de llegada a cada punto de control, tiempo de salida del mismo y velocidad a la que se desplaza el vehículo flotante en el punto medio (aproximadamente) de cada tramo en cuestión (para obtener más detalles sobre la plantilla en cuestión, diríjase al capítulo de “Anexos”, apartado 10.3). Para ello, se dispone de cuatro vehículos flotantes con dos personas por vehículo (un conductor y un captador de información); en cada vehículo además se dispone de plantillas de captación y cronómetro para almacenar tiempos de llegada y salida de cada tramo. Por su parte, cada vehículo debe ir a una velocidad que sea similar a la del resto de usuarios de la red. Al inicio de cada vuelta referida a un itinerario en cuestión, se pone el cronómetro a cero y se activa para que vaya grabando cada llegada al siguiente punto de control y salida del mismo (todos los tiempos se guardan en la memoria del cronómetro y luego se recuperan en gabinete). Al finalizar cada itinerario el captador de la información vuelve a poner el cronómetro a cero, revisa que no falte ningún dato y comienza una nueva vuelta. Se consensua entre todo el equipo de trabajo, tomar como referencia para anotar cada tiempo de salida/llegada a cada punto de control, el tiempo que aparece en el cronómetro cuando la parte delantera de cada vehículo llega a la altura de las marcas viales de parada pintadas en los distintos puntos de control establecidos (se tienen en cuenta estas marcas viales porque son un elemento fijo que se encuentra en todos los puntos de control ya que éstos coinciden con intersecciones de tipo glorieta existentes en la red urbana emeritense).

Una vez recabada toda la información sobre tiempos de recorrido y velocidades en cada tramo, se trasvasa todo a formato digital para su posterior tratamiento y análisis. Para analizar los niveles de servicio relativos a los tramos urbanos, se utiliza la metodología propuesta en el Highway Capacity Manual (HCM, 2000), adaptando dicho procedimiento a las condiciones de la ciudad emeritense. Los pasos a seguir para aplicar esta metodología se exponen a continuación.

El primer paso una vez tramificada toda la red, es clasificar cada tramo de la misma en dos categorías: atendiendo inicialmente a la categoría funcional y posteriormente al tipo de diseño del mismo, siguiendo los criterios especificados en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Criterios de clasificación de tramos por categorías funcionales

CATEGORÍA FUNCIONAL		
CRITERIO	ARTERIAS PRINCIPALES	ARTERIAS SECUNDARIAS
Función de movilidad	Muy importante	Importante
Función de acceso	Secundaria	Notable
Puntos conectados	Autopistas, centros de actividad importante, principales generadores de tráfico	Arterias principales
Viajes predominantes	Viajes relativamente largos entre los puntos anteriores, y viajes de paso que entran, salen y atraviesan la ciudad	Viajes de longitudes moderadas dentro de zonas relativamente pequeñas

Fuente. HCM, 2000.

Como se puede comprobar en las dos tablas de criterios, las clasificaciones de tramos son de tipo cualitativa y no cuantitativa como podría suceder con otros métodos de cálculo de capacidades, lo que facilita su aplicación sin perder rigor científico.

Tabla 7. Criterios de clasificación de tramos por categorías de diseño

CATEGORÍA DE PROYECTO (DISEÑO)			
CRITERIO	SUBURBANO	INTERMEDIO	URBANO
Densidad de accesos de vías y entradas locales	Baja densidad	Densidad moderada	Alta densidad
Tipo de arteria	Multicarril con separación, sin separación o de dos carriles con arcenes	Multicarril con o sin separación, de un solo sentido, de dos carriles	Sin separación de un solo sentido, de dos sentidos, con dos o más carriles
Estacionamientos	No	Algunos	Muchos
Carriles para el giro a la izquierda separados	Sí	Habituales	Algunos
Semáforos por kilómetro	1 a 3,1	2,5 a 6,2	3,7 a 7,5
Límites de velocidad	64,4 a 72,4 km/h	48,3 a 64,4 km/h	38,6 a 56,3 km/h
Actividad peatonal	Escasa	Alguna	Habitual
Desarrollo urbano colateral	Densidad baja a media	Densidad media/moderada	Alta densidad

Fuente. HCM, 2000.

Aunando todos los criterios anteriores se obtiene la clasificación definitiva considerar (Tabla 8).

Tabla 8. Clasificación definitiva de tramos

CLASES DE ARTERIAS SEGÚN SU FUNCIÓN Y CATEGORIA		
Categoría de proyecto (diseño)	Categoría Funcional	
	Arteria principal	Arteria Secundaria
Proyecto y control suburbano típico	I	II
Proyecto intermedio	II	III
Proyecto urbano típico	III	III

Fuente. HCM, 2000.

El segundo paso una vez clasificado cada tramo es establecer el nivel de servicio¹⁴ del mismo en función de la velocidad media de recorrido observada. Inicialmente se suelen seguir los criterios marcados en la Tabla 9.

Tabla 9. Niveles de servicio en función de las velocidades medias de recorrido

	CLASIFICACIÓN ARTERIAL		
	I	II	III
Intervalo de variación de la velocidad libre (km/h)	72,4 a 56,3	56,3 a 48,3	48,3 a 40,2
Velocidad libre normal (km/h)	64,4	53,1	43,4
NIVEL DE SERVICIO	VELOCIDAD MEDIA DE RECORRIDO (km/h)		
A	≥ 56,3	≥ 48,3	≥ 40,2
B	≥ 45,0	≥ 38,6	≥ 30,6
C	≥ 35,4	≥ 29,0	≥ 20,9
D	≥ 27,4	≥ 22,5	≥ 14,5
E	≥ 20,9	≥ 16,1	≥ 11,3
F	< 20,9	< 16,1	< 11,3

Fuente. HCM, 2000.

Sin embargo esta clasificación puede conducir a conflictos en determinados casos. Para evitar esto y simplificar la asignación de niveles, se establece un nuevo criterio basado esta vez en el porcentaje de velocidad de recorrido detectada en cada tramo con respecto a las condiciones de FL (Tabla 10). Así se obtienen niveles de servicio más ajustados a la realidad urbana analizada (Gutiérrez Gallego y Pedraza, 2010).

Tabla 10. Niveles de servicio atendiendo al porcentaje de velocidad libre

% VELOCIDAD LIBRE	CLASIFICACIÓN ARTERIAL			
	100%-70%	70%-50%	50%-30%	< 30%
NIVEL DE SERVICIO	A	B	C	D

Fuente. HCM, 2000.

Los diferentes niveles de servicio planteados en el manual HCM hacen referencia a características de circulación viaria propias a saber:

¹⁴ En ingeniería del transporte se entiende por *nivel de servicio* aquella medida que permite cuantificar la calidad o eficiencia de una infraestructura determinada. Esta se suele medir mediante la velocidad media de recorrido, que es la variación de la distancia recorrida por un vehículo con respecto al tiempo y se expresa en km/h.

- **Nivel de servicio A:** La circulación en este nivel de servicio es libre, es decir, sin impedimentos ni obstáculos que dificulten las maniobras en la circulación de los usuarios. Las velocidades medias de recorrido están cercanas al 90% de la velocidad en régimen libre. Los conductores conducen sin ningún tipo de tensión, relajados.
- **Nivel de servicio B:** En este nivel la circulación no se ve influida por obstáculos importantes que dificulten las maniobras propias de esta actividad. Las velocidades medias de recorrido rondan el 70% de la velocidad en régimen libre. Los conductores no se ven sometidos a ninguna tensión en la conducción.
- **Nivel de servicio C:** La circulación en este nivel es estable pero se observan ciertas dificultades para realizar maniobras en la circulación, tales como giros o cambios de carril. En ocasiones, la existencia de grandes hileras de tráfico y una inadecuada coordinación semafórica pueden llegar a reducir la velocidad media de recorrido hasta el 50% de la velocidad en régimen libre. Los conductores conducen tensionados.
- **Nivel de servicio D:** Este nivel representa el límite en el cual un pequeño aumento del volumen soportado por un tramo puede causar aumentos de los tiempos de recorridos palpables, con el consiguiente descenso de la velocidad media de circulación. Las hileras de tráfico pueden deberse a una progresión o ciclo semafóricos inadecuados, a volúmenes de tráfico muy elevados o a una combinación ambas. Las velocidades medias de recorrido están en el 40% de la velocidad en régimen libre. Los conductores circulan muy tensionados.
- **Nivel de servicio E:** En este nivel se detectan demoras importantes en los desplazamientos, con velocidades medias de recorrido iguales o inferiores a un tercio de la velocidad en régimen libre. Esto suele estar causado por una elevada densidad semafórica, formación de grandes hileras de tráfico en intersecciones problemáticas, o por un reglaje semafórico inadecuado. El nivel de tensión soportado por los conductores en este nivel es muy elevado.
- **Nivel de servicio F:** El nivel de servicio F caracteriza un flujo arterial con velocidades muy bajas (por debajo de un tercio o un cuarto de la velocidad en régimen libre). Existen muchas probabilidades de que se produzca congestión en las intersecciones problemáticas de la red y con ello, grandes hileras con consecuentes demoras en los desplazamientos. El nivel de tensión soportado por los conductores es máximo.

Siguiendo esta clasificación de niveles de servicio, se puede clasificar toda la red viaria, permitiendo detectar zonas problemáticas desde el punto de vista de la movilidad (problemas de congestión vehicular) y posibilitando con ello la implementación de alternativas a los desplazamientos afectados (rutas alternativas).

El tercer paso consiste en calcular las velocidades de recorrido en las condiciones de tráfico posibles, FL y HP. De esta forma, se comprueba que la clasificación anterior es correcta (comparando las velocidades medias de recorrido en FL) y se determina el nivel de servicio de cada tramo y del itinerario en general (utilizando en este caso la velocidad media de recorrido en HP). Las expresiones utilizadas para llevar a cabo este tercer paso son:

- **Velocidad en flujo libre:** es la media aritmética de las velocidades en FL observadas en campo.
- **Velocidad media de recorrido:** calculada como la media de las velocidades de recorrido, esta última se calcula a partir de los tiempos empleados en recorrer cada tramo en cuestión (conociendo también la longitud de los mismos). Para esto se utiliza la expresión:

$$V_r \left(\frac{km}{h} \right) = \frac{Longitud (m) * 3,6}{Tiempo (seg.)}$$

- **Velocidad media global de la arteria:** se calcula como la media armónica de las velocidades, tanto en FL como en HP, siguiendo la expresión:

$$\bar{v} = \frac{\sum frec_i}{\sum \frac{frec_i}{v_i}}$$

Donde $frec_i$ es la frecuencia absoluta de cada valor de velocidad utilizado en el cálculo y v_i es cada valor de velocidad concreto, ambos con respecto al tramo analizado. Esta expresión tiene la bondad desde el punto de vista estadístico, de no considerar los valores atípicos de la muestra por exceso (es decir, valores atípicos muy elevados), en el cálculo de la velocidad media.

Para poder llevar a cabo las tareas de este tercer paso, se necesitan los siguientes datos relativos a cada tramo (información extraída en campo): tiempo de recorrido, velocidad media observada en el punto medio y longitud.

5.2.4 Jerarquía viaria definitiva

Teniendo en cuenta la intensidad vehicular aforada en cada campaña de captación y la expansión posterior a IMD, se obtiene una jerarquía viaria definitiva (recuérdese que la jerarquía inicial se realiza atendiendo a la experiencia de los agentes pertenecientes al Ayuntamiento de Mérida), representada por medio de un mapa temático. En ella se distinguen los diferentes tramos de la red por medio del color, en función esta vez de la IMD real (y no de las percepciones de tráfico de los técnicos de la corporación local). Dado que Mérida es una ciudad en la que la circulación motorizada está tremendamente orientada (sobre todo en el casco urbano central), resulta fácil extender esta jerarquía desde los puntos aforados (intersecciones) al resto de tramos de la red, promediando los flujos detectados en las intersecciones extremo de cada uno de ellos.

Una vez obtenido el mapa viario jerarquizado, resulta también una cuestión interesante comprobar cómo dicho mapa casa perfectamente con otra representación llevada a cabo por otro equipo de investigación independiente, en el que se representa el casco urbano de Mérida en función de los distintos niveles de ruido soportados en ella (esto permite validar la jerarquía definitiva).

5.3 Estudios de autobús urbano

Teniendo en cuenta uno de los planteamientos básicos propuestos por la Unión Europea, relativos a la búsqueda de un reparto modal más equitativo hacia modos de transportes colectivos y sostenibles en detrimento del vehículo privado, se decide en este apartado estudiar el servicio de autobús urbano de Mérida como el único modo de transporte colectivo ofertado. De esta forma, se obtiene un diagnóstico del mismo que da pie a plantear propuestas que busquen este reparto modal.

Dentro de los análisis a realizar en este sentido, destacan aquellos encaminados a identificar el grado de utilización del servicio, junto con la obtención del perfil tipo del usuario habitual. El fin de estos estudios radica en identificar grado de utilización de este modo de transporte en una ciudad de tamaño medio, para posteriormente detectar si su interrelación con el modo privado provoca problemas de congestión en la red urbana. En el caso de Mérida, estos análisis se aplican al único modo de transporte público ofertado, el autobús urbano. Además para el caso del perfil tipo, se hace uso del método de encuestas de interceptación, realizadas directamente en cada autobús durante la totalidad del horario del servicio referido a su línea.

Junto a estos, se realiza además un análisis de accesibilidad de la población residente que potencialmente puede utilizar el servicio a las distintas paradas del mismo. El fin en este caso es determinar el grado de acercamiento del servicio al ciudadano y al mismo tiempo, identificar la capacidad real que éste tiene de desplazarse a todos los bienes y servicios ofertados en Mérida, de una forma equitativa, eficiente y en definitiva, sostenible.

5.3.1 Grado de ocupación y perfil tipo del servicio

El primer paso para analizar el grado de ocupación del servicio de autobús urbano y el perfil tipo de sus usuarios, es obtener una muestra representativa de los viajeros distribuidos en cada línea de transporte. En este sentido, es importante aclarar que en la empresa gestora no se dispone hasta la fecha de información desagregada a cerca del tipo y género de los viajeros que utilizan cada línea, o cuáles son las paradas con más movimientos; esta información es útil para identificar quien utiliza el servicio y sobretodo, quien no lo utiliza y debería hacerlo ya que a más usuarios, menos vehículos privados circulan por la red y por tanto, más sostenible es la movilidad. A tenor de todo ello, resulta prioritario analizar este modo de transporte y ver qué nivel de servicio ofrece. Dicho análisis permite además detectar si este volumen de demanda es elevado o no, de cara a ser considerado en la fase de modelización propuesta en esta Tesis.

Para obtener la muestra de viajeros a interceptar, se parte de información relativa al número de subidas diarias facilitada por la empresa gestora TUMSL. Estos datos se refieren al periodo comprendido entre los meses de noviembre del 2009 y febrero del 2010, ambos inclusive. Esta, se trasvasa a una hoja de cálculo para llevar a cabo un análisis descriptivo mínimo de los datos y obtener las subidas medias diarias reales en cada línea (salvo la línea “Nocturna” que no se considera por falta de información y representatividad al respecto). Sobre estos valores promedio iniciales, se extrae la muestra a encuestar en cada línea, evitando los valores atípicos detectados en la información de partida (es decir, eliminando del cálculo aquellos valores que sobrepasan 2,5 veces la desviación típica de la población analizada, tanto en su límite superior como inferior).

Tras llevar a cabo este tratamiento inicial con el que se dispone de la población objeto de estudio, se observa un número de subidas diarias en el servicio de 4.927 usuarios, repartidos entre todas las líneas (lo que supone un volumen anual de usuarios de 1.540.541). Considerando esta población, su distribución entre las diferentes líneas de autobús urbano y teniendo identificados los ítems a analizar, se encuesta a un 10% de la media diaria de subidas detectadas en cada línea de autobús, asumiendo un error máximo del 5% para un intervalo de confianza del 95% y teniendo en cuenta además, el caso más desfavorable para ello. Tanto los ítems a analizar como la muestra a encuestar en este tipo de trabajos están avalados por otros estudios similares, en los cuales se utilizan muestras similares para volúmenes semejantes de población (Foote et al., 2001; Eboli & Mazzulla, 2011 o Lai & Chen, 2011 entre otros). De esta forma, es posible asegurar que se obtiene una muestra a encuestar estadísticamente representativa del total poblacional y por tanto, sus resultados pueden extrapolarse a la misma.

Por otra parte, la metodología utilizada para encuestar a los usuarios del servicio es la entrevista de interceptación, realizada directamente en cada autobús de las diferentes líneas y haciendo uso de una plantilla de preguntas en papel a rellenar por el propio entrevistador. La idea de estas entrevistas es obtener información con la que poder caracterizar a la población usuaria del autobús junto a otra relacionada con el origen, destino, modo y motivo del desplazamiento interceptado (ver el capítulo 11 de “Anexos”, apartado 10.4). Para esta tarea, se realizan grupos de dos personas para cada vehículo del servicio, ataviadas con plantillas de entrevistas. Además, se cuenta con la colaboración de la empresa gestora para realizar estas entrevistas. Gracias a ello, se supera el volumen de la muestra estimada inicialmente, haciendo más extrapolables y representativos los datos obtenidos (se pasa de un 10% de muestra inicial en cada línea a un 11,89% final, llegando a una muestra final de 586 encuestados sobre los 4.927 totales repartidos entre todas las líneas).

Para el caso del análisis de ocupación del servicio, se realiza una plantilla de aforo a rellenar por un técnico de campo (ver el capítulo 11 de “Anexos”, apartado 10.4). Así, en cada vehículo del servicio éste recoge información sobre el tiempo de recorrido entre paradas y la afluencia de usuarios a lo largo del día. Para evitar errores y que éstos se propaguen a toda la muestra, se utiliza una plantilla de aforo distinta en cada vuelta de la línea en cuestión. Concretamente, el captador toma datos relativos al género y tipo de usuarios que acceden al servicio, atendiendo a su movilidad para ello (hombres y mujeres con movilidad normal o reducida¹⁵), junto al conteo de subidas y bajadas totales en cada parada. Además, con un cronómetro se anota la información concerniente a los tiempos de recorrido entre paradas y duración del periodo de carga en cada una de ellas (en algunas líneas o periodos horarios punta, se une otro captador al grupo para facilitar la obtención de información). El procedimiento a seguir es: anotación del tiempo de llegada a una parada; conteo y clasificación de las personas que bajan del vehículo (género y tipo de movilidad); conteo y clasificación de los usuarios que suben al vehículo (género y tipo de movilidad); anotación del tiempo de salida de la parada; conteo y clasificación de los usuarios que permanecen dentro del vehículo en el tramo de recorrido. Este procedimiento se debe repetir en todos los recorridos dados por

¹⁵ Se entiende por *movilidad reducida* aquella detectada en una persona caracterizada por algún tipo de problema o carga que dificulta su correcto desplazamiento. Así, se implementan en este grupo personas mayores con movilidad lenta o deficiente (requieren instrumentos de ayuda al desplazamiento), mujeres u hombres con carros de niños o con bultos de un tamaño considerable que dificultan su movilidad normal de acceso al servicio. Se entiende por *movilidad normal* la contraria a la *reducida*.

cada vehículo de cada línea a lo largo de su día laboral. Los datos obtenidos en campo ofrecen las ocupaciones medias de cada línea atendiendo a los tramos entre paradas. Sin embargo, para representar esta información de un modo claro, se asignan las ocupaciones siempre a la parada origen de cada tramo en cuestión. De esta forma también se puede analizar el volumen de tráfico soportado en cada estación, detectando aquellas que son menos eficientes.

Tanto para el trabajo de entrevistas como el de aforo de usuarios, se sigue la misma planificación temporal: durante los 63 días laborales referidos a los meses de noviembre de 2009, febrero y marzo de 2010, se realizan estos trabajos de entrevistas y aforos. Se eligen días laborales sin incidencias o eventos puntuales (por ejemplo el martes de mercadillo o la infinidad de eventos culturales ofertados en la ciudad), para evitar anomalías en el transcurso normal de la línea que pudieran repercutir en los datos finales captados. El horario de toma de datos en ambos casos es de 7:15h a 22:30h, correspondiéndose con los periodos laborales de cada línea del servicio. En primer lugar, se realizan las entrevistas a los usuarios del autobús, abordando durante un día hábil una línea del servicio concreta, desde el inicio al final del mismo. Por consenso se selecciona para encuestar a la tercera persona que sube al vehículo en cuestión. La segunda mitad del periodo de toma se dedica a realizar tareas propias de aforo en cada línea. Los periodos de toma son idénticos a los de entrevistas, con la salvedad de que en este caso se realizan grupos de tres personas que se reparten el horario efectivo de cada línea, para subirse en el vehículo y aforarle (en este caso, los miembros del grupo de trabajo no coinciden simultáneamente en el vehículo como en la tarea anterior). El periodo temporal de trabajo planificado para esta tarea es también de un día por línea.

Una vez se realizan los trabajos de entrevistas y aforos a los usuarios del servicio, se lleva a cabo una validación de los datos obtenidos. Así, se comparan las medias de subidas obtenidas en campo con las extraídas de la información facilitada por la empresa TUMSL. Básicamente esta comparativa consiste en ver si ambas medias cumplen las siguientes condiciones: 1) que exista similitud entre medias y 2) que la desviación estándar de la toma de datos en campo sea menor a 2,5 veces la desviación estándar de los datos facilitados por la empresa.

Junto a las dos condiciones anteriores, también se realiza un análisis del coeficiente de variación entre la muestra y la información de partida, con el fin de detectar el grado de variación con respecto a la media de cada línea a lo largo del año. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$Coef_{var} = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

Donde σ es la desviación estándar y \bar{x} es la media aritmética. Esta comparativa se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Promedio de subidas del servicio

Línea	Media datos partida	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Media datos tomados
2	620	41	0,0656	526
3	512	22	0,0437	518
4	1063	64	0,0601	976
5	412	171	0,4146	643
6	845	63	0,0740	927
7	497	47	0,0943	526
8	501	33	0,0655	481
9	538	83	0,1534	422
7 F	310	84	0,2693	310

Fuente. Transportes Urbanos de Mérida S.L. Elaboración propia.

En lo que respecta a los coeficientes de variación calculados para cada una de las líneas, destaca la Línea 5, con una variación cercana al 40%. Esta heterogeneidad en las subidas se explica por la diferencia observada entre el volumen habitual y la afluencia de usuarios a eventos puntuales. El resto de coeficientes (fluctuaciones menores al 10%) muestran una mayor homogeneidad en el número de subidas a lo largo del año y validan la toma de datos realizada en campo.

5.3.2 Accesibilidad a las paradas

Un trabajo importante a realizar para diagnosticar el estado del servicio de autobús urbano ofertado en la ciudad, es determinar el nivel de accesibilidad que tienen los usuarios al mismo. De esta forma, además de detectar paradas mal ubicadas o una mala distribución en general de la oferta, es posible identificar los itinerarios de mayor volumen de desplazamientos en este modo de transporte, de cara a posibles afecciones en el flujo del resto de modos (identificando por ejemplo algún itinerario particular que pueda ser interesante a la hora de calcular rutas óptimas o posibles tramos problemáticos para la circulación global). En sí mismo este trabajo también se apoya en la modelización para detectar posibles relaciones entre las variables objeto de estudio y su distribución espacial.

Para realizar este análisis de accesibilidad, se cuenta con la siguiente cartografía base: red viaria emeritense, red de paradas que conforman el servicio, portales donde se localiza la población residente y una matriz O/D donde se enumeran los viajes realizados por los usuarios en este modo, desde su origen (portales) a su destino determinado (paradas del servicio). Dicha matriz es fruto de las entrevistas de interceptación descritas anteriormente. En este sentido, destaca el hecho de que se calcula el campo impedancia en función de los desplazamientos peatonales, ya que el PMUS de Mérida detecta que la inmensa mayoría de los usuarios del servicio acceden a él a pie. Para ello se tienen en cuenta estudios que estiman como adecuada una velocidad peatonal de 3,83 km/h (Knoblauch et al., 1996; Muñoz-Raskin, 2010).

Los indicadores de accesibilidad empleados para generar el modelo son los potenciales de población a 5 y 10 minutos de las paradas, la accesibilidad absoluta y los tiempos mínimos de los portales. Con respecto al primer cálculo (potencial de población), hay que destacar el hecho de que no es en sí un indicador de accesibilidad propiamente dicho pero sirve para estimar el volumen de población que puede acceder al servicio en un área de influencia dada (demanda potencial), establecida ésta última en función de un límite de tiempo o espacio determinados con respecto a un bien concreto

(en este caso la parada de autobús urbano). Para realizar estos cálculos se tienen en cuenta las aplicaciones SIG.

Con respecto a la accesibilidad absoluta, esta mide el grado de interconexión de un punto (portal) con el resto de puntos de la región estudiada (resto de paradas del servicio). En este caso, los elementos a tener en cuenta son la ocupación de las paradas (factor ponderador) y el tiempo mínimo de acceso peatonal a estas desde los portales donde se localiza la población residente. El cálculo de este indicador se realiza teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$AA_i = \frac{\sum_{j=1}^n (IR_{ij} * OP_j)}{\sum_{j=1}^n OP_j}$$

Donde IR_{ij} es el tiempo mínimo entre dos nodos “i” y “j” a través de la red y OP_j es la ocupación de las paradas del servicio de autobús urbano emeritense.

Finalmente, el cálculo de tiempos mínimos muestra como su propio nombre indica, el tiempo mínimo sobre la red que se emplea en desplazarse (en modo peatonal) desde cualquier portal a la parada más cercana del servicio analizado. Para ello se tiene en cuenta la distancia entre puntos sobre la red, el tipo de vía por el que desplazarse y la velocidad media de paso citado anteriormente. Esta variable también se obtiene directamente haciendo uso de aplicaciones SIG.

Los resultados finales obtenidos tras estos análisis de accesibilidad se representan en distintos mapas temáticos, con el fin de detectar las relaciones espaciales que existen entre estas variables.

5.4 Detección de puntos conflictivos en la movilidad

Junto a los estudios de ocupación y accesibilidad realizados en el servicio de autobús urbano emeritense, se llevan a cabo también tareas relacionadas con la detección de puntos conflictivos en la movilidad de este modo de transporte. Además, se tiene la teoría de que estos puntos van a ser comunes en los desplazamientos realizados en otros modos de transporte motorizados, de ahí que su detección sea importante para el proceso posterior de modelización presentado en esta Tesis. La identificación de aquellos puntos en los que la movilidad es problemática permite detectar tramos con una elevada probabilidad de que se produzca congestión vehicular en el periodo de HP y teniendo claras estas zonas se pueden ofrecer alternativas a los desplazamientos, disminuyendo o equiparando sus tiempos de viaje a los de la ruta inicialmente utilizada, siempre que sea necesario.

Antes de nada, conviene definir qué se entiende por “punto conflictivo”: es todo punto en el que se detecta una velocidad media del modo de transporte analizado inferior a 2 km/h. Aunque inicialmente parece complicado de diagnosticar, el hecho de disponer de un GPS facilita enormemente las cosas, ya que es fácil obtener información cartográfica de tipo puntual (nube de puntos) con información atributiva como altitud, velocidad, tiempo de paso, velocidad media del recorrido, coordenadas X e Y, fecha y hora de toma y tiempo total empleado por recorrido entre otras. Además, este instrumento permite distinguir dos tipos de puntos conflictivos: aquellos en los que el vehículo está completamente detenido de otros en los que el vehículo presenta una velocidad muy baja. El modelo utilizado es un GPS Garmin 60CSx, con un error máximo en el posicionamiento de 0,5 m.

La idea planteada es configurar el dispositivo y depositarlo en cada vehículo del servicio de autobús urbano para que, durante todo el horario laboral del mismo en cada línea, se recabe información relativa a dicho recorrido. Este trabajo se realiza al mismo tiempo que se captura la información sobre la ocupación de la línea. El periodo por tanto de trabajo, es el mismo que en las tareas de aforo (un día laboral sin incidencias para cada vehículo de la línea).

La forma de captura del GPS consiste en almacenar la información en cuestión a nivel de tramos que conforman el recorrido estudiado (*trac*), entendiendo por tramo un segmento de la red limitado por dos paradas del servicio. En cuanto a la configuración del dispositivo, ésta se reduce prácticamente a la asignación de la proyección cartográfica y el sistema de referencia en el que se pretende tomar la información (European Datum 1950 con el sistema de referencia UTM y transformación posterior a ETRS89, UTM huso 30 norte); la unidad de medida de captura (en este caso m) y la selección de puntos a almacenar (un punto cada 2 segundos).

Una vez obtenida toda la información de cada línea, se lleva a cabo un proceso de volcado de datos al formato digital para su validación. En este sentido, la primera tarea a realizar es re proyectar toda la cartografía del huso 29 norte al huso 30 extendido, para disponer de la misma en el mismo sistema de referencia. Para ello se abre el fichero “.txt” generado por el GPS en Excel y se transforma a un formato compatible con el entorno SIG, donde se va a realizar la re proyección. Este entorno además permite generar una capa de información cartográfica en formato “.shp”, útil para las tareas posteriores. Tras la transformación y desde el propio entorno SIG, se distinguen de la nube de puntos aquellos referidos a cada parada del servicio del resto (considerados

puntos conflictivos). Esta distinción se apoya en la cartografía sobre paradas ya existente, seleccionando aquellos puntos de la nube que están a 3 m o menos de la parada conocida (estos puntos se entiende que son parada obligatoria del servicio) y eliminándolos. De esta forma se obtienen todos los puntos que son verdaderamente conflictivos para la movilidad, quedando por tanto dicha cartografía validada.

5.5 Encuestas domiciliarias

En este apartado se describe la metodología utilizada para obtener una muestra de viajes representativa de la movilidad emeritense en vehículo privado, durante el periodo de HP citado anteriormente. Aunque ésta forma parte del proceso de modelización, se cree conveniente extraerla del mismo dada su importancia a la hora de extraer posteriormente los resultados, relacionados con el modelo de asignación por un lado y con el análisis general de la movilidad emeritense por otro (ambos fruto de esta misma encuesta).

El método utilizado para extraer esta información es la encuesta domiciliaria por preferencias reveladas, realizada directamente en campo y haciendo uso de una plantilla en papel. Dada la complejidad metodológica de esta tarea, se procede a su exposición atendiendo a las siguientes fases del proceso: estimación de la muestra, diseño de la encuesta en papel y trabajo de campo y finalmente, ajuste posterior de la muestra a la pirámide poblacional de Mérida, relativa al año 2009.

5.5.1.1 Estimación de la muestra

En esta sección se describe pormenorizadamente el método de cálculo utilizado para extraer el tamaño mínimo de la muestra final a encuestar para que los desplazamientos habituales extraídos de la misma, sean los suficientemente representativos de la población emeritense. Así, se calcula en primer lugar el número mínimo de portales a encuestar haciendo uso de la siguiente expresión:

$$"n" = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2(N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

N = número de portales. En este caso, 7.543.

Z = valor utilizado para intervalo de confianza al 95% ($Z=1,96$).

p = valor de probabilidad de que se produzca un resultado. Para los cálculos de las muestras se utiliza el caso más desfavorable, es decir que haya una probabilidad de que ocurra un suceso del 50% (0,5).

q = (1- p). Referido a la probabilidad contraria al valor de “ p ” (es decir, la probabilidad de que no se produzca el suceso en cuestión). También toma el valor de 0,5 por utilizarse el caso más desfavorable.

d = error máximo que se considera aceptable. En este caso 2,5%.

Haciendo uso de la expresión anterior y teniendo en cuenta el valor de los diferentes parámetros, se obtiene un tamaño mínimo muestral de 1.278 portales distribuidos por las diferentes barriadas de la ciudad.

De todos los parámetros de la expresión anterior, el más influyente en el cálculo del tamaño muestral es el error máximo, tal y como se muestra en la Tabla 12.

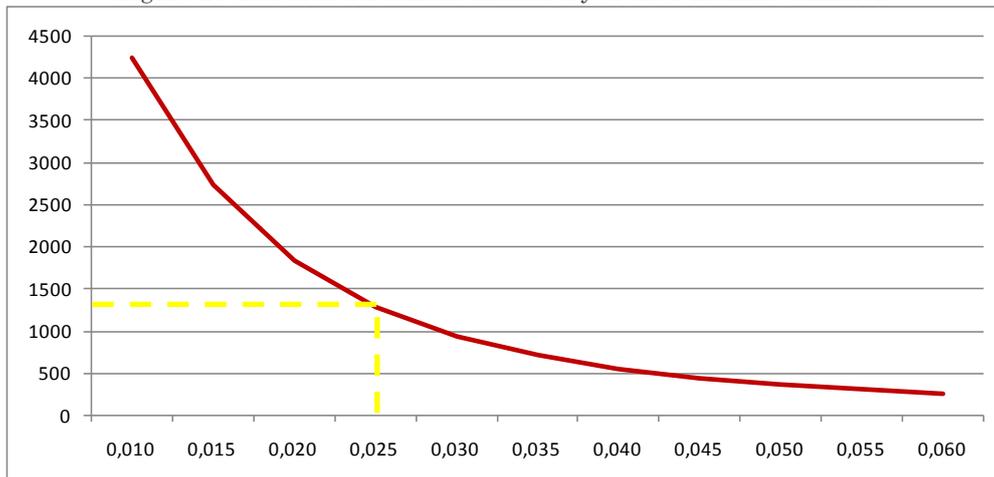
Tabla 12. Relación entre el error máximo y el número de encuestas

Error máximo permitido	Número de encuestas a realizar por portal
0,010	4.239
0,015	2.735
0,020	1.832
0,025	1.278
0,030	943
0,035	710
0,040	561
0,045	450
0,050	370
0,055	308
0,060	260

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 12 y en la Figura 20, el número de encuestas a realizar descende considerablemente a medida que aumenta el error máximo admisible. Por otra parte, el hecho de minimizar el error más de lo estrictamente necesario, aumenta enormemente el número de encuestas a realizar y con ello los costes de captación de la información. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se acepta para esta muestra un error máximo de 2,5%. Dicho valor se considera además aceptable por buena parte de la bibliografía consultada sobre este aspecto (Kuwahara y Sullivan, 1987; Pompilio, 2006; Ibeas, 2007; Gonzalez, 2009 entre otros).

Figura 20. Relación del tamaño muestral y el error máximo admisible



Fuente. Elaboración propia.

Del mismo modo que se procede a calcular el tamaño mínimo de portales a encuestar y considerando que de aquí han de extraerse posteriormente los desplazamientos habituales de la ciudad, se deduce el tamaño mínimo de los residentes a tener en cuenta, con vistas a obtener de ellos todos sus desplazamientos habituales. Considerando los mismos parámetros que para la muestra de portales, se obtiene un tamaño muestral de 1.496 residentes.

Teniendo en cuenta los volúmenes muestrales anteriores, se detecta una ocupación media global de 1,17 residentes/portal. Este dato es importante a la hora de seleccionar posteriormente los portales concretos a encuestar, ya que de este valor se deduce que por cada cinco portales entrevistados es necesario preguntar a dos personas más (o lo que es lo mismo, entrevistar a un portal más extra).

Volviendo de nuevo al tamaño muestral de portales calculado anteriormente, a continuación se procede a la distribución del mismo entre todas las barriadas emeritenses, evitando cualquier tipo de sesgo. Esta distribución depende de dicho tamaño muestral ("n"), del número de portales existentes en cada barriada y del número de habitantes residentes en cada portal. Para llevar a cabo esta tarea se siguen los pasos clave expuestos a continuación:

Paso 1.- Ajuste de la muestra en función del volumen de portales por barriada. Inicialmente se genera una tabla en Excel en la que se tienen en cuenta los campos barriada, número de portales por barriada y número de portales a encuestar. Sobre esta información se calcula el número de portales en función de la siguiente expresión:

$$n_i = \frac{x_i * "n"}{\sum x_i}$$

Donde:

n_i = número de portales a encuestar por barriada

x_i = número de portales existentes en cada barriada

n = valor mínimo de portales a encuestar para una muestra representativa de esta población (obtenido con la expresión inicial).

$\sum x_i$ = sumatorio de todos los portales existentes en todas las barriadas de Mérida.

Paso 2.- Ajuste de la muestra de portales a encuestar en función esta vez del número medio de residentes por portal relativo a cada barriada. Este paso es necesario por la elevada heterogeneidad del número de portales existente en cada zona y también en el número de residentes de cada uno de ellos. Este número medio de habitantes por portal ($Hab.promed.k$) se obtiene con la siguiente expresión:

$$Hab.promed.k = \frac{Pobl.k}{Port.k}$$

Donde $Pobl.k$ es la población residente en la barriada "k" y $Port.k$ es el número de portales existentes en la misma.

Paso 3.- Asignación de pesos a los portales de las barriadas para la obtención de la muestra ajustada en cada una de ellas. Para ello, se generan unas expresiones con las que se asigna más peso a aquellas barriadas cuyo número de habitantes por portal es mayor y menos peso a las barriadas que cumplen el caso contrario. De esta forma, se permite homogeneizar la muestra final a encuestar. Esta muestra está en función de los volúmenes poblacionales y de los portales existentes en cada barriada. Las expresiones para la obtención del número de encuestas ajustadas son:

$$NE = \frac{"n" * Port._k}{\sum Portales}$$

$$NEAjust. = \frac{NP * NE}{\sum NP}$$

$$NP = Pesos * NE$$

$$Pesos = \left(\frac{(Hab.promed._k - \min(x_i) * 5)}{(\max(x_i) - \min(x_i))} + 1 \right)$$

Donde:

NE= número de encuestas por barriada.

n= valor mínimo de portales a encuestar para una muestra representativa de esta población (obtenido con la expresión inicial).

Port_k= el número de portales existente en cada barriada.

$\sum Portales$ = sumatorio de todos los portales existentes en todas las barriadas.

NEAjust.= número de encuestas ajustadas (valor final de las encuestas a realizar por barriada).

NP= número de encuestas por peso.

$\sum NP$ = sumatorio de todos los números de encuestas por peso.

Pesos= valor que se ha asignado a cada barriada en función de los habitantes por portal que presenta cada barriada.

Hab.promed._k= número de habitantes por portal para cada una de las barriadas.

mín(x_i)= número mínimo de habitantes por portal de toda la serie.

máx.(x_i)= número máximo de habitantes por portal de toda la serie.

El resultado de aplicar las expresiones anteriores se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Obtención de la muestra ajustada a encuestar en Mérida

Barriada	Nº portales	Población	Pob./portal	Nº encuestas por barriada (sin ajustar+1)	Coef. ajuste (en función de Pob./portal)	Nº encuestas por barriada (ajustadas)
Bellavista	105	2008	19	18	0,37	21
Cabo Verde	185	835	5	32	0,09	29
Carrión	25	58	2	5	0,05	4
Corchera	69	2008	29	12	0,57	16
Cruzcampo	135	1.096	8	23	0,16	23
El Barrio	155	600	4	27	0,08	24
El Prado	185	2.538	14	32	0,27	35
El Vivero	43	143	3	8	0,06	7
Extrarradio	110	605	6	19	0,11	18
Jardín de Mérida	286	1.265	4	49	0,09	45
Jardines Hipódromo	148	567	4	26	0,07	23
Juan Canet	5	1.024	205	1	4,00	4
La Algodonera	15	285	19	3	0,37	3
La Calzada	34	133	4	6	0,08	5
Las Abadías	254	1.757	7	43	0,14	42
Los Bodegones	347	3.929	11	59	0,22	63
María Auxiliadora	66	1.373	21	12	0,41	15
Monte Alto	302	1.157	4	52	0,07	47
Ntra. Sra. la Antigua	157	2.468	16	27	0,31	31
Nueva Ciudad	584	6.845	12	99	0,23	106
Plantonal de Vera	96	340	4	17	0,07	15
República Argentina	116	553	5	20	0,09	18
S. Agustín-T.Galván	65	378	6	12	0,11	11
Salesianos	93	479	5	16	0,10	15
S. Albín	342	2.104	6	58	0,12	56
S. Andrés	267	902	3	46	0,07	41
S. Antonio	212	770	4	36	0,07	33
S. Bartolomé	74	443	6	13	0,12	12
S. Juan	559	1.933	3	95	0,07	86
S. Lázaro	110	1.284	12	19	0,23	20
S. Luís	102	1.868	18	18	0,36	21
Sta. Catalina	50	674	13	9	0,26	9
Sta. Isabel	144	493	3	25	0,07	22
Sta. Eulalia-Milagros	221	1.634	7	38	0,14	37
Zona Centro	1.675	13.617	8	284	0,16	285
Zona Sur	206	2.105	10	35	0,20	36
	7.543	60.273		1.295	10	1.278

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, la distribución del tamaño de la muestra de portales a encuestar (1.278) entre todas las barriadas, se realiza de forma proporcional atendiendo al número de residentes y al volumen de portales localizados en cada una de ellas, considerando los parámetros muestrales citados anteriormente (Tabla 14).

Tabla 14. Coeficiente de ajuste y parámetros de la muestra

Coeficiente de ajuste	Portales	Nº de portales a encuestar	Error	p
0,153	7.543	1.277	0,025	0,5

Fuente. Elaboración propia.

Una vez que se tiene el número de encuestar a realizar en cada barriada, el siguiente paso es seleccionar de forma aleatoria aquellas direcciones postales concretas de donde se ha de extraer la muestra de desplazamientos habituales. Para ello se siguen las siguientes pautas:

- Se genera una tabla de Excel en donde se implementan todas las direcciones postales (a nivel de portal) de todas las localizaciones para cada barriada.
- Se ordenan cada una de estas direcciones por barriada, asignando el orden “1” a la primera dirección y “n” a la última de una misma barriada. Ídem para el resto de portales y barriadas.
- Aplicación en cada barriada de una expresión para seleccionar aleatoriamente aquellos portales a encuestar. De aquí se extrae un conjunto de direcciones postales (de igual valor que el número calculado en la tabla anterior para cada barriada diana), seleccionadas por el orden que estas ocupan en el listado de la tabla. Dicho conjunto se extrae del resto de la información como muestra final a encuestar.
- Reordenación de la muestra final siguiendo el método anterior en la hoja Excel y detección de direcciones postales repetidas. Para evitar estas repeticiones (fruto de errores en la fuente de datos) se les aplica la siguiente expresión:

$$\text{Si } (NO_i - NO_{i-1}) = 0, \text{ entonces Valor}_i = (NO_i + 1)$$

Donde:

NO_i = número de orden “i” de la muestra (por ej. el portal de orden 1, “i”=1).

NO_{i-1} = número de orden inmediatamente anterior al analizado.

$Valor_i$ = valor o resultado que habrá que poner en la columna “resultado”.

Si tras aplicar la expresión anterior se observan direcciones postales repetidas se vuelve a realizar una nueva selección añadiendo una unidad al segundo portal semejante. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario hasta asegurarse que no haya portales repetidos. El resultado de aplicar esta última expresión es la muestra final estimada para llevar a cabo las encuestas domiciliarias.

Una vez que se encuesta en campo a todos los portales, se selecciona aleatoriamente entre ellos al número de personas de las que se van a considerar todos los desplazamientos cotidianos realizados en la ciudad. Este volumen de residentes ha de ser igual al volumen mínimo calculado inicialmente (“n”=1.496) para una muestra de viajes igualmente representativa.

5.5.1.2 Diseño de encuestas domiciliarias

Como ya se ha comentado, el método de recogida de información es la entrevista domiciliaria. Inicialmente se planteó la posibilidad de obtener la información de flujos habituales a través de encuestas autorrellenables por los propios residentes pero se comprobó en la prueba piloto que este método devolvía una muestra prácticamente nula, ya que la mayoría de los encuestados no completaban la información requerida o directamente tiraban el cuestionario.

Por este motivo se opta por las entrevistas en papel, realizadas directamente por el propio investigador en cada uno de los hogares de la muestra, a lo largo del periodo temporal comprendido entre noviembre del 2010 y mayo del 2011, respectivamente. El diseño de la encuesta consiste en una plantilla en papel que recoge toda la información a considerar, acerca de la caracterización del hogar encuestado, de los modos de

transporte disponibles y del tipo de movilidad cotidiana realizada por los residentes. Para identificar los elementos a tener en cuenta de cara a este tipo de trabajos, se parte de una revisión bibliográfica al respecto. Entre estas referencias destaca el trabajo llevado a cabo por Ibeas et al. (2007), en donde se identifican distintos diseños de encuesta domiciliaria y variables a tener en cuenta. A raíz del mismo, se distinguen claramente dos partes (para más información ver el capítulo de Anexos, apartado 10.4):

- Datos de caracterización de la muestra, dividida a su vez en: residentes (edad, sexo y nivel de renta mensual) y hogar (existencia de plaza de garaje, número de vehículos existentes en el hogar y tipos distinguiendo entre bicicleta, motocicleta, turismo, furgoneta o camión).
- Datos relacionados con la movilidad de cada individuo propiamente dicha. Hay que destacar de cara a la toma de datos, que en esta encuesta se recaban los diferentes viajes¹⁶ llevados a cabo por cada usuario de forma desagregada. Así, se recopila para cada viaje la siguiente información:
 - Orden del viaje. Es un indicador numérico que identifica de forma única a cada viaje relativo a un usuario determinado.
 - Origen y destino del viaje. Aquí se distingue el origen del viaje, dependiendo de si es una localidad distinta de Mérida, un equipamiento singular de la ciudad o una calle/barriada si se trata de un residente de Mérida.
 - Horarios de salida y llegada del viaje. Donde se indica la hora de salida y llegada de cada viaje, haciendo uso de la nomenclatura de hora y minutos (por ejemplo, “Salida”: 11:15h-“Llegada”: 11:30h).
 - Motivo del viaje. En este apartado se seleccionaba con un aspa un único motivo del viaje realizado de la siguiente lista: regreso al hogar, trabajo, gestiones por trabajo, estudios, compras, sanidad, asuntos personales, ocio.
 - Modo de transporte utilizado. Identificando con un aspa el modo de transporte único utilizado para realizar cada viaje, atendiendo a la siguiente lista: a pie, en bicicleta, en moto, automóvil conduciendo, automóvil acompañante, autobús urbano, autobús interurbano, tren.

Haciendo uso de esta plantilla se procede al trabajo de campo: tras la elección de la barriada a encuestar, se genera un itinerario para minimizar el tiempo dedicado a dicha tarea; siguiendo este último, se localiza un portal objetivo, se anota el número de viviendas ubicadas en el mismo y se selecciona aleatoriamente (método del dado) un hogar a encuestar. El método utilizado para ello consiste en lanzar un dado al aire para obtener un número concreto, el cual se corresponde con el orden que ocupa la vivienda a encuestar dentro del portal; para identificarla se cuenta en una ocasión en sentido ascendente y en la siguiente en sentido descendente¹⁷; la vivienda coincidente con el valor del dado y el conteo es el hogar del que se deben extraer los desplazamientos de todos los residentes que disfruten de una movilidad autónoma (es decir, que realicen desplazamientos por la ciudad por sus propios medios).

¹⁶ Según MOVILIA (2007), se entiende por *viaje* al conjunto de desplazamientos efectuados por una persona desde que sale de su residencia hasta que regresa a ella. Sin embargo para tratar estos datos, se desagregan en *desplazamientos* (movimiento de una persona desde un lugar de origen a un lugar de destino por un único motivo).

¹⁷ Este conteo se realiza considerando los timbres de los portales o los buzones de correo.

Cada plantilla hace mención a los desplazamientos de una única persona, independientemente del hogar al que pertenezca, la cual queda caracterizada al inicio de la misma (incluyendo la asignación de un ID con el que relacionarla con los desplazamientos urbanos realizados). Una vez entrevistados a todos los miembros del hogar se agradece su colaboración en la investigación.

Para validar toda esta información se genera una base de datos en Access en la que se implementa todo, haciendo uso de dos formularios (uno para la caracterización del encuestado y otro para los viajes que éste ha realizado, conforme a las Figuras 21 y 22). Los pasos seguidos para este trasvase son: anotación en el primer formulario de la información del hogar encuestado; rellenado de los datos de caracterización de cada residente, junto al identificador único del mismo (generado automáticamente); captación de la información relativa a los viajes realizados, haciendo uso del segundo formulario.

Figura 21. Formulario de caracterización muestral en la base de datos

The image shows a screenshot of a Microsoft Access database form titled "Caracterización". The form is displayed in a window titled "EncuestasDomesticas: Base de datos (Access 2007) - Microsoft Access". The form contains the following fields and controls:

- Código encuesta:** A text box containing the value "0001".
- Edad:** A text box containing the value "50".
- Sexo:** A dropdown menu with the value "Mujer".
- DOMICILIO:** A dropdown menu with the value "Barrada Nueva Ciudad".
- Calle:** A dropdown menu with the value "AMERICAS".
- Nº:** A text box containing the value "15".
- Nivel de renta:** A dropdown menu with the value "menos de 600".
- VEHICULOS:** A section with a "Número de vehículo" text box containing "2" and several checkboxes:
 - Plaza de garaje
 - Bicicleta
 - Turismo
 - Camión
 - Motocicleta
 - Furgoneta

At the bottom of the form, there are four buttons: "Actualizar", "Nuevo", "Eliminar", and "Volver". The status bar at the bottom indicates "Registros: 1 de 1850" and "Buscar".

Fuente. *Elaboración propia.*

Como se puede comprobar en estas dos figuras, se tienen en cuenta los mismos ítems que en la encuesta en papel para agilizar el volcado de información. El hecho de utilizar formularios en el volcado digital reduce los procesos de validación y análisis, al igual que los errores típicos como la duplicidad de información. En el caso de que haya más de un residente en un mismo hogar, simplemente se tiene que rellenar aquella información relativa al nuevo inquilino y pasar directamente al formulario de desplazamientos (los datos del hogar se rellenan con la información del anterior encuestado).

Figura 22. Formulario de volcado de desplazamientos en la base de datos

The screenshot shows a Microsoft Access database form titled "Desplazamientos". The form is used for entering displacement data. It includes fields for "Codigo encuesta" (0012) and "Id desplazamiento" (49). There are sections for "ORIGEN" and "DESTINO" with dropdown menus for "Barriada", "Centro", and "Localidad". Other fields include "Hora Salida" (10:00), "Hora Llegada" (10:15), "Motivo" (Asuntos personales), and "Modo" (Autobús Urbano). A "BUSCAR" table on the right lists survey codes and locations. Buttons for "Aceptar", "Nuevo", "Eliminar", and "Volver" are at the bottom.

BUSCAR	0012	Nueva Ciudad
	0012	Zona Centro
	0012	Las Abadias
	0013	Nueva Ciudad
	0013	Republica Arge
	0014	Nueva Ciudad
	0014	Nueva Ciudad
	0015	Republica Arge
	0015	Republica Arge
	0015	Nueva Ciudad
	0015	Republica Arge

Fuente. Elaboración propia.

Seguidamente se corrigen los errores detectados durante el proceso de revisión, que básicamente consisten en detectar los registros con algún campo incompleto o con información que no presente la codificación adecuada en los campos en cuestión. También se comprueba que no existen registros duplicados. Toda esta información errónea se intenta corregir siempre que sea posible sin falsificarla y si no es posible se elimina de la base de datos.

Tras la implementación de toda la información recabada y su posterior validación, se obtiene una muestra final de 8.472 desplazamientos referidos a 2.220 residentes de 1.157 hogares emeritenses. Con respecto a los niveles de desagregación de la información, se aceptan para los análisis posteriores todos aquellos ítems con más de 25 elementos (el resto son desechados por no ser representativos estadísticamente).

5.5.1.3 Ajuste de la muestra con la pirámide de población

En este apartado se expone la metodología utilizada para extrapolar los desplazamientos muestrales fruto de las entrevistas domiciliarias, al total poblacional. Este proceso surge de la necesidad de resolver el problema del doble sesgo detectado en la muestra de residentes (tanto en la edad como en el género), quizá fruto de las horas en las que se solían hacer las entrevistas (normalmente entre las 9:30h y las 14:30h de la mañana y entre las 16h y las 21h de la tarde). Así, se decide resolver el problema haciendo uso de la pirámide poblacional facilitada por el padrón municipal del INE relativa al año 2009 (Tabla 15).

Tabla 15. Clasificación muestral y poblacional por edad y género

QUINQUENIO	POBLACIÓN MUESTRA				POBLACIÓN PIRÁMIDE			
	HOMBRES	% HOMBRES	MUJERES	% MUJERES	HOMBRES	% HOMBRES	MUJERES	% MUJERES
15-19	65	7,03	54	5,24	1.784	8,39	1.727	7,99
20-24	65	7,03	53	5,15	1.896	8,91	1.818	8,41
25-29	60	6,49	64	6,21	2.270	10,67	2.110	9,76
30-34	79	8,55	105	10,19	2.418	11,37	2.353	10,88
35-39	101	10,93	116	11,26	2.286	10,75	2.300	10,64
40-44	99	10,71	119	11,55	2.329	10,95	2.351	10,87
45-49	108	11,69	137	13,30	2.175	10,22	2.210	10,22
50-54	89	9,63	107	10,39	1.771	8,32	1.787	8,26
55-59	80	8,66	69	6,70	1.406	6,61	1.506	6,97
60-64	82	8,87	71	6,89	1.277	6,00	1.314	6,08
65-69	54	5,84	77	7,48	847	3,98	1.045	4,83
70-74	42	4,55	58	5,63	815	3,83	1.101	5,09
TOTALES	924	100	1.030	100	21.274	100	21.622	100

Fuente. *Elaboración propia.*

Como se puede comprobar en la tabla anterior, únicamente se tienen en cuenta los grupos quinquenales de la población que potencialmente puede conducir un vehículo privado (modo más problemático para la movilidad y tenido en cuenta para el proceso de modelización). El hecho de utilizar la pirámide poblacional para procesos de extrapolación en modelización urbana no es muy habitual, ya que estos normalmente suelen utilizar la renta por hogar o el número de residentes en el mismo. Sin embargo, en este caso se utiliza este método porque los residentes se muestran muy reacios a facilitar cierta información, sobre todo aquella referida al ámbito económico (el grado de información nula en este ítem es superior al 70% del total muestral). De esta manera, solo queda la opción de extrapolar los viajes en función de la única información disponible para ello (información poblacional facilitada por el Ayuntamiento de Mérida). Con esta tarea se consiguen resolver dos problemas: por un lado corregir el doble sesgo comentado líneas atrás y por otro, obtener los factores de expansión para cada grupo quinquenal y género, que sirvan para la extrapolación en cuestión. Los pasos seguidos para ello se explican a continuación.

En primer lugar se genera una tabla en la que se relaciona cada valor de edad con el grupo quinquenal al que pertenece. Esta tabla es útil para las relaciones y consultas que son necesarias en el proceso y por ello se implementa en la base de datos donde se encuentra el resto de información sobre las entrevistas (Tabla 16).

Tabla 16. Relación entre grupos quinquenales y edades

QUINQUENIO	VALORES DE EDAD
0-4	0
0-4	1
0-4	2
0-4	3
0-4	4
5-9	5
5-9	6
5-9	7
5-9	8
5-9	9
...	...

Fuente. Elaboración propia.

Seguidamente se calcula el número de viajes realizados en vehículo privado y HP desagregados por grupo quinquenal y género. Esta operación se realiza teniendo en cuenta la tabla anterior junto a los desplazamientos y caracterización de los encuestados. La consulta realizada para tal fin se obtiene directamente con la sentencia SQL:

```

“TRANSFORM Count(Desplazamientos.id_desplazamiento) AS CuentaDeid_desplazamiento
SELECT edad_quinquenio.quinquenio
FROM Desplazamientos INNER JOIN (edad_quinquenio INNER JOIN Caracterizacion ON
edad_quinquenio.Edad = Caracterizacion.edad) ON esplazamientos.codigo_encuesta =
Caracterizacion.cod_encuesta
WHERE (((Desplazamientos.modo)="Automóvil (conduciendo)")
AND((Hour([Desplazamientos]![h_salida]))=14) AND ((Hour([Desplazamientos]![h_llegada]))=14))
GROUP BY edad_quinquenio.quinquenio
PIVOT Caracterizacion.sexo”

```

El resultado se muestra en la Tabla 17 en donde, tal y como se ha citado anteriormente, se mantienen aquellos desplazamientos y grupos quinquenales que potencialmente pueden desplazarse en modo privado, conforme a la muestra obtenida directamente en campo.

Tabla 17. Desplazamientos obtenidos para el periodo de HP

QUINQUENIO	DESPLAZAMIENTOS MUESTRALES EN VEHÍCULO PRIVADO	
	HOMBRES	MUJERES
15-19	4	3
20-24	8	10
25-29	10	14
30-34	16	26
35-39	32	30
40-44	30	36
45-49	18	26
50-54	24	10
55-59	24	8
60-64	15	1
65-69	6	0
70-74	2	0
TOTALES	189	164

Fuente. Elaboración propia.

En tercer lugar, es necesario generar una nueva relación en la que se tenga en cuenta este número de viajes detectados en HP y modo privado de la muestra, junto a la propia población emeritense (pirámide poblacional del INE). En este caso, la tabla resultado se obtiene por medio de consultas realizadas sobre la relación existente entre los desplazamientos de la muestra y la tabla que relaciona los diferentes grupos quinquenales con las edades de los residentes afectados (Tabla 18).

Tabla 18. Relación de desplazamientos por edad y género

QUINQUENIO	VIAJES EXTRAPOLADOS	
	HOMBRES	MUJERES
15-19	110	96
20-24	233	343
25-29	378	462
30-34	490	583
35-39	724	595
40-44	706	711
45-49	362	419
50-54	478	167
55-59	422	175
60-64	234	19
65-69	94	0
70-74	39	0
TOTALES	4.270	3.570

Fuente. Elaboración propia.

Para obtener la tabla de viajes poblacionales por grupo quinquenal y género (tabla anterior), se utiliza la siguiente expresión:

$$Viajes_{totales} = \frac{Pob_{tot.} * viajes_{HP}(X \text{ o } Y_n)}{Pob_{muestra}}$$

Donde “*Viajes_{totales}*” es el volumen de viajes expandidos en cada grupo (el sumatorio de estos desplazamientos es igual al volumen detectado inicialmente, 7.840); “*Pob_{tot.}*” es el volumen poblacional perteneciente a cada grupo quinquenal y género de la pirámide poblacional emeritense; “*viajes_{HP}*” es el volumen de viajes detectados en la muestra de cada grupo quinquenal y género concretos, relativo al periodo de HP; y finalmente, “*Pob_{muestra}*” es la parte de la muestra encuestada que realiza los desplazamientos en el periodo y modo de transporte citados anteriormente.

Una vez se dispone del volumen de viajes expandidos por grupo de edad y género, el siguiente paso es extrapolar la matriz O/D de la muestra para generar la nueva matriz O/D poblacional (o global), ya con los viajes reales considerando a toda la población emeritense que potencialmente puede moverse en vehículo privado por la ciudad. Esta última es la matriz resultado que se va a utilizar en el proceso de asignación a la red. Para pasar de la matriz muestra a la matriz global se utiliza la siguiente expresión:

$$v_{ij} = \frac{Viajes_{totales} * viajes_{detectados}_{ij}}{Total\ viajes\ en\ HP\ y\ modo}$$

Donde “*v_{ij}*” es el número de viajes extrapolados referidos al origen “*i*” y al destino “*j*”; “*Viajes_{totales}*” es el volumen de viajes calculado con la expresión anterior, referido al total poblacional; “*viajes_{detectados_{ij}}*” es el número de viajes contabilizados en la muestra para cada par O/D; y finalmente, “*Total viajes en HP y modo*” es el volumen total de viajes obtenidos en la muestra para el periodo de HP y referidos al modo analizado.

Todo este proceso de cálculo se realiza directamente en la propia base de datos, a través de una consulta en la que se relaciona la matriz O/D de la muestra y la tabla de desplazamientos extrapolados, referidos éstos últimos a los grupos quinquenales y género que potencialmente se pueden desplazar en coche.

5.6 Proceso de modelización

Con la matriz O/D de viajes extrapolada, se procede a continuación a describir el diseño del modelo de asignación con el que identificar los desplazamientos que atraviesan cada tramo de dicha red emeritense, teniendo en cuenta el modo de transporte privado (modo más utilizado y problemático) y el periodo de mayor intensidad de tráfico (la HP considerada en este trabajo). Para tal fin, se necesita información cartográfica sobre la red viaria junto a los diferentes puntos O/D a considerar (barriadas, accesos externos y equipamientos). Buena parte de esta información ha de generarse o validarse para poder ser implementada en la fase de modelización. Por tanto, antes de llevar a cabo la carga¹⁸ de los viajes totales, se expone a continuación un conjunto de procesos que permiten obtener la cartografía base de este sistema urbano.

¹⁸ Se entiende por carga al proceso por el cual se implementan los viajes de un modelo de asignación a la red viaria perteneciente a un área de estudio dada (en este caso un núcleo urbano).

Todos los procesos destinados a obtener la cartografía base del modelo se dividen en diferentes subapartados, en función del tipo de tarea a realizar. Estos, son muy similares a las fases propias del modelo de transporte tradicional de cuatro etapas pero es conveniente aclarar que en esta investigación únicamente se aborda la última de estas fases, la relativa al proceso de asignación de viajes a la red y que en ningún momento se quiere dar a entender que lo que aquí se presenta sea un modelo global de transporte como tal (las fases de generación, repartición modal y distribución de viajes no se generan siguiendo los procesos propios del modelo tradicional propio de la ingeniería del transporte). El fin de estas subdivisiones radica en organizar las distintas tareas abordadas siguiendo cierto orden lógico en este proceso.

Las metodologías utilizadas en el proceso de modelización son más sencillas de seguir y quizás se ajustan más a las necesidades requeridas en este tipo de ciudades, en detrimento de otros modelos más complejos como es el caso del modelo mencionado en el párrafo anterior. Otra bondad de este tipo de diseños, es la inclusión directa de la población al proceso (por medio de las entrevistas), ya que es esta misma población la beneficiaria de las tomas de decisiones que surjan a raíz de aplicar dicho modelo. Por el contrario, algunas de las limitaciones más destacadas guardan relación con la prudencia que se ha de tener en este tipo de trabajos. Este modelo ofrece buenas predicciones únicamente en aquellas ciudades en las que no existe congestión en sus redes, ya que el método de asignación seguido parte de esta premisa (método “todo o nada”).

Así, una vez expuestas las bases del marco de trabajo, se muestra en la Tabla 19 la fecha de los trabajos realizados en campo que tienen que ver con el diseño del modelo de asignación propuesto en esta Tesis. Esta información es necesario recabarla para este proceso y no está disponible en ninguna fuente, ni actual ni de periodos anteriores.

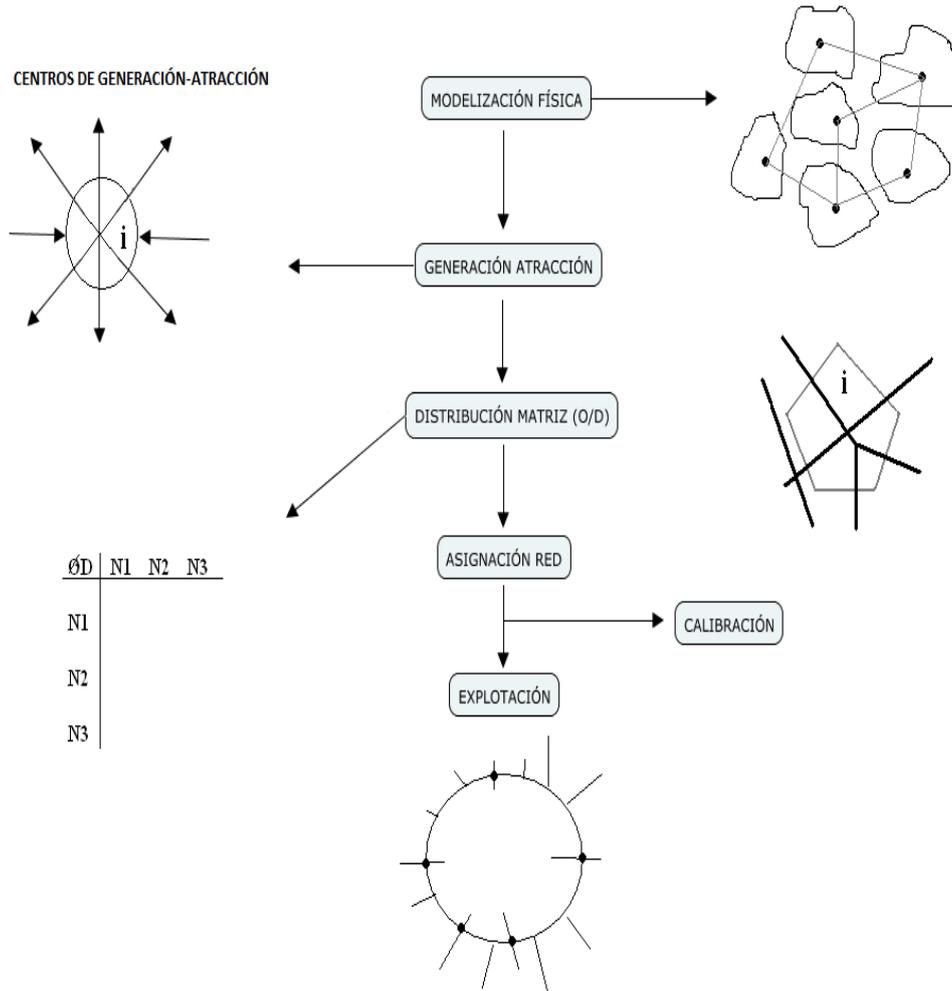
Tabla 19. Datos clave adquiridos para diseñar el modelo de asignación

TIPO DE TRABAJO	FECHA DE TRABAJOS
Diseño/obtención cartografía base (población, zonificación, red viaria)	Años 2010/11
Aforos de tráfico, 1ª campaña	Del 20/06 al 22/07 del 2009
Aforos de tráfico, 2ª campaña	Del 2/10 al 5/11 del 2009
Validación velocidades de recorrido 1ª campaña	Del 23/07 al 27/07 del 2009
Validación velocidades de recorrido 2ª campaña	Del 14/06 al 20/06 del 2010
Recogida encuestas domiciliarias	Del 20/11/2010 al 10/05/2011
Recogida encuestas de interceptación (tipo pantalla)	Del 16/05 al 15/06 del 2011

Fuente. *Elaboración propia.*

Por otra parte, las fases de modelización seguidas se presentan en la Figura 23.

Figura 23. Fases en el diseño del modelo de asignación emeritense



Fuente. Elaboración propia.

Las fases metodológicas son consensuadas previamente por el equipo técnico encargado de su desarrollo. Este diseño parte de la obtención de una cartografía sobre la que se apoyan los distintos movimientos urbanos analizados con posterioridad. Dicha cartografía engloba a todos los puntos generadores y atractores de desplazamientos urbanos, junto a la red viaria que los dirige. Así, los pasos más destacados de cada una de las fases se exponen a continuación:

Fase 1ª-Modelización Física: en esta fase se obtiene toda la cartografía base con la que poder diseñar posteriormente el modelo de tráfico (obtención y validación de la red viaria, generación de la zonificación del área de estudio y asignación de la población a la red). La información de partida viene recogida en el apartado de “fuentes” (5.1).

Fase 2ª-Generación-Atracción de viajes: en esta fase se identifican aquellos bienes/equipamientos existentes en la ciudad, que atraen a un volumen de población importante. Así mismo, se analizan pormenorizadamente dichos servicios para identificar número de accesos, modos de transporte disponibles, volumen potencial de desplazamientos diarios atraídos u horario efectivo. Esta información forma parte también de la cartografía básica que soporta todo el modelo (junto con la red viaria, la zonificación y los portales poblacionales).

Fase 3ª-Distribución de desplazamientos (matriz O/D): una vez generada la cartografía base, se pasa a la fase de distribución de los viajes existentes en la red urbana. En esta fase, se identifican los orígenes y los destinos de cada uno de los desplazamientos en un periodo de tiempo concreto (en nuestro caso la HP). Para ello se determina una muestra representativa de los “viajes” habituales ocurridos en la ciudad y se realizan entrevistas domiciliarias directamente en campo con las que extraer los viajes habituales realizados en cada barriada, junto a los orígenes y destinos de estos. Tras la obtención de los flujos, se convierten a formato digital y se genera la matriz O/D, en la que se cuentan el número de viajes existentes entre cada par origen (O) y destino (D).

Fase 4ª-Asignación de los viajes a la red urbana: una vez que se tiene la matriz O/D con los viajes producidos entre zonas y equipamientos, el siguiente paso es asignar los viajes a las rutas óptimas de la red viaria en función de una serie de características propias de cada tramo de la red, siguiendo el método “todo o nada”.

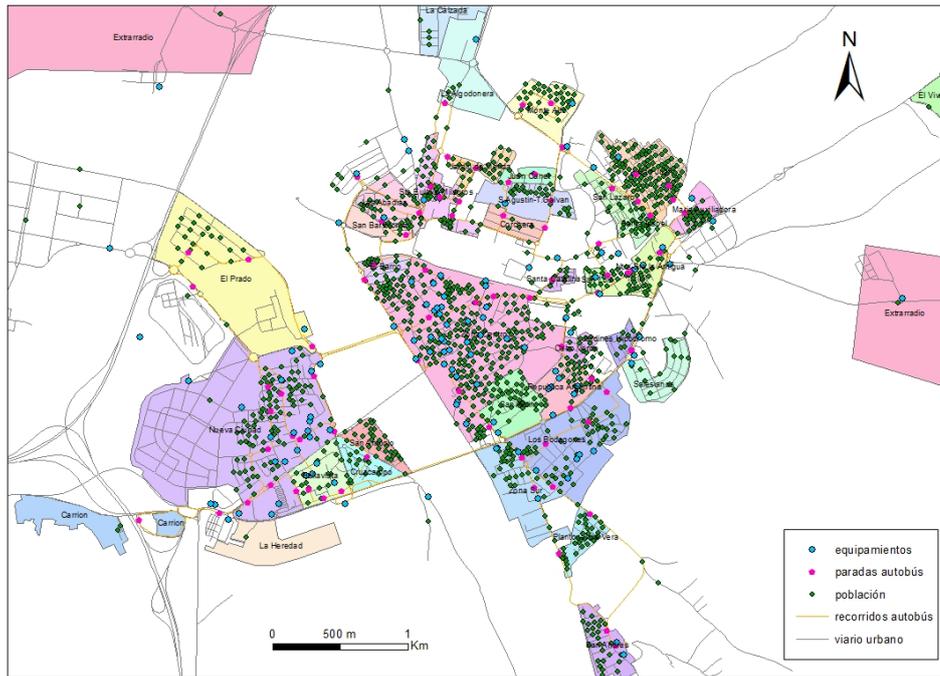
Fase 5ª-Calibración del modelo: en esta fase se comparan los viajes asignados a la red viaria de forma teórica con los datos extraídos y validados en diversos puntos estratégicos de la ciudad (obtención de muestras en campo). De este modo, se calibra el modelo en los puntos estratégicos de estudio atendiendo a:

- Comparativa del volumen de tráfico entre el porcentaje de asignación teórico y el obtenido con la muestra real a través de los periodos de aforo.
- Comparativa de las rutas O/D asignadas teóricamente con las muestras de rutas reales obtenidas en campo (estas últimas obtenidas a través de las encuestas de interceptación realizadas en los mismos puntos estratégicos).

Fase 6ª-Explotación del modelo: tras comprobar el grado de “fiabilidad” que presenta el modelo generado en la fase anterior, se procede a la explotación del mismo. Así, se engloban todas aquellas tareas encaminadas a la simulación de situaciones y obtención de resultados aplicando variables de cambio en el modelo final. De esta forma, se consigue ver cómo influyen estos cambios en los desplazamientos urbanos antes de realizarlo físicamente. Esto ayuda a una toma de decisiones más ajustada a la realidad y a una previsión más acertada por parte de los agentes públicos locales. En este caso, se aplica el modelo a un estudio concreto referido al acceso al casco urbano central de la ciudad.

Una vez descritas las principales tareas a realizar en cada fase, se explica a continuación de forma pormenorizada cómo se diseña el modelo. Este se compone, tal y como se ha citado anteriormente, de la cartografía base que se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Cartografía base utilizada en el modelo de asignación



Fuente. Elaboración propia.

La red viaria, la capa de población residente asignada a los puntos medios de cada tramo de la misma, la agrupación de zonas residenciales en barriadas y los centros dotacionales existentes en la ciudad son las capas iniciales del diseño. Con respecto a la zonificación generada, se opta por las barriadas para el análisis de los desplazamientos porque es el único modo de recoger todos los movimientos con la información disponible y minimizando los errores. Además, se descarta la posibilidad de realizar los análisis de los desplazamientos a nivel de portales por considerar que no es eficiente ya que es muy costoso y poco operativo. Para resolver este problema sin aumentar el error en los tiempos, se utilizan las propias barriadas como origen y destino en las encuestas y posteriormente en la fase de asignación de viajes, se lleva a cabo una repartición proporcional de aquellos viajes que afectan a una barriada en función de los habitantes residentes en cada punto ubicado dentro de la misma.

Otro dato importante es que se desagrega la información relativa a los principales equipamientos de la ciudad del resto de orígenes/destino (creación de una nueva capa de información), dada su importancia en la movilidad. Toda esta información desagregada en capas permite realizar cálculos de forma discreta y extraer resultados siempre que sea necesario. Sin embargo como se verá más adelante, para la asignación de viajes se agrupa dicha información en una única capa; esto es debido a los problemas de saturación detectados en el modelo (el entorno SIG se satura con más de 400.000 registros de rutas resultado). Junto a estos puntos se almacenan el ID de cada punto, el nombre del mismo y en el caso de las barriadas, la pertenencia de cada punto poblacional.

5.6.1 Modelización física

En este primer apartado se realizan todos los trabajos encaminados a obtener la cartografía que sirve como base al diseño del modelo de asignación propuesto. Esta cartografía se va a presentar siempre en formato *shape* (.shp), que es un formato de información geolocalizada muy extendido en los entornos SIG. En cuanto a este último, el modelo utiliza la versión 9.2 de *ArcGis* (ESRI) y las siguientes herramientas y extensiones propias de dicha aplicación: diseño de redes, *model Builder*, junto a las herramientas propias de *ArcToolBox Intersect* y *Append*.

La modelización física a su vez se divide en los siguientes trabajos:

- Relacionados con la creación y validación de la red viaria (topología y generación de impedancia a cada tramo).
- Aquellos que tienen que ver con la implementación de la población residente, localizada a nivel de portales.

Estos se describen a continuación de forma más detallada.

5.6.1.1 Creación y validación topológica de la red viaria

Es imprescindible para este tipo de modelos disponer de una correcta simplificación de la red viaria con dos fines: obtener las rutas “tipo” utilizadas por los usuarios y presentar los resultados extraídos del modelo de una forma clara. Para el caso de la cartografía lineal (red viaria), se utiliza información ya existente de otros proyectos de investigación. Sobre esta base se le añaden tramos que faltan e información alfanumérica: velocidad de recorrido, sentidos de circulación, longitud e identificador de tramo.

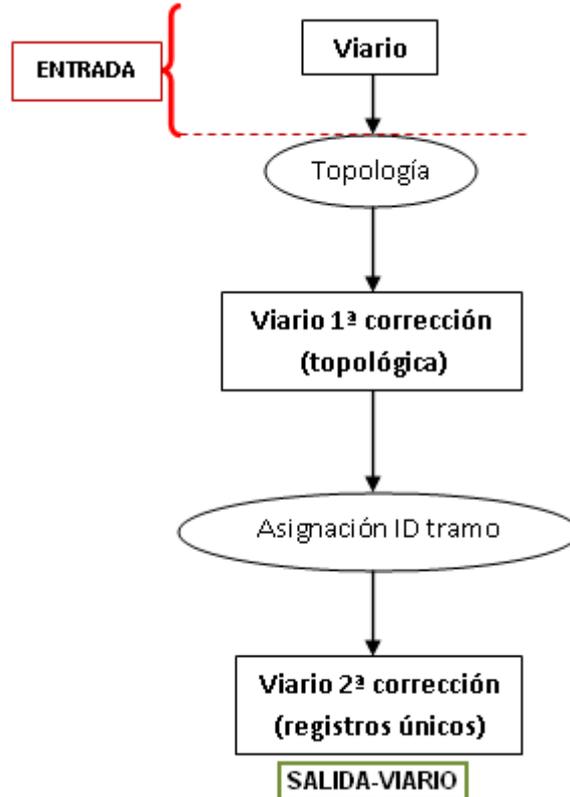
Ya que el modelo únicamente va a considerar el desplazamiento en vehículo privado a tenor del análisis llevado a cabo sobre la movilidad global de la ciudad, la red resultante de la validación anterior es la que se toma directamente como base del sistema. No obstante, aunque el modo colectivo no se considera en este modelo, sí se extrae de la red general aquella utilizada por este modo de transporte para diagnosticar su servicio, de forma independiente al proceso de modelización.

Tras esta aclaración se procede a corregir la red básica del modelo (conexiones, enlaces y validación topología en general) y a asignar “pesos” a cada vía, en función de sus características propias (velocidad de la vía y longitud de la misma). Para esta tarea, tal y como se ha citado ya en este documento, se dividen las calles en tramos lo que mejora la exactitud del modelo en cuanto a costes de desplazamiento y localización de pares O/D se refiere. Posteriormente se procede a las tareas de validación topológica y generación de la impedancia como se explica con posterioridad en este capítulo.

5.6.1.2 Topología del viario

La validación topológica consiste en implementarle a la red una serie de características sobre vecindad y conexión principalmente. Esto se lleva a cabo generando un fichero en el que se aplican una serie de reglas topológicas (Figura 25), las cuales localizan todos aquellos errores que provocan problemas de continuidad en la red (corregir la conexión entre tramos y nodos sin conexión, corrección de *dungles* o arcos colgados, salvo los que deban ser arcos colgados porque la calle sea de “fondo de saco”). También se generan reglas topológicas destinadas a corregir información redundante (eliminar arcos duplicados y pseudonodos).

Figura 25. Esquema para obtener la red viaria base del modelo



Fuente. Elaboración propia.

Una vez corregida la topología de la red, se asigna un ID a cada registro de la capa. Para eso, se genera un campo de tipo numérico autorrellenable que es validado para evitar duplicados. Finalmente, la cartografía resultado obtenida tras este proceso es la red de transportes sobre la que se sustentan todos los desplazamientos del modelo (“VIARIO”), formada por un total de 3.302 tramos.

5.6.1.3 Asignación de la impedancia

El siguiente paso es calcular la “impedancia¹⁹”, basándose en la certeza de que cada tramo de vía presenta unas características distintas cuya consecuencia es la variación de los costes generalizados²⁰ en las distintas rutas. Para simular esta realidad en el modelo, se opta por asignar a cada tramo de la red un valor de impedancia determinado, en función de la longitud que tenga y de la velocidad máxima permitida. Para calcular los valores de impedancia se crea un campo numérico en la capa y se rellena con los resultados de aplicar la expresión propia del movimiento rectilíneo uniforme, en la que se relacionan las variables velocidad, espacio y tiempo del recorrido:

$$V = \frac{E}{T}; \quad T = \frac{E}{V}; \quad T = I$$

Donde:

V= es la velocidad máxima permitida en cada tramo, medido en m/min.

E= longitud del tramo que se quiere atravesar, medido en m.

T= es el tiempo que se tarda en atravesar un tramo concreto de la red. Se mide en min.

I= es igual a la impedancia, medida en min. y aparece en la expresión sustituyendo a la variable primigenia tiempo.

El resultado obtenido es la cartografía del viario, con la identificación de cada tramo de forma única y con el cálculo de su propio coste de desplazamiento (I).

5.6.1.4 Asignación de la población al modelo

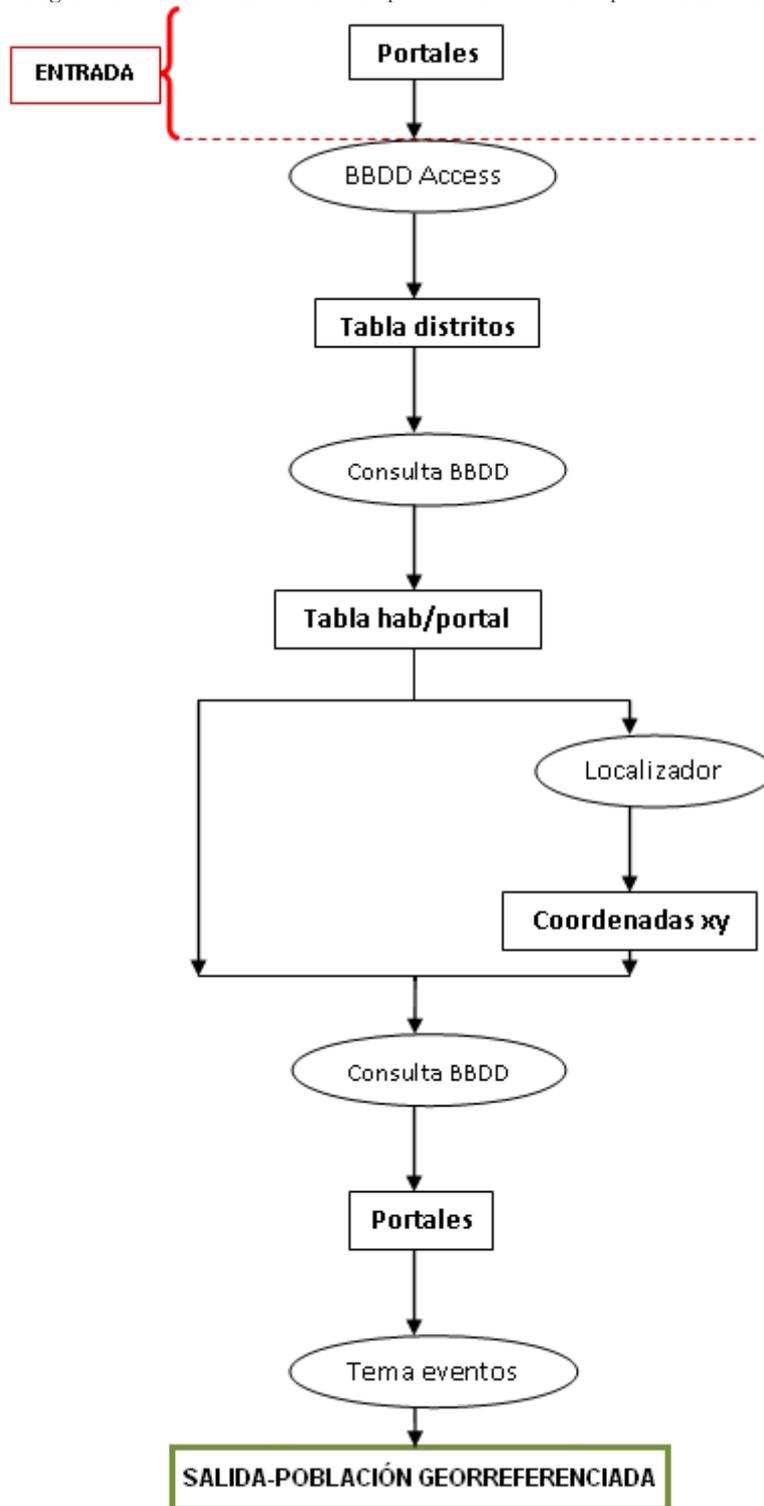
Con el viario disponible se llevan a cabo las tareas relativas a la asignación de población al modelo. Para realizar esta tarea se parte de la información tabular de habitantes facilitada por el Ayuntamiento de Mérida en el año 2009, en donde se dispone de las direcciones postales de residencia a nivel de portal, la edad (fecha de nacimiento) y género de los residentes. También se dispone de un ID para cada registro e información sobre el distrito y sección censales de pertenencia. Con el fin de facilitar las tareas de corrección y agrupación de datos, se opta por aunar toda la información en una única tabla dentro de una base de datos; esto permite trabajar con toda la información al mismo tiempo y facilita la obtención de datos de interés por medio de consultas.

Con la información agrupada por dirección postal y desagregada a nivel de portal, se exporta como tabla para que pueda utilizarse por la aplicación *Localizador*. Esta es una aplicación programada por el propio equipo de investigación, que permite pasar direcciones postales a coordenadas UTM (Figura 26).

¹⁹ La “impedancia”, repitiendo lo dicho en anteriores capítulos de este trabajo, es el coste (monetario o de tiempo) de atravesar un tramo por un usuario dado, independientemente del modo de desplazamiento utilizado para ello.

²⁰ Se entiende por coste generalizado aquel referido a la totalidad de realizar un viaje determinado para un par O/D concreto. En contra de este, se entiende por coste separable aquel referido a un único tramo de la red (o también a una única variable concreta que afecta a los costes totales de una ruta).

Figura 26. Geolocalización de la población residente para el modelo



Fuente. Elaboración propia.

El resultado de esta acción es la generación de tres campos nuevos en la tabla de direcciones iniciales: un campo con la coordenada “X”, otro con la coordenada “Y” y un tercer campo en el que la aplicación indica el grado de precisión con el que ha localizado la dirección postal en cuestión. No obstante, en el punto siguiente se

especifican los pasos seguidos para llevar a cabo esta transformación a través de la aplicación *Localizador*.

5.6.1.5 Localización de direcciones postales

Una vez que disponemos de una base de datos con toda la información poblacional, se crea una consulta para agrupar por direcciones postales (a nivel de portal) dicha población residente considerando los siguientes campos: tipo de vía, nombre de la vía, número de portal y número de habitantes por portal. El resultado obtenido es una tabla en la que cada registro se corresponde con un portal determinado al que le aparece asignado su población residente. Posteriormente, esta tabla se transforma a formato de texto (“.csv”) para que pueda ser implementada en el *Localizador*, donde se extraen las coordenadas X e Y de cada punto.

· *Localizador*.- Esta es una aplicación informática que diseñó en su día personal del grupo de investigación *DESOSTE* de la Universidad de Extremadura y cuyo fin es obtener coordenadas UTM de un grupo de puntos que presentan inicialmente direcciones postales completas. Es importante que estas últimas estén completamente desagregadas en distintos campos: código postal, provincia, municipio, tipo, nombre y número de vía. Con dicha información la aplicación obtiene coordenadas UTM realizando búsquedas en dos servidores de internet: Google y Yahoo. Esta búsqueda consiste en una solicitud inicial por parte de la aplicación a una de estas web, de las coordenadas de cada dirección postal; a continuación el servidor web se las devuelve y se graban en dos campos nuevos de la tabla de direcciones (un campo para las coordenadas en X y otro campo para las coordenadas en Y). Además, dicha aplicación genera un tercer campo en el que se indica el nivel de precisión adquirido con las coordenadas encontradas en cualquiera de los dos servidores de búsqueda (Tabla 20).

Tabla 20. Correspondencia de códigos de precisión en la herramienta *Localizador*

CÓDIGO DE PRECISIÓN DEL LOCALIZADOR	SIGNIFICADO CÓDIGO DE PRECISIÓN
4	Coordenadas a nivel de NÚCLEO POBLACIONAL.
5	Coordenadas a nivel de CÓDIGO POSTAL.
6	Coordenadas a nivel de CALLE.
7	Coordenadas a nivel de INTERSECCIÓN.
8	Coordenadas a nivel de PORTAL.

Fuente. Elaboración propia.

De esta forma, las tareas relacionadas con la transformación de coordenadas del *Localizador* se muestran a continuación:

En primer lugar, se cambia de formato la tabla (del formato “.xls” propio de Excel a “.csv”) con las direcciones iniciales, ya que el *Localizador* solo trabaja con este formato de texto. También se selecciona el sistema de referencia apropiado sobre el que la aplicación devuelve las coordenadas solicitadas (en este caso European Datum 1950 con coordenadas UTM relativas al huso 30 norte inicialmente; la transformación al sistema ETRS89 UTM huso 30 norte se hará después en la aplicación SIG).

En segundo lugar y una vez elegido el sistema de referencia y transformada la tabla al formato adecuado, se implementa el archivo con todas las direcciones postales en el *Localizador* y por medio de los campos “Tipo de vía”, “Nombre de vía” y

“Número de vía”, la aplicación devuelve un primer listado de coordenadas X e Y en el sistema de referencia elegido.

En este paso la aplicación devuelve algunas direcciones sin coordenadas. Este problema se da porque en las bases de datos de búsqueda (Google y Yahoo) aparecen almacenadas con nombres parcial o totalmente distintos. Para resolverlo, se crea en tercer lugar un nuevo campo “Nombre” en la tabla de direcciones en el que se implementan aquellos nombres alternativos detectados en las bases de búsqueda. De este modo, el *Localizador* sí encuentra las direcciones y asigna coordenadas X e Y con su nivel de precisión (el campo de nombre alternativo se llama “Nombre de búsqueda”). Para obtener estas nuevas coordenadas se vuelve a cargar la tabla de direcciones con el campo “Nombre de búsqueda” y se recalculan las coordenadas. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario (normalmente no se producen más de dos iteraciones), haciendo uso en caso necesario de aplicaciones web como *Google Maps* o *Goolzoom*²¹. Así, una vez localizada una dirección se copia cada coordenada X,Y resultado y se implementa en la tabla original.

Finalmente, el último y cuarto paso es volver a cambiar de formato esta tabla de direcciones postales con coordenadas UTM asignadas (de formato texto o “.csv” a formato de Excel o “.xls”), para poder tratar la información de una forma más sencilla e implementarla en bases de datos relacionales y aplicaciones SIG. El resultado obtenido es una tabla en la que aparecen todas las direcciones postales junto con sus coordenadas a nivel de portal.

5.6.1.6 Obtención de la cartografía de portales

Con la tabla de direcciones postales y sus respectivas coordenadas UTM a nivel de portal, se procede a la creación de una cartografía de tipo puntual que sirva como origen de los desplazamientos residenciales de cara al diseño del modelo. Para ello se carga dicha tabla de portales en la aplicación SIG como tema de eventos, tomando como campos referencia “coordenada X” y “coordenada Y”. Esta, se consolida como información cartográfica ya que forma parte de la cartografía base del sistema.

La idea inicial es que los portales se tuvieran en cuenta como orígenes y destinos tal cual, es decir con su localización real. Sin embargo, tras algunas pruebas, se comprueba que el tiempo de ejecución del modelo es demasiado elevado y que este nivel de desagregación es muy problemático a nivel de capacidad tanto del hardware como de la aplicación utilizada. Para resolver este problema y comprobando que los tamaños de los tramos del viario son bastante pequeños, se opta por agregar la información de portales a nivel de punto medio de dichos tramos. De esta forma, se mejora el tiempo de ejecución del modelo sin perder apenas exactitud en la determinación de los orígenes y destinos, relativos al uso residencial. Las pautas de trabajo seguidas se resumen en los cuatro párrafos siguientes (Figura 27).

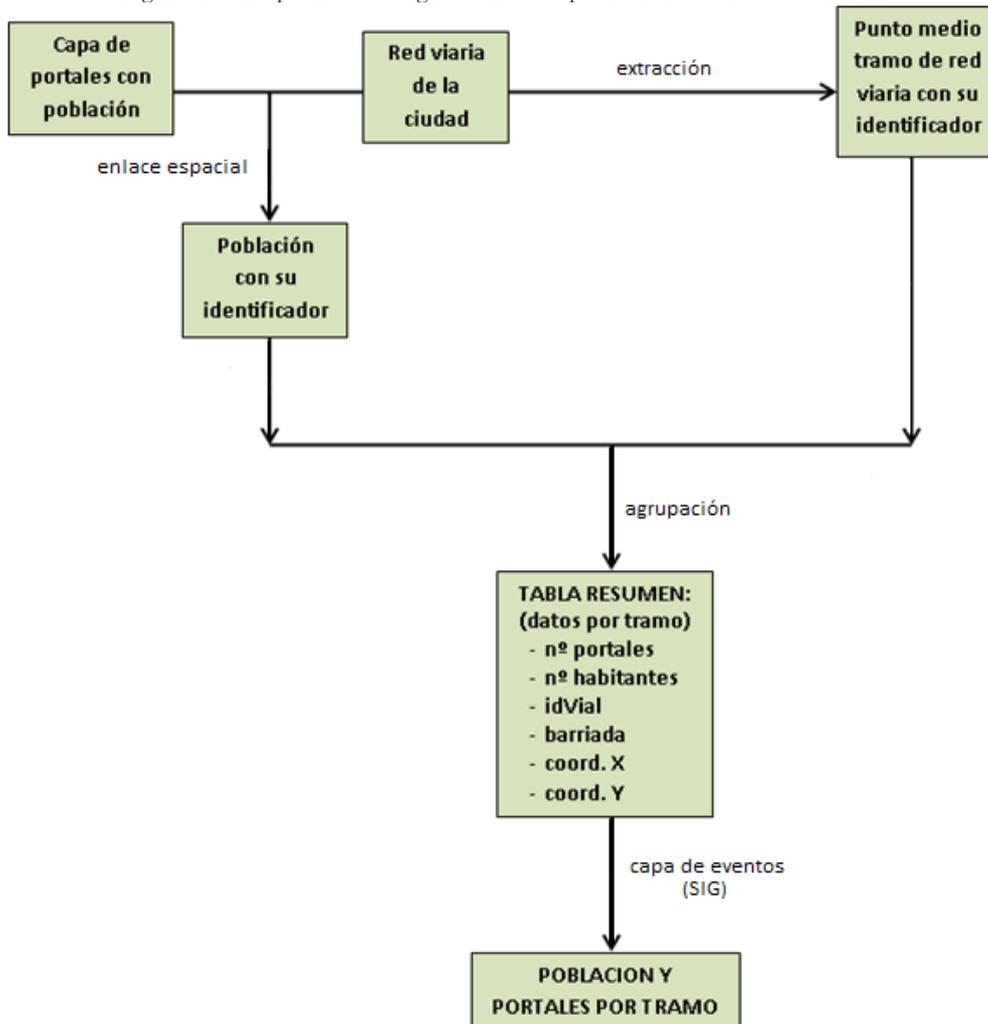
Para considerar esta segunda alternativa de localización poblacional se diseña inicialmente una capa vectorial en la que se almacenan aquellos puntos centrales de cada tramo del viario, junto a información relativa al ID y la suma de población residente que vive en todos los portales cuya distancia al mismo sea mínima. Con el fin

²¹ De estas dos aplicaciones web destaca Goolzoom ya que en su versión gratuita permite obtener directamente coordenadas y localizar cualquier punto en cuestión, haciendo uso de cartografía guía tal como el callejero o las ortofotos más recientes del Plan Nacional. El único inconveniente es que las coordenadas devueltas son geográficas y se han de transformar a UTM con la aplicación SIG.

de agilizar este tiempo de creación de puntos y ser más precisos en su diseño, se opta por utilizar el software libre de programación estadística *R-Gui* en vez de la propia aplicación SIG. A través de *R* se programa una sencilla función con la que extraer las coordenadas de los puntos medios en cuestión, partiendo para ello de las coordenadas iniciales y finales de cada tramo junto a su longitud total (ver Anexo 10.7). El resultado obtenido tras la ejecución de esta función en *R* es una tabla que contiene todos los puntos centrales de cada tramo y sus coordenadas X,Y en el sistema de referencia utilizado para este modelo. A continuación se carga esta información tabular como tema de eventos en la aplicación SIG y se le une el ID de tramo a través de una unión espacial (cada punto coge el ID del tramo más cercano a él en línea recta).

El siguiente paso es importar las tablas de población por barriada y puntos medios de cada tramo a un sistema gestor de base de datos (Access). En esta aplicación se relacionan las dos tablas anteriores a través de una consulta para obtener una nueva relación en donde se agrupan por tramo y barriada la suma de portales y habitantes localizados junto a sus respectivas coordenadas X,Y. En esta nueva tabla ya se dispone de toda la información necesaria para implementar los portales como orígenes y destinos de los desplazamientos residenciales (recuérdese que los equipamientos permanecen aún desagregados del resto de elementos puntuales).

Figura 27. Esquema de asignación de la población a la red del sistema



Fuente. Elaboración propia.

Para transformar esta última tabla de puntos en información cartográfica, se carga en la aplicación SIG como capa de eventos y se consolida.

El resultado final obtenido tras este grupo de tareas, es una capa de puntos centrales de cada tramo de la red en la que se identifica el número de portales existentes, la población residente y el ID de tramo. Sin embargo, esta capa aún requiere la asignación del código de barriada a la que pertenece cada uno de estos registros, hecho que se describe ya en el siguiente apartado.

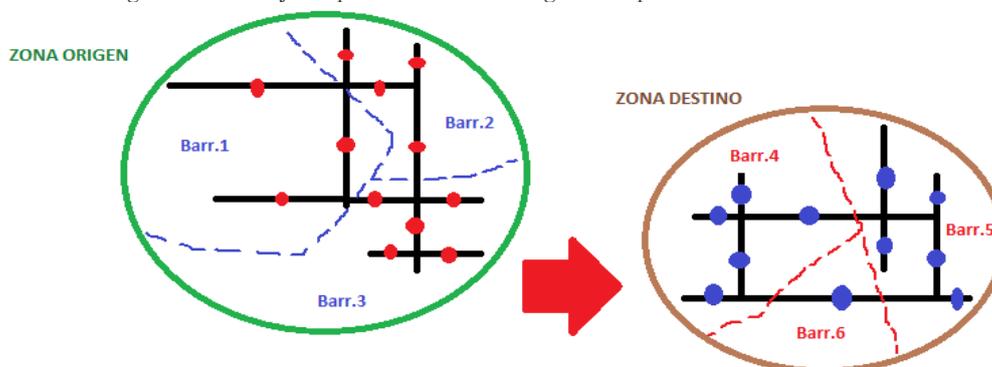
5.6.1.7 Asignación de los puntos poblacionales a las barriadas

Teniendo en cuenta que el modelo diseñado en este trabajo pretende simular los viajes cuyo origen y destino residencial es la barriada en sí (información de tipo poligonal) junto a los principales equipamientos urbanos y puntos externos de acceso a la ciudad (estos últimos a través de cartografía de tipo puntual), en este apartado se da respuesta al problema de la identificación del lugar de residencia. Esta cuestión se plantea porque los ciudadanos emeritenses no identifican en muchos casos las calles origen o destino de sus movimientos. Sin embargo tienen muy claro la barriada de procedencia. Para resolver este contratiempo, se extrapola el código de barriada a cada punto con población residente ubicado en el interior de las mismas. En la realización de este trasvase se utiliza de nuevo la aplicación SIG, siguiendo tres pautas básicas:

- Diseño de un nuevo campo de texto (“barriada”) en la tabla de puntos poblacionales.
- Selección posterior de los puntos poblacionales en relación con las barriadas emeritenses, atendiendo a su localización espacial. Para que esta selección sea efectiva, debe cumplirse que los puntos a seleccionar estén totalmente incluidos dentro de cada barriada.
- Relleno automático de los elementos seleccionados en la tarea anterior por el campo “barriada”, con el nombre de aquella a la que pertenecen.

El resultado obtenido es la capa puntual anterior a la que se le añade el ID de barriada a la que pertenece (Figura 28).

Figura 28. Dibujo esquemático de la asignación poblacional a su barriada



Fuente. Elaboración propia.

Todos los trabajos explicados hasta aquí permiten obtener finalmente las dos capas de información claves del modelo de asignación (Figura 29):

- La Red de transporte, con la desagregación de vías en tramos e identificador únicos.
- Los Puntos centrales de cada tramo viario con su población residente asignada, el identificador de tramo al que pertenece y el número de portales existentes en el mismo. Además, viene identificada la pertenencia a una barriada determinada de la ciudad.

Figura 29. Localización de portales y población vinculada en Mérida



Fuente. Elaboración propia.

A partir de aquí los siguientes apartados de esta sección describen cómo se obtienen el resto de capas básicas del modelo (puntos externos y centros de generación-atracción).

5.6.1.8 Ajuste de población con datos del INE

Tras revisar la información relativa al número de residentes por barriada, se detecta una incongruencia entre el dato total oficial facilitado por el Instituto Nacional de Estadística (padrón municipal del INE²²) y el dato total facilitado por el Ayuntamiento de Mérida. Así, resulta necesario eliminar esta variación principalmente por dos motivos:

- El motivo más importante es que se requiere una información fiable sobre la población objeto de estudio, ya que un sobredimensionamiento de la misma provoca una sobreestimación del volumen de flujos final y con ello, se asume un error mayor en las predicciones del modelo.
- El hecho de ajustar correctamente esta población, permite obtener una muestra lo suficientemente representativa como para extrapolar los resultados extraídos de ésta al total poblacional, cometiendo un error aceptable. Esta tarea de extrapolación se lleva a cabo sobre los viajes resultantes de la muestra, tal y como se comenta en el apartado de encuestas domiciliarias (no confundir entre el ajuste del volumen total poblacional y el proceso de extrapolación explicado en el apartado de encuestas domiciliarias y aplicado a los desplazamientos surgidos de esta muestra, atendiendo a la pirámide de población).

²² Aun siendo un dato probablemente desfasado con respecto a la información facilitada por el padrón municipal de habitantes del Ayuntamiento de Mérida, se decide ajustar esta información al dato del INE de 2009 por ser esta última una fuente mucho más fiable. Con ello se evita trabajar con población sujeta a estimaciones que pueden en ocasiones tacharse de alcistas atendiendo a diversos intereses.

En esta sección se describe el primero de los procesos enumerados anteriormente. Así, para ajustar el número total de residentes por barriada conforme a la información real extraída del INE, se aplica una metodología que parte de la obtención de un coeficiente de ajuste (K), el cual multiplica a cada dato poblacional del padrón municipal. De esta forma se pasan los valores poblacionales sobreestimados a valores reales. Las expresiones utilizadas para ello son:

$$K = \frac{Pob.Tot.padrón(INE)}{Pob.Tot.padrón(Ayto.)}$$

$$Pob.tramo_{ajustada} = Pob.tramo * K$$

5.6.1.9 Localización y asignación de población externa al modelo

Tal y como se describe en anteriores capítulos de esta Tesis, el hecho de que Mérida ostente el rango de capital autonómica sin duda contribuye a que se hayan asentado en ella multitud de sedes centrales relacionadas con diversos tipos de equipamientos y servicios, destacando aquellos relacionados con la administración regional. Esto unido a su estatus turístico y a la existencia de núcleos poblacionales dormitorio localizados en su entorno cercano, atrae a un volumen importante de población externa que accede por diversos motivos y a determinadas horas del día.

A la luz de estas afirmaciones, parece clara la necesidad de implementar en el diseño del modelo este volumen externo, a través de la creación de una nueva capa de puntos relativos a los diferentes accesos interurbanos (en total 11). Esta red se localiza en aquellas zonas estratégicas de entrada y salida al sistema urbano emeritense y permite recopilar información sobre este aspecto.

El proceso metodológico para localizar dichos puntos externos, parte de la identificación previa de las vías por donde acceden los visitantes a la ciudad. Para conocer las rutas de acceso y con ellas los puntos de entrada/salida, se lleva a cabo un análisis de redes a nivel regional, considerando a todos los núcleos extremeños²³ como orígenes potenciales a Mérida (con información sobre volumen poblacional residente) y la red de carreteras localizadas en dicha región (fruto de trabajos de investigación previos). Las tareas a realizar en este sentido son:

- En primer lugar se realizan tareas de validación topológica sobre la red viaria regional, para evitar posibles errores tales como faltas de conexión, arcos colgados, existencia de pseudonodos o elementos duplicados, entre otros.
- En segundo lugar y también sobre la misma capa de vías, se genera un campo impedancia y se calcula ésta del mismo modo que se expone en la sección 5.6.1.3 (considerando como coste igualmente el tiempo en minutos).
- En tercer lugar y siguiendo con la red viaria, se genera la topología de red, archivo con el que se le indica a la aplicación SIG qué arcos están conectados entre sí o cuáles son los sentidos de cada tramo de la red, entre otras cuestiones (proceso rápido y semiautomático realizado por la propia aplicación). El resultado de esta tarea es la generación de un archivo que contiene todas estas características de la

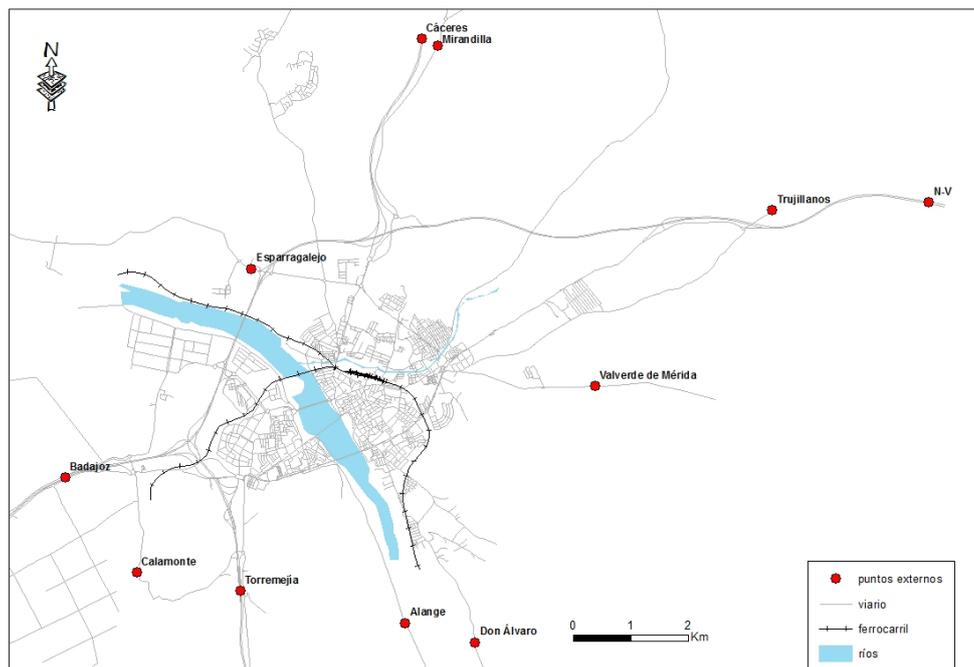
²³ Inicialmente solo se consideran los núcleos localizados en Extremadura dado que la gran mayoría de la población externa que accede a Mérida es extremeña. No obstante, este área de afección puede expandirse en función de los intereses del planificador siguiendo el mismo procedimiento.

red y que, en cierta medida, ordenan la circulación del viario de cara a los cálculos de redes posteriores.

- En cuarto lugar, se aplica la herramienta *Closest Facility* del análisis de redes existente en el entorno SIG, para extraer las rutas consideradas óptimas²⁴. Esta herramienta representa cartográficamente estas rutas, las cuales unen cada núcleo extremeño con Mérida (además de recoger información atributiva sobre costes de ruta). En este caso, se aplica el análisis de redes por duplicado: una primera ejecución tomando como orígenes los núcleos de Extremadura (*incidentes*) y como destino único la ciudad de Mérida (*facility*); y una segunda ejecución que toma como orígenes y destinos los contrarios al cálculo anterior. La representación de estas rutas y su intersección con la red viaria regional permite detectar por qué puntos externos pasa cada ruta y cuáles son los orígenes/destinos de las mismas.
- Así finalmente, se suma la población de los núcleos extremeños que cruzan por cada punto externo y se genera una nueva capa de información de tipo puntual con su ubicación en el plano urbano. Además, esta información también se consolida como tabla para tenerse en cuenta en los cálculos de viajes posteriores del modelo.

El resultado final en este caso, es una capa de información referida a cada uno de los puntos externos de la ciudad, con el listado de municipios que entran o salen de la misma y su población potencial de acceso, atendiendo a la ruta de mínimo coste y al punto de acceso externo que le corresponde en cada caso (Figura 30).

Figura 30. Localización de puntos de acceso externos a la ciudad



Fuente. Elaboración propia.

²⁴ A efectos de este diseño, se consideran rutas “óptimas” aquellas que minimizan el coste en tiempo para acceder a un destino determinado (ya sea residencial, servicio o punto externo) desde un origen dado. Este coste se mide en minutos a través del campo Impedancia, tal y como se describe en secciones anteriores de este documento.

Como se observa en el mapa anterior, se contemplan finalmente todos los accesos externos a la ciudad. Atendiendo a los equipamientos existentes en la misma que son utilizados por los visitantes, cada punto presenta su propia demanda de viajes, en función de su ruta interurbana de acceso; del mismo modo, todas las rutas internas utilizadas por estos visitantes para acceder a un equipamiento tienen como origen o destino alguno de los puntos externos representados.

5.6.2 Puntos de generación-atracción de desplazamientos

Una parte importante del modelo de asignación propuesto es la localización de aquellos bienes y servicios que atraen a un volumen de población suficiente como para que sean tenidos en cuenta, en lo que a movilidad urbana se refiere. Este grado de importancia es tal porque todos los desplazamientos se llevan a cabo por un fin concreto, acceder a un servicio dado. De esta forma, todos los focos atractores son puntos fuertes a la hora de detectar un volumen destacado de flujos en la ciudad y por tanto han de ser tenidos en cuenta en la fase de modelización.

Para obtener el volumen total atraído en cada equipamiento puntual, es necesario desgranarlos de las barriadas, al menos inicialmente (más adelante, esta información será agrupada de nuevo en una única capa puntual O/D junto a barriadas y puntos externos para ejecutar el modelo de un modo más sencillo y eficiente). La consecuencia de esta desagregación es que de esta forma es posible analizar aquellas características propias de dichos elementos atractores, de forma independiente (favoreciendo así una posible toma de decisiones a la carta). Además hay que aclarar que únicamente se tiene en cuenta el volumen de acceso a los diferentes servicios realizados en el periodo de HP, ya que este último es el considerado para el modelo de asignación propuesto.

De este modo, se describe en los próximos subapartados las tareas que se llevan a cabo para seleccionar los bienes con mayor volumen poblacional atractor. Tras dichas tareas, se obtiene una capa puntual de equipamientos con su volumen de atracción diario en HP. Esta es la información a implementar en el modelo.

5.6.2.1 Selección de bienes y servicios

Para obtener el listado de equipamientos diana es necesario previamente identificarlos de forma consensuada con los agentes gestores de la movilidad en la ciudad. Posteriormente se ha de analizar su dinámica particular, identificando aquellos elementos que influyen en la misma. Esto permite discriminar del total de flujos aquellos cuyo origen o destino son el propio equipamiento en cuestión. En este sentido, para cada centro atractor se tienen en cuenta variables tales como el número de accesos o de usuarios fijos²⁵ y variables, el número de plazas de estacionamiento o los horarios de entrada y salida, entre otros.

Sin embargo, el disponer de las pautas discretas de movilidad de cada centro no permite por sí mismas compararlas entre sí, ya que se carece de información real sobre sus dinámicas diarias. Por otra parte, es necesario recabar dicha información real para incorporarla de alguna forma al modelo de asignación de esta investigación. Por todo ello, se analiza la dinámica de cada centro en el periodo de HP teniendo en cuenta

²⁵ Se entiende por usuarios “fijos” aquellos que han de acceder a un equipamiento concreto diariamente de forma obligada, siguiendo unas mismas pautas horarias. En líneas generales este adjetivo va unido a trabajadores del centro en cuestión.

igualmente el intervalo de toma establecido para evitar pérdidas de información (entre las 13:45h y las 15:45h).

En lo que respecta a las tareas de organización relativas a la toma de datos para cada equipamiento, destacan las siguientes:

Diseño de una lista inicial en la que se identifican la mayor parte de los usos ofertados en la ciudad; esta es objeto de análisis por su capacidad potencial de atracción poblacional y flujos diarios. Para llevar a cabo esta tarea se tienen en cuenta diversos puntos de vista, incluyendo a técnicos municipales gestores de la movilidad urbana. Tras codificar de forma única cada uso y aprovechamiento identificado, se describe brevemente la importancia que cada uno de ellos puede tener en la movilidad global de la ciudad, distinguiendo entre generación y atracción de flujos en cada edificio. En cuanto a la identificación única, decir que se asigna a cada centro un código numérico de seis dígitos que hace referencia directamente al tipo de uso o aprovechamiento asignado. Así, por ejemplo el código “01010n” se refiere al uso administrativo (01__ __) y dentro de este, a aquellos edificios de escala estatal o regional (__01 __). A su vez, dentro del uso administrativo local (0101__ __) se identifica cada edificio particular en función de los dos últimos dígitos del código (__ __ 0n). Siguiendo esta codificación, se muestra a continuación el resto de códigos principales asignados al uso de cada bien (Tabla 21).

Tabla 21. Correspondencia de códigos con usos y aprovechamiento de edificios

ID DE USO	SIGNIFICADO CÓDIGO DE APROVECHAMIENTO	ID DE USO	SIGNIFICADO CÓDIGO DE APROVECHAMIENTO
0101	Centros administrativos ESTATALES, REGIONALES o COMARCALES.	0601	Estaciones TREN.
0102	Centros administrativos LOCALES.	0602	Estaciones AUTOBUSES INTERURBANOS.
0201	Ocio NOCTURNO.	0603	Estaciones AUTOBUSES URBANOS.
0202	Ocio DIURNO.	0606	Parkings públicos.
0301	Centros comerciales GRANDES SUPERFICIES.	0700	Polígonos industriales/empresariales.
0302	Centros comerciales CALLES COMERCIALES.	0801	Centros sanitarios HOSPITALES.
0401	Centros educativos COLEGIOS.	0802	Centros sanitarios CENTROS DE SALUD.
0402	Centros educativos INSTITUTOS.	1000	Servicios culturales/deportivos
0403	Centros educativos UNIVERSITARIOS Y OTROS.	1300	Zona exterior.
0500	Turismo.	1400	Zona residencial unifamiliar.

Fuente. *Elaboración propia.*

De esta lista inicial con la mayor parte de los equipamientos ofertados, se seleccionan aquellos que destacan del resto por su mayor grado de atracción. Seguidamente se extrapola este listado definitivo a una hoja de cálculo y se añaden una serie de campos de interés (cada campo se corresponde con un atributo concreto de cada edificio relativo a los accesos por modo disponibles, volumen de población atrayente por día, existencia y número de plazas de estacionamiento, número de accesos al edificio desde el parking, si atrae a población externa a la ciudad, etc.). También se almacena de este listado definitivo la clasificación de cada centro según su uso y aprovechamiento, manteniendo el ID asignado previamente.

En tercer lugar, se identifican aquellos núcleos poblacionales externos que pueden acceder potencialmente a cada edificio concreto, en función de su aprovechamiento y del área de afección del mismo. Con esta información se obtiene una nueva tabla en la que se identifica para cada bien los diferentes núcleos cuya población accede potencialmente. Estos elementos se identifican con el ID del equipamiento y el código INE de cada núcleo en cuestión.

La siguiente tarea es implementar estas dos tablas (tipo de equipamiento y núcleos atractores) junto a la propia de los núcleos extremeños en sí mismos (código INE y población), en una base de datos para extraer el volumen atractor potencial final de cada bien (sumatorio de usuarios internos, externos y trabajadores). Este es el resultado final de esta sección.

Todas las tareas descritas en los párrafos anteriores, identifican un total de 129 equipamientos puntuales, distribuidos por todo el casco urbano emeritense. En la siguiente sección se explica el método seguido para obtener la cartografía puntual y las imágenes en planta de cada entorno cercano a cada centro.

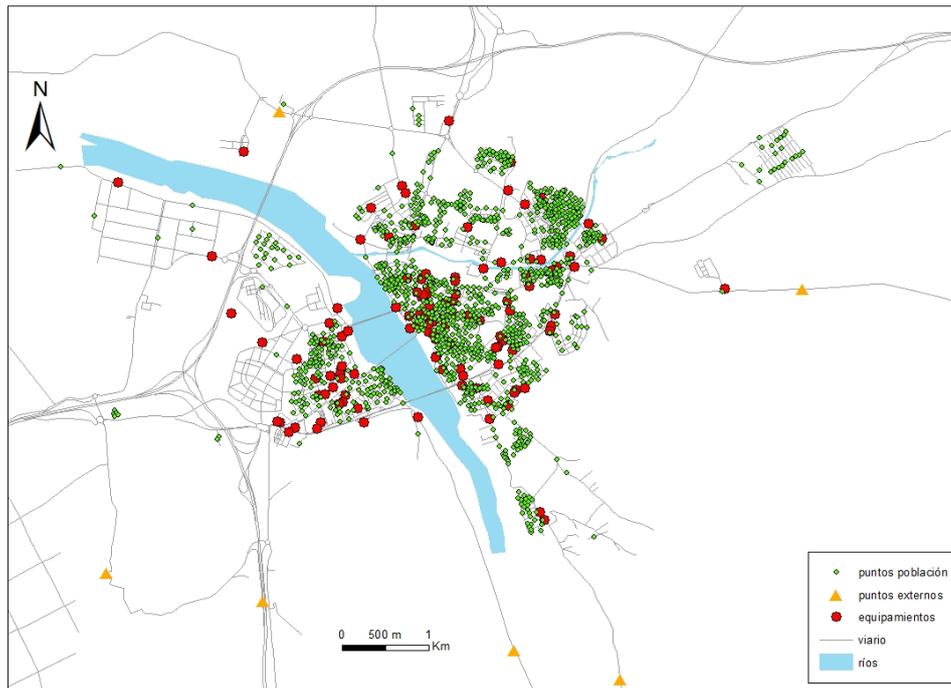
5.6.2.2 Localización de bienes y equipamientos

Una vez que se diseña la base de datos con la que gestionar la información alfanumérica de cada bien, se crea una capa de información para localizar y representar cartográficamente aquellas variables destacadas desde el punto de vista de la movilidad de cada edificio (utilizando el entorno SIG). Además de la propia localización en el casco urbano, se extraen imágenes sobre el entorno cercano de cada bien para disponer de una panorámica general en planta de sus accesos. Tanto para la generación de la capa puntual como para la obtención de las imágenes en planta de los entornos, se utiliza la ortofoto del PNOA facilitada por la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura (año 2007).

Con todo ello se obtiene una capa de equipamientos con el ID de cada uno de ellos a los que se les puede unir el resto de información atributiva procedente de la base de datos previa. De este modo, el equipo investigador puede representar cartográficamente todos los resultados al tiempo que utiliza a dichos equipamientos para trabajos posteriores en el diseño del modelo (rutas de asignación).

Con la unión de las tareas propias a la modelización física (apartado 5.6.1) y a la identificación de puntos particulares de atracción (apartado 5.6.2), se extrae toda la cartografía básica para el diseño del modelo de asignación descrita en el apartado de fuentes (Figura 31):

Figura 31. Cartografía definitiva para la fase de modelización



Fuente. Elaboración propia.

A la información anterior ha de unirse la muestra de desplazamientos habituales realizados en el periodo de HP, como parte del proceso de asignación de viajes a las diferentes rutas óptimas del modelo.

5.6.3 Distribución de los desplazamientos. Matriz O/D

La fase de distribución de desplazamientos entre los diferentes orígenes y destinos de la red consiste básicamente en detectar precisamente cuáles son estos orígenes y destinos habituales y cuál es la repartición de viajes entre ellos. Esto es lo que ofrece la matriz O/D obtenida con las encuestas domiciliarias. Los resultados extraídos de este método de encuestas son los mismos que se han considerado para analizar la movilidad global de la ciudad y consisten en una exploración de los datos obtenidos aplicando estadística descriptiva a la muestra de desplazamientos fruto de dichas encuestas (el método de encuestas también se encuentra debidamente desarrollado en el apartado 5.5). Disponer de esta información permite obtener resultados significativos y similares a los que pudieran obtenerse observando los movimientos directamente en el lugar donde se producen²⁶.

Partiendo de la obtención en campo de la información relativa a los viajes habituales detectados entre los residentes de Mérida e implementados en la base de datos, se procede a la validación de la misma. Este tratamiento consiste básicamente en corregir posibles errores (orígenes o destinos con denominaciones distintas a las oficiales y eliminación de registros incompletos) y en extraer solo aquellos desplazamientos que se refieren al periodo temporal y modo analizados (HP y vehículo privado). Dicha selección se extrae por medio de consultas a esta base de datos, cuyo resultado es la matriz O/D descrita anteriormente. En ella se representan todos los orígenes en las filas y todos los destinos en las columnas. El valor de las celdas

²⁶ Véase el concepto de *relación simétrica* descrito en el apartado 1.1 de este documento.

almacena el número de viajes contados para cada par O/D siempre y cuando el número de iteraciones sea igual o superior a 1. Como ya se ha comentado anteriormente, se consideran indistintamente como orígenes y destinos las barriadas, equipamientos y puntos externos de la ciudad.

Con todos los desplazamientos extraídos en campo (encuestas domiciliarias y encuestas de interceptación explicadas en el apartado 5.6.5) se obtiene una matriz similar a la que se observa en la Figura 32.

Figura 32. Matriz O/D entre barriadas extraída con las encuestas domiciliarias

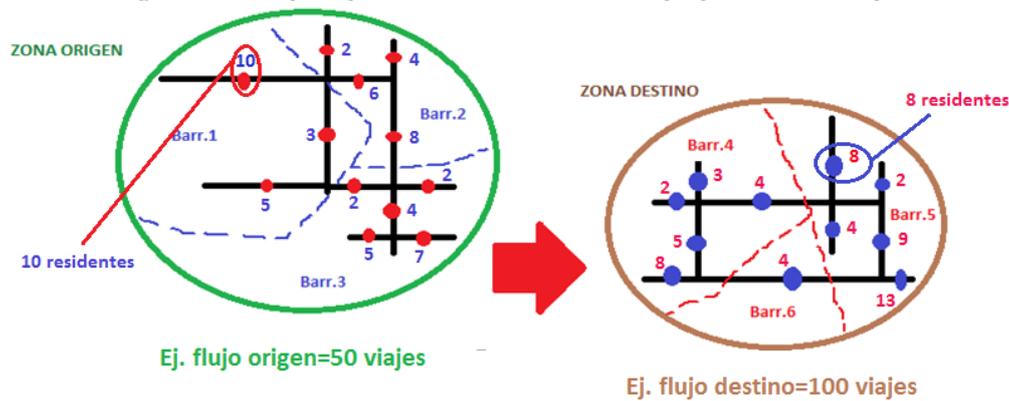
Origen/Destino	Bellavista	Cabo Verde	Corchera	Cruzcampo	El Barrio	El Prado	El Vivero	Extraradio	Jardin de Merida	Jardines Hipodromo	Juan Carnet	La Algodonera	La Calzada	Las Abadías	Los Bodegones	Maria Auxiliadora	Monte Alto	Ntra. Sra. la Antigua	Nueva Ciudad	Plantonal de Vera	Republica Argentina	S. Agustin-T. Galvan	Salesianos	San Albin	San Andres	San Antonio	San Bartolome	San Juan	San Lazaro	San Luis	Santa Catalina	Santa Isabel	Sta. Eulalia-Milagros	Zona Centro	Zona Sur	TOTALES	
Bellavista						2																														2	
Cabo Verde																2											1										3
Corchera									1			1															1						1				6
El Prado								1											1	1								1								1	5
Jardin de Merida																		1																			1
Jardines Hipodromo																												1							1		2
Las Abadías						1		1								1			1																	1	5
Los Bodegones									1						1			1						1		2									6		12
Maria Auxiliadora								1									1																				2
Monte Alto															1	1										1	1	1									5
Ntra.Sra.la Antigua					1				1		1				2	1	1		1							1	1										10
Nueva Ciudad				1	1	3		1	1					1	2	5	3							2	2	1	1		4					1	5	3	37
Salesianos																																					0
San Albin							1										1																				2
San Andres	1			1	1																															1	5
San Antonio						1																															1
San Bartolome																																					0
San Juan											1					1		1																			3
San Lazaro	2					2																															4
Zona Centro		1		1	1	3			3	1				1	1	3	2	7		5	1					2			4				1		1	2	40
Zona Sur						1			1						1			1																			8
TOTALES	3	1	0	3	4	0	14	0	9	4	1	2	2	8	13	3	15	2	7	2	1	0	4	4	5	5	1	11	1	1	1	1	1	15	9	153	

Fuente. Elaboración propia.

Esta matriz debe ser extrapolada al total poblacional para analizar los desplazamientos urbanos existentes en ella y asignarlos posteriormente a la red objeto de estudio. Para llevar a cabo esta tarea, se siguen las pautas explicadas en el apartado.

El paso final consiste en dar respuesta a la desagregación que debe hacerse en lo referente a los desplazamientos residenciales, ya que se consideran como orígenes y destinos de estos a las barriadas y es necesario desagregar el número de viajes entre los diferentes puntos medios de cada tramo perteneciente a cada barriada analizada. El método utilizado para resolver este problema es el de la distribución proporcional de viajes en función del número de habitantes residentes en cada tramo, tanto en origen como en destino (Figura 33).

Figura 33. Dibujo esquemático de la distribución proporcional de viajes



Fuente. Elaboración propia.

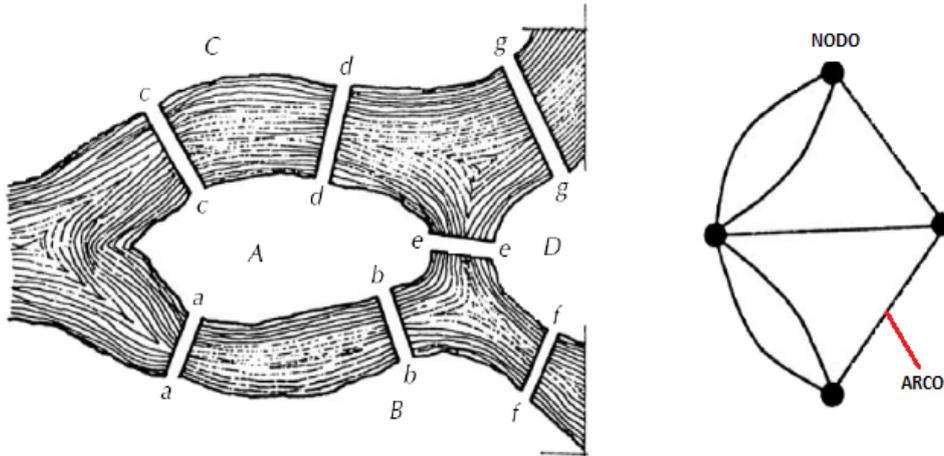
Teniendo en cuenta el esquema de la figura anterior, esta distribución proporcional del total de viajes en origen o en destino (dependiendo de cada caso) tiene en cuenta a la población residente de cada punto medio como peso a la hora de repartir este total.

5.6.4 Asignación de viajes a la red

En este apartado se describe el proceso seguido para cargar los viajes totales detectados en Mérida a la red urbana. Esta carga se lleva a cabo teniendo en cuenta dichos viajes de forma individual y realizando la asignación por ruta pero desagregada a nivel de tramo. De esta forma se asignan flujos individuales a cada uno de ellos en vez de a la ruta completa, lo que permite identificar el número de viajes que atraviesan cada uno de ellos, junto a sus orígenes y destinos. Las rutas tenidas en cuenta son aquellas consideradas óptimas (una ruta óptima para cada par O/D) atendiendo a la impedancia de cada tramo. Para seleccionar cada una de estas rutas se utiliza la herramienta de análisis de redes del entorno SIG.

El modelo que se describe en esta Tesis se apoya en la *teoría de grafos* a la hora de representar la oferta infraestructural analizada (red viaria). Esta teoría se encarga de estudiar las propiedades de los grafos (Figura 34), entendiendo estos como representaciones simplificadas de una red cualquiera mediante nodos (puntos que limitan cada segmento de la red) y arcos (segmentos limitados por dos nodos). A su vez los arcos suelen tener asociada información relativa a la dirección y sentido de circulación que es útil para los posteriores análisis de redes (Buzai, 2011). En el grafo no importa tanto la forma de los segmentos como los puntos que se unen (orígenes y destinos de los desplazamientos).

Figura 34. Experiencias iniciales y representación básica de un grafo



Fuente. Problema de los puentes de Königsberg, Wikipedia.

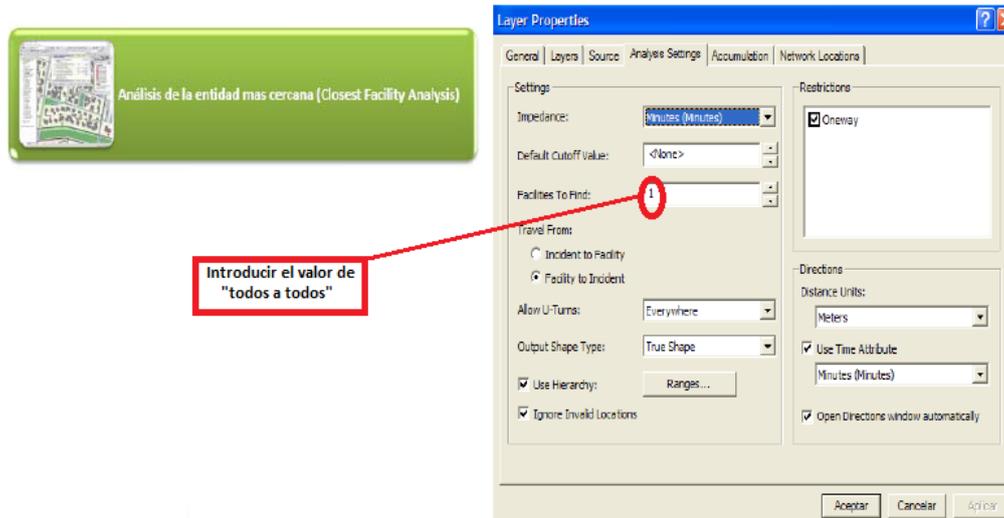
Estos conceptos propios de la teoría de grafos se han implementado desde hace tiempo en los entornos SIG, permitiéndoles generar resultados aceptables mediante análisis de redes. Las tareas expuestas en este apartado son un ejemplo de ello. Sin embargo, además de hacer uso de este tipo de herramientas es necesario elegir el método de asignación aplicado en la red ya que, dependiendo de las variables a considerar y de las características en definitiva del flujo analizado, se puede utilizar uno u otro método de carga. En este caso se tiene en cuenta en la asignación de viajes propuesta en este trabajo el método “Todo o nada” consistente en implementar el total de viajes expandidos a una única ruta óptima, para un mismo par O/D.

En esta elección de ruta no se tienen en cuenta inicialmente fenómenos como la congestión o la variabilidad en la elección por parte del usuario, ya que se entiende que éstos son perfectamente conocedores del sistema y utilizan siempre la ruta de menor coste (aceptando como válido el principio del usuario de Wardrop). Aunque inicialmente se genera una ruta óptima para un mismo recorrido origen-destino, se comprueba en campo que la inmensa mayoría de usuarios utilizan una única ruta para acceder a los servicios y que ésta se corresponde con la óptima extraída por medio del análisis de redes. Este hecho simplifica bastante la metodología a seguir en este aspecto y permite una mayor adaptación de las aplicaciones SIG a este tipo de trabajos. Las tareas de obtención de dichas rutas se reducen a la elección entre todas de aquellas que finalmente cumplen el criterio planteado (es decir que la suma de los costes de tiempo referidos a todos sus tramos sea mínimo para un mismo par O/D), teniendo en cuenta la impedancia de cada tramo de la red y la validación posterior de todas ellas para el proceso final de asignación de viajes.

Con respecto al proceso de elección de rutas óptimas, éste se agiliza bastante con el entorno SIG ya que se lleva a cabo de forma semiautomática. Así, el proceso parte del cálculo de la impedancia en cada tramo teniendo en cuenta para ello la velocidad máxima permitida en cada vía en vehículo privado para posteriormente, generar el archivo de topología por el que se almacenan todas las características de conexión y sentidos de la red. En tercer lugar, se aplica la herramienta *Closest Facility* (Figura 35) para obtener las rutas óptimas en función de los valores de impedancia anteriores, indicándole a dicha aplicación los siguientes criterios:

- Considerar como orígenes y destinos a todos los puntos de interés (es decir, barriadas, equipamientos y puntos externos). Para ello se implementan todos los puntos en una única capa de información en la que se almacena el ID de cada elemento.
- Llevar a cabo la generación de rutas teniendo en cuenta la relación “de todos a todos”, es decir que tenga en cuenta en esta acción a todos los orígenes frente a todos los destinos.

Figura 35. Configuración de rutas óptimas teniendo en cuenta la red viaria



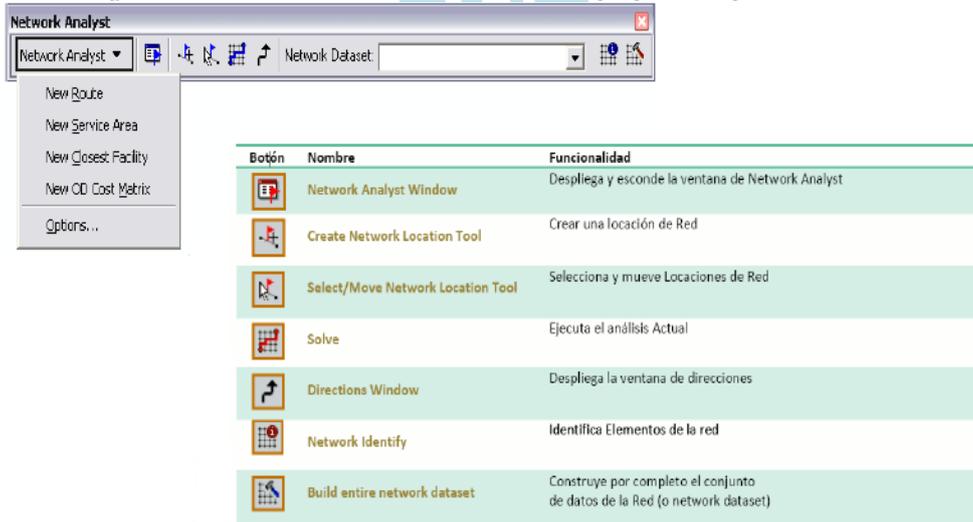
Fuente. ArcGis 9.x de ESRI.

- Almacenar el coste generalizado de cada ruta (teniendo en cuenta la unidad de medida del campo impedancia este valor general es coste de tiempo medido en minutos).

Con esta operación se obtiene una tabla en la que para cada O/D se almacena el tiempo de desplazamiento de su ruta óptima. Esta información se implementa en la base de datos generada anteriormente para procesar todos los datos relativos al modelo (tramos, orígenes y destinos, desplazamientos, datos poblacionales y matriz O/D de la muestra).

Aunque dentro del paquete de análisis de redes es posible generar esta información por varias vías, se decide utilizar la herramienta *Closest Facility* (Figura 36) porque además representa cada una de estas rutas. Este hecho es importante porque permite identificar aquellos tramos que pertenecen a cada ruta y, tras la asignación de viajes a los mismos, contar el volumen de viajes que atraviesan cada tramo concreto de la red.

Figura 36. Herramientas de análisis de redes propias de aplicaciones SIG

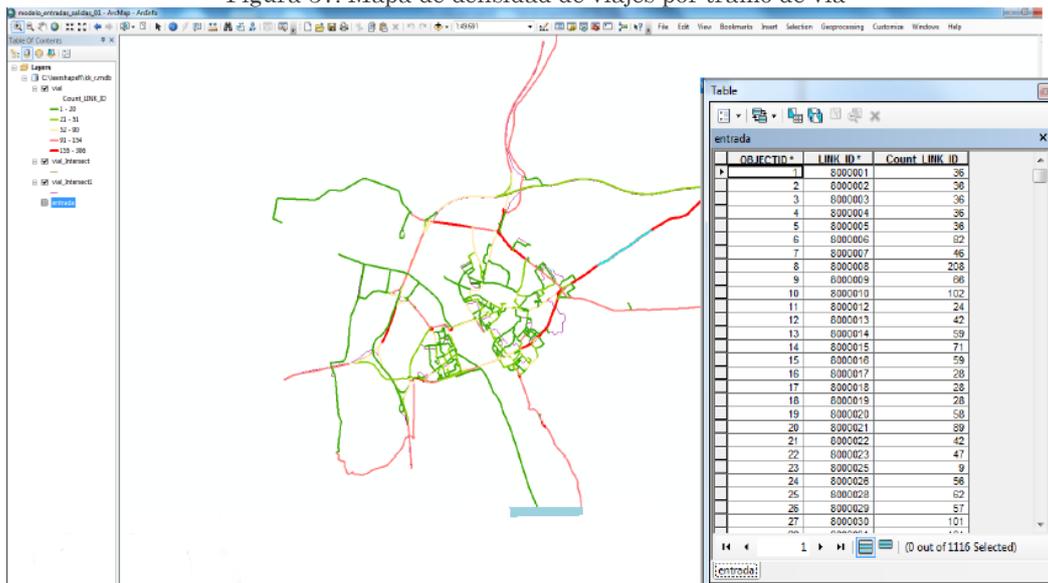


Fuente. ArcGis 9.x de ESRI.

En este caso, las rutas generadas mantienen los orígenes y destinos establecidos en la muestra domiciliaria (barriadas, equipamientos y puntos de acceso externos). Partiendo de aquí y haciendo uso de las relaciones entre las tablas se modeliza el proceso para obtener el número de viajes predichos haciendo uso de la herramienta *Model Builder*. El objetivo de esta segunda herramienta es generar información derivada, partiendo de otra inicial a la que se le aplican una serie de procesos.

La idea de utilizar *Model Builder* viene justificada por motivos relacionados con los costes de ejecución del modelo: cuando el volumen de desplazamientos a analizar no es relativamente elevado (por ejemplo aquellos casos en donde se pretendan analizar los movimientos que atrae un equipamiento determinado), es fácil hacer uso de *Closest Facility* e *Intersect* para obtener el volumen de desplazamientos de cada tramo de red, pudiendo además representarlo cartográficamente (Figura 37).

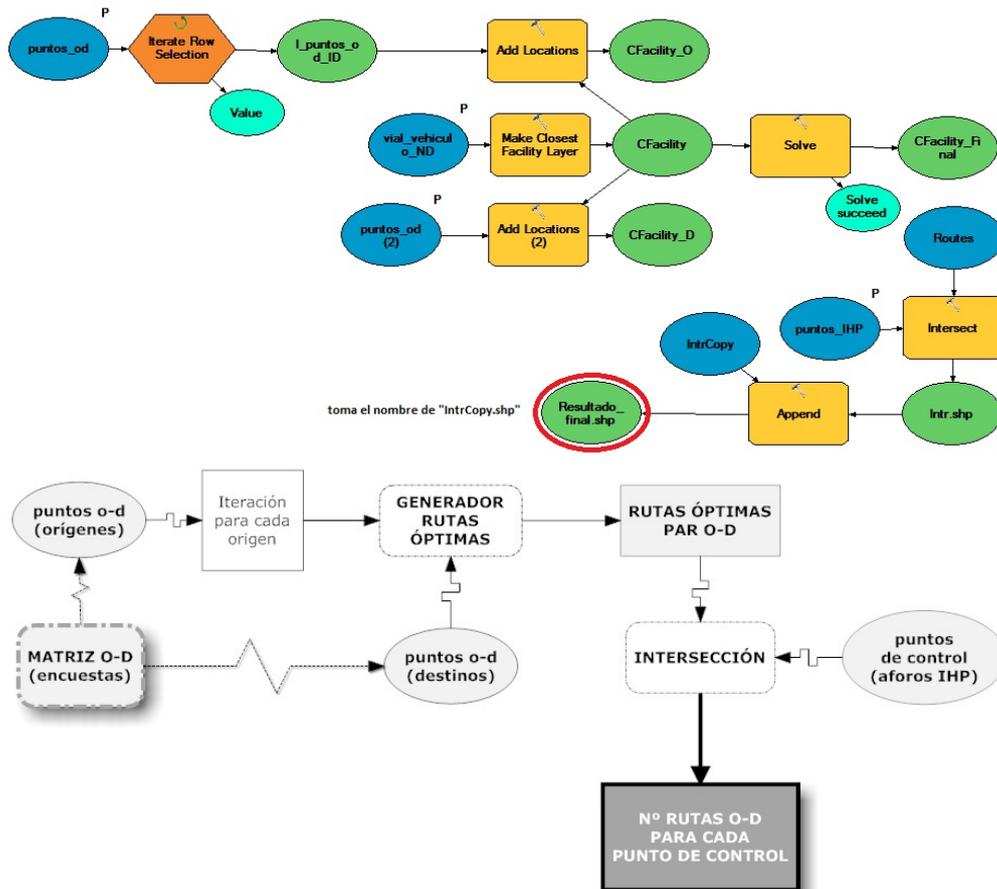
Figura 37. Mapa de densidad de viajes por tramo de vía



Fuente. Elaboración propia.

Sin embargo cuando el volumen de desplazamientos es muy elevado como es este caso concreto, las herramientas anteriormente citadas se saturan paralizando el proceso. Una alternativa para evitar estos problemas en el tiempo de ejecución del modelo se resuelve con *Model Builder*, ya que permite trabajar con archivos temporales en los cálculos intermedios y reducir el tiempo de ejecución del proceso (Figura 38).

Figura 38. Aplicación *Model Builder* para obtener viajes predichos del modelo



Fuente. ArcGis 9.x de ESRI.

El proceso utilizado para obtener el volumen de viajes predichos en cada tramo de la red, tal y como muestra la Figura 38, parte de generar una concatenación de procesos en *Model Builder*. Esta se inicia con la aplicación de la herramienta *Closest Facility* para obtener las rutas óptimas siguiendo las indicaciones anteriores. Una vez se resuelve el cálculo inicial de rutas óptimas (*Solve*) se realiza una intersección (*Intersect*), tomando como datos de entrada virtuales dichas rutas junto a los puntos de control de aforo. Finalmente, para disponer de todos los viajes predichos en cada punto de control en una misma tabla, se realiza la operación de unión entre resultados (*Append*).

Este proceso de cálculo concatenado no se realiza con una única iteración para todos los orígenes y destinos sino que se calcula por partes, evitando los problemas de saturación del sistema comentados anteriormente. Para llevar a cabo esta partición de la información de entrada a *Model Builder*, se establecen relaciones entre las tablas “Orígenes” y “matriz O/D” y a su vez entre esta última y la tabla “Destinos” (en este caso las tablas Orígenes y Destinos es la misma), a través de sus ID’s, enfrentando pares orígenes-destino de dos en dos. Estas relaciones se realizan directamente en la aplicación SIG con lo que todo el proceso se ejecuta en el mismo entorno, agilizando enormemente la ejecución computacional de la asignación y el conteo final de viajes.

De esta forma, los resultados que se obtienen de la asignación son por un lado, el número total de viajes que atraviesan cada tramo de la red viaria (mejor dicho, aquellos que tienen puntos de control asignados) y por otro, la identificación de los orígenes y destinos de cada ruta que atraviesa un tramo viario concreto.

5.6.5 Calibración del modelo

Una vez identificados los viajes predichos por el modelo en lo referente a la población residencial, el siguiente paso es calibrarlo con los flujos tomados en campo. Este proceso consiste en comparar por medio de la estadística descriptiva las diferencias que existen entre los aforos resultados del modelo con los reales aforados. A parte de permitir esta comparativa, otra bondad de la calibración radica en detectar el volumen de población externa que accede a Mérida, obtener cuáles son los accesos utilizados para tales fines y validar las rutas óptimas elegidas por el modelo. Sin embargo antes de llevar a cabo este proceso, es necesario previamente extraer el volumen de tráfico visitante que accede a la ciudad en el periodo de HP. Para ello, se calcula una muestra representativa del flujo que atraviesa cada punto de acceso externo, en función de la intensidad vehicular detectada previamente con el proceso de aforado. El proceso para obtener dicha muestra es el de la encuesta de interceptación en pantalla, que consiste en parar a una serie de vehículos (muestra) que circulan por los diferentes puntos estratégicos previamente elegidos.

Con respecto al diseño de la encuesta de interceptación, se deben tener en cuenta tareas propias que comienzan por la selección de información a capturar y terminan con el proceso de entrenamiento realizado a los encuestadores, pasando por el diseño de la plantilla de interceptación o la extracción de la muestra representativa a interceptar. Téngase en cuenta que el proceso de interceptación ha de ser rápido y al mismo tiempo, lo suficientemente completo como para capturar toda la información relevante a cerca del desplazamiento y del modo utilizados en el instante de captura. En los apartados siguientes se especifican cada una de estas tareas llevadas a cabo.

En lo relativo a la selección de puntos de control sobre los que llevar a cabo el proceso de interceptación, es necesario indicar que dicha red debe estar ubicada en zonas donde se concentren la mayor parte de los desplazamientos realizados en la ciudad (flujos internos y externos). Para asegurarse que dicha red de puntos cumple con este objetivo, es necesario tener en cuenta dos criterios básicos a seguir: por un lado cada punto diana debe estar en una zona tal que sus valores de tráfico urbano sean lo más elevado posible y por otro, debe recoger el mayor número de viajes entre pares O/D (internos y externos), es decir que los viajes que se recojan en cada punto procedan del mayor número y tipo de orígenes distintos y vayan al mayor número y tipo de destinos posible.

Finalmente, con todos los aforos predichos (residentes y externos) se puede llevar a cabo esta comparativa con aquellos reales obtenidos en campo (aforos). Para ello se une la tabla de viajes predichos con la información cartográfica relativa a los puntos de control tenidos en cuenta. De esta forma y desde la propia aplicación SIG, se obtiene información visual de esta comparativa.

5.6.5.1 *Diseño de encuestas de interceptación*

El proceso de interceptación parte por un lado de la necesidad de disponer de dos encuestadores que se encargue de dirigirse a los diferentes puntos de interceptación previamente definidos y realizar en un breve periodo de tiempo las encuestas a un número representativo de vehículos, en función del volumen total aforado en estos puntos para el periodo de HP.

Por otro lado es necesario diseñar la plantilla de encuesta a utilizar en el proceso de interceptación. Esta consiste en un diseño en papel que contiene un grupo de preguntas estratégicamente elegidas para recabar el mayor volumen de información posible en el menor tiempo. El objetivo de las mismas son los vehículos interceptados en cada punto designado y se recoge información sobre la caracterización de los mismos y de los usuarios ocupantes, además de la información relativa a los desplazamientos interceptados. Se opta por el relleno en papel por ser este un modo rápido y que ofrece una mayor independencia de factores tales como baterías u otros instrumentos propios de elementos digitales tales como tablets Pc utilizadas en los aforos de tráfico.

La encuesta de interceptación consta de tres partes claramente diferenciadas (para mayor información al respecto diríjase al capítulo de “Anexos”, apartado 10.6):

- Caracterización del punto de encuesta: consta de un solo apartado en el que se rellena con el código identificador del punto en el que se realiza la toma de datos.
- Caracterización de la muestra: consta de tres apartados (edad, sexo y hora de encuesta). Esta información sirve para detectar posibles sesgos en la muestra y analizar datos relativos a estas variables.
- Datos propios del desplazamiento interceptado: consta de cuatro apartados (origen y destino del desplazamiento interceptado, motivo del desplazamiento, ocupación del vehículo y modo de desplazamiento).

Parte de la información capturada con estas encuestas se recaba sin preguntar directamente al conductor del vehículo, sino que algunos de ellos son anotados por el encuestador sin necesidad de preguntar (por ejemplo, el género o el tipo de vehículo interceptado). Esto reduce considerablemente el tiempo de captura, clave en el éxito del método.

Para llevar a cabo esta tarea se cuenta con la colaboración de la Policía Local de Mérida, cuya función es realizar la parada de los vehículos en las zonas habilitadas para la encuesta de forma segura, evitando situaciones de peligro tanto por parte de los propios usuarios, como por parte de los encuestadores. Para que esta colaboración sea fructífera se diseña un plan de trabajo en el que, para cada día hábil se encuesta uno o dos puntos de interceptación (esta información se amplía en la siguiente sección, la 5.6.5.2). Así, teniendo en cuenta dicha ayuda, el equipo completo de encuesta de interceptación queda definitivamente formado por dos agentes de dicho cuerpo más dos encuestadores pertenecientes al equipo técnico de la Universidad de Extremadura.

Considerando los apartados a rellenar de la encuesta (plantilla de campo) y las preguntas a realizar directamente a los conductores, el procedimiento seguido para recabar toda la información parte de la elección y habilitación de la zona donde se realiza la misma. A continuación uno de los agentes se encarga de desviar a los distintos vehículos diana, mientras que el otro agente se encarga de velar por la seguridad del resto de usuarios de la vía. Una vez se tiene detenido a un vehículo, los encuestadores indican a los ocupantes el objeto de la parada y se procede a la realización del cuestionario (mientras que un encuestador realiza aquellas preguntas obligadas al usuario en cuestión, el otro encuestador anota la información que no precisa colaboración por parte del mismo). Finalmente se agradece la colaboración y los agentes de policía facilitan su incorporación segura a la vía. Este mismo procedimiento se sigue en todos los puntos de interceptación elegidos previamente por el equipo encuestador. Posteriormente, toda la información se implementa en la base de datos para poder validarla, unirla a los aforos residenciales y extraer las conclusiones pertinentes.

Además del diseño de la plantilla y la planificación del proceso para recabar la información, se lleva a cabo la tarea por la que se extrae la muestra a interceptar en cada punto de control seleccionado. Para ello se utiliza el volumen de vehículos aforados en cada una de las intersecciones de la ciudad en el periodo de HP. Partiendo de estos flujos iniciales (Tabla 22) se extrae el volumen de vehículos a encuestar (se habla de muestra de vehículos y no de usuarios porque se parte de una información poblacional vehicular, el aforo realizado anteriormente).

Tabla 22. Intensidad de tráfico por acceso en hora punta

ACCESOS	INTENSIDAD MEDIA DIARIA POR ZONA A ENCUESTAR														
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	2.13	3.2	3.3	3.6	P15	A2	P13
A	547	146	146	406	394	1019	381	421	192	302	958	190	12	128	29
B	514	0	297	11	331	278	333	254	452	275	6	99			
C	576	146	293	628	105	828	887	494	263	85	1145	447			
D	348	0	335	787	449	205	956	256	300	651	717	278			
E			164					248		779	340	35			
F			1349								278	211			
G												104			
TOTAL	1985	292	2584	1832	1279	2330	2557	1673	1207	2092	3444	1364	12	128	29

Fuente. Elaboración propia.

Para obtener el valor de cada muestra en cada intersección se utiliza la expresión mostrada en la Tabla 23, teniendo en cuenta las intensidades conjuntas de cada zona de control.

Tabla 23. N° de encuestas a realizar en cada punto de toma

$$"n" = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2(N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

ACCESOS	ENCUESTAS A REALIZAR POR ZONA DE INTERCEPTACIÓN														
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	2.13	3.2	3.3	3.6	P15	A2	P13
N° Encuestas	92	72	93	91	89	92	93	91	89	92	93	90	25	55	26

Fuente. Elaboración propia.

Como se ve en la tabla anterior, se sigue la misma expresión que para el cálculo del volumen mínimo a encuestar referido a las encuestas domiciliarias, teniendo igualmente en cuenta el caso más desfavorable (valor de ocurrencia del evento 0,5), para un nivel de confianza del 95% (es decir, que el valor de Z=1,96) y asumiendo un error máximo del 2,5% (valor de d=0,5).

Una vez que se dispone de la muestra en cada punto de análisis, el siguiente paso es repartir proporcionalmente el número de encuestas en función del flujo en HP que atraviesa por ellos (Tabla 24).

Tabla 24. Distribución de encuestas a realizar en cada punto de toma

$$"n'" = \frac{\text{Intensidad acceso} * n^{\circ} \text{ encuestas tot.}}{\text{flujo tot. de cad punto}}$$

DISTRIBUCIÓN DE ENCUESTAS TOTALES POR ACCESO															
ACCESOS	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.9	2.13	3.2	3.3	3.6	P15	A2	P13
A	25	36	5	20	28	40	14	23	15	13	26	12	25	55	26
B	24	10	11	1	23	11	12	14	33	12		7			
C	27	9	10	31	7	33	32	27	19	4	31	29			
D	16	11	13	39	31	8	35	14	22	29	19	18			
E		6	6					13		34	9	3			
F			48								8	14			
G											7				
TOTAL	92	72	93	91	89	92	93	91	89	92	93	90	25	55	26
DÍAS	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1

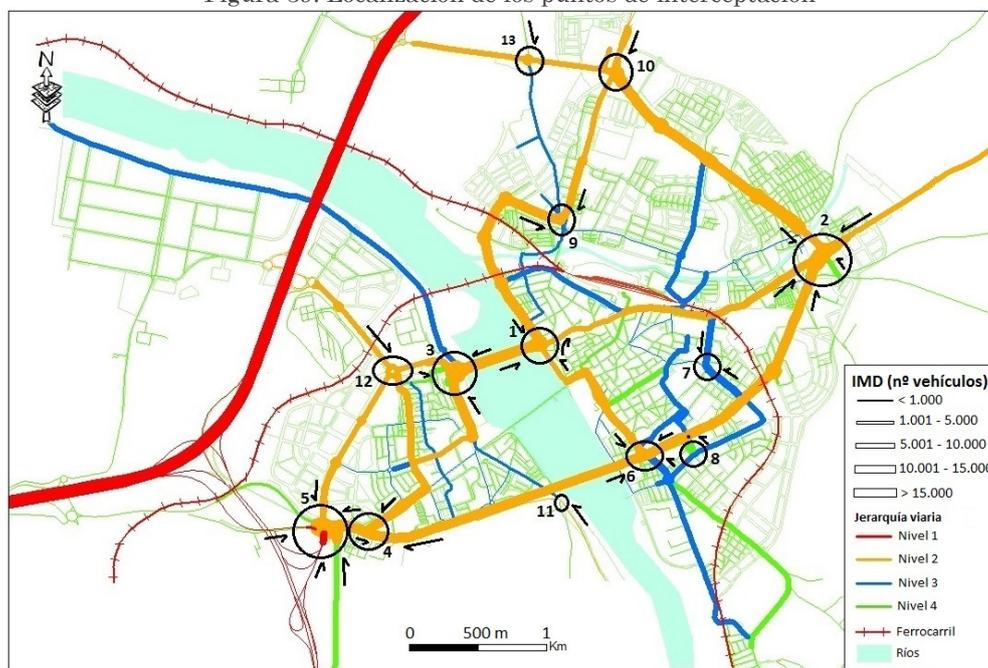
Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 24, en cada punto de toma se han de analizar diversos accesos (concretamente, aquellos accesos por los que pasan los principales flujos intra e interurbanos). La expresión “n” permite obtener el número de encuestas a realizar en cada acceso dentro de cada punto de toma. De esta forma, la muestra final es de 1.183 encuestas de interceptación, repartidas entre los 15 puntos de control distribuidos por la ciudad. El número de días hábiles empleados en la toma de datos es de 20 (desde el lunes 16 de febrero al miércoles 15 de mayo de 2011, ambos inclusive).

5.6.5.2 Selección de puntos de interceptación

Siguiendo los criterios anteriores y teniendo en cuenta el hecho de que se pretende captar el volumen de desplazamientos externos, se seleccionan un total de 13 puntos de interceptación distribuidos por todo el casco urbano emeritense (Figura 39).

Figura 39. Localización de los puntos de interceptación



Fuente. Elaboración propia.

Considerando igualmente los aforos, se seleccionan como puntos de interceptación aquellas intersecciones ya aforadas y que resultan claves para detectar el volumen interno de la ciudad y el de paso o externo, ateniendo a la jerarquía viaria y a aquellos accesos que recogen el volumen y tipo de flujos que cumplen con los dos criterios anteriores (Tabla 25).

Tabla 25. Identificación de accesos a interceptar en cada punto de control

ID PUNTO	ACCESO INTERCEPTADO POR PUNTO	ID PUNTO	ACCESO INTERCEPTADO POR PUNTO
1	ENTRADA PUENTE LUSITANIA	5	ENTRADA A-66 SEVILLA
1	ENTRADA PASEO DE ROMA	5	ENTRADA A-66 CÁCERES
1	BY-PASS DE C/ ALMENDRALEJO	5	ENTRADA N-630 TORREMEJÍA
1	ENTRADA AVDA. JOSÉ FDEZ. LÓPEZ	6	ENTRADA C/ OVIEDO
2	ENTRADA AVDA. DE CÁCERES	6	ENTRADA PUENTE FDEZ. CASADO
2	ENTRADA AVDA. JUAN CARLOS I	6	ENTRADA GLORIETA TRES FUENTES
2	ENTRADA AVDA. REINA SOFÍA	6	ENTRADA C/ VICENTE ALEXAINDRE
2	ENTRADA N-V	7	ENTRADA C/ OCTAVIO AUGUSTO
2	ENTRADA VALVERDE DE MÉRIDA	7	ENTRADA C/ CABO VERDE
3	ENTRADA PUENTE LUSITANIA	8	ENTRADA C/ ANTONIO HDEZ. GIL
3	ENTRADA AVDA. DE LA LIBERTAD	9	ENTRADA AVDA. VÍA DE LA PLATA
3	ENTRADA GLORIETA TVE	9	ENTRADA RONDA DE LOS EMÉRITOS
4	ENTRADA CARREFOUR	10	ENTRADA CÁCERES
4	ENTRADA CONSEJERÍA AGRICULTURA	11	ENTRADA ALANGE
4	ENTRADA PUENTE FDEZ. CASADO	12	ENTRADA ACADEMIA GUARDIA CIVIL
5	ENTRADA EL FORO-PTE. FDEZ. CASADO	13	ENTRADA BDA. PROSERPINA
5	ENTRADA BDA. NUEVA CIUDAD	-	-
TOTAL		33 Accesos / 13 Puntos de interceptación	

Fuente. Elaboración propia.

Como se ve en la Figura 39 y en la Tabla 25, los puntos seleccionados están en las vías con mayor flujo de tráfico y donde se detecta la mayor heterogeneidad de desplazamientos (con motivos, modos y pares O/D distintos).

Toda esta información se implementa en la base de datos previamente generada con el fin de obtener una matriz O/D muestra (matriz de interceptación) que permita ser comparada con la matriz O/D domiciliaria y determinar el grado de fiabilidad del modelo, el volumen de desplazamientos externos y validar las rutas elegidas por los usuarios. Dicha comparativa forma parte ya del siguiente apartado (validación del modelo).

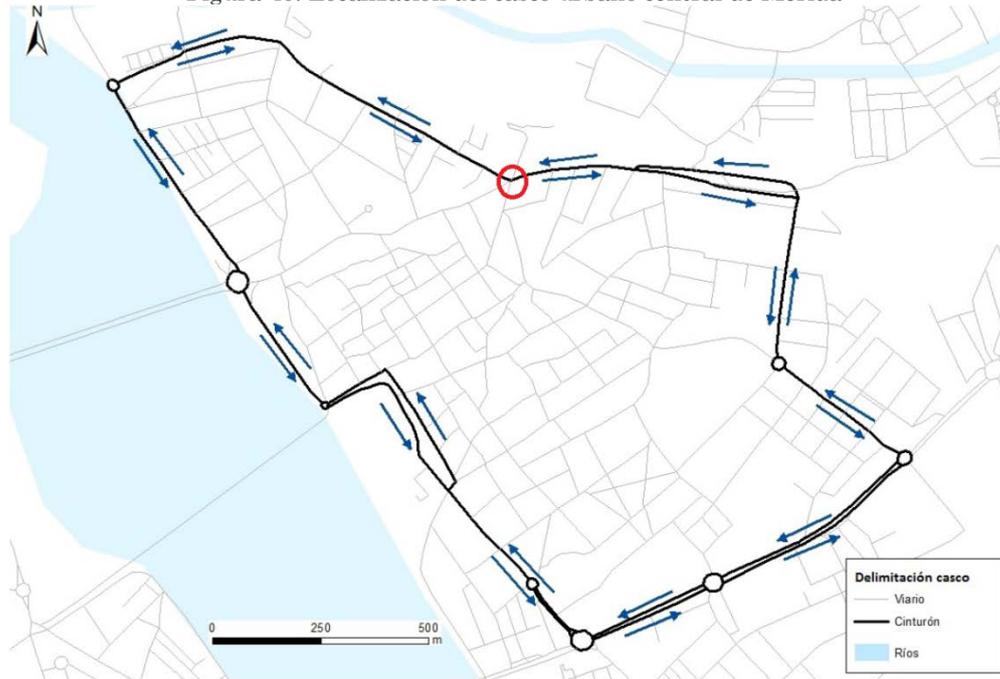
5.6.5.3 Validación del modelo (*Aforos de tráfico e Interceptaciones*)

Tal y como se comenta en el apartado anterior, el proceso de validación del modelo consiste básicamente en comparar los flujos obtenidos en campo (flujos reales) con aquellos predichos por el modelo (flujos teóricos o predicciones), teniendo en cuenta siempre el mismo periodo temporal de análisis. Para llevar a cabo este proceso de validación se genera una consulta en la base de datos global en la que se identifican para cada punto de control el volumen de viajes reales detectado en campo (aforos), el volumen predicho por el modelo (aforos residenciales poblacionales) y el porcentaje de desplazamientos externos a añadir en cada uno de dichos puntos (encuestas de interceptación). A continuación se consolida dicha consulta y se une la información a la cartografía de puntos de control, a través del ID común entre ellos. De esta forma se obtiene información visual a cerca del grado de ajuste del modelo, junto a la pertinente información alfanumérica para el cálculo del error existente en la predicción.

Aunque la predicción del modelo se lleva a cabo en todas las zonas de la ciudad, se hace especial mención a la zona que bordea el casco urbano central de Mérida, como área más problemática desde el punto de vista de la movilidad motorizada. Además, sobre este área se propone la creación de una “*supermanzana*²⁷” (Rueda, 2011) que bordee la zona en cuestión y sirva de acercamiento (y no de acceso) a los servicios ofertados en la misma, limitando el acceso vehicular al interior del casco en favor de un modo mucho más sostenible, saludable y equitativo como es el desplazamiento peatonal (Figura 40). Para proceder a esta implementación urbanística se ha de analizar la repercusión que tendría el cierre de la calle Almendralejo (vía muy problemática por sus características físicas y su ubicación dentro del área urbana) en el flujo de tráfico del entorno cercano. Este caso particular sirve a modo de ejemplo para comprobar el nivel de coherencia del modelo y ver las posibilidades de predicción del mismo. Esta idea se complementaría con una oferta de estacionamientos disuasorios en zonas habilitadas para ello (red de parkings disuasorios).

²⁷ Para mayor información sobre el concepto de *supermanzana* planteado por Rueda (2011), diríjase al capítulo 2, sección 2.1.

Figura 40. Localización del casco urbano central de Mérida



Fuente. Elaboración propia.

Para determinar la nueva dinámica de movilidad que supone el cierre al tráfico motorizado de esta vía, se toma como punto de control la intersección correspondiente a la glorieta de La Torre (codificada en el plano de aforos como Id. 3.4 y remarcada con círculo rojo en el mapa anterior). En esta, se calculan los flujos predichos por el modelo en cada acceso antes y después del cierre al tráfico.

6. ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados a los que se ha llegado tras el trabajo de campo realizado en esta Tesis Doctoral. Para ello, en primer lugar se describen aquellos relativos a la situación actual de la movilidad emeritense. Seguidamente se extraen los más interesantes del estudio de tráfico realizado en esta ciudad. En tercer lugar, se muestra el análisis de la movilidad en vehículo privado como modo predominante y más problemático en la sostenibilidad del sistema. Por otra parte y en cuarto lugar, se examinan los resultados referidos al autobús urbano como único modo de transporte colectivo ofertado y finalmente, en el último apartado se exponen los resultados obtenidos tras la generación del modelo de asignación de viajes y su aplicación a un caso concreto: el cierre al tráfico de la calle Almendralejo para conocer la distribución del tráfico en el casco urbano central y qué vías ven incrementadas su demanda.

6.1 Situación actual de la movilidad en Mérida

Tras inventariar la oferta de movilidad existente y con el fin de tener pistas acerca de cuáles pueden ser los problemas concretos padecidos en esta ciudad, se llevan a cabo entre los meses de mayo y junio del 2009 una serie de reuniones con todos los agentes públicos y privados de la misma (asociaciones, federaciones, colectivos y representantes políticos de la ciudad) y se les pasa un sencillo cuestionario en el que se les pregunta acerca de cuál es la percepción que ellos tienen sobre diversos elementos relacionados con la movilidad: valoración del tráfico, disponibilidad de estacionamientos, grado de funcionamiento del transporte público o percepción que tienen sobre el riesgo de accidentes, entre otros (Gutiérrez Gallego, 2011). Los datos extraídos de este cuestionario evidentemente no permiten extrapolaciones al conjunto de la población pero sí ofrece una visión meramente orientativa de lo que constituye la percepción ciudadana y justificando por otro lado los estudios abordados en esta Tesis Doctoral.

Dichas entrevistas no aparecen en el capítulo metodológico por dos motivos: el primero porque tan solo se utilizan en esta investigación para orientar acerca de los problemas de movilidad existentes previamente, conforme a la percepción de la población. En segundo lugar, no se extrae ninguna muestra representativa de la población emeritense; tan solo se encuestan a varios colectivos para que den su opinión sobre la movilidad de la ciudad. Así, se obtienen un total de 78 cuestionarios en donde se responden a todas las preguntas planteadas, cuyas respuestas más interesantes relacionadas con esta investigación se recogen en los siguientes párrafos.

Las percepciones sobre la movilidad general extraídas tras este trabajo son en primer lugar, que el funcionamiento del tráfico constituye un claro problema para los entrevistados emeritenses. Esta percepción no está tan ligada con la fluidez del tráfico (éstos la catalogan como aceptable) como con la velocidad excesiva en las vías y la poca presencia policial en las mismas. Además, llama la atención las discrepancias a la hora de tildar como problemático al tráfico viario. Esto se puede deber a la dualidad que existe en la ciudad entre realizar habitualmente desplazamientos externos (circunvalación) o hacerlo por el casco urbano central de la ciudad. Por tanto, parece justificado el estudio de tráfico abordado en esta investigación para identificar la realidad del mismo. Además, resulta muy importante la concienciación ciudadana sobre los beneficios de una movilidad sostenible.

Otro dato interesante detectado es que se valora muy positivamente el servicio prestado a la ciudad por el único modo de transporte colectivo público existente, el autobús urbano. Esta idea choca sobremedida con el hecho de que se observan en la mayoría de los casos pocos viajeros en los vehículos del servicio que circulan por la ciudad; por tanto, se detecta claramente la necesidad de analizar el autobús urbano con el fin de detectar qué variables influyen en los comportamientos de los usuarios del sistema a la hora de decantarse por otros modos de transporte, cuáles son los perfiles tipo de aquellos considerados habituales y qué debilidades presenta en sí dicho servicio (ya sean cuestiones físicas relacionadas con los recorridos o con los vehículos en cuestión, o cuestiones humanas relacionadas con la gestión del servicio, tarifas, etc.). De entrada, parece percibirse como uno de los principales elementos a tener en cuenta en el escaso uso del servicio la falta de conocimiento que tienen los entrevistados del mismo, por encima de otros problemas como la lentitud o la frecuencia de paso.

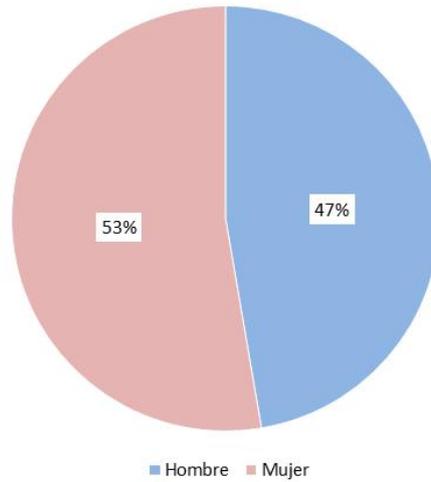
En cuarto lugar, destaca el hecho de que no se percibe a la ciudad de Mérida como un núcleo urbano inseguro desde el punto de vista de la circulación viaria. Aunque sí se detecta un déficit claro de estadísticos de atestados que impide gestionar correctamente esta información y evaluar el estado en el que se encuentra la ciudad en este aspecto.

En lo que respecta al desplazamiento a pie destaca muy positivamente el hecho de que los entrevistados no ven obstáculos importantes en la ciudad que impidan sus desplazamientos a pie por la misma. Por tanto, es factible la posibilidad de fomentar este modo de desplazamiento en detrimento de otros modos menos sostenibles. Además, la propia ciudad invita a caminar ya que la mayoría de los desplazamientos urbanos a realizar siguen itinerarios peatonales con pocas dificultades físicas (pendientes bajas en el recorrido y existencia de zonas habilitadas para el peatón), salvando algunas deficiencias puntuales de ancho de acerado.

Una vez identificados aquellos problemas que pueden ocasionar situaciones de riesgo para la movilidad de la ciudad, se muestran a continuación los resultados relativos a la caracterización de la muestra, fruto de las tareas de encuesta domiciliaria realizadas en todas y cada una de las barriadas de Mérida.

Una de las características propias de la población muestral analizada es que se observa una ligera mayoría de población femenina (53%) con respecto a la masculina (47%), tal y como se aprecia en la Figura 41. Esto es normal si se tiene en cuenta que hay más mujeres en los hogares en el momento de realización de la encuesta.

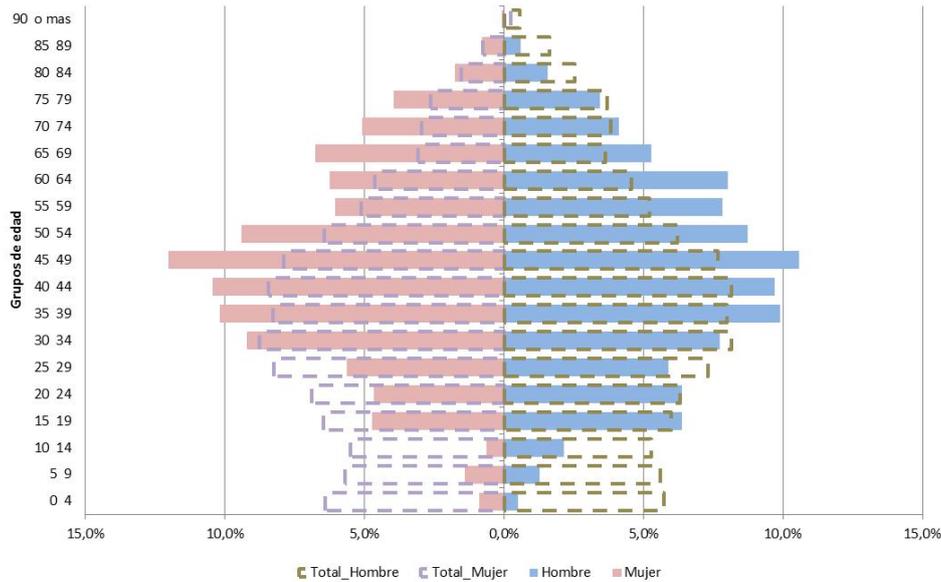
Figura 41. Distribución por género de la muestra



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Esta característica muestral es común en la distribución de los grupos de edad, comparando la pirámide muestral con la poblacional emeritense (Figura 42).

Figura 42. Comparativa entre pirámides muestral y población real



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

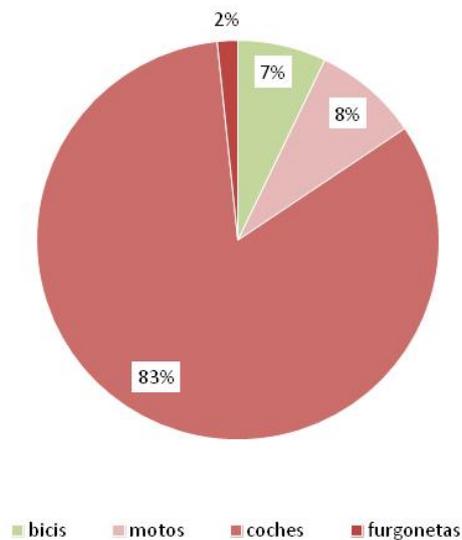
En la figura anterior se ve con claridad cómo en la inmensa mayoría de los grupos de edad de la pirámide encuestada (salvo en el grupo quinquenal de 0 a 4 años) son mayoritarias las mujeres con respecto a los hombres, aumentando dicha diferencia entre géneros en los grupos de edad comprendidos entre los 25 y los 54 años. Estas desviaciones se encuentran más marcadas en dos puntos importantes: en la base (es mucho más estrecha en la muestra que en la población) y en los grupos centrales comprendidos entre 30 y 69 años (en este caso la muestra tiene un porcentaje mayor de residentes que la pirámide poblacional). En cambio el ajuste entre ambas pirámides es bastante bueno en los grupos de edad comprendidos entre los 15 y los 34 años y los referidos a la población mayor de 70 años. Estas diferencias son aún más acentuadas en el sexo femenino que en el masculino, donde solo se observa un ajuste aceptable entre

los 15 y los 29 años y a partir de los 80 años. Todo ello evidencia cierto sesgo en la muestra obtenida en campo (hecho al que ya se hace referencia en capítulos anteriores) que puede provocar errores en el diseño y predicción del modelo de transporte, asociados estos al género de las personas encuestadas y a las horas de visita del encuestador. Así, el ajuste entre pirámides evita errores detectados en la muestra tales como el hecho de que las mujeres sean las que más desplazamientos realizan, cuando se demuestra realmente a través de las encuestas de interceptación que son los hombres los que más se mueven por ella.

En cuanto al apartado relacionado con los niveles de renta de la muestra, hay que indicar que desafortunadamente existe un elevado porcentaje de la población entrevistada que es totalmente reacia a contestar dicha cuestión (concretamente el 51% de los encuestados). Por lo tanto, los datos obtenidos sobre este ítem no son suficientes ni representativos de la población analizada por lo que no se consideran en este trabajo.

Un aspecto que sí es tenido en cuenta en la caracterización, es el número y tipología de los modos de transporte disponibles en cada hogar. De este modo, se observa en la Figura 43 que la mayor parte de los residentes encuestados disponen de vehículo privado para realizar sus desplazamientos (83% del total de hogares encuestados) a mucha distancia de modos menos contaminantes como la motocicleta (8%) o la bici (7%).

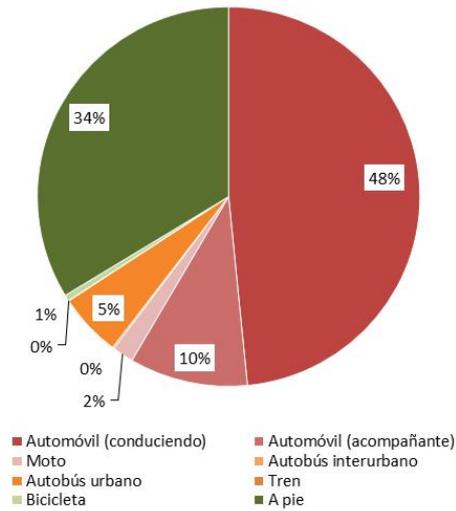
Figura 43. Porcentaje de modos de transporte disponibles en el hogar



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Si se considera además la elección por parte de los residentes (Figura 44), se observa que el coche sigue siendo el modo mayormente utilizado por los residentes (con un 58% sobre el resto).

Figura 44. Modos de transporte utilizados en los desplazamientos

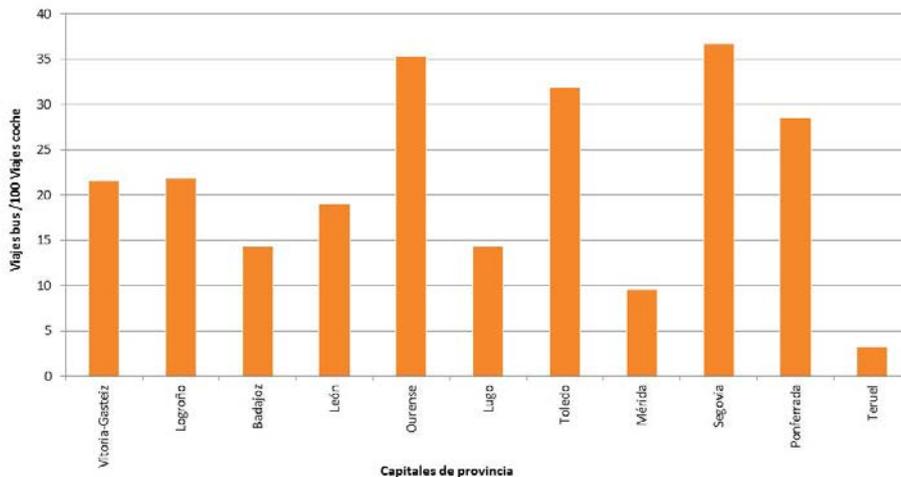


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

De los 8.472 desplazamientos muestrales obtenidos, 711 se realizan en HP y de estos últimos, 449 lo hacen en vehículo privado, dejando al resto de modos en porcentajes anecdóticos. Esto es precisamente lo que muestra la figura anterior, la marcada dualidad en los modos a la hora de realizar los desplazamientos cotidianos. Tras el vehículo privado (modo mayormente utilizado), cobra importancia el modo peatonal como el segundo más importante (con un 34% sobre el total de modos), seguido a mucha distancia de los modos colectivos (5% del total muestral). El desplazamiento en bici es prácticamente inexistente, ya que tan solo supone un 1% del total.

Relacionando el número de desplazamientos en autobús urbano por cada 100 en vehículo privado (Figura 45), se observa que tan solo 9,51 movimientos utilizan el modo colectivo por cada 100 que eligen el privado. Esta cifra coincide también con la información facilitada por la empresa gestora del servicio (TUMSL) y queda tal y como se demuestra a continuación, muy por debajo de lo que sería deseable desde el punto de vista de la movilidad sostenible.

Figura 45. Viajes realizados en transporte público por cada 100 en vehículo privado



Fuente. Aforo en autobús urbano. Elaboración propia.

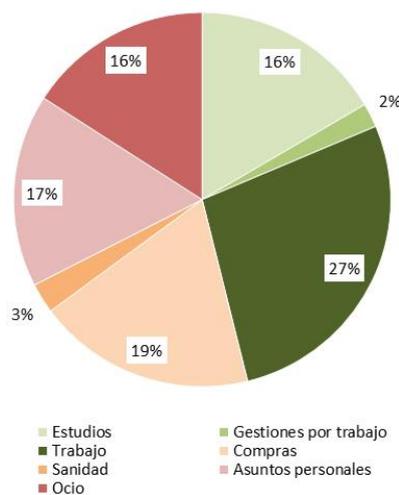
La afirmación anterior surge de la comparativa entre este dato emeritense y el de otras ciudades medias con similares características a la capital extremeña (es decir, núcleos con un volumen poblacional comprendido entre 20.000 y 150.000 habitantes, un casco histórico de cierto calado y con existencia de cauces fluviales u otras barreras que canalizan en cierta medida los flujos vehiculares). Asimismo, se puede ver el volumen tan bajo de desplazamientos realizados en este modo de transporte (de 11 ciudades que forman el listado, Mérida ocupa el penúltimo lugar, superada únicamente por Teruel que ostenta la relación más baja con 3,18 movimientos en autobús por cada 100 en coche).

Del listado anterior destacan en el polo opuesto, ciudades como Segovia (36,73), Ourense (35,35), Toledo (31,82) o Ponferrada (28,50), todas ellas con la salvedad de Ourense, núcleos muy similares a Mérida. En este grupo principal se observa una marcada dualidad en la repartición modal, ya que la mayor parte de sus desplazamientos se realizan en vehículo privado o en autobús urbano (de ahí que esta relación sea tan buena, incluso comparándola con ciudades paradigmáticas como Vitoria-Gasteiz donde el desplazamiento peatonal cobra un protagonismo mucho más destacado que en los anteriores ejemplos). Tras este primer grupo viene Logroño (21,87) y Vitoria-Gasteiz (21,58) que aun no considerándose ciudades medias, se implementan en el gráfico a modo de comparativa como núcleos urbanos en el límite superior de una ciudad media en el primer caso y como icono de la movilidad sostenible en el segundo. Finalmente, se encuentran en el último escalafón aquellas ciudades cuyos viajes en autobús urbano con respecto al vehículo privado no superan los 20 por cada 100. En este último grupo destaca León, con una relación de 19 viajes por cada 100; el resto de ciudades (4) se encuentran en valores por debajo de 15 viajes. Todo ello sin duda ofrece una idea del grado de dependencia del vehículo privado que existe en Mérida, para aquellos desplazamientos cuyo tiempo de viaje sea mayor a 10 minutos (tiempo que según los propios usuarios del sistema, están dispuestos a asumir para un desplazamiento a pie).

Tras la caracterización de la muestra, se procede acto seguido a exponer los principales rasgos de la movilidad emeritense, extraídos también de las encuestas domiciliarias. Toda la información que se muestra en relación a los desplazamientos está ya extrapolada al conjunto poblacional, con lo que sus resultados se refieren a dicha población residente.

Uno de los resultados más importantes que se obtienen de la encuesta es aquel relativo al motivo de los desplazamientos (Figura 46).

Figura 46. Distribución porcentual ajustada de los motivos de desplazamiento



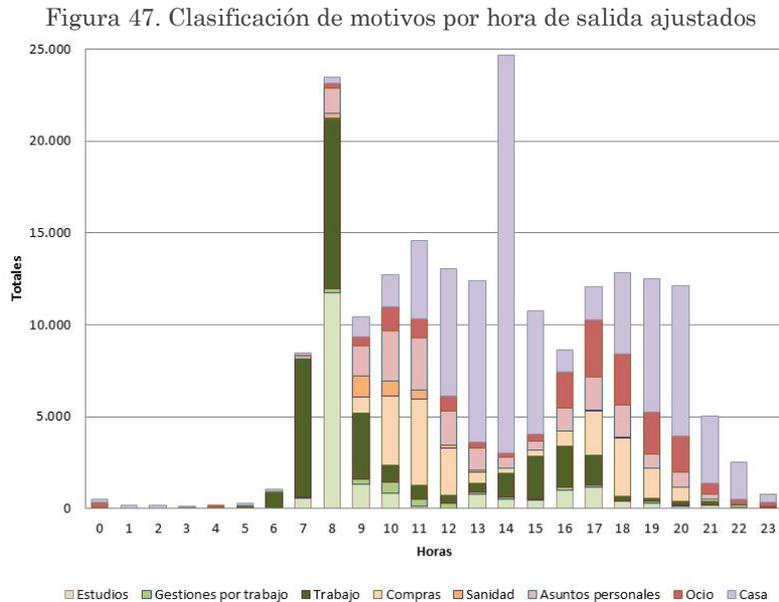
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Obviando la información de la Figura 46 anterior, destaca como motivo más importante el “regreso al hogar” (40,62%), ya que revela el último desplazamiento realizado por todos los residentes una vez finalizadas sus actividades cotidianas (trabajo, educación, sanidad, etc.), ya sea a mediodía o bien por la tarde-noche. Sin embargo este motivo no es muy indicado para detectar las motivaciones reales de los ciudadanos y por tanto no se tiene en cuenta a la hora de analizar sus motivos de desplazamiento.

Si se tienen en cuenta estrictamente los motivos que aparecen en la Figura 46 (en el que no se contempla el regreso al hogar), se observa una repartición bastante equitativa entre motivos relacionados con el estudio, compras, sanidad y ocio, con porcentajes cercanos al 16% en cada uno de ellos. Por otro lado, resultan motivos dominantes aquellos considerados “obligados” (relacionados con trabajo y estudios, que suponen entre ambos el 45% del total de motivos). Tras estos destacan con un 33% aquellos motivos relacionados con el ocio o asuntos personales (visitas a familiares principalmente). Del resto de motivos particulares, destaca sobremanera como el segundo motivo con un porcentaje mayor al ofrecido por los asuntos relacionados con el trabajo, el motivo sanitario con un 19%. Si sumamos a este último (de vital importancia en los desplazamientos urbanos) el porcentaje destinado a los obligados, se explica el 64% del total de los movimientos realizados por la población.

A continuación se exponen los motivos pero atendiendo en este caso a las horas de salida y llegada respectivamente. Para ello conviene recordar que se tiene en cuenta que una hora en estos gráficos está comprendida entre el minuto 0 y el 59 (por ejemplo para el caso de las 9h, esta queda comprendida entre el margen horario que va desde las 9:00h a las 9:59h).

Así, atendiendo a los motivos por hora de salida (Figura 47), se detecta claramente que el grueso de los mismos se produce entre las 8h y las 9h y entre las 13h y las 14h, coincidiendo con el periodo punta elegido tras los aforos. En estas horas destacan los motivos relacionados con trabajo y estudios, ya que coinciden con las entradas (periodo de 8h a 9h) y salidas de los mismos (periodo de 13h a 14h, donde se refleja un aumento masivo del motivo “regreso al hogar” que unifica el resto de motivos observados y que prácticamente no desaparece hasta las 22h).



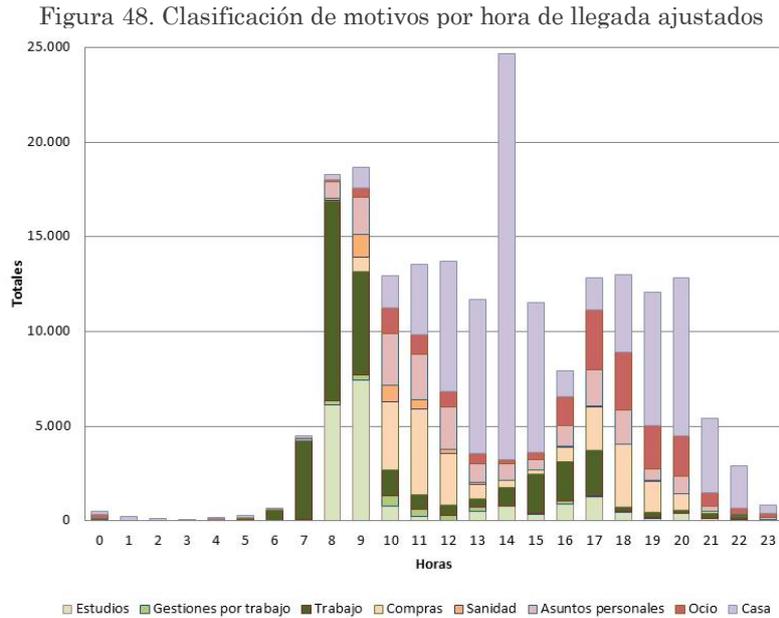
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Por el contrario, se observa que entre las 23h y las 6h apenas existen movimientos. Este periodo valle es totalmente compatible con los horarios laborales y de servicios ofertados en la ciudad y que sin duda motivan los desplazamientos.

Si se particulariza por motivo, se detecta un periodo punta para los desplazamientos relacionados con compras, comprendido entre las 9h y las 12h. A partir de aquí, dicho motivo disminuye hasta desaparecer a las 20h (cierre de comercios). Dentro de este periodo, se observa que la población realiza más compras por la mañana (de 10h a 12h) que por la tarde (de 17h a 19h).

Para el caso de los motivos derivados del ocio en la ciudad (relacionados con actividades físicas o de esparcimiento), decir que estos aumentan por la tarde entre las 16h y las 21h.

En cuanto a los motivos según su hora de llegada (Figura 48), es fácil detectar que prácticamente estos son una copia exacta del gráfico anterior relativo a la hora de salida. Esta característica es lógica ya que los tiempos de recorrido como se comprobará en otros apartados de este capítulo no son muy elevados, propiciando que sus costes finales globales estén comprendidos dentro de la misma hora de salida. De este modo se observan periodos puntas similares, relacionados con el trabajo o estudio para el periodo matutino de 8h a 10h y de 14h a 15h. Estos desplazamientos representan de igual modo a los diversos horarios de entrada (estimados entre las 8h y las 9h) y salida obligados (en este caso entre las 14h y las 15h, reflejados por los movimientos masivos relacionados con el “regreso al hogar”).



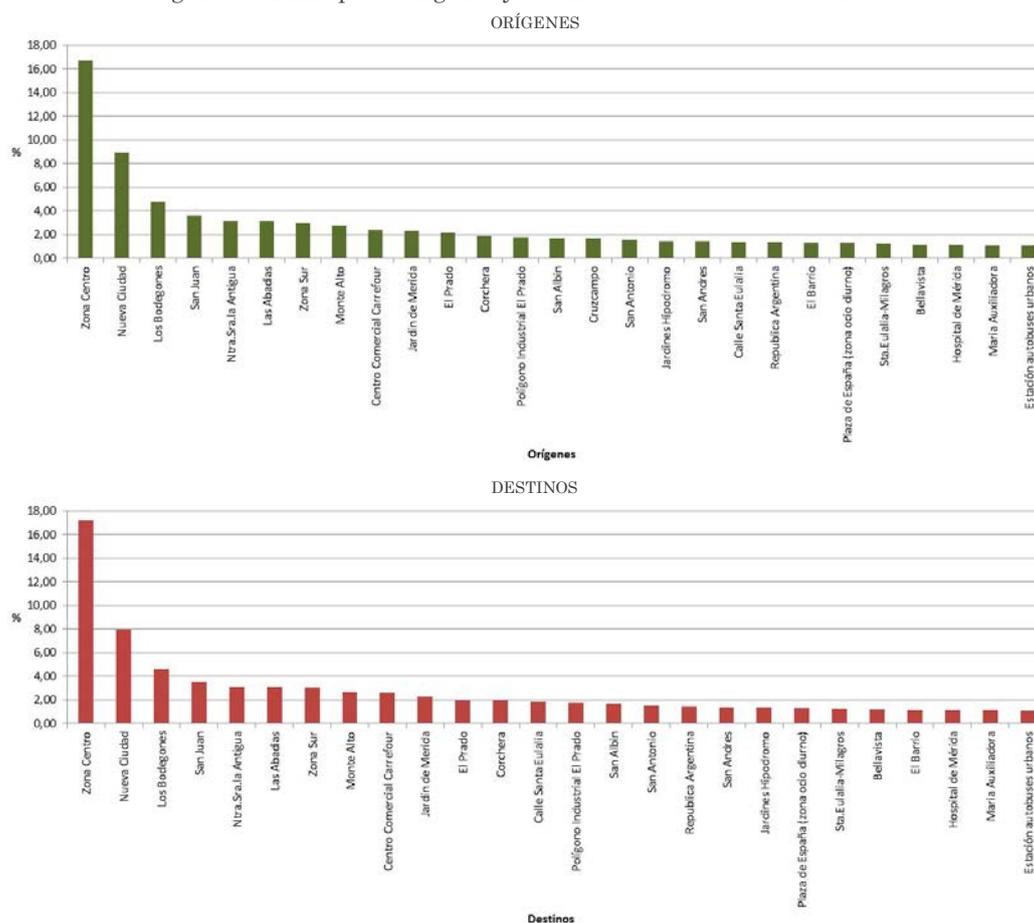
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Lo mismo ocurre con el periodo valle, cuyo límite horario es idéntico al gráfico anterior (entre las 23h y las 6h), coincidente con el periodo de ausencia de servicios.

De nuevo particularizando por motivos para aquellos distintos a los obligados, se observa cómo el motivo compras cobra cierta relevancia entre las 10h y la 13h por la mañana y entre las 17h y las 20h por la tarde. Además, durante la tarde destacan como principales los motivos más relacionados con el ocio y el esparcimiento (motivos como las compras, las visitas por asuntos personales y el ocio cobran importancia entre las 17h y las 20h de la tarde), a la par que el regreso al hogar que va decreciendo a partir de las 21h a medida que se termina la jornada laboral diaria.

Otro aspecto a considerar en la movilidad urbana general que caracteriza a Mérida, es la identificación de los principales orígenes y destinos atractores. Este dato resulta además de vital importancia para el diseño del modelo de transporte. Por consiguiente, se muestra a continuación cuáles son los destacados tras el periodo de encuesta (Figura 49).

Figura 49. Principales orígenes y destinos detectados tras la encuesta



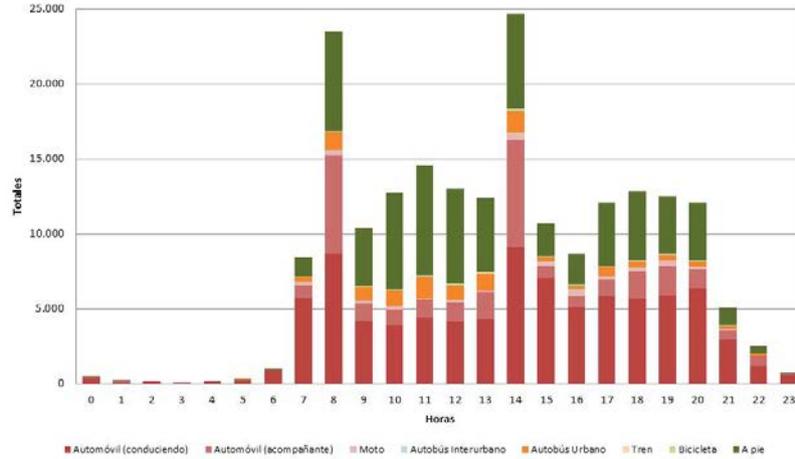
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 49, destacan sobre el resto las barriadas Zona Centro y Nueva Ciudad, tanto en lo que respecta a desplazamientos generados como atraídos (estas dos barriadas soportan prácticamente el 25% de los flujos totales). Tras estas, se encuentran a distancia las barriadas de Los Bodegones, San Juan, Nuestra Señora de la Antigua, Las Abadías y Zona Sur, que soportan porcentajes de desplazamientos en origen y destino cercanos al 17,5% con respecto al volumen total existente en la ciudad. Todas estas barriadas soportan prácticamente la mitad de los movimientos totales diarios.

Entre los equipamientos y servicios puntuales, destaca el centro comercial Carrefour con un porcentaje de viajes del 2% del total y las áreas comerciales cercanas al casco urbano central (que engloban la calle Santa Eulalia y la Plaza de España, con un 2% de los flujos totales).

Por otro lado y continuando con los modos de desplazamiento propios del análisis de movilidad global, destacan aquellos utilizados por los usuarios del sistema atendiendo a las franjas horarias del día y a los grupos de edad. Además, se ha de aclarar que dicha información está extrapolada al total poblacional siguiendo las directrices marcadas en el capítulo metodológico. Así, en primer lugar se muestra en la Figura 50 la distribución de modos de transporte en función de las diferentes horas de salida de los desplazamientos. Esta distribución tiene en cuenta los modos privados de cada hogar y a los diferentes modos disponibles a nivel colectivo.

Figura 50. Clasificación de modos según hora de salida ajustados



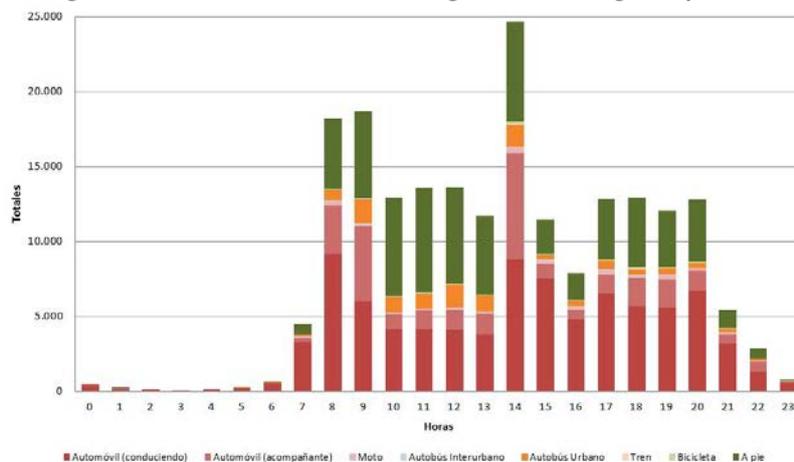
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Se distinguen claramente en esta Figura 50 los periodos punta y valle de los desplazamientos (al igual que ocurre con los gráficos anteriores relativos a los motivos). Estos se concentran entre las 7h y las 22h detectándose además como el automóvil (modo menos sostenible) tiene un gran peso específico en la movilidad cotidiana (este modo de transporte se utiliza por el 59% de los usuarios residentes), destacando las principales HP del día (de 8h a 9h y de 14h a 15h). Este modo privado se mantiene constante en cuanto a volumen de usuarios diarios se refiere (y no solo en las HP), con valores comprendidos entre los 5.000 y los 8.000 usuarios/h (cifra que en HP pasa a más de 15.000 usuarios/h).

Si bien el volumen de desplazamientos en vehículo privado tiende a aumentar por la tarde y en las horas con mayor flujo diario, el referido a los modos de transporte más sostenibles (autobús urbano y sobre todo el desplazamiento peatonal) suelen hacerlo por la mañana (entre las 9h y las 14h, destacando el periodo horario de las 11h de la mañana como el de mayor volumen de flujos). Tanto el modo peatonal como el automóvil son los más utilizados en la ciudad (entre los dos se reparten el 92% del total de movimientos diarios, independientemente del periodo horario de salida en el que se produzcan).

A continuación se muestran los modos de transporte distribuidos en este caso entre las distintas horas de llegada a sus destinos finales (Figura 51).

Figura 51. Clasificación de modos según hora de llegada ajustados



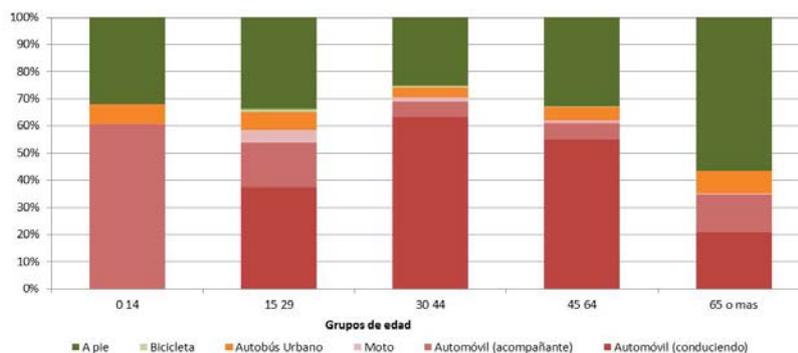
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Tal y como se puede ver, este gráfico de modos es muy similar al anterior relativo a los modos por hora de salida (lo cual es de esperar ya que los desplazamientos que realizados en este tipo de ciudades suelen caracterizarse por llevarse a cabo dentro de la misma franja horaria). De nuevo se detecta un porcentaje muy elevado de desplazamientos en vehículo privado, con mayor intensidad en las HP ya conocidas. Llama la atención el hecho de que los desplazamientos en modos sostenibles (transporte colectivo, bicicleta y modo peatonal) se dan en mayor medida por la mañana que por la tarde (con un repunte máximo comprendido entre las 10h y las 13h de la mañana).

Sin embargo existen ciertas diferencias entre este último gráfico y su homónimo anterior en lo relativo al volumen de movimientos captados a distintas horas del día. Así, en primer lugar el volumen de flujos referido a la HP de 8h a 9h varía claramente y se observa cierta desviación de la misma hacia la franja horaria de 9h a 10h en vez de 8h a 9h.

Si además se clasifican los modos de desplazamiento en función de los distintos grupos de edad (Figura 52), queda claro cómo existe un volumen importante de población no conductora que utiliza el vehículo privado como modo de transporte habitual. Por ejemplo, un 60% de los usuarios menores de 14 años se desplazan habitualmente en dicho modo.

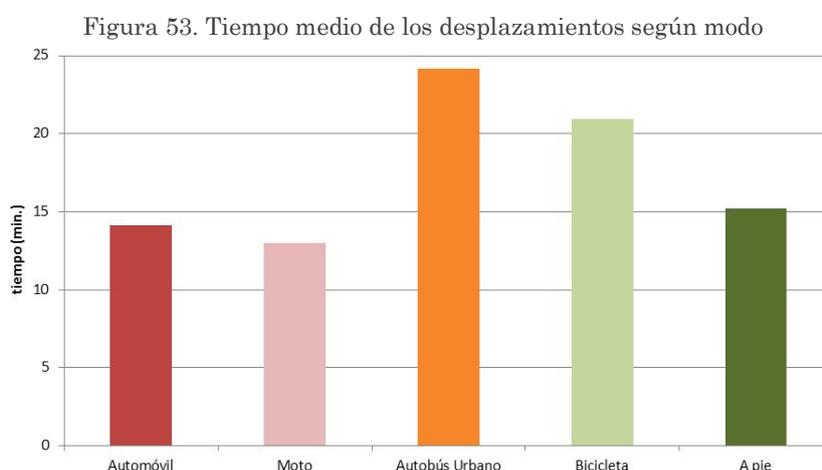
Figura 52. Clasificación de modos por grupos de edad ajustados



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

También se observa en el gráfico anterior cómo la población residente en edad activa utilizan el vehículo privado como modo habitual para todos sus desplazamientos (el modo vehículo privado como “conductor” es utilizado por un 60% de los usuarios residentes en edades comprendidas entre los 15 y los 64 años). Por el contrario, los desplazamientos realizados en modos colectivos o sostenibles (bici y desplazamiento peatonal) son muy bajos: en la mayor parte de los grupos, el porcentaje de usuarios que se desplazan en autobús urbano apenas llega al 10%, mientras que el desplazamiento peatonal ronda el 30% de los mismos, salvo en el grupo mayor de 65 años que hacen de este último modo el más utilizado para sus movimientos (60%); los desplazamientos en bici son meramente testimoniales en todos los grupos (apenas llega al 0,8%).

Finalmente es interesante destacar el tiempo medio destinado a desplazarse por la ciudad y el número medio de viajes realizados por persona y barriada. Con respecto a la primera variable (tiempo medio de viaje por modo), se puede comprobar cómo los mayores tiempos se registran en el transporte colectivo, donde los usuarios invierten prácticamente 25 minutos de su tiempo en esta actividad (Figura 53).

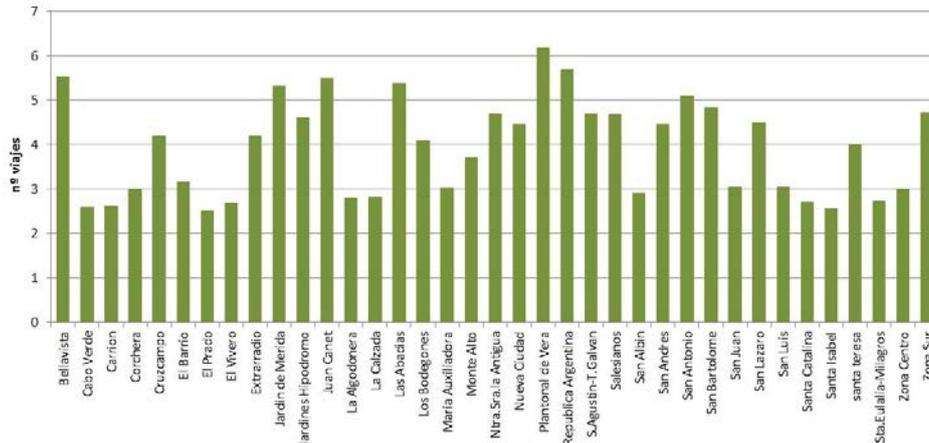


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

También se puede comprobar en el gráfico anterior cómo los modos privados motorizados tienen tiempos de desplazamiento muy parejos, en torno a los 12-15 minutos. Además, se observa que las diferencias entre el coste de viaje en motocicleta y el coste en coche son mínimas, lo cual resulta muy indicativo de la movilidad que caracteriza a Mérida. En lo que respecta a los modos sostenibles, decir que presentan tiempos de viaje elevados para el caso de la bici y aceptables para el caso del desplazamiento peatonal. Sin embargo entre estos modos hay que tener en cuenta un matiz importante de índole social: los desplazamientos en bici por motivos distintos al ocio prácticamente no se dan en la ciudad (de ahí el tiempo medio de los viajes en este modo). Este hecho sí que se detecta en el desplazamiento peatonal (debe recordarse que es el segundo modo de transporte más utilizado por la población), de ahí que el tiempo de desplazamiento sea más lógico. A partir de los 15 minutos el usuario se plantea el trasvase a otros modos distintos al peatonal (normalmente los modos motorizados privados).

En lo que se refiere al número medio de desplazamientos realizados por persona en cada una de las barriadas de la ciudad, en la Figura 54 se muestra cómo un 19% de estas realizan entre 5 y 6 desplazamientos diarios (el doble que la media). Estas barriadas se localizan en zonas cercanas al casco urbano central (barriada Zona Centro), donde se concentran buena parte de los servicios ofertados o bien en áreas cercanas a centros comerciales y centros educativos.

Figura 54. Promedio de desplazamientos por persona y barriada

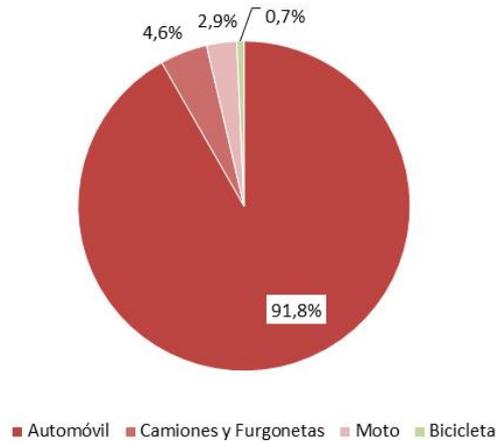


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

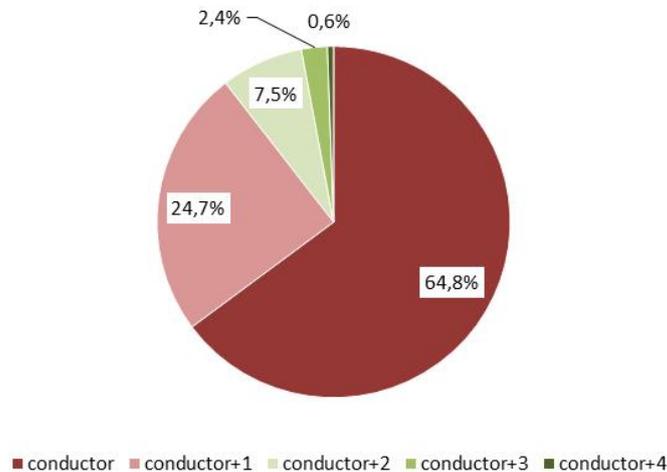
El número medio de desplazamientos detectados por usuario en la ciudad es de 3,9 viajes/día. Si consideramos este dato, se observa en el gráfico anterior cómo existe un número significativo de barriadas que están por debajo de la media (en concreto 16, lo que supone un 46% del total). Esto es lógico teniendo en cuenta que dichas barriadas se encuentran en áreas periféricas del casco urbano.

Dentro de los modos de transporte privados se ha de discriminar entre aquellos modos más problemáticos como es el caso del coche, el camión o la furgoneta, de otros que apenas lo son como la moto o la bici. En este sentido, conviene identificar cuál es el modo privado más utilizado entre los usuarios del sistema (Figura 55). En este caso particular, la información se obtiene de las encuestas de interceptación llevadas a cabo en Mérida y descritas en el capítulo metodológico.

Figura 55. Modos de transporte privados interceptados y ocupación
 PORCENTAJES DE VEHÍCULOS INTERCEPTADOS



OCUPACIÓN DE VEHÍCULOS PRIVADOS



Fuente. Encuestas de interceptación. Elaboración propia.

Como se observa en los dos gráficos de la Figura 55, el automóvil es con mucha diferencia el modo más utilizado en los desplazamientos habituales (éste soporta el 91,8% de los movimientos interceptados en la ciudad). Del resto de modos, destaca a mucha distancia el camión y la furgoneta (que solo suponen el 4,6% del total de flujos interceptados). El resto de modos ofrecen porcentajes poco representativos.

Además se observan valores de ocupación muy bajos en estos modos, ya que un 89,5% de los automóviles interceptados tan solo cuentan con dos ocupantes y de éstos últimos, el 64,8% solo va con el conductor.

Tras el análisis global de la movilidad, se muestra en los siguientes apartados los resultados más relevantes referidos al tráfico viario en general para seguidamente, mostrar un análisis más pormenorizado de la movilidad en los modos motorizados más representativos. Concretamente la investigación se centra en el vehículo privado y el autobús urbano, por ser estos los más problemáticos desde el punto de vista de la movilidad y también los más utilizados habitualmente por los usuarios.

6.2 Estudio del tráfico viario

Los resultados expuestos en este apartado son fruto de aplicar el método de aforo y clasificación descritos en el capítulo metodológico (apartado 5.2), teniendo en cuenta la distribución de puntos de control en la ciudad y los propios datos de aforo referidos a las campañas de trabajo en campo.

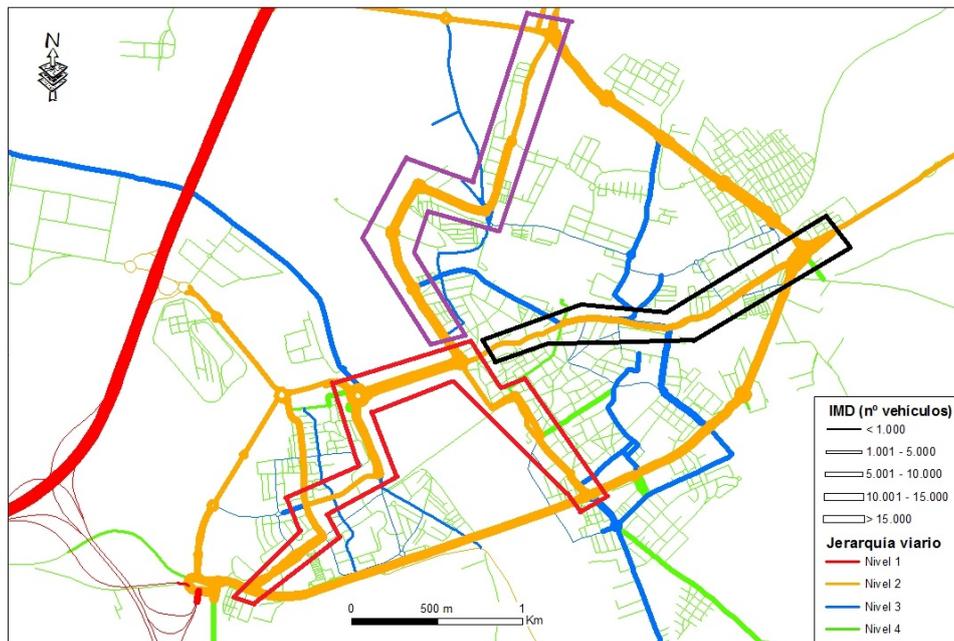
De toda la información extraída destaca la jerarquía viaria definitiva (Figura 56), en donde se clasifican todos los tramos de la red atendiendo al volumen de tráfico promedio obtenido durante estas campañas de aforo y al posterior cálculo de IMD en las principales secciones e intersecciones de la red. Tras el cálculo de IMD, se afirma que la intensidad promedio diaria registrada en el aforo de referencia (puente Lusitania) es de 24.226 vehículos en julio y 29.071 en octubre (por tanto el IMD promedio global de la ciudad es de 26.648 vehículos). Por otro lado, se le aplica a la jerarquía viaria el adjetivo de “definitiva” porque parte de una inicial consensuada por el equipo técnico, a la que se le aplican posteriormente los datos reales extraídos de los aforos posteriores.

La obtención de las intensidades reales fruto del trabajo llevado a cabo en campo, permite detectar errores aceptados en la jerarquía inicial e implementar algunos niveles viarios claramente erróneos o que han sufrido en los últimos años un incremento circulatorio considerable, lo que ha provocado dicho cambio jerárquico.

Figura 56. Jerarquización del viario
INICIAL



FINAL



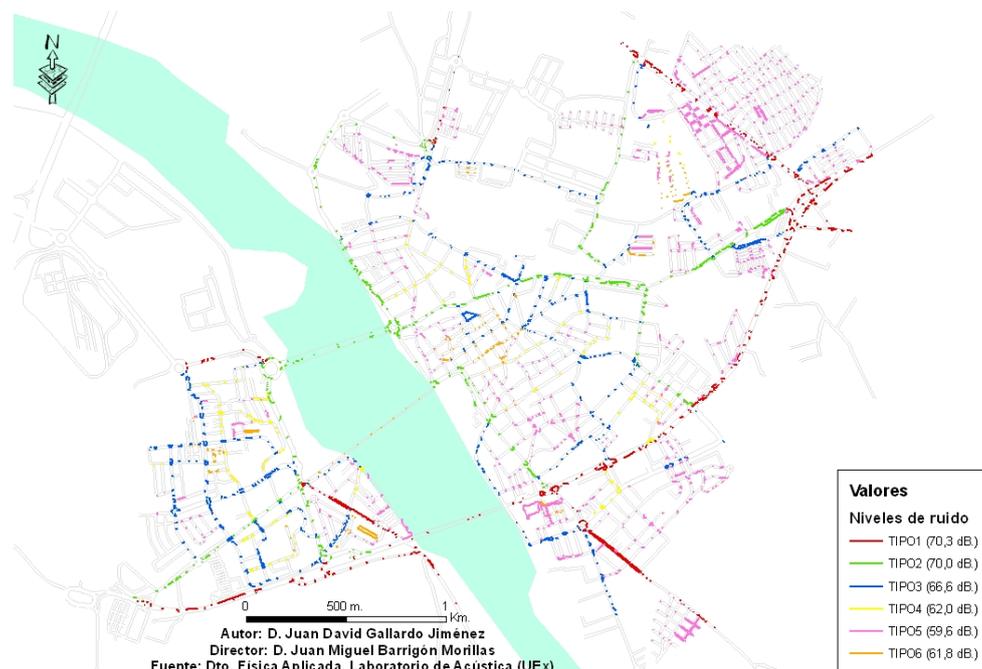
Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida.

Como se observa en la comparativa de la Figura 56, la jerarquía final ve ampliado significativamente el Nivel 2. Dentro de esta ampliación, se detectan varios itinerarios importantes en la red: El primero discurre paralelo al río Guadiana e incluye las calles Oviedo, John Lennon, paseo de Roma, puente Lusitania, barriada Nueva Ciudad y la intersección 2.4 entre la avenida de Portugal y la avenida Reina Sofía (bordeado con color rojo en el mapa). El segundo itinerario destacado discurre también paralelo al río en dirección norte y está formado por las vías que van desde la avenida

José Fernández López hasta la Ronda de Los Eméritos, continuando por Vía de la Plata y hasta llegar a la avenida de Cáceres (remarcado con color violeta en el mapa). Finalmente, el tercer itinerario está formado por algunas de las vías que atraviesan de oeste a este el casco urbano central de la ciudad y está compuesto por la calle Almendralejo, la avenida de Extremadura y desde la avenida Rey Juan Carlos I hasta la glorieta de las Tres Fuentes (identificado con color negro en el mapa).

Si se compara la jerarquización final del viario con otra información externa realizada por un equipo independiente, se puede llegar a comprobar la relación existente entre intensidad de ruido y vehicular. En este aspecto, la idea es comparar estas dos variables para validar el trabajo realizado en esta investigación. Así, se compara el mapa de ruido realizado en 2005 por D. Juan David Gallardo Jiménez y dirigido por el Dr. Juan Miguel Barrigón Morillas del Laboratorio de Acústica (Departamento de Física Aplicada de la UEx) y se observan claras coincidencias (Figura 57).

Figura 57. Mapa de ruido relativo a la red viaria de Mérida

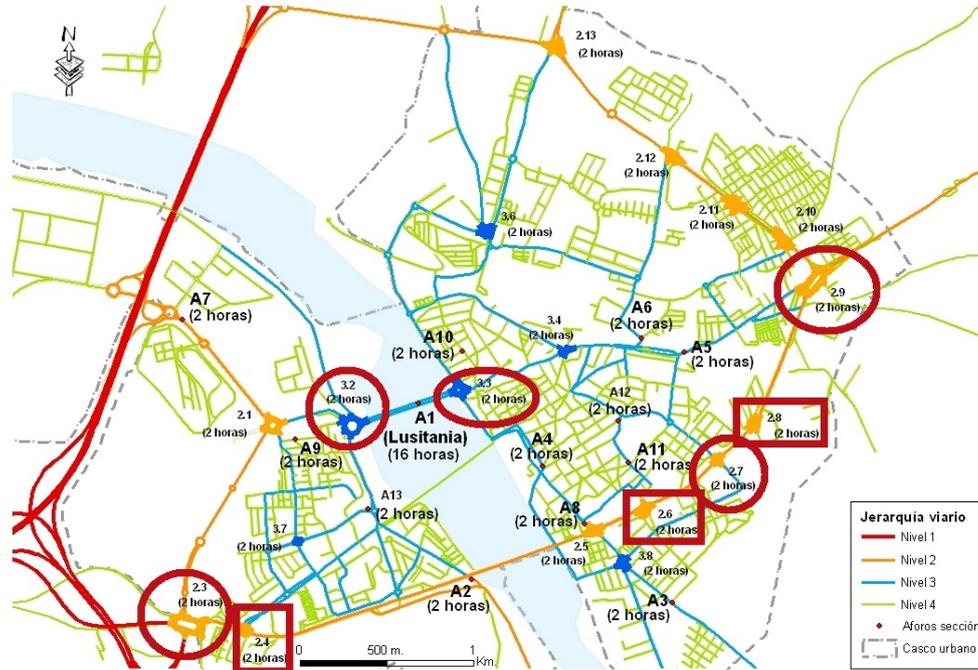


*Fuente. Departamento de Física Aplicada, Laboratorio de Acústica.
 Elaboración propia.*

Así en la Figura 57 se puede ver cómo solapan las rutas tenidas en cuenta por los usuarios a la hora de llevar a cabo sus desplazamientos por la red con los niveles máximos de decibelios registrados en la misma. Incluso los “Tipos” de niveles de ruido coinciden en gran medida con los “Niveles” jerárquicos de la Figura 56 anterior. Así, existe una clara relación entre los niveles de ruido Tipo 1 y 2 con los niveles jerárquicos 2 y 3 de esta Tesis (el Nivel 1 no entraría en valoración porque se corresponde únicamente con la autovía A-66/Ruta de la Plata), mientras que los tonos propios de los niveles de ruido Tipo 4, 5 y 6 tienen una clara relación con el Nivel jerárquico 4 propuesto (dentro de este Nivel 4 los niveles de ruido distinguen subtipos en función de la mayor o menor afluencia de vehículos o la morfología de las calles).

Un segundo resultado derivado de la jerarquía viaria anterior es la detección de aquellas intersecciones que sobrepasan su capacidad (es decir, aquellas que presentan accesos cuya relación entre volumen de tráfico atractor y capacidad máxima es igual o superior a 1). En este sentido y aplicando la metodología de capacidades explicada anteriormente (para mayor información revisar el informe de Gutiérrez Gallego y Pedraza, 2010), se llega al resultado expuesto en la Figura 58.

Figura 58. Intersecciones con problemas de capacidad en HP

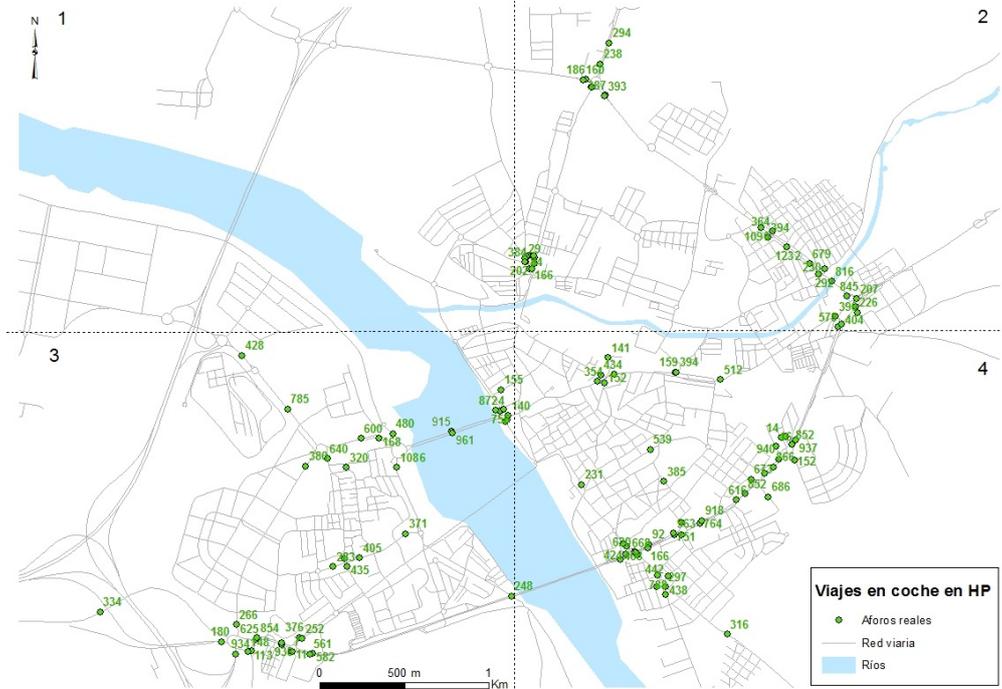


Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

En esta Figura 58 se representa con círculos rojos las intersecciones en las que se detectan problemas de congestión en la primera campaña de aforo (julio) y con cuadrados rojos aquellas otras cuya congestión es observada durante la segunda campaña (octubre). Destaca el hecho de que tanto unas como otras se localizan en puntos estratégicos de la red (niveles 2 y 3), lo que conlleva a que éstas sean utilizadas por una parte importante de la población para realizar sus desplazamientos diarios. Sin embargo, esta ubicación limita en gran medida la posibilidad de utilizar rutas alternativas que las eviten, ya que el sentido circulatorio de Mérida está extremadamente orientado para los modos de transporte motorizados. Esto sin duda repercute enormemente en las pautas de comportamiento de los usuarios a la hora de elegir sus rutas de desplazamiento (de ahí que la asignación posterior ofrezca resultados aceptables, tal y como se verá en el apartado 6.5 dedicado a este tema). Si se concretan los problemas a nivel de accesos, estos quedan más restringidos aún ya que las zonas congestionadas se reducen al puente Lusitania (entre las intersecciones 3.2 y 3.3 del mapa) y los accesos que dan continuidad a la circunvalación de la avenida Reina Sofía (entre las intersecciones 2.3 y 2.9 del mapa).

Además esta gran orientación circulatoria también se reproduce en los tramos longitudinales de la red. Así, en el siguiente grupo de análisis se muestra claramente cómo el hecho de disponer de un tráfico muy dirigido influye en la elección de rutas (Figura 59), aun existiendo igualmente áreas parcialmente congestionadas dentro de las mismas.

Figura 59. Intensidad en HP en vehículo privado

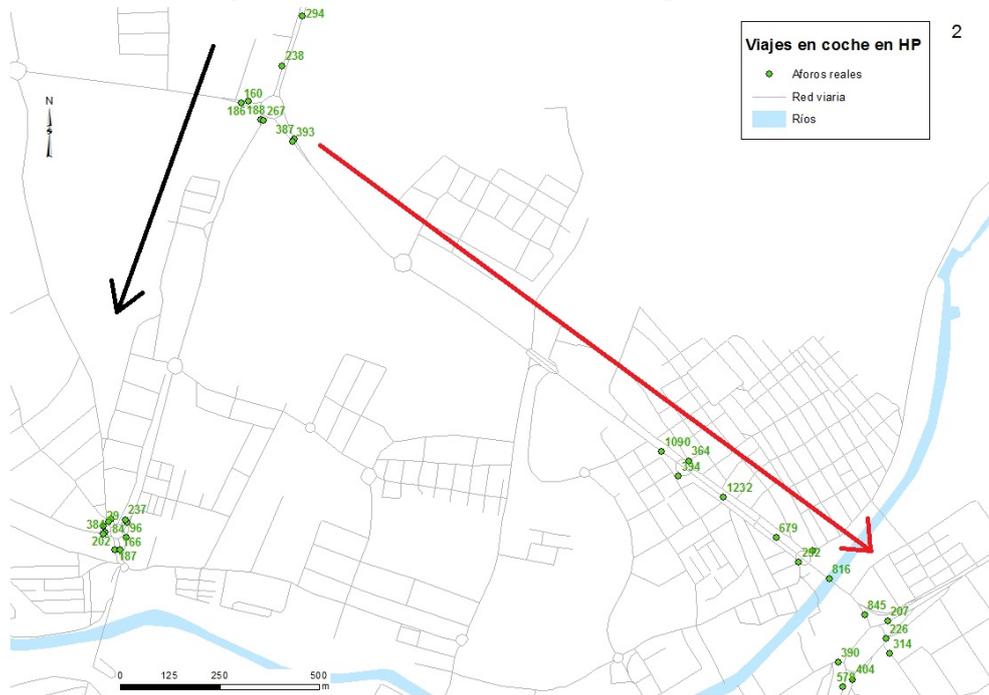


Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

En la Figura 59 se representa el volumen de vehículos privados que cruzan cada punto de control de la red durante el periodo de HP. Como se puede ver, se tienen en cuenta los principales puntos de entrada y salida de la población desde el exterior, al igual que todos los desplazamientos interzonales. La red de control permite por tanto, observar la distribución de todos estos flujos en cualquier modo. Destaca el hecho de que existen más puntos de control en el margen derecho del río Guadiana que en el izquierdo, ya que es aquí donde se concentra la mayor parte de la población residente y el área urbana más antigua (la zona oeste en cambio está en actual expansión urbanística).

A continuación se muestran diferentes figuras en las que se pueden extraer resultados más detallados sobre la red de aforos vehiculares.

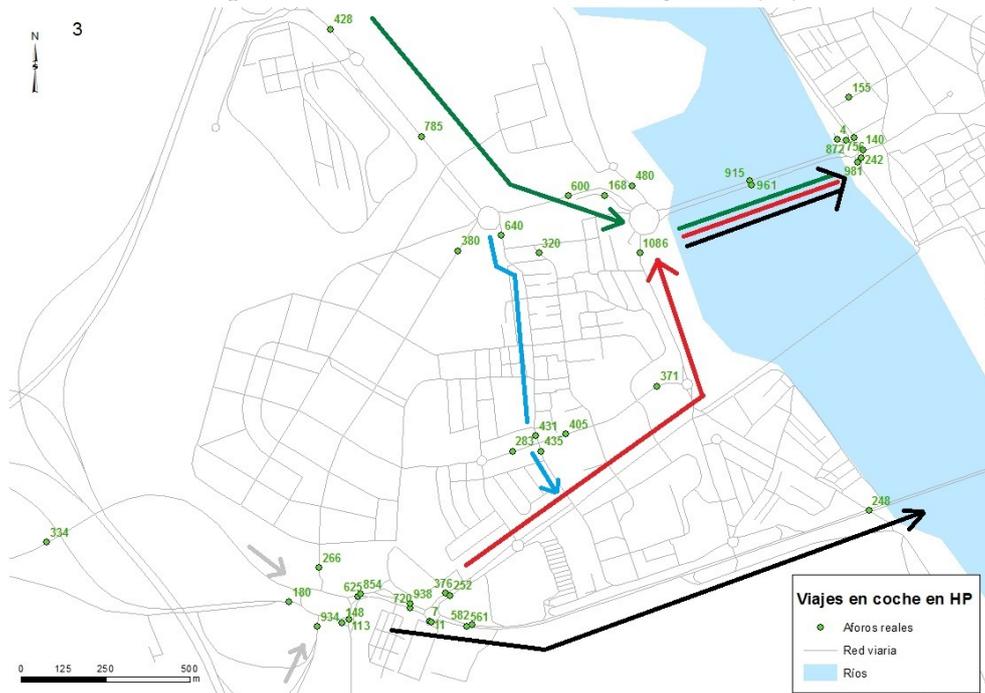
Figura 60. Intensidad en HP en vehículo privado (C2)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

Así en la Figura 60, se muestran los aforos realizados en vehículo privado y HP en el área nordeste de Mérida. En dicha zona se observan claramente dos rutas de entrada atendiendo al volumen de vehículos que la atraviesan. Una primera ruta sigue la Vía de la Plata en dirección a la zona norte de la ciudad (flecha negra) y también a la zona del casco urbano central; mientras que la segunda, sigue toda la ronda de circunvalación por la avenida de Cáceres hacia la glorieta de las Tres Fuentes (flecha roja), permitiendo acceder a los usuarios a toda la zona este de la ciudad. El nordeste urbano se caracteriza por barriadas residenciales (la mayoría de ellas de tipo unifamiliar), que conviven con polígonos industriales que en la mayor parte de los casos disponen de aprovechamientos compatibles con el uso residencial (concesionarios de coches, textil, comestibles, etc.).

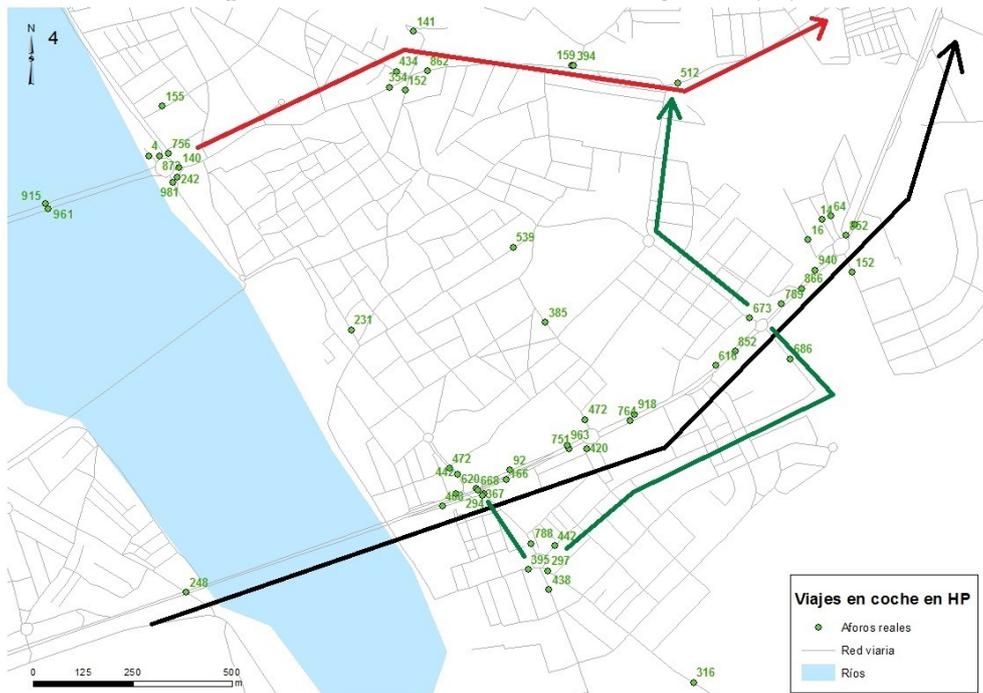
Figura 61. Intensidad en HP en vehículo privado (C3)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

En la Figura 61, se muestran los aforos realizados en vehículo privado y HP en el área suroeste de la ciudad. Revisando los puntos de mayor tráfico, se pueden detectar puntos externos importantes y rutas interzonales no menos destacadas. Con respecto a los accesos externos, cobran importancia el acceso sur dirección Sevilla y el acceso oeste dirección Calamonte. En cuanto a las rutas interzonales, se observan las siguientes: la ruta circunvalación hacia el este por el puente Fernández López (flecha negra); una segunda ruta que continúa por el margen derecho del río Guadiana hasta la glorieta del puente Lusitania (flecha roja); una tercera que agrupa a todos los flujos procedentes del noroeste y los encausa por la avenida Duque de Ahumada hasta la glorieta del puente Lusitania (flecha verde oscuro); y finalmente se observa una cuarta ruta que parte de la glorieta en la que intersectan las avenidas de la Hispanidad, Duque de Ahumada y Luís Jacinto Ramallo García y que sigue toda la avenida de las Américas hasta cruzarse con la segunda ruta citada anteriormente, siguiendo la avenida de Portugal (flecha azul).

Figura 62. Intensidad en HP en vehículo privado (C4)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

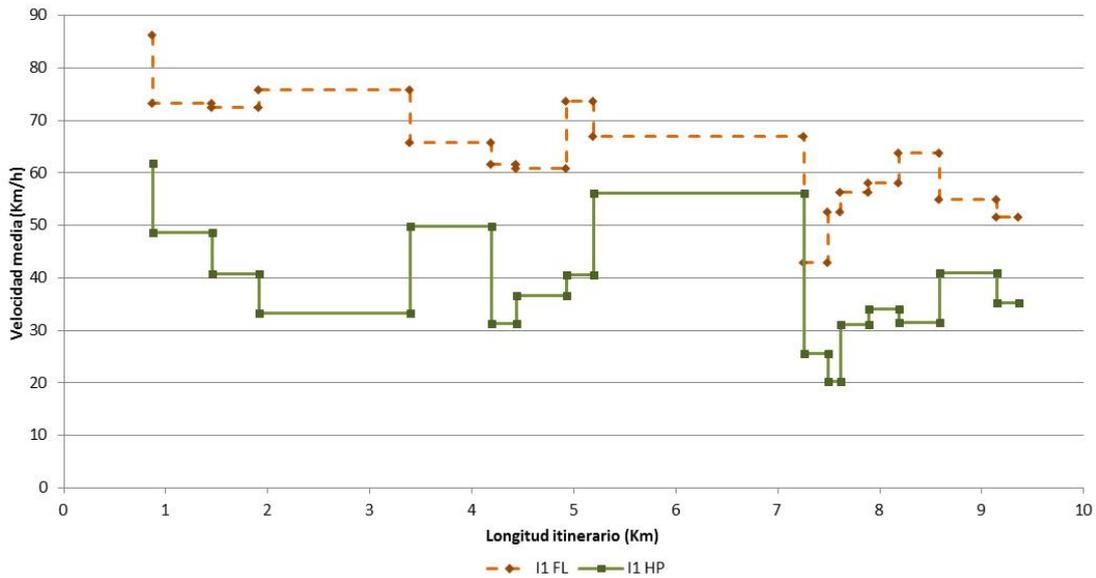
Del mismo modo, en la Figura 62 se muestran aquellos aforos en vehículo privado y HP referidos al área sureste del plano urbano. Aquí destacan como rutas importantes: la ruta oeste-este siguiendo la circunvalación hasta la glorieta de las Tres Fuentes (flecha negra); la ruta paralela a la anterior que parte del puente Lusitania, y continúa por las avenidas Extremadura y Juan Carlos I hasta la glorieta de las Tres Fuentes (flecha roja); y por último la ruta que comienza en la glorieta Juan de Ávalos y continúa por las avenidas Lusitania, Reina Sofía y las calles Octavio Augusto y Cabo Verde, hasta la avenida Juan Carlos I (flecha verde oscuro).

Otro análisis muy a tener en cuenta en esta investigación y que guarda una clara relación con los resultados obtenidos anteriormente, es el que hace mención a los itinerarios tipo que atraviesan la ciudad de norte a sur y de este a oeste. La idea ya planteada en el capítulo metodológico sobre este tema, es saber si existen costes diferenciales significativos entre realizar desplazamientos en HP o hacerlos en HV (es decir, en condiciones de FL).

Para ofrecer de un modo claro el análisis de itinerarios, se muestra a continuación una serie de perfiles de recorrido a escala que representan las velocidades medias calculadas en cada tramo de dichos itinerarios. Así, en cada punto kilométrico se pueden identificar los posibles problemas de congestión existentes, comparando las condiciones de HP y FL (esta última representada siempre con una trama discontinua de color naranja). Así, inicialmente se exponen los gráficos referidos a la primera campaña (julio) y posteriormente aquellos que tienen que ver con la segunda (octubre), distinguiendo a su vez entre los recorridos de ida (líneas de color verde) y vuelta (líneas de color rojo). Finalmente, se analiza solo un itinerario en julio y tres en octubre por ser este último un mes más “normal” en cuanto a flujos se refiere (los periodos vacacionales se terminan y vuelven las pautas de movilidad habituales).

Dicho esto, se comienza entonces por mostrar en primer lugar aquellos gráficos correspondientes a la campaña (julio), por sentido.

Figura 63. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Ida)

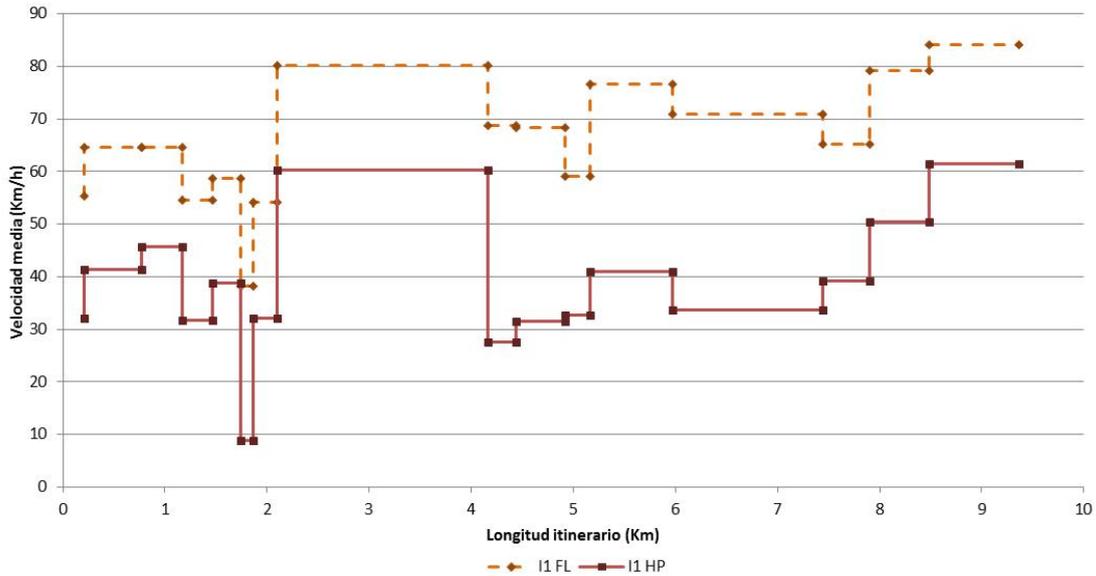


Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

En la Figura 63 se observa un descenso medio de la velocidad de recorrido cercano a los 25 km/h entre la HP y el FL. Aunque gran parte del recorrido en HP es similar al de FL, se detectan algunas zonas problemáticas caracterizadas por cambios en la velocidad media de recorrido, ya sean por aumento de la misma o por descenso (las primeras son zonas rápidas mientras que las segundas son problemáticas). Con respecto a las zonas problemáticas, destaca la localizada entre el kilómetro 7,2 y el 7,8 del recorrido (área cercana a las glorietas 2.4 relativa al centro comercial El Foro y 2.3 relativa a la Consejería de Agricultura, en la zona suroeste del plano), donde se observan descensos medios de velocidad con respecto al FL cercanos a los 15 km/h (el caso de la intersección 2.4 ya está detectada como problemática en el estudio de capacidad anterior, con lo que este segundo estudio corrobora este hecho). Tras esta, se detectan otras secundarias con descensos menores a 10 km/h: los dos primeros kilómetros referidos a las intersecciones 2.13 y la glorieta de la urbanización Monte Alto (área nordeste del plano); la zona localizada en torno al kilómetro 4 del recorrido, relativa al tramo de la avenida Reina Sofía entre las intersecciones 2.9 y 2.7 respectivamente (área este del plano); y la zona comprendida entre los kilómetros 8 y 8,2, entre las intersecciones 2.3 y 2.1 respectivamente (tramos correspondientes a la avenida Luís Jacinto Ramallo García en la zona suroeste de Mérida).

Con respecto a las zonas rápidas, destacan el tramo cercano al primer kilómetro del recorrido (la zona de la Ex-209 que va desde el paso norte de la A-V hasta la intersección con la carretera de Proserpina), seguido por el tramo comprendido entre los puntos kilométricos 5,2 y 7,2 del mismo, correspondientes con la avenida Reina Sofía entre las intersecciones 2.5 y 2.4 (cuya velocidad media es de 56,06 km/h). Junto a estas, se detectan otras zonas con aumentos de velocidad que distan del FL. Entre estos últimos destacan la zona limitada por los kilómetros 3 y 3,5 del gráfico (tramo comprendido entre la glorieta de la urbanización Monte Alto y la intersección 2.9, al este del plano) y la zona cercana al kilómetro 5 del mismo (tramo del puente Fernández Casado entre las intersecciones 2.6 y 2.4).

Figura 64. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Vuelta)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

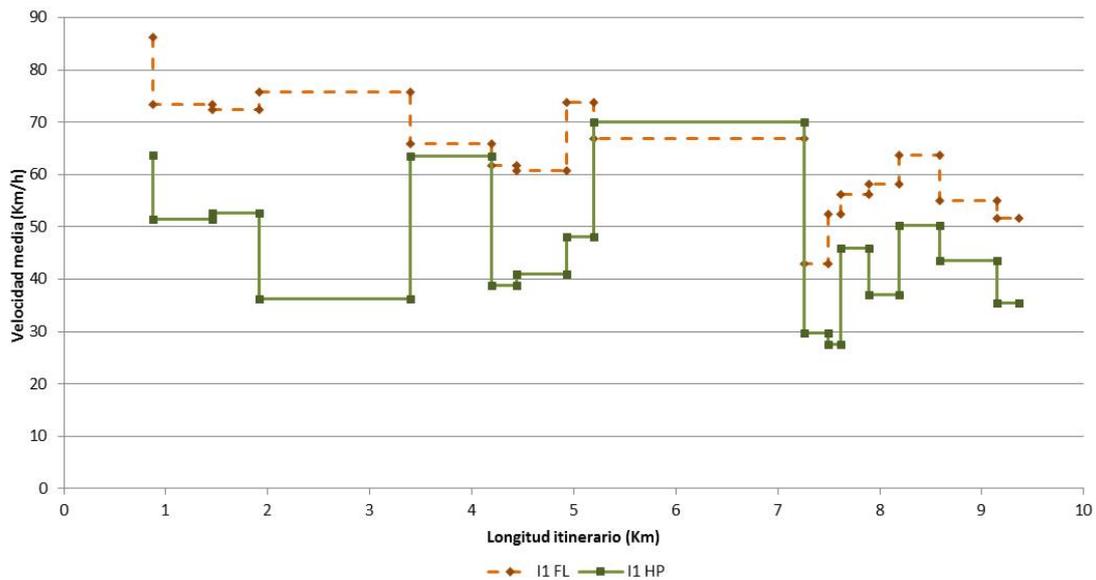
Del mismo modo que en la figura anterior, en esta Figura 64 se muestran las velocidades medias de recorrido en el sentido de vuelta del Itinerario 1 (julio). En este caso, se observa un descenso medio de velocidad entre el FL y la HP ligeramente mayor que en el caso del recorrido de ida (27,27 km/h). Además, se identifican dos tramos en los que la diferencia de velocidad media entre ambas condiciones está en torno a los 30 km/h en sentido negativo: la primera de ellas se encuentra entre el kilómetro 1,8 y el 2 del recorrido y se corresponde con el tramo comprendido entre las intersecciones 2.1 y 2.3 respectivamente (avenida Luís Jacinto Ramallo García, al oeste de la ciudad); la segunda zona problemática se encuentra entre el kilómetro 4 y el 4,3 entre las intersecciones 2.5 y 2.6 correspondientes con la avenida Reina Sofía a la altura de la plaza de toros y del I.E.S. Santa Eulalia. Junto a estas zonas más problemáticas se encuentran otras cuya diferencia de velocidad es menor a 15 km/h: el tramo cercano al primer kilómetro del recorrido, comprendido entre las intersecciones 2.1 y 2.2 (avenida Luís Jacinto Ramallo García a la altura del hospital); y el tramo cercano al kilómetro 5,2 del recorrido, tramo de la avenida Reina Sofía ubicada entre las intersecciones 2.8 (Lidl) y 2.9 (glorieta de las Tres Fuentes).

En oposición a estas, se identifican otras zonas rápidas entre las que destaca como la de mayor velocidad media, la ubicada entre el kilómetro 8,5 y 9,3 (con una media de 61,46 km/h), seguida muy de cerca por el tramo comprendido entre el kilómetro 2,2 y 4,2 (cuya velocidad media es de 60,23 km/h). El primero se corresponde con el tramo de la Ex-209 limitado por la salida norte de la autovía A-V y la intersección con la carretera de Proserpina, mientras que el segundo está limitado por las intersecciones 2.5 y 2.4 respectivamente (puente Fernández Casado al sur de la ciudad). A estas zonas rápidas se le suman otras menos rápidas, cuya diferencia de velocidad entre HP y FL apenas supera los 5 km/h. Entre ellas destacan la comprendida entre los 800 primeros metros y el kilómetro 1,3 (avenida Luís Jacinto Ramallo García desde el hospital a la ciudad deportiva), la del kilómetro 4,3 (avenida Reina Sofía entre las intersecciones 2.6 y 2.7), el kilómetro 7,5 (entre la glorieta de entrada a la urbanización Monte Alto y la intersección 2.13) y finalmente la zona cercana al kilómetro 8,5 (la zona de la Ex-209 que va desde el paso norte de la A-V hasta la intersección con la carretera de Proserpina).

Si se comparan en líneas generales los dos sentidos del itinerario 1 en esta primera campaña, destaca el hecho de que las velocidades de recorrido en FL son muy similares entre ellos (62,84 km/h para el sentido ida y 65,49 km/h para el de vuelta). Para el caso de las velocidades promedio bajo condiciones de HP por sentido, estas son significativamente más bajas con respecto al FL pero del mismo modo, similares entre sentidos (37,86 km/h para el sentido ida y 38,23 km/h para el caso de la vuelta).

A continuación se muestran las velocidades medias de recorrido en los mismos itinerarios analizados pero relativos a la segunda campaña (octubre), distinguiéndolos también por sentido.

Figura 65. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Ida)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

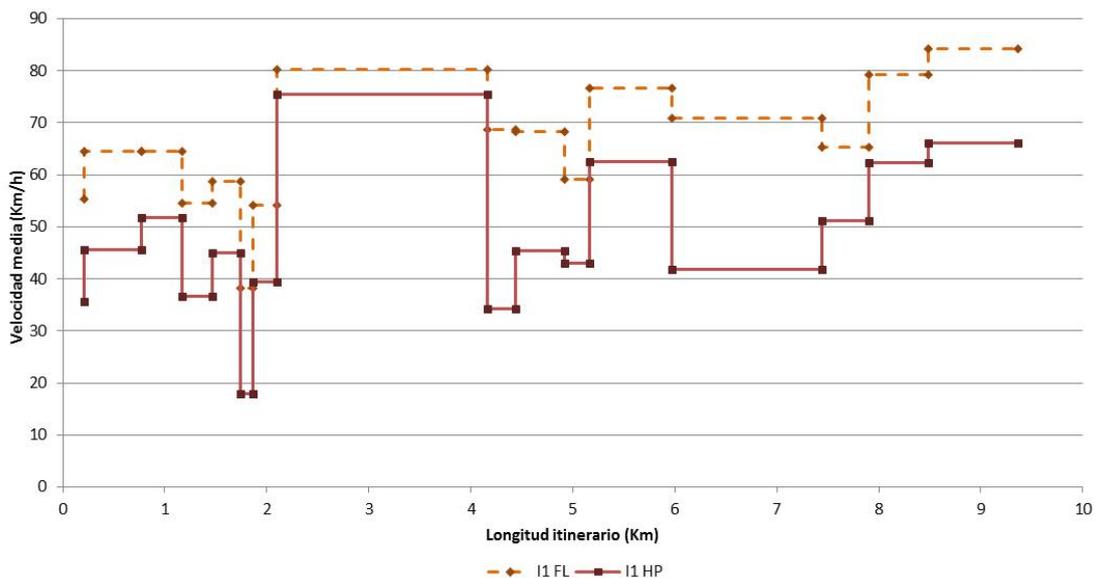
En el caso del recorrido de octubre (Figura 65), se observa un descenso promedio de la velocidad en HP con respecto al FL de 17,46 km/h. Además, si se compara este mismo recorrido con el de julio se puede ver un aumento de la velocidad media cercano a los 10 km/h (este dato también se corrobora revisando las velocidades medias de recorrido en julio y octubre, donde se pasa en HP de 37,86 km/h a 45,38 km/h de media, respectivamente). Este dato puede resultar curioso y más aún cuando es en esta segunda campaña donde se detectan mayores desplazamientos por la ciudad, lo que sin duda es una traba a la movilidad fluida. Sin embargo, esto puede tener una doble explicación: por un lado, se observa un aumento del estrés entre los usuarios del sistema en este periodo, ya que comienzan a considerar el tiempo como una variable importante en sus desplazamientos obligados y se destina un periodo muy preciso a dichos flujos en detrimento de otras actividades; por otro lado, la existencia en este itinerario de buenas infraestructuras y condiciones para los modos motorizados (doble carril por sentido, itinerarios peatonales desagregados del viario y pocos elementos de calzado del tráfico), junto al hecho de que no se atraviesan zonas lentas (como puede ser el casco urbano central), propician este aumento de velocidad.

Volviendo a la descripción del perfil de velocidades, se detectan los siguientes puntos problemáticos: el tramo cercano al kilómetro 2 del recorrido (limitado por la glorieta de entrada a la urbanización Monte Alto y la intersección 2.9 de las Tres Fuentes); el tramo cercano al kilómetro 4 del recorrido (segmento de la avenida Reina

Sofía cercano al hotel Velada, entre las intersecciones 2.8 y 2.7 respectivamente); la zona cercana al kilómetro 5 (tramo de la avenida Reina Sofía localizado entre las intersecciones 2.6 y 2.5); parte del recorrido cercano al kilómetro 7,2 (este es el tramo más problemático del recorrido, con una diferencia de velocidades de 12 km/h y un descenso de esta variable con respecto al tramo anterior de 40 km/h), ubicado entre las intersecciones 2.4 y 2.3; y los tramos cercanos al kilómetro 7,5 y al 7,9 del recorrido (ambos relativos a la avenida Luís Jacinto Ramallo García, entre las intersecciones 2.3 y 2.1 respectivamente).

En lo que a tramos rápidos se refiere, cabe destacar que existe un mayor grado de acercamiento en las velocidades de recorrido detectadas con respecto a las condiciones en FL. Así, los tramos más rápidos detectados en octubre son comunes a los de la campaña de julio aunque con ciertos matices: los tramos rápidos siguen siendo la zona entre la salida norte de la A-V y la intersección con la carretera de Proserpina, el segmento limitado por las intersecciones 2.9 y 2.8 respectivamente y el puente Fernández Casado localizado entre las intersecciones 2.5 y 2.4 por este orden. Estos tramos en julio presentaban velocidades moderadamente dispares y destacaba como tramo más rápido el primer kilómetro y medio del recorrido (zona A-V/Proserpina). En cambio en octubre, las diferencias entre estos tramos rápidos se reducen drásticamente. De este modo, las zonas A-V/Proserpina y la comprendida entre las intersecciones 2.9/2.8 presentan velocidades muy cercanas a los 64 km/h, destacando en esta segunda campaña como tramo más rápido el puente Fernández Casado. Junto a estas zonas rápidas, se detectan otras en las que se observan aumentos de velocidad distintos a los detectados en el perfil de FL. Entre ellas destacan la zona limitada por los kilómetros 3 y 3,5 del gráfico (tramo comprendido entre la glorieta de la urbanización Monte Alto y la intersección 2.9, al este del plano), la zona cercana al kilómetro 5 (puente Fernández Casado comprendido entre las intersecciones 2.6 y 2.4) y el tramo de red cercano al kilómetro 8 (avenida Luís Jacinto Ramallo García comprendida entre el hospital y la intersección 2.1).

Figura 66. Velocidades de recorrido del Itinerario 1 en HP (Vuelta)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

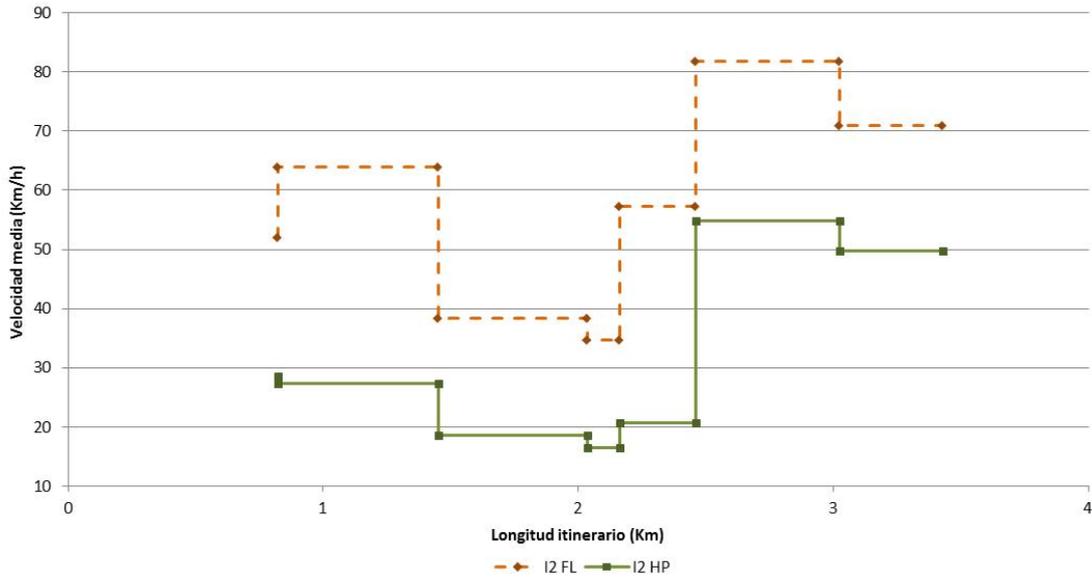
En el gráfico de la Figura 66, se detecta un descenso de la velocidad en HP de 18 km/h con respecto al FL (muy similar al detectado en el sentido de ida, 17,46 km/h). Además, en este recorrido de octubre aumenta la velocidad promedio en 10 km/h para las mínimas y hasta en 20 km/h para los tramos rápidos con respecto a los valores de julio (a este dato se le suma el aumento de las velocidades medias de recorrido en HP entre julio y octubre: de los 38,23 km/h de la primera campaña se pasa a los 47,49 km/h de la segunda). La consecuencia de este incremento en las velocidades es que el perfil de HP se acerca bastante al perfil de FL y por tanto, los comportamientos anómalos se reducen considerablemente, tanto para el caso de los tramos rápidos como para los lentos que permanecen invariables con respecto a la campaña anterior.

Independientemente del sentido, este itinerario 1 no presenta graves problemas de movilidad para los usuarios del sistema, salvo la zona cercana a la intersección 2.3 donde se observan niveles de servicio C, D e incluso E (es decir, niveles de servicio en los que cualquier incremento vehicular comienza a ser un problema para la fluidez de la movilidad y provoca cierta tensión entre los conductores). En lo que respecta a los tiempos de recorrido, se observa una demora promedio de 2 minutos entre la HP y el FL. Además llama la atención que en la segunda campaña (octubre) el coste medio de recorrer este itinerario (independientemente de los sentidos) disminuye ligeramente en las condiciones de HP con respecto a las de FL (se pasa de 12 minutos y 26 segundos en FL a 12 minutos y 11 segundos en HP). Esto puede deberse al estrés propio de los usuarios en los periodos de HP y a la asignación temporal comentada anteriormente.

Dicho recorrido, referido a la ronda que circunda de la ciudad, está formado por vías cuyo diseño permite velocidades y capacidades mayores (dos carriles por sentido y mayor velocidad media permitida). Sin embargo, estas condiciones no se dan en toda la red y es necesario analizar otros itinerarios tipo. Por este motivo se muestran a continuación los resultados relativos a estas otras alternativas de recorrido.

Así, en las Figuras 67 y 68 se muestran las velocidades registradas en el itinerario 2 en ambos sentidos (ida y vuelta). Este cruza la ciudad de oeste a este y pasa por una de las zonas más problemáticas, la calle Almendralejo y el enlace de esta con la avenida Extremadura a través de la glorieta de La Torre y la calle Félix Valverde Lillo, todas ellas pertenecientes al casco urbano central de la ciudad (estas vías se caracterizan por soportar un volumen de peatones elevado, por localizarse en áreas pertenecientes al casco histórico y por tener un único carril por sentido para el vehículo motorizado).

Figura 67. Velocidades de recorrido del Itinerario 2 en HP (Ida)

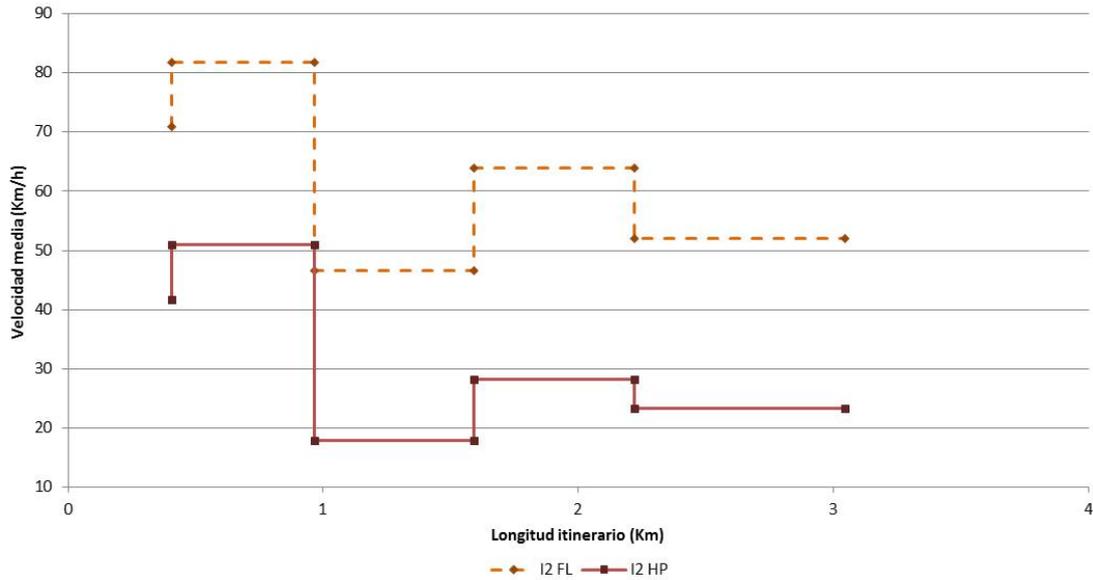


Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

En lo referente al perfil de velocidades propio de la Figura 67, se observa una gran similitud entre el FL y la HP, lo que es sinónimo de pocos problemas de movilidad; este hecho se corrobora además con la diferencia promedio de velocidades entre ambas condiciones (26,33 km/h entre FL y HP). Aunque esta es la tónica general del recorrido, se detectan un par de puntos problemáticos: el primero de ellos es el tramo relativo al primer kilómetro del recorrido (avenida Juan Carlos I), entre la intersección 2.9 (Tres Fuentes) y el cruce con la vía del ferrocarril a la altura de la calle Cabo Verde; el segundo, se encuentra entre el kilómetro 2,1 y 2,4 y hace mención a la zona del Paseo de Roma situada entre las intersecciones de La Loba y la 3.3 (es en este último tramo donde se detectan los promedios más bajos del recorrido, 16,54 km/h).

En cuanto a los tramos rápidos, decir que destaca la zona del puente Lusitania como la que soporta mayor velocidad media (con velocidades que rondan los 54,82 km/h de media), seguida de la zona comprendida entre las intersecciones 3.2 y 2.1 respectivamente (tramo que se corresponde con el kilómetro 3 y el 3,4 del recorrido). Tras estas, se detecta una tercera zona en la que la disminución de velocidad es menor con respecto al tramo que le precede en condiciones de FL y que se corresponde con el tramo comprendido entre las intersecciones 3.4 y el acceso norte a la Plaza de España respectivamente. Con estos datos queda claro el hecho de que a partir de la entrada al puente Lusitania en dirección hacia la avenida de la Hispanidad, los problemas de movilidad desaparecen.

Figura 68. Velocidades de recorrido del Itinerario 2 en HP (Vuelta)



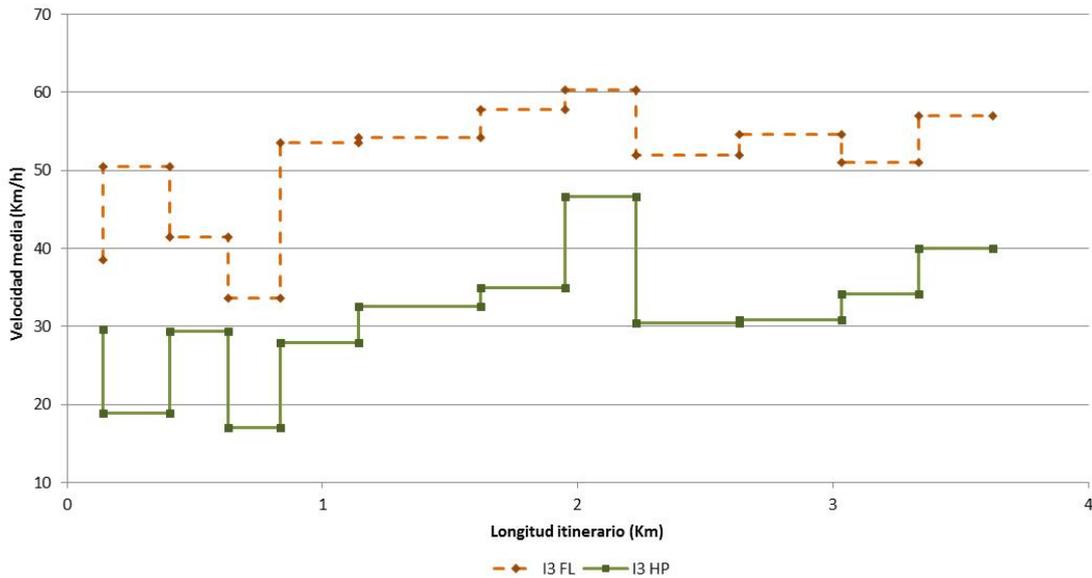
Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

Con respecto al gráfico del recorrido de vuelta (Figura 68), decir que se detecta una diferencia de velocidad promedio entre el FL y la HP ligeramente mayor al sentido de ida (30,84 km/h). Sin embargo al igual que en el sentido de ida, existe una gran similitud entre perfiles de velocidad. Así, no se detectan cambios importantes entre tramos por lo que parece que el recorrido de vuelta es más rápido que el de ida. En este caso, tan solo cabe reseñar como tramo más lento el comprendido entre los 967 primeros metros del recorrido y el kilómetro 1,6 (correspondiente a la calle Almendralejo entre las intersecciones 3.3 y 3.4 respectivamente, con una velocidad media de 17,89 km/h). El resto del perfil apenas presenta un par de diferencias con respecto al FL localizadas ambas a lo largo de las avenidas Extremadura y Juan Carlos I, entre las intersecciones 3.4 y 2.9 respectivamente (desde el kilómetro 1,6 del recorrido hasta el 2,2 y desde éste último hasta el final), por lo que prácticamente no se puede hablar de problemas de movilidad entre tramos. Por otra parte, tanto en FL como en HP el tramo más rápido sigue siendo el comprendido entre los primeros 950 metros del recorrido (referida al tramo del puente Lusitania, donde se alcanza una velocidad media de 50,98 km/h).

En cuanto al itinerario 2 en general, cabe destacar que presenta velocidades medias en FL cercanas a los 57 km/h para el sentido ida y a los 67 km/h para el sentido de vuelta. Además, se observan distintos niveles de servicio en los diferentes tramos del mismo: mientras que aquellos relativos al puente Lusitania y a la avenida de la Hispanidad disponen de niveles más que aceptables (B y C), el resto tienden a ser problemáticos (C, D e incluso E), lo que indica que con pequeños aumentos del volumen vehicular circulante, se podrían provocar incrementos en los tiempos de viaje importantes. Esta es la consecuencia de que los conductores tengan que estar con cierta tensión cuando atraviesan dichas vías. En lo que se refiere a los tiempos de recorrido generales, se observa un incremento entre realizar el itinerario en HP y FL de 2 minutos, lo que presupone que el volumen actual de tráfico no genera aún graves demoras.

Y por último se describen brevemente las velocidades de recorrido referidas al itinerario tipo número 3, el cual atraviesa la ciudad de sur a norte, utilizando también vías importantes cercanas al casco urbano central (Figuras 69 y 70).

Figura 69. Velocidades de recorrido del Itinerario 3 en HP (Ida)



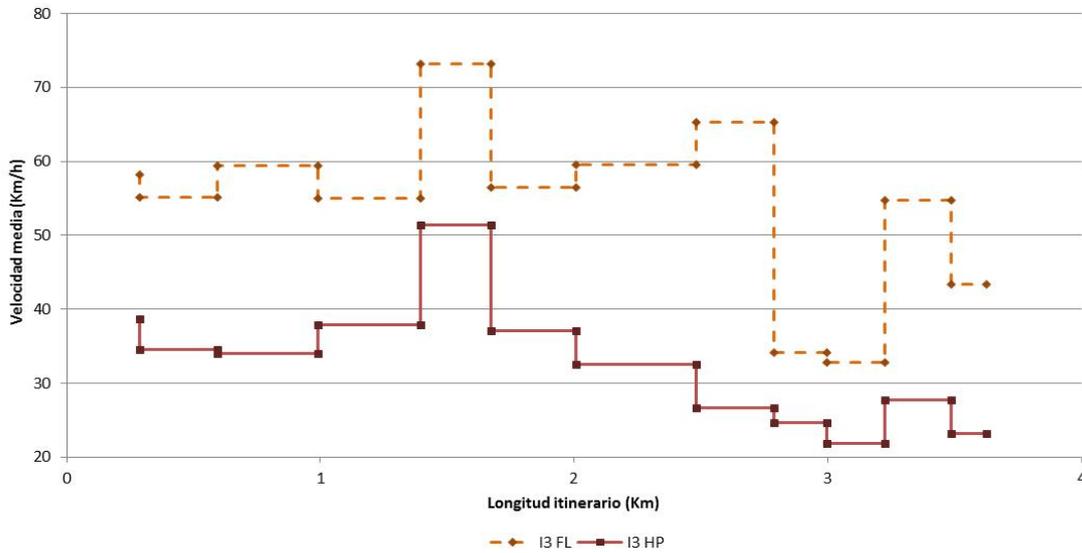
Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

En el perfil de velocidades de la Figura 69 relativa al sentido ida del itinerario 3, se observa un elevado número de cambios aunque bien es verdad que la diferencia entre FL y HP es bastante baja, tan solo 19,78 km/h. Así, contrasta una primera parte del recorrido donde se dan velocidades más bajas con mayor número de zonas problemáticas (tres de las cinco zonas lentas se encuentran en estos primeros 800 metros del recorrido), con una segunda en la que se detectan velocidades bastante más cercanas al FL y mayor similitud entre perfiles (prácticamente a partir del primer kilómetro). El tramo con menor velocidad media se concentra entre los 628 y los 837 metros del recorrido, correspondiente con la plaza del Rastro y la glorieta de la Loba (la diferencia de velocidad entre HP y FL en este punto es de 16,50 km/h). A parte de este tramo, se detectan otros también problemáticos aunque en menor medida: el tramo ubicado en los primeros 400 metros del recorrido correspondiente con las intersecciones 2.5 (glorieta de Juan de Ávalos) y la plazoleta la calle Oviedo con Atarazanas y Graciano; el segundo tramo problemático está comprendido entre los 800 metros y el primer kilómetro del mismo, relativo al segmento de red limitada entre la glorieta de la Loba y la intersección 3.3; y el tramo localizado entre el kilómetro 2,2 y 2,6 del recorrido referido a la intersección de Ronda de los Eméritos y la avenida Emérita Augusta con la intersección 3.6.

A partir del Paseo de Roma y de su intersección con el puente Lusitania (intersección 3.3), el itinerario deja de ser tan problemático para la movilidad. Así, los tramos rápidos se concentran en esta parte del recorrido, destacando el comprendido entre los kilómetros 2 y 2,2 del mismo donde la velocidad media supera en más de 15 km/h a la velocidad promedio total (Ronda de los Eméritos, entre la intersección de ésta con la calle Arenal de Pancaliente y con la intersección de dicha ronda y la avenida Emérita Augusta). A parte de este tramo rápido se detectan otros en donde queda patente un aumento de la velocidad con respecto a zonas anteriores y al perfil de FL: el tramo cercano al kilómetro 1,6 del recorrido (avenida José Fernández López entre

intersección 3.3 y la calle Marquesa de Pinares) y el ubicado cerca del kilómetro 3 (avenida Vía de la Plata entre las avenidas Pitágoras y Numancia).

Figura 70. Velocidades de recorrido del Itinerario 3 en HP (Vuelta)



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

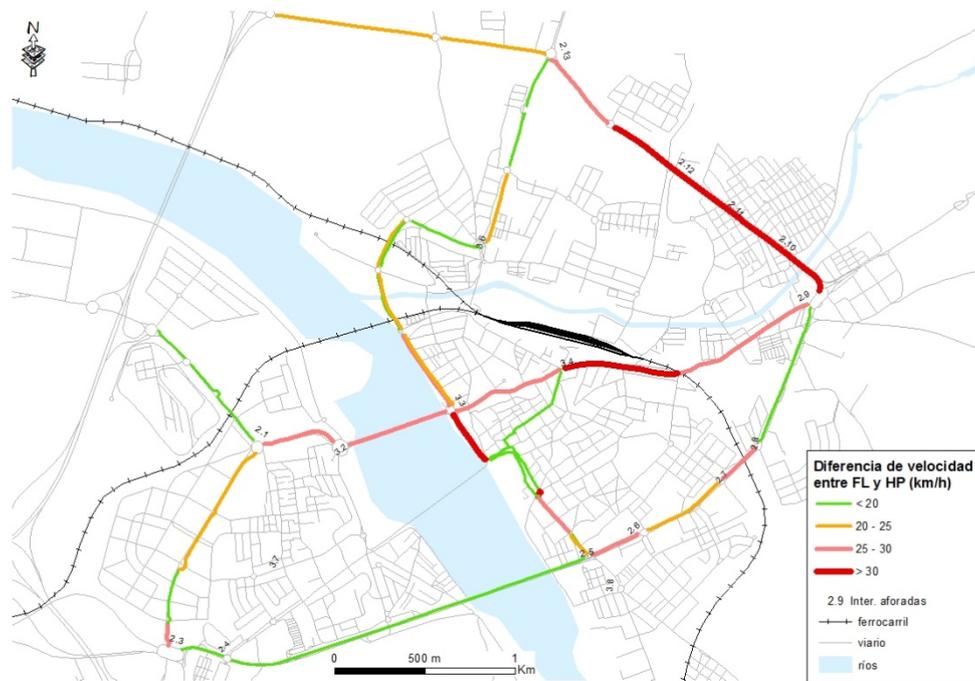
Al igual que ocurre en los demás itinerarios analizados, en este tercer itinerario también se observa un incremento de la velocidad media de recorrido (pasando de 31,05 km/h en el sentido de ida a 32,51 km/h del sentido de vuelta). En el caso del sentido de vuelta (Figura 70), se observa una diferencia entre la HP y el FL ligeramente superior al sentido de ida (21,53 km/h) lo que conlleva un mayor nivel de problemas relacionados con el volumen vehicular soportado.

Llama la atención que en el sentido de vuelta se incrementan los problemas con respecto al de ida. El tramo rápido coincide con el sentido de ida (la zona de la Ronda de los Eméritos ubicada entre la intersección de ésta con la calle Arenal de Pancaliente y la intersección de dicha ronda con la avenida Emérita Augusta). En cuanto a los tramos conflictivos, destaca en primer lugar el tramo comprendido entre el kilómetro 3 y el 3,2 del recorrido (referido a la calle Graciano), con una velocidad media que no llega a los 22 km/h. Tras este destacan otros en donde sus velocidades son claramente inferiores a lo que cabría esperar en condiciones de FL: el primer punto problemático se encuentra a la altura de los primeros 600 metros (relativo a la parte inicial de la avenida Vía de la Plata), en el que el incremento de velocidad detectado en FL no se aprecia en HP; el segundo punto se encuentra a la altura del kilómetro 2 del recorrido (tramo de la avenida José Fernández López comprendido entre la intersección de ésta con la calle Marquesa de Pinares y la intersección 3.3), donde se observa un descenso de la velocidad de recorrido cercano a los 5 km/h; y finalmente, el tercer punto problemático se encuentra a la altura del kilómetro 2,5 (perteneciente al Paseo de Roma), en el que se detecta un descenso de la velocidad media de 38,5 km/h.

En líneas generales, el itinerario 3 presenta una velocidad promedio en FL de 50,88 km/h en sentido de ida y 53,77 km/h en sentido vuelta. Además, la mayor parte de los tramos de este itinerario se pueden recorrer a velocidades cercanas al 60-70% de la velocidad media detectada en FL. Esto le confiere un nivel de servicio bueno que contrasta con los niveles particulares detectados en ciertos tramos del itinerario, comprendidos entre C y D (glorieta de la Loba, calle John Lennon o glorieta Juan de Ávalos). En cuanto a los tiempos de recorrido detectados, se observan incrementos de tiempo en HP con respecto a FL cercanos a los 2 minutos, de ahí que no se pueda hablar de que el tráfico sea una gran incidencia en los costes de desplazamiento soportados por los usuarios de la red.

Los análisis llevados a cabo con los diferentes perfiles de recorrido permiten obtener el siguiente mapa (Figura 71), en el que se representa la diferencia de velocidades registrada en cada uno de sus tramos analizados, comparando FL con HP. De esta forma, aquellos tramos cuya diferencia de velocidad sea mayor son aquellos que presentan problemas de movilidad relacionados con el incremento de tráfico en la red. Para agilizar la identificación de estas zonas congestionadas se muestran en el mapa las intersecciones analizadas previamente, junto a su ID único.

Figura 71. Clasificación de itinerarios por diferencia de velocidad entre FL y HP



Fuente. Estudio de tráfico, PMUS de Mérida. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el mapa anterior, los tramos problemáticos (aquellos cuya diferencia de velocidad es mayor a los 25 km/h) se concentran en las inmediaciones a la intersección 3.3 (puente Lusitania, calle Almendralejo y Paseo de Roma), la avenida Juan Carlos I hasta la glorieta de las Tres Fuentes (intersección 2.9) y la avenida de Cáceres. Gran parte de ellos están ubicados en las inmediaciones al casco urbano central o en el acceso al mismo, como es el caso además de las inmediaciones a las intersecciones 2.5 y 2.7 (glorieta de Juan de Ávalos y hotel Velada respectivamente), que también sufren reducciones de velocidad elevadas en condiciones de HP. De todos los tramos problemáticos detectados en los perfiles de velocidad anteriores, solo dos de ellos no se reflejan en el mapa de esta Figura 71: el tramo

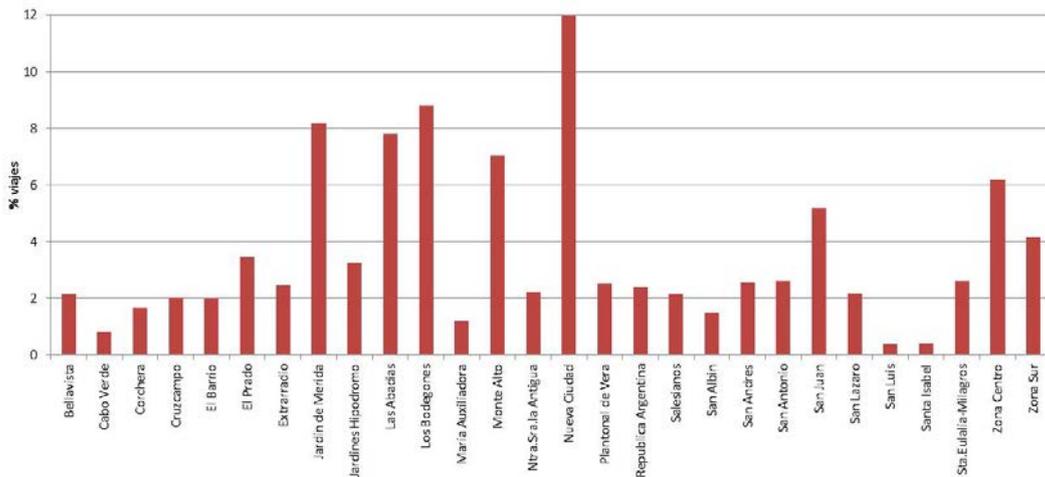
comprendido entre las intersecciones 2.3 y 2.4 y el ubicado también entre las intersecciones 2.8 y 2.9. La razón de que no vengan reflejados es porque su diferencia de velocidad entre FL y HP está en torno a los 15 km/h, sin embargo han de tenerse en cuenta de cara a la implantación de medidas que optimicen el tráfico por el volumen de usuarios que soportan en HP.

6.3 Análisis de la movilidad en vehículo privado

Una vez expuestos todos los análisis referidos al aforo de tráfico, se describen en este epígrafe los análisis de movilidad realizados en el modo privado. Para ello se tratan elementos como el número de desplazamientos llevados a cabo por este modo, el tiempo medio de viaje en HP, los motivos, su disponibilidad en los hogares, las horas en las que más se emplea (haciendo especial hincapié en el periodo de HP y en la distribución por género) y la obtención del número medio de desplazamientos realizados por habitante, respectivamente. Toda esta información es fruto de la encuesta domiciliaria realizada previamente en la ciudad.

Inicialmente se muestra el porcentaje de desplazamientos realizados en vehículo privado por la población residente en cada una de las barriadas (Figura 72). Al igual que ocurre con los gráficos anteriores, en este apartado se ofrecen ya los resultados ajustados a la pirámide de población.

Figura 72. Desplazamientos ajustados en vehículo privado por barriada



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

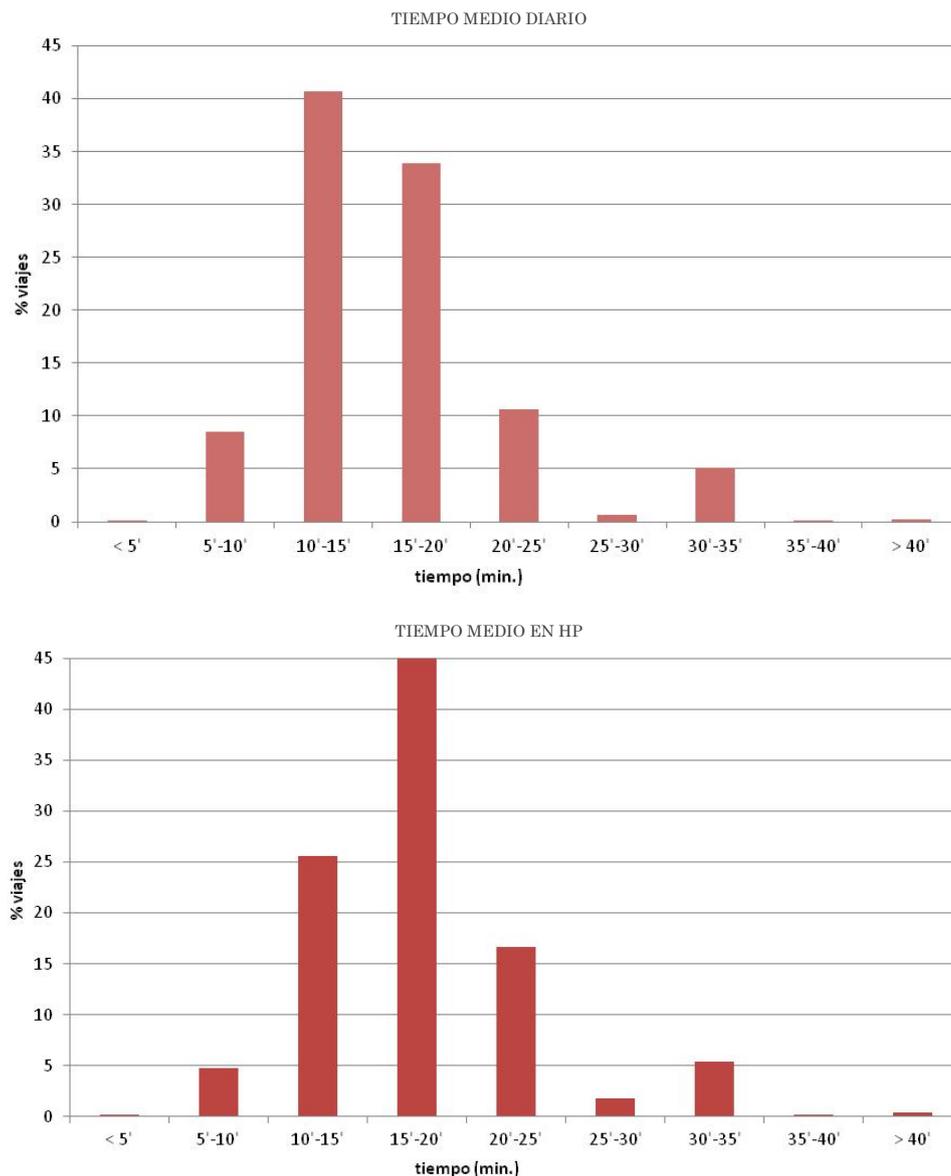
Como se puede ver en este diagrama de barras, el mayor porcentaje de desplazamientos se concentran en un primer grupo de barriadas, cuyos valores con respecto al total están entre el 7 y el 12%; este primer grupo lo encabeza la barriada de Nueva Ciudad (con un 12% del flujo total en vehículo privado), seguida ya a cierta distancia por las barriadas Los Bodegones, Jardín de Mérida, Las Abadías y Monte Alto (con un 9%, 8%, 7,8% y 7% sobre el total de movimientos respectivamente). A continuación se detecta otro pequeño grupo formado por las barriadas de San Juan y Zona Centro, cuyos volúmenes de movimientos en este modo están comprendidos entre el 5% y el 6% del total, respectivamente. El resto de zonas presentan valores menores a 2.000 flujos/día (lo que equivale a porcentajes menores al 4% del total).

Todas estas barriadas tienen en común su cierta distancia con respecto al casco urbano central (salvo la propia barriada Zona Centro), como principal enclave de la mayor parte de los equipamientos y servicios ofertados. Esto contrasta con el hecho de

que dos de estas zonas están entre las tres con mayor volumen poblacional residente, con lo que se induce en cierto modo a utilizar este modo de transporte (Nueva Ciudad posee al 12,27% de la población residente y Los Bodegones el 7,08%; éstas ocupan el segundo y tercer lugar del ranking respectivamente, ambas por detrás de la Zona Centro, cuyo volumen poblacional residente es el 23,96% del total de la ciudad, según datos facilitados por el padrón municipal de habitantes).

Otro dato interesante para conocer las pautas de movilidad en este modo de transporte, es conocer cuál es el tiempo medio de viaje diario realizado en condiciones normales y en HP (Figura 73).

Figura 73. Tiempo medio de desplazamiento en vehículo privado (min)



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Revisando los gráficos de la Figura 73 anterior se puede concluir que los tiempos de desplazamiento más frecuentes están comprendidos entre los 10 y los 20 minutos, independientemente de las condiciones en las que estos se realicen (FL u HP). Estos suponen alrededor del 70% del volumen total de movimientos llevados a cabo en la ciudad en vehículo privado. Por otra parte, el tiempo medio diario es de 13 minutos

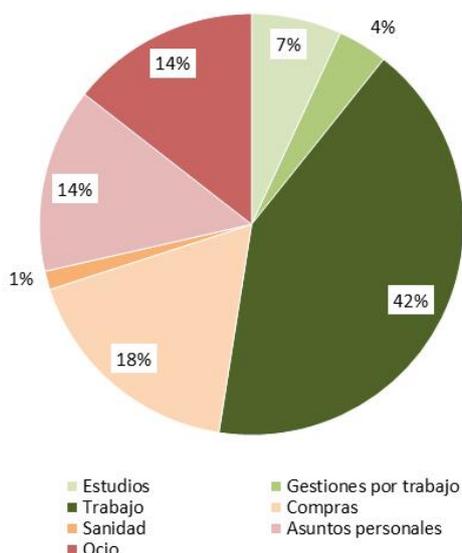
en HP, mientras que el relativo al periodo de FL aumenta ligeramente hasta los 15 minutos. El resto de intervalos temporales casi resultan anecdóticos. Además, realizar estos movimientos en condiciones de FL u HP conlleva ciertos matices en los costes de tiempo de viaje que conviene desagregar.

Así, mientras que el 83% de los mismos en condiciones de FL suponen un coste temporal menor a 20 minutos, en condiciones de HP este volumen baja hasta el 75,5%. El coste de tiempo más importante en condiciones de FL es el de 10-15 minutos (lo que supone el 41% de los movimientos); sin embargo el coste más destacado en condiciones de HP se incrementa hasta el intervalo temporal de 15-20 minutos (lo que supone el 45% de los movimientos). Por otro lado, se observa un volumen importante de desplazamientos en FL cuyo coste temporal está entre los 15 y los 20 minutos (lo que supone un 33,8% adicional); en el caso de HP no se da esta repartición de flujos tan homogénea entre los dos intervalos de tiempo más destacados (entre 10 y 20 minutos), pero sí se observa un volumen de desplazamientos destacado (16,6% del total) en el intervalo comprendido entre los 20 y los 25 minutos. Por tanto, se puede decir que en condiciones de HP el tiempo medio de desplazamiento se mueve hacia costes ligeramente mayores, tal y como demuestran los promedios citados anteriormente.

Otro indicio de la influencia del tráfico sobre el coste de las rutas, es que en condiciones de FL se observa que un 8,5% de los movimientos realizados tienen un coste para los usuarios de 5-10 minutos, mientras que en HP este volumen se reduce hasta el 5% para el mismo intervalo temporal.

Enlazando con los tiempos medios de viaje, resulta también interesante identificar cuáles son los motivos que atraen a una mayor cantidad de tráfico. Para ello se muestra a continuación la Figura 74.

Figura 74. Motivos de desplazamiento ajustados en vehículo privado

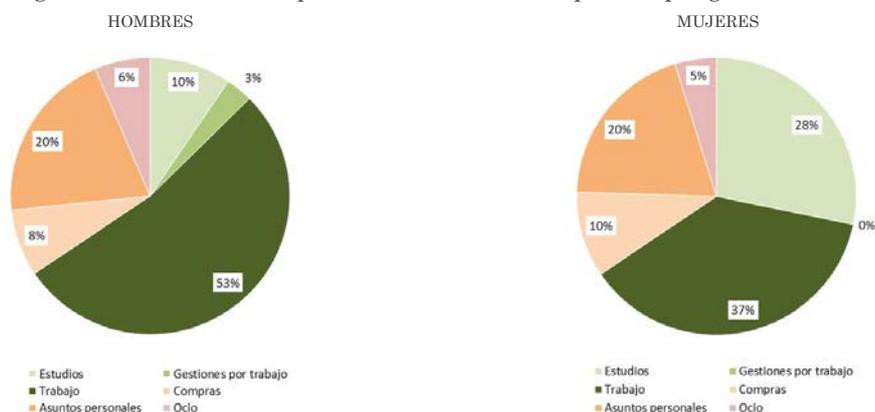


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Como se ve en el gráfico anterior, el 53% de los residentes se desplazan en vehículo privado por motivos obligados (un 46% por trabajo y un 7% por estudios), seguido de compras (18%), asuntos personales y ocio (ambos con un 14%).

En cuanto a los motivos de desplazamiento referidos a la HP, se detectan ciertos matices entre hombres y mujeres (Figura 75).

Figura 75. Motivos de desplazamiento en vehículo privado por género en HP

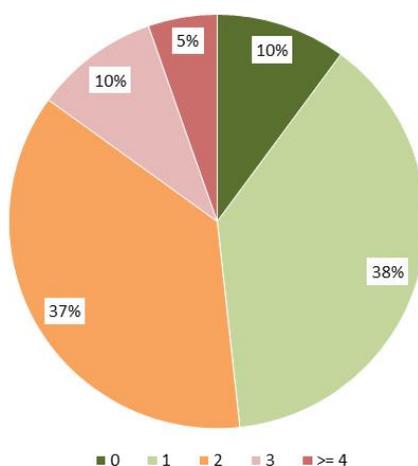


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Llama la atención de los dos gráficos anteriores que entre el género femenino no se den desplazamientos en vehículo privado por gestiones de trabajo, mientras que en el masculino este motivo supone un 3% del total de movimientos urbanos. Aunque ambos géneros presentan porcentajes de desplazamiento por motivos obligados similares (66% en hombres y 65% en mujeres), los hombres realizan más movimientos por trabajo (56%) que las mujeres (37%), las cuales los derivan hacia el motivo estudios (28% frente al 10% de los hombres). En cuanto a los motivos no obligados se refiere, ambos géneros presentan porcentajes muy similares, destacando el desplazamiento por asuntos personales (20% en ambos géneros) y compras (8% en hombres y dos puntos porcentuales más en mujeres).

Otro punto destacado de este análisis es el que permite conocer la distribución de los hogares emeritenses en función del número de vehículos privados disponibles en ellos (Figura 76). Esta relación permite saber qué porcentaje de hogares no disponen de vehículo privado para sus desplazamientos habituales y por el contrario, qué hogares abusan de este modo de transporte, lo que guarda relación con determinado estatus socioeconómico.

Figura 76. Distribución de hogares por número de vehículos disponibles

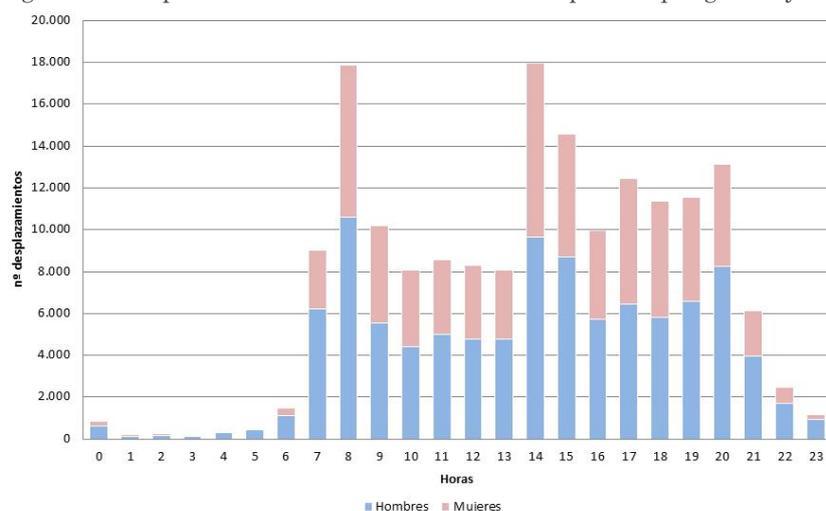


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Se puede ver en el gráfico anterior cómo el 75% de los hogares emeritenses disponen de uno o dos vehículos privados para llevar a cabo sus desplazamientos diarios. También llama la atención el volumen de hogares que no disponen de este modo de transporte (10% del total), frente a un 15% de hogares en los que se disponen de tres o más coches. Así, se puede decir que la gran mayoría de la población residente dispone de vehículo privado para moverse por la ciudad.

En cuanto al volumen de desplazamientos estimados para la población residente a lo largo del día (Figura 77), se detecta una relación directa entre los periodos punta (entrada y salida de trabajo y estudios) y el número de viajes realizados en vehículo privado; este hecho es lógico teniendo en cuenta que el vehículo privado es el transporte más utilizado por los emeritenses.

Figura 77. Desplazamientos estimados en vehículo privado por género y hora

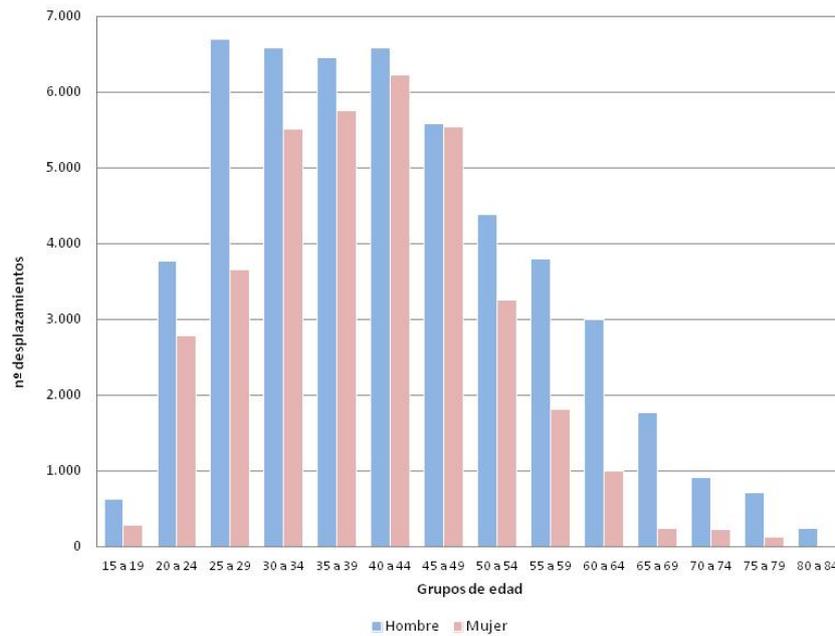


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Junto a la relación entre volumen de desplazamientos y periodos punta se detecta además en este gráfico cuál es el género que utiliza más el vehículo privado para realizar sus desplazamientos diarios y en qué franjas horarias lo hace. De esta forma, se observa en líneas generales un predominio de los hombres con respecto a las mujeres. Estas diferencias aumentan en los periodos punta del día. Además, existe cierta estacionalidad diaria en los viajes: mientras que la diferencia entre hombres y mujeres se acrecienta por las mañanas a favor de los primeros, por la tarde son proporcionalmente más las mujeres que conducen por la ciudad.

Otro dato interesante en este análisis es aquel en el que se compara el número de desplazamientos estimados para la población residente (desplazamientos ajustados por la pirámide poblacional), tanto en general (movimientos diarios) como en el periodo de HP, relativas ambas estimaciones al modo de transporte privado (Figuras 78 y 79).

Figura 78. Desplazamientos estimados en vehículo privado por edad y género



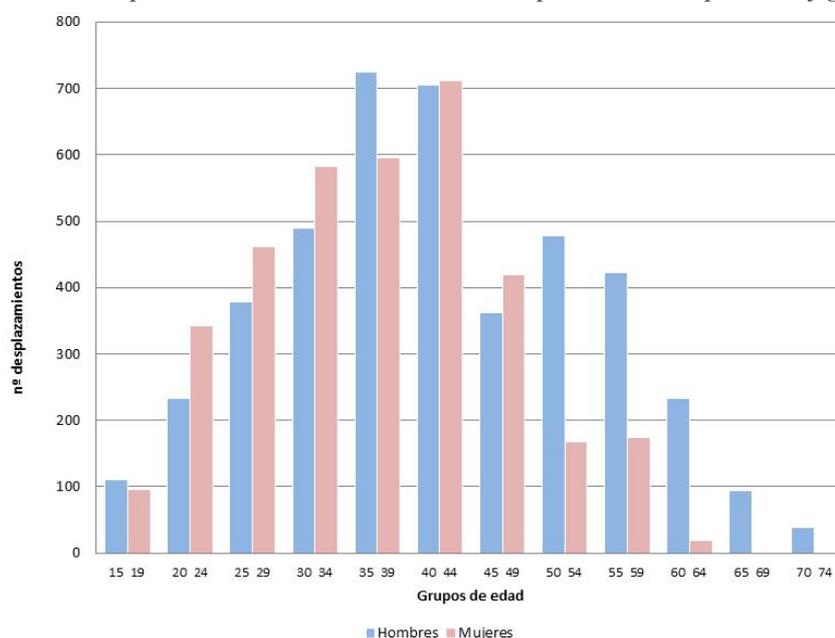
Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Observando la clasificación de los desplazamientos en función del género (Figura 78), se corrobora la idea planteada anteriormente a cerca del mayor uso de este modo privado por parte de los hombres con respecto a las mujeres en todos los grupos de edad. En general, la población que mayor número de desplazamientos realiza es relativamente joven (entre 30 y 49 años), destacando el volumen perteneciente al grupo de 40-44 años como el de mayor valor de flujos estimados. También destacan los flujos realizados por la población joven emeritense en edad de conducir (entre 18 y 29 años).

Volviendo a las diferencias entre géneros, la mayor de todas se detecta en el grupo comprendido entre los 25 y los 29 años. Estas también son palpables en los grupos poblacionales más longevos (a partir de los 65 años las mujeres prácticamente dejan de utilizar el vehículo privado). En cambio, las diferencias se reducen mucho en los grupos de edad centrales (entre los 40 y los 49 años, que prácticamente se equiparan los desplazamientos entre ambos sexos), lo que hace que estos sean los más destacados del gráfico. Por otra parte, mientras que los grupos de edad jóvenes masculinos (de 25 a 44 años) presentan volúmenes de desplazamientos diarios bastante homogéneos, el género femenino muestra una tendencia creciente hasta los 40-44 años y a partir de aquí, cada vez comienza a ser más acusada la diferencia entre ambos géneros.

Si se tienen en cuenta los flujos realizados en HP, se observa también que son los residentes entre 35 y 44 años los que más desplazamientos realizan (Figura 79).

Figura 79. Desplazamientos estimados en vehículo privado en HP por edad y género

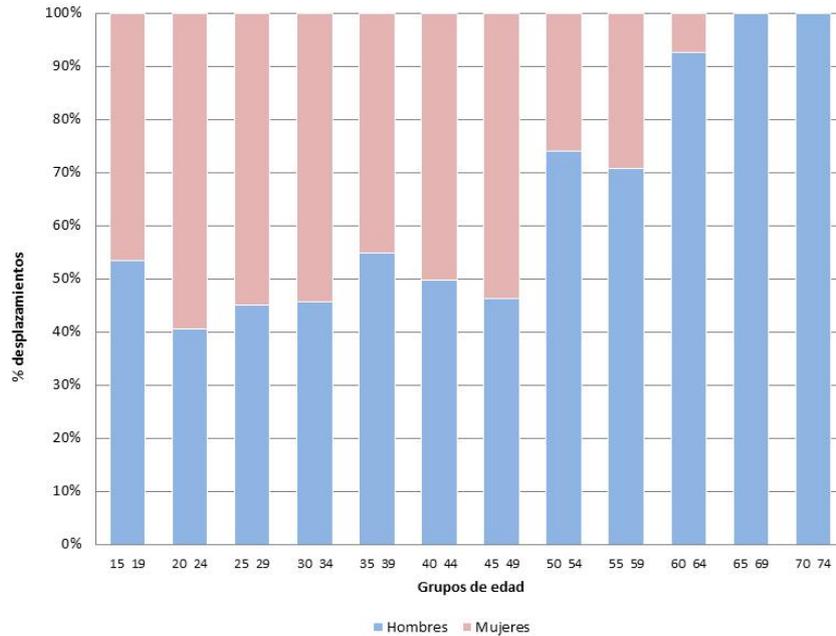


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Sorprende que el grupo quinquenal comprendido entre los 25 y los 34 años se desplace más que los de edad comprendida entre 45 y 54 años. Por otra parte y como era de esperar, las personas mayores apenas realizan desplazamientos en vehículo privado en este periodo punta.

Analizando las diferencias de género en HP, se observa que el femenino tiende a ser mayoritario en los desplazamientos realizados por la población joven o de mediana edad (las mujeres superan a los hombres prácticamente en todos los grupos de edad entre los 20 y los 49 años). Las tendencias en este sentido entre ambos géneros se han equiparado en estas edades. Sin embargo entre los 50 y los 60 años, las mujeres reducen enormemente su volumen de desplazamientos en favor de los hombres que, aunque con tendencia decreciente respecto a los grupos anteriores, aún siguen manteniéndose en volúmenes de flujo de cierto calado en la ciudad. Este predominio masculino aumenta aún más en los grupos de edad mayores de 65 años, edades estas en las que las mujeres no conducen. También llama la atención el incremento observado en los hombres con edades comprendidas entre 35 y 39 años con respecto a las mujeres (único grupo joven en el que la superioridad del género femenino se rompe en favor del masculino).

Figura 80. Porcentaje de desplazamientos estimados en vehículo privado en HP

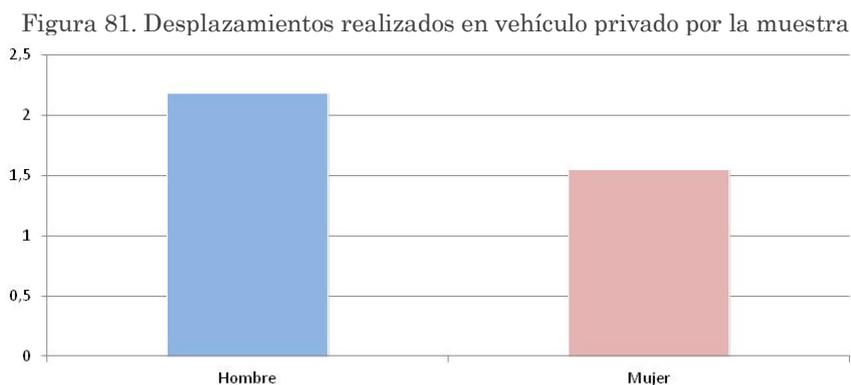


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Si se observa a la relación porcentual que existe entre los desplazamientos realizados en vehículo privado en HP por género (Figura 80), se ve cómo hasta los 49 años ambos géneros están bastante equiparados en la repartición del volumen de flujos para cada grupo quinquenal. Entre los 50 y los 59 años aún siguen observándose mujeres conductoras (aunque la presencia femenina se reduce a la mitad con respecto a los grupos de edad anteriores), pero a partir de aquí éstas desaparecen por completo. Por tanto, en edades adultas los hombres se desplazan en vehículo privado con más asiduidad que las mujeres.

Finalmente, se muestran a continuación dos gráficos relativos al número medio de desplazamientos realizados por los usuarios emeritenses en vehículo privado a lo largo del día. En primera instancia se describe el número de desplazamientos realizados con respecto al total muestral y en segundo lugar con respecto al resto de flujos.

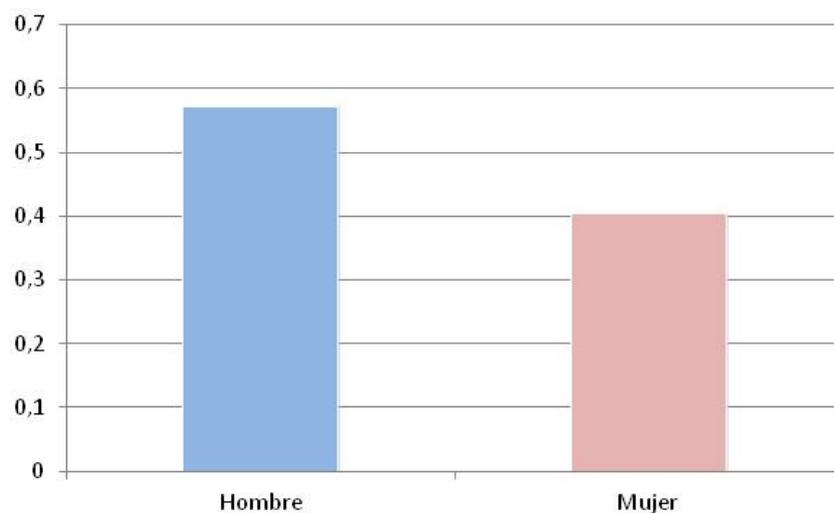
Con respecto al primer caso (número de desplazamientos diarios muestrales relativos a la Figura 81), se ve que los varones encuestados llevan a cabo un total de 2,18 desplazamientos/día frente a los 1,55 de las mujeres. Esto explica el hecho de que a pesar de haberse encuestado a más mujeres en los domicilios, el volumen de desplazamientos realizados por los hombres es mayor.



Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

El volumen de desplazamientos en vehículo privado con respecto al total de flujos (Figura 82) vislumbra que de todos los desplazamientos realizados por los hombres en la ciudad, el 57% los hacen en este modo. Este porcentaje es ligeramente superior al del género femenino, donde se observa que de todos los desplazamientos realizados por ellas, el 40% los hacen en este modo de transporte privado. Por tanto, se vuelve a confirmar el mayor uso por parte de los varones del coche con respecto a las mujeres en sus movimientos diarios.

Figura 82. Porcentaje de desplazamientos en vehículo privado con respecto al total

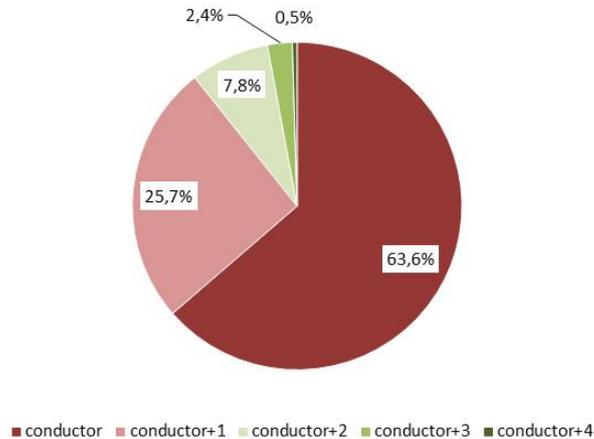


Fuente. Encuestas domiciliarias. Elaboración propia.

Como se puede comprobar en gráficos anteriores, el número de desplazamientos tiene mucho que ver con los motivos. Así, tanto hombres como mujeres utilizan el vehículo privado principalmente para regresar al hogar (en torno al 80% de sus desplazamientos en este periodo presentan este motivo); otros motivos son el trabajo (9% de los desplazamientos en hombres y 7,3% en mujeres), estudios (1,6% del total en hombres y 5,5% en mujeres) o asuntos personales (en ambos entorno al 3,5% del total de movimientos).

Finalmente, se muestra a continuación un diagrama de sectores en donde se expone la ocupación media observada en los diferentes vehículos motorizados interceptados en la ciudad (Figura 83).

Figura 83. Ocupación media del vehículo privado en Mérida
OCUPACIÓN DE VEHÍCULOS PRIVADOS



Fuente. Encuestas de interceptación. Elaboración propia.

Revisando el gráfico anterior, queda claro que la mayor parte de los vehículos privados suelen circular con dos ocupantes como máximo, contando con el conductor (así, el porcentaje de coches con esta ocupación es del 89,3% respecto al total interceptados). Tan solo un 10,7% de los vehículos interceptados presentan ocupaciones más sostenibles (es decir, iguales o superiores a 3 ocupantes conductor incluido).

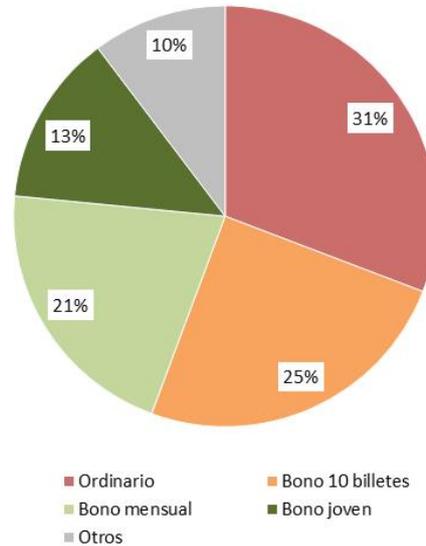
6.4 Análisis del transporte colectivo

Una vez analizados los desplazamientos en vehículo privado como principal modo de transporte motorizado existente en Mérida, se muestra en este apartado un diagnóstico del transporte público colectivo (que en este caso únicamente se centra en el autobús urbano). La idea de este análisis es que conociendo la oferta existente, se puedan detectar algunos de los problemas del servicio que propician el reparto desigual hacia el modo privado. Al mismo tiempo los resultados extraídos a cerca de dicho servicio, ayudan a proponer actuaciones que tiendan a una repartición modal más equitativa en la ciudad (iniciativa de la UE clave en la búsqueda de una movilidad más eficiente y sostenible). Todos los resultados mostrados en este apartado proceden de las entrevistas de interceptación realizadas a una muestra representativa de los usuarios del autobús, conforme a la metodología explicada en el apartado 5.3.

En primer lugar se muestra una serie de gráficos con los que extraer el perfil tipo de los usuarios habituales para posteriormente, ofrecer una batería de resultados a cerca de la ocupación media de cada línea y los movimientos soportados en cada parada de del servicio. Finalmente, se enumeran los análisis más relevantes sobre la accesibilidad que ofrece el autobús urbano a los residentes de la ciudad, teniendo en cuenta la cercanía de sus lugares de residencia a las paradas y el desplazamiento peatonal como medio de conexión entre ambos.

Así, en la Figura 84 se muestra el tipo de billete utilizado por la muestra de viajeros de este servicio, como primer ítem a analizar para obtener el perfil tipo de los usuarios habituales de este modo colectivo.

Figura 84. Tipos de billete adquiridos por los pasajeros del servicio

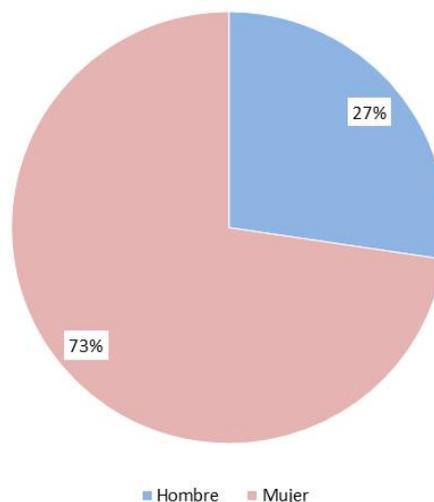


Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

En la Figura 84 se vislumbra un 31% de los pasajeros que adquieren billetes de tipo ordinario y un 25% más con bonos de 10 billetes (estas dos tipologías tarifarias explican el 56% del total de los encuestados). Por el contrario se detecta a un 69% de viajeros que utilizan algún tipo de abono, lo que sin duda da pistas acerca de cuál puede ser el producto tarifario más interesante para la demanda en relación al grado de fidelidad de la misma.

Por otra parte, en la Figura 85 se expone la distribución por género de esta demanda. De esta se deduce que el 73% son mujeres frente a un 27% restante de hombres.

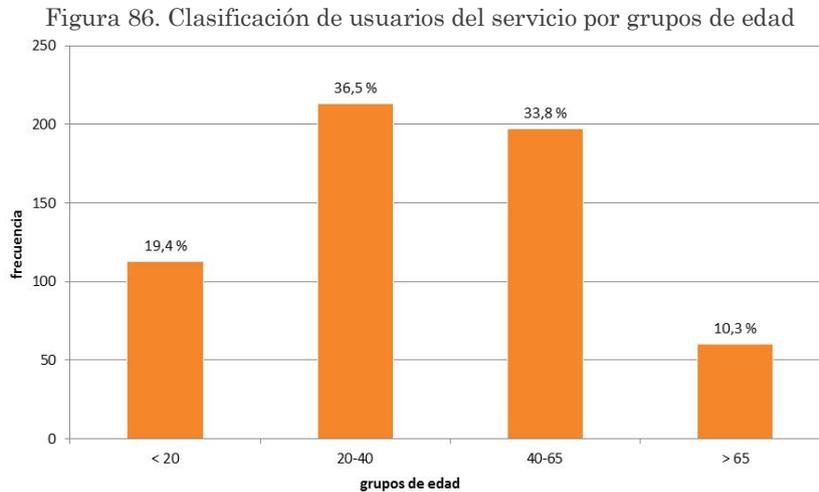
Figura 85. Porcentaje de hombres frente a mujeres del servicio



Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

Esta distribución de género ofrece una visión clara a cerca del usuario habitual del servicio. Tanto es así que teniendo en cuenta todas las líneas del servicio, por cada hombre que se sube al autobús lo hacen de media entre 2 y 3 mujeres al día.

Otro dato interesante es el que hace mención a la distribución por grupos de edad de la demanda existente para este modo de transporte (Figura 86).

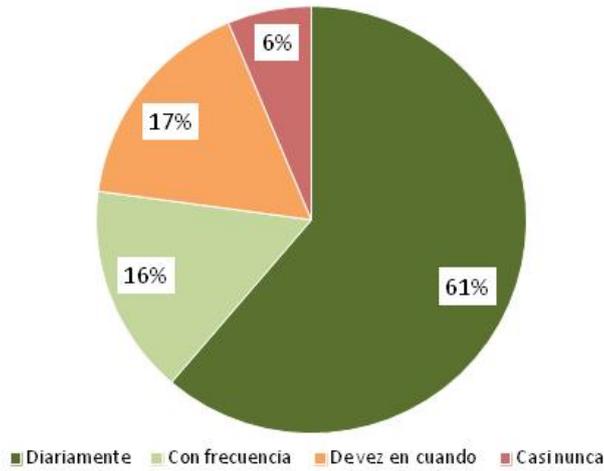


Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

En este sentido y a tenor de lo expuesto en el gráfico anterior, se llega a la conclusión que el 36,5% de los encuestados están en edades comprendidas entre los 20 y los 40 años. Este es el grupo de edad que presenta una frecuencia más elevada (con 213 usuarios sobre el total de encuestados). Este dato contrasta con el 10,3% de los usuarios mayores de 65 años que utilizan el autobús urbano (cuya frecuencia es de 60 individuos). En líneas generales, se observa una distribución normal de los datos bastante clara, en la que los grupos de edades centrales (población adulta) suponen el 70,3% de los usuarios habituales, frente a un 30% restante relativo a los grupos de edades propios de jóvenes y ancianos.

Por otra parte, este volumen de usuarios suele utilizar el autobús urbano con bastante asiduidad, como lo demuestra la Figura 87, donde se observa que el 77% de éstos utiliza habitualmente el servicio.

Figura 87. Grado de utilización del transporte urbano

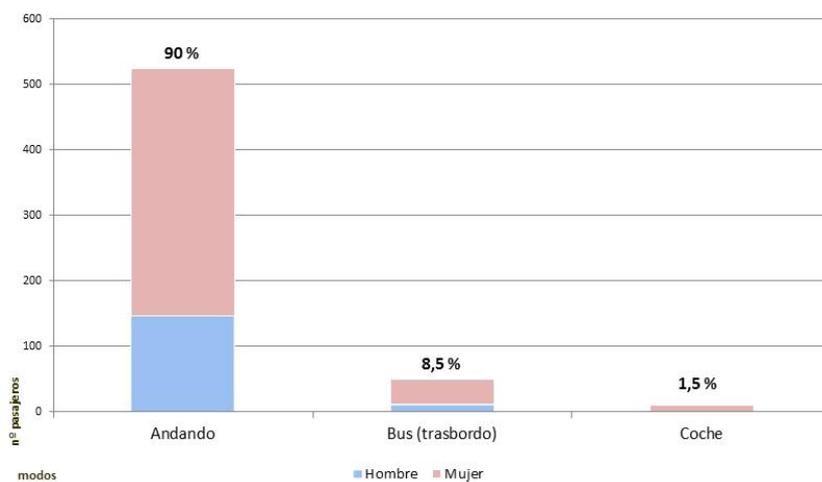


Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

Frente a este primer grupo de usuarios habituales se encuentra una minoría que solo utilizan el autobús de forma muy puntual (6%). Por tanto, se puede decir que la mayor parte de los viajeros encuestados utilizan con mucha frecuencia el autobús urbano.

Otro elemento muy importante a la hora de valorar la distribución de los accesos a este servicio, es aquel que tiene relación con el modo de desplazamiento utilizado. Este dato ofrece una idea sobre el grado de cercanía del servicio a los ciudadanos (Figura 88). De aquí se deduce que el 90% de los encuestados se desplazan a pie para ir a las paradas, desde sus hogares. El resto de modos en cambio explican de forma conjunta tan solo un 10% de los desplazamientos para este acceso. En cuanto a la distribución por género, cabe destacar que los porcentajes entre los diferentes modos de transporte utilizados en el acceso a las paradas son bastante similares entre ellos (de media, el 72% de los desplazamientos de acceso corresponde a mujeres, frente a un 28% de hombres).

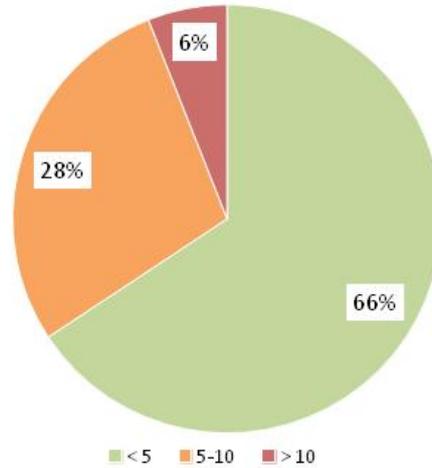
Figura 88. Modos de desplazamiento desde el origen al acceso al servicio



Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

La información anterior sobre acceso a las paradas, tiene relación con el diagrama de sectores que se expone a continuación, en donde se muestra el tiempo medio utilizado por los usuarios para llegar desde sus hogares a la parada de autobús urbano (Figura 89).

Figura 89. Tiempos de llegada a la parada origen en minutos desde los hogares

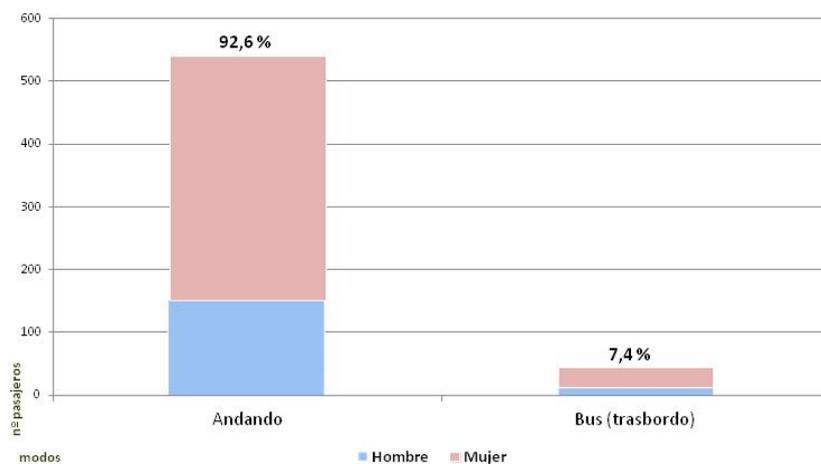


Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

En el gráfico anterior se observa que el 94% de los usuarios encuestados acceden a las paradas origen de sus desplazamientos en este modo de transporte en un tiempo máximo de 10 minutos, mientras que en el polo opuesto tan solo un 6% de estos emplean un tiempo comprendido entre los 10 y los 15 minutos para dicho movimiento.

Si es importante el análisis de los desplazamientos que permiten a la población residente acceder al servicio de autobús urbano, no es menos importante la información relativa a aquellos que dichos residentes realizan desde la parada destino de su recorrido en autobús urbano hasta su destino final (Figura 90).

Figura 90. Modos de desplazamiento desde el servicio hasta el destino final



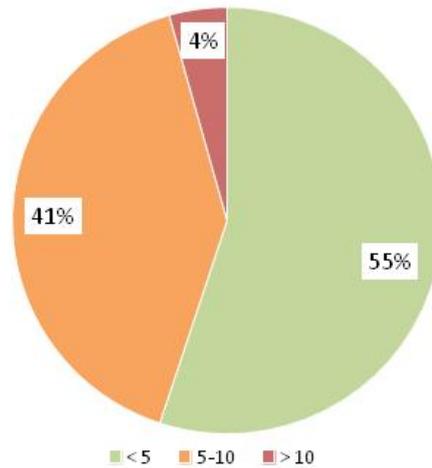
Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

En el acceso al destino final del recorrido desde las paradas destino del autobús urbano, también se detecta un volumen muy destacado de usuarios que realizan dichos desplazamientos a pie (concretamente el 92,6% de los mismos). Además, se detectan coincidencias respecto a las distinciones de género por tipo de desplazamiento: el 27%

de estos lo realizan los hombres frente al 73% restante que lo realizan las mujeres. En estos desplazamientos finales, desaparece el movimiento en vehículo privado.

Por otra parte, los tiempos destinados a llegar al punto final del viaje desde las paradas destino son similares a los dedicados para acceder al autobús (Figura 91). El 96% de los accesos al destino final duran menos de 10 minutos. Por el contrario, se observa un escaso 4% de usuarios que tienen que desplazarse a más de 10 minutos de la parada de autobús urbano para tal fin.

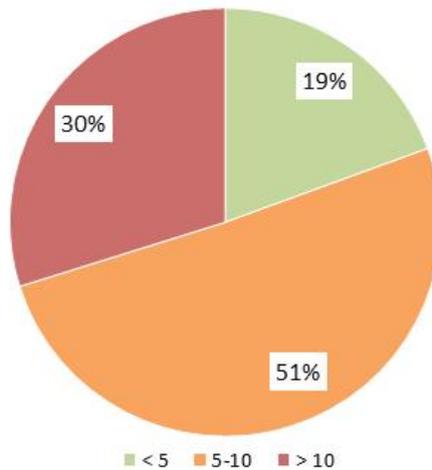
Figura 91. Tiempos de llegada al destino final en minutos desde las paradas destino



Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

Otro dato destacado para el diagnóstico del servicio es el relativo al tiempo de espera promedio de los usuarios habituales en las respectivas paradas (Figura 92). Esta información permite realizar propuestas que repercutan en la mejora de la competitividad del servicio en detrimento del vehículo privado.

Figura 92. Distribución de tiempos de espera (en minutos) en las paradas

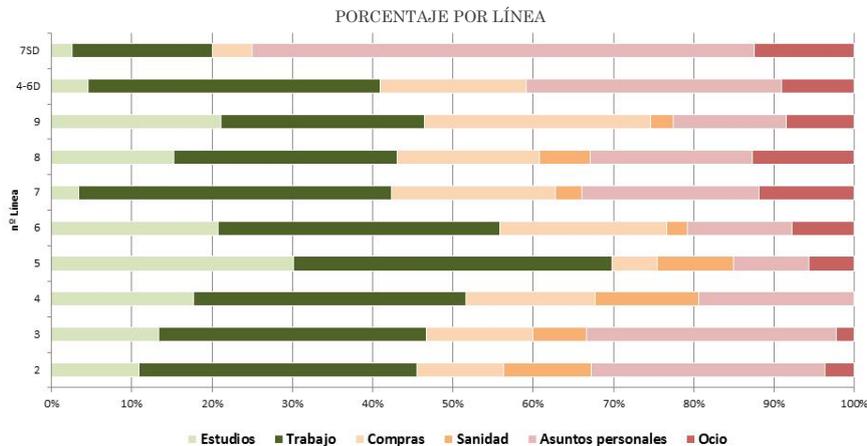
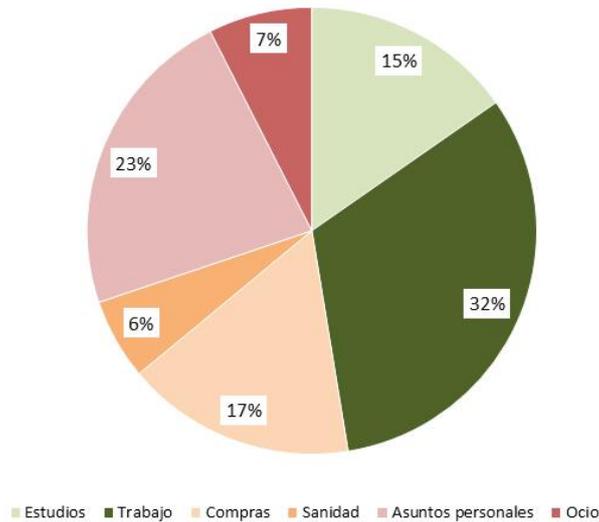


Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

Sobre los tiempos de espera en las paradas del autobús urbano expuestas en el gráfico anterior, hay que destacar que la mitad de los encuestados sufren tiempos de espera entorno a los 5-10 minutos. Este dato contrasta con otro 30% de ellos que tienen que esperar en la parada más de 10 minutos de media para coger su autobús.

En las siguientes líneas se muestran los resultados relativos al motivo de desplazamiento declarado por los usuarios (Figura 93). Para ofrecer más claridad al respecto sobre este tema, se muestra en primer lugar una distribución porcentual general y seguidamente una segunda por línea del servicio.

Figura 93. Distribución de motivos de desplazamiento en el servicio
PORCENTAJE GENERAL



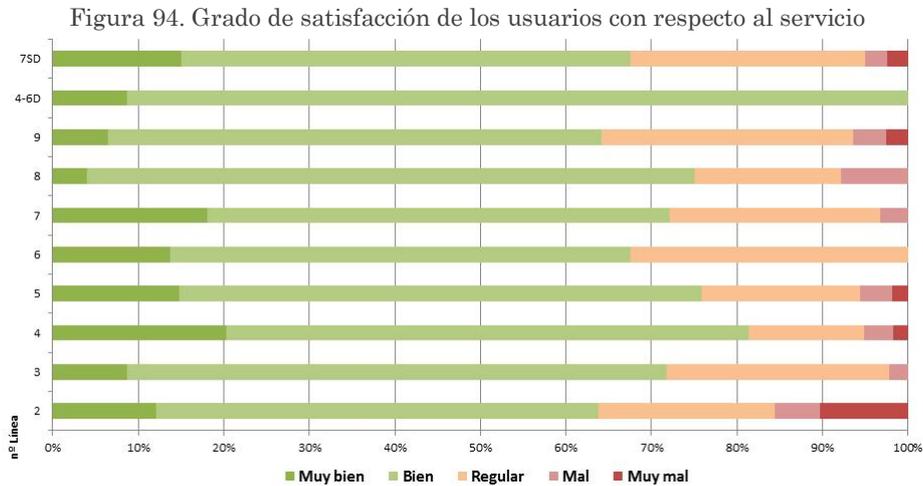
Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

Si se observan los motivos generales se puede ver que casi la mitad de los encuestados (el 47% del total), lo hacen por motivos obligados (32% por motivos de trabajo y 15% por estudios); tras ellos, se encuentran los asuntos personales con un 23% (relacionados con visitas familiares principalmente). Tan solo un 7% se desplazan en este modo por motivos de ocio, tanto diurno como nocturno.

En cuanto a los motivos relacionados con cada línea de autobús, existen ciertos matices a considerar: en primer lugar, destacan como motivos mayoritarios trabajo, estudios y compras en todas las líneas. Sin embargo se detecta un bajo volumen destinado a motivos relacionados con el estudio en la línea 7 (aun presentando un recorrido cercano a distintos centros educativos); en segundo lugar, se identifica un bajo porcentaje de movimientos por ocio en las líneas 2 y 3; y en tercer lugar, existe cierta relación entre el volumen de flujos y el horario semanal de los recorridos. Así, la línea 7

ve reducidos los fines de semana sus flujos por motivos de compras considerablemente y en cambio aumentan exponencialmente los movimientos por asuntos personales (visitas familiares).

En lo que respecta al grado de satisfacción de los viajeros (Figura 94), destaca el hecho que al 72% de ellos les parece bien el servicio prestado por este modo.



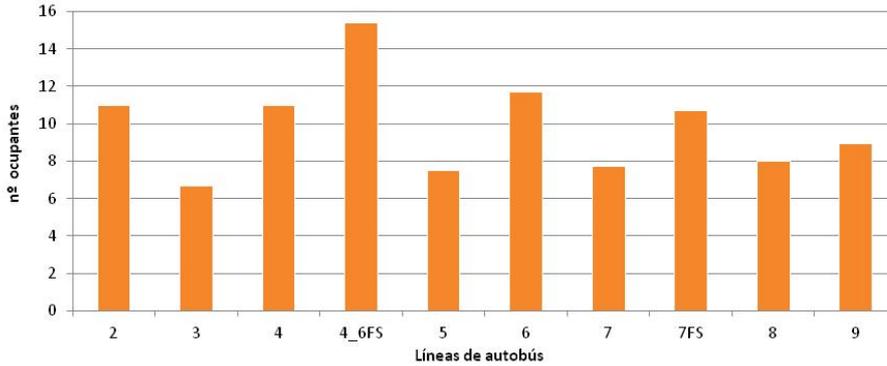
Fuente. Entrevistas autobús urbano. Elaboración propia.

En el polo opuesto se encuentra un 5% de la muestra claramente insatisfecha con la oferta, como corrobora el análisis desagregado por línea en donde destaca en este aspecto la línea 2. Entre las líneas con mejor valoración sobresale la línea 4-6 de sábados y festivos.

Todos los resultados expuestos hasta aquí, tienen que ver con el perfil tipo de los usuarios del autobús urbano y permiten realizar una radiografía clara de la demanda existente actualmente en este modo de transporte. Sin embargo, conviene unir a estos resultados otros relacionados con la ocupación y los movimientos detectados. De este modo, se muestra en primer lugar un gráfico donde se identifica la ocupación media de cada línea (Figura 95). A continuación se expone un mapa con los movimientos detectados tras los aforos llevados a cabo en cada vehículo (Figura 96) y después se presentan las paradas más importantes en cuanto a movimientos diarios se refiere (Figura 97). Finalmente se exponen los puntos conflictivos detectados en los recorridos desde el punto de vista de la movilidad (Figura 98).

De acuerdo con la ocupación media del servicio (Figura 95), hay que resaltar el bajo grado de ocupación existente en todos los vehículos relativos a cada línea, máxime en una ciudad media como esta.

Figura 95. Ocupación media de cada línea del servicio



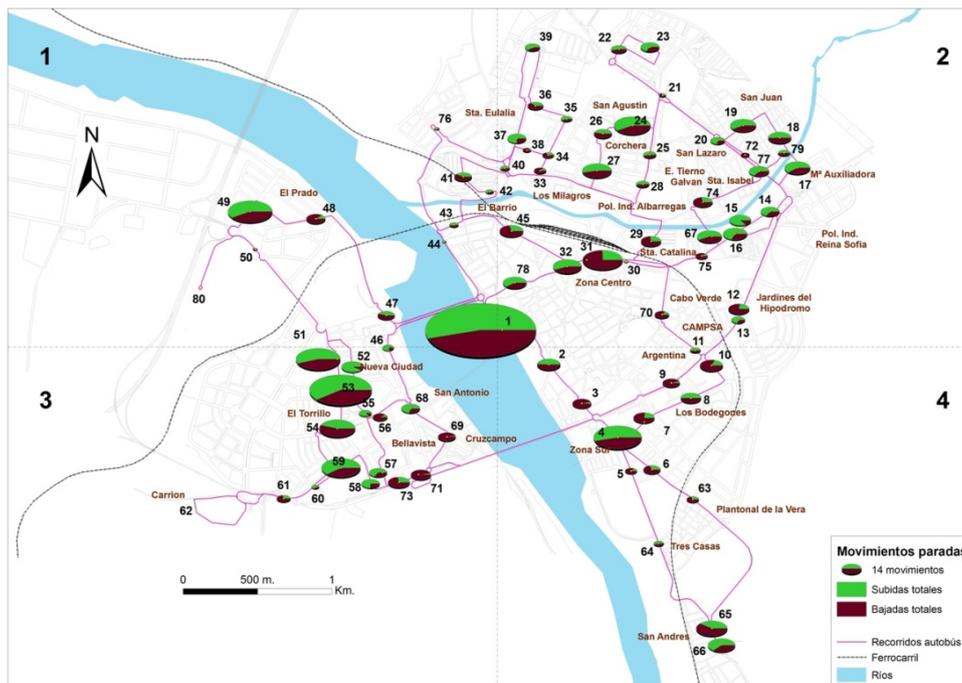
Fuente. Aforo en autobús urbano. Elaboración propia.

La ocupación media del servicio está en 10 pasajeros/día. Si se compara esta cifra con la media de plazas ofertadas (81) se ve claramente el grado de ocupación real que presentan los vehículos de este modo.

Si se desagrega por línea, destaca la línea 4-6 de fin de semana con una ocupación media cercana a los 15 pasajeros/día. En un nivel inferior está un grupo de cuatro líneas (2, 4, 6 y 7 de fin de semana) con ocupaciones comprendidas entre los 10 y los 12 usuarios/día. Por el contrario, la línea con menos ocupación media es la línea 3 con poco más de 6 viajeros/día.

Con respecto al plano en el que se identifican las paradas de autobús (Figura 96), se divide en cuatro cuadrantes para facilitar una descripción de movimientos por parada más clara y concreta. Así, los cuatro cuadrantes son: 1) zona NNO del plano general; 2) zona NNE; 3) zona SSO y finalmente, 4) zona SSE del mapa. Estos movimientos permiten obtener una idea clara a cerca de las paradas más importantes y de los tramos con mayor ocupación.

Figura 96. Plano de movimientos por parada en el servicio de autobús urbano



Fuente. Aforo en autobús urbano. Elaboración propia.

De acuerdo con el plano anterior, se pueden obtener los siguientes resultados al respecto:

Del primer cuadrante (zona NNO), destaca como parada con un mayor volumen de movimientos la segunda de las ubicadas en la urbanización El Prado (049). Frente a esta se detectan otras con volúmenes bajos en relación a la zona analizada, entre las que destacan la parada del centro comercial Mercadona (076) y la parada de la avenida José Fernández López (044).

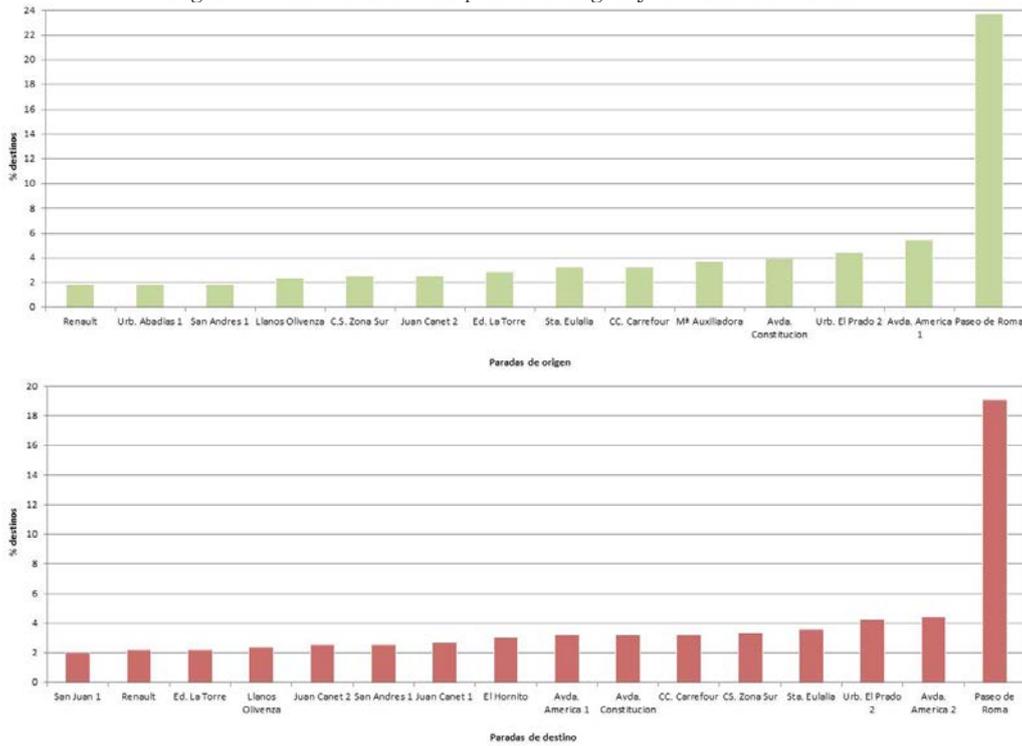
Con respecto al segundo cuadrante (zona NNE), llama la atención por el elevado número de paradas existentes (este cuadrante es con diferencia el que tiene un mayor número de ellas). Además, se observa que la parada localizada en el Paseo de Roma (001) es la que soporta un volumen de movimientos más elevado del entorno. Del mismo modo, se detectan otras en las que el número de viajes (subidas y bajadas) es bajo. Dentro de estas últimas, se encuentran las paradas del concesionario Opel (011), avenida de Cáceres (072), avenida de Extremadura (030) y calle Zeus (042).

Del tercer cuadrante (zona SSO), hay que destacar cuatro paradas importantes desde el punto de vista de flujos soportados: centro comercial Carrefour (059), avenida de la Constitución (054) y ambas paradas de la avenida de Las Américas (053 y 051). Como paradas de menor rango de viajes en este entorno destacan la parada de la barriada Carrión (062) y la localizada cerca del centro de ocio El Foro (060). Sin embargo, hay que destacar en esta zona el hecho de que no existen paradas con movimientos extremadamente bajos, hecho que sí se da en otros cuadrantes.

Por último, el cuarto cuadrante (zona SSE) presenta como parada más importante, en lo que a volumen de movimientos se refiere, a la localizada en el ambulatorio de la barriada zona Sur (004). Las paradas con menos nivel de movimientos en la zona son la de Las Tres Casas (064) y la del concesionario Opel (011), comunes al segundo cuadrante.

A continuación se exponen los gráficos en el que se identifican las paradas más importantes del autobús urbano emeritense, en función de las frecuencias absolutas diarias detectadas en cada una de ellas (Figura 97). Para obtener estas frecuencias se distingue entre paradas con volúmenes de origen y paradas con movimientos de destino.

Figura 97. Frecuencias en paradas origen y destino del servicio



Fuente. Estudio de aforo en autobús urbano. Elaboración propia.

De este modo, existe un porcentaje medio de orígenes y destino del 8,76% para el caso de las paradas origen (color verde) y 8,51% para las paradas destino (color rojo). En ambos gráficos destaca como la parada más importante la del Paseo de Roma, con Id. 001 (soportando el mayor volumen de movimientos en ambos sentidos), con porcentajes de movimientos promedios cercanos al 21,5% del total. A parte de esta parada, existen pocas más en la red que soporten un volumen superiores al 4%: de las paradas origen cabría resaltar la primera parada ubicada en la avenida de las Américas (053), la segunda parada de la urbanización El Prado (049) y la parada ubicada en la avenida de la Constitución (054); en el caso de las paradas atractoras, destacan en cierta medida además del Paseo de Roma (001), las segundas paradas de la avenida de Las Américas (053) y la urbanización El Prado (049), junto a la parada cercana al Horno Santa Eulalia (016) y el centro de salud Zona Sur (004), respectivamente.

Un elemento fundamental de cara a comprender parte de las demoras del servicio es la identificación de los diferentes puntos conflictivos (Figura 98).

Figura 98. Mapa de puntos conflictivos detectados en el servicio de autobús urbano



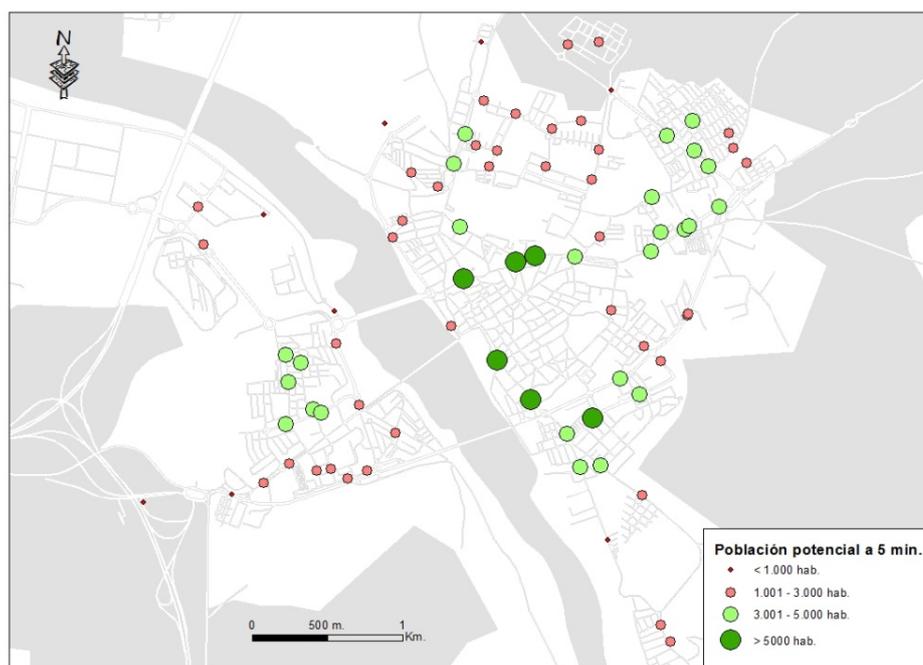
Fuente. Aforo en autobús urbano. Elaboración propia.

Las zonas con mayores problemas de congestión y retraso en el servicio se encuentran en las intersecciones cercanas a las inmediaciones del casco urbano central, las avenidas Juan Carlos I y Cáceres y la avenida de las Américas en la zona oeste del plano. También llama la atención en este aspecto que los puntos problemáticos del autobús urbano son coincidentes con los relativos al resto de modos.

Finalmente y como último análisis realizado al transporte colectivo, se muestra en las siguientes páginas los resultados que se extraen tras la aplicación de una metodología basada en el estudio de variables propias de análisis de accesibilidad. El fin último de este estudio es identificar el grado de accesibilidad que presenta actualmente el servicio a los ciudadanos de Mérida y con él, ofrecer una serie de propuestas al respecto que sirvan para equiparar el grado de importancia que supone para esta ciudad el autobús urbano con respecto al vehículo privado.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se muestran a continuación los potenciales de población que están en disposición de acceder al autobús urbano (a través de la parada más cercana en desplazamiento peatonal) en menos de 5 y 10 minutos (Figura 99 y Figura 100) respectivamente. En este caso se considera únicamente el desplazamiento peatonal, tras comprobar en los análisis anteriores que la inmensa mayoría de la población demandante accede a dicho servicio a pie. Además, se consideran estos tiempos de acceso por ser los tiempos de desplazamiento peatonal más representativos de la población emeritense. Se opta por representar la información de forma puntual para ofrecer mayor claridad en la visualización de la variable en relación con la ubicación de las paradas del servicio.

Figura 99. Potenciales de población a menos de 5 minutos del servicio



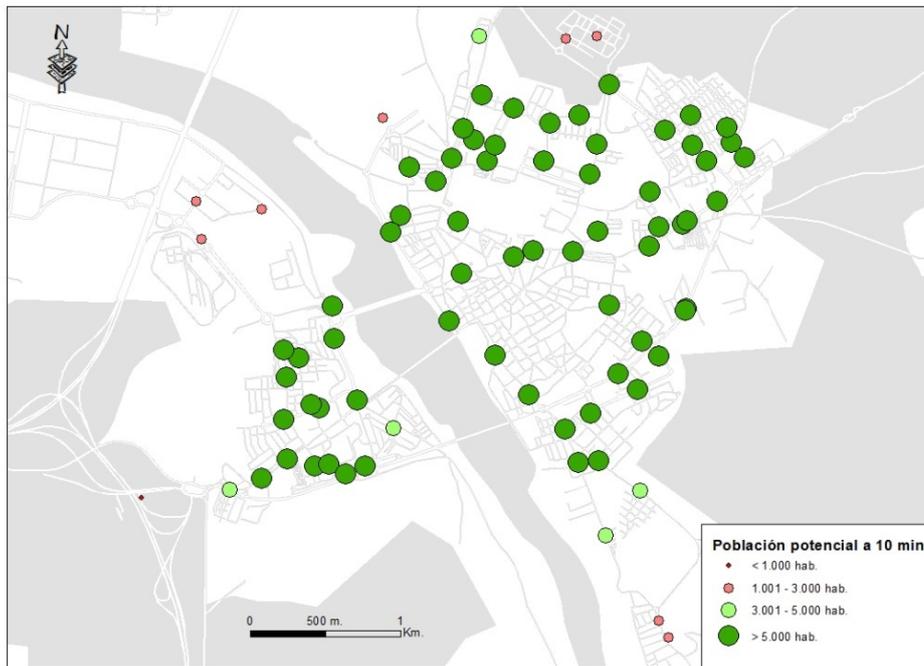
Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2014. Elaboración propia.

En función de lo que se observa en el plano anterior (Figura 99), se puede decir en general que las paradas donde mayor volumen de población puede acceder en menos de 5 minutos se localizan en las inmediaciones al casco urbano central. A medida que se alejan de éste, el volumen de población potencial decrece, típico de un modelo centro-periferia. En este caso concreto, existe una relación directa entre volumen de población residente en cada zona y localización de las paradas del servicio, lo que explica los volúmenes potenciales mayores de 3.000 habitantes detectados en algunas paradas concretas de la red de autobús y también aquellos menores de la misma. También se observa a simple vista que aunque las paradas con un volumen potencial importante no son mayoritarias en número (estas suponen un 39% del total de paradas, sumando el 8% de las paradas con potencial mayor a 5.000 habitantes y el 31% de aquellas cuyo potencial está entre 3.000-5.000 habitantes), sí que presentan una buena ubicación, capaz de satisfacer a un volumen muy destacado de población emeritense gracias precisamente a esta localización tan centrada en el plano.

En cuanto al porcentaje mayoritario de paradas, este recae sobre aquellas que presentan potenciales poblacionales comprendidos entre 1.000 y 3.000 habitantes (con un 51% sobre el total de paradas). Este grupo mayoritario se caracteriza por una localización periférica en la ciudad, en barriadas con una densidad poblacional baja (zonas que en su mayor parte poseen viviendas unifamiliares o instalaciones deportivas y docentes).

También es destacable el grupo de paradas cuyo potencial de población es menor a 1.000 habitantes y que representan un 10% del total de la red. Este porcentaje responde sin lugar a dudas a la localización periférica de dichas paradas, en áreas donde el aprovechamiento urbano es mayoritariamente industrial (inmediaciones a polígonos industriales) caracterizados lógicamente por densidades poblacionales residentes bajas comparadas con las zonas urbanas centrales.

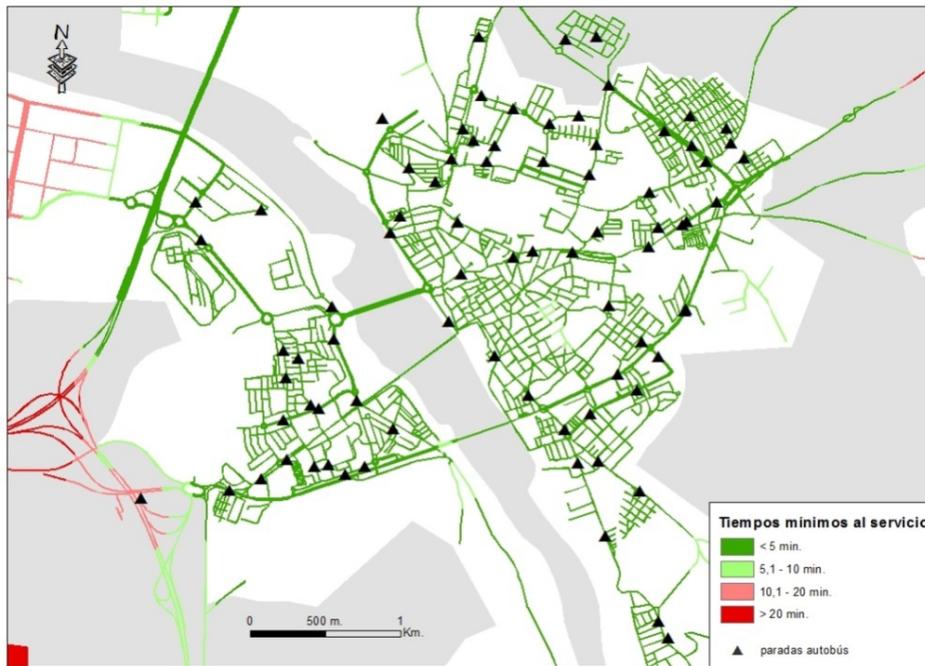
Figura 100. Potenciales de población a menos de 10 minutos del servicio



Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2014. Elaboración propia.

Para el caso de la población que potencialmente puede acceder en menos de 10 minutos a las paradas de autobús (Figura 100), se evidencia que la mayor parte de ellas soportan potenciales de población superiores a los 5.000 habitantes para dicho tiempo de acceso (exactamente el 83% de la red). Esto da una visión clara del grado de cercanía del servicio a los ciudadanos, ya que la mayoría de ellos disponen de una parada de autobús a menos de 10 minutos caminando. Este potencial tan homogéneo en toda la ciudad da muestras de una buena distribución de paradas por el casco urbano (solo se observan paradas con potenciales de población menores a los 5.000 habitantes en las barriadas más periféricas de la ciudad, lo que suponen el 17% de la red). Esta afirmación toma aún más validez si cabe con el plano que se muestra en la Figura 101. En ella, se representa el tiempo mínimo de acceso desde cualquier portal residencial a la parada más cercana del servicio. Se representan los resultados de esta variable con un modelo ráster por la característica de continuidad de la misma.

Figura 101. Tiempo mínimo de acceso a las paradas del servicio

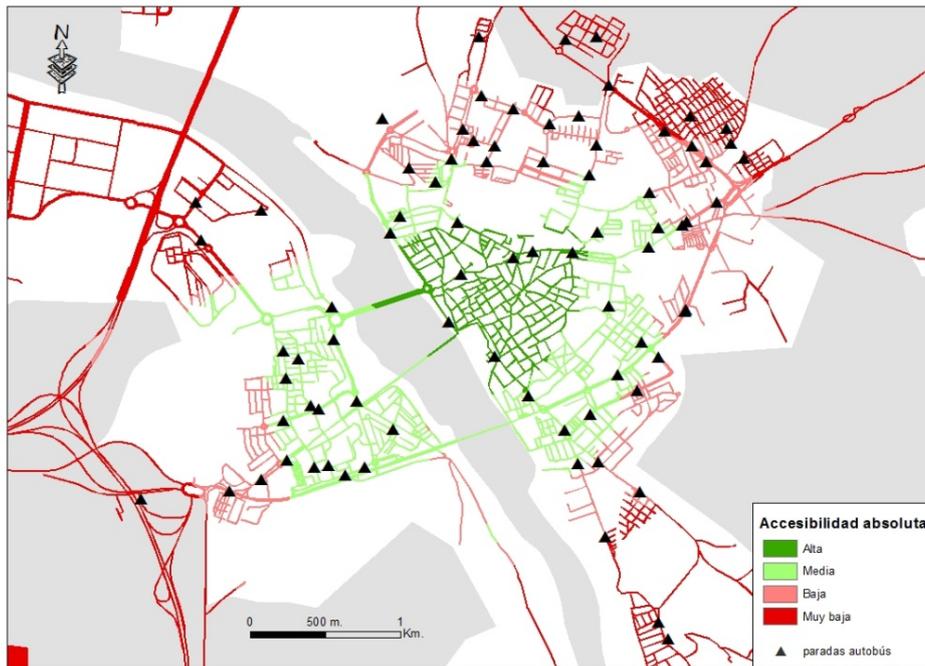


Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2014. Elaboración propia.

El análisis de la Figura 101 muestra que la mayor parte de la población emeritense (un 94% del total) tiene a menos de 5 minutos de su lugar de residencia una parada de transporte público. En cuanto al resto de tiempos mínimos detectados, destacan algunas zonas con tiempos de acceso comprendidos entre los 5 y 10 minutos (correspondientes con el 2% de la población emeritense), entre las que destaca la localizada en el casco urbano central. Esta presenta un grupo de calles peatonales que impiden lógicamente el acceso en menos de 5 minutos a una parada del servicio. En cuanto a las zonas más distantes del servicio (es decir, aquellas cuyo tiempo de acceso al mismo es superior a 10 minutos), decir que se localizan en la periferia del núcleo urbano, donde el número y distribución de las paradas del servicio no es tan homogénea (este grupo supone tan solo un 4% del total poblacional). Entre las barriadas más alejadas destacan las urbanizaciones de Proserpina y El Vivero, localizadas fuera incluso de los recorridos del autobús urbano ofertados en Mérida.

Finalmente, el mapa que se muestra a continuación (Figura 102) refleja la accesibilidad absoluta de las paradas de la red de autobús. Ya que la variable accesibilidad está asociada a los portales y éstos tienen una distribución continua, se opta también por repetir la representación cartográfica ráster de dicha información.

Figura 102. Indicador de accesibilidad absoluta del servicio



Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2014. Elaboración propia.

Se observa en el mapa anterior cómo la región con mayor accesibilidad se concentra en el llamado casco urbano central, delimitado por los puentes Romano y Lusitania junto a la zona de la Puerta de la Villa. A partir de dicha zona se observa un descenso paulatino de la accesibilidad a medida que se aleja de la misma, dando lugar al típico modelo centro-periferia. Otro rasgo característico de la red que se descubre en este plano es que, en las áreas de baja accesibilidad, suelen coincidir paradas a las que llegan un número de líneas bajo. Este hecho propicia que la zona de influencia de estas sufran una accesibilidad negativa, debido a que un usuario residente aquí no tiene las mismas oportunidades de acceder a todos los servicios que otro residente ubicado en las barriadas centrales de Mérida (zonas estas últimas en las que sí coinciden varias líneas por parada).

6.5 Aplicación del modelo de asignación. Caso de estudio

En este último apartado de análisis se exponen los resultados más relevantes relacionados con el proceso de modelización llevado a cabo en esta investigación. Para ello en primer lugar se muestran aquellos relativos al volumen externo que accede a la ciudad, fruto del proceso de interceptación llevado a cabo para en segundo lugar, describir e interpretar la información obtenida de ejecutar dicho modelo. Este proceso de validación final consiste en aplicar el procedimiento de asignación de viajes a un caso de estudio concreto.

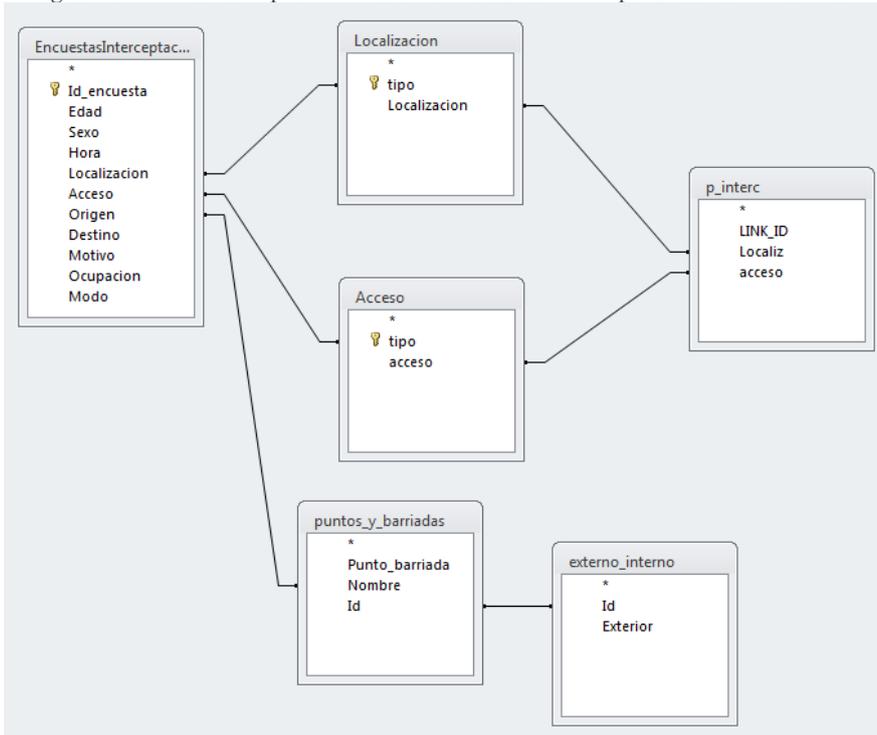
Dicho caso parte de la idea de convertir toda el área limítrofe del casco urbano central en una “supermanzana” (Figura 40). Este concepto de aprovechamiento urbanístico fue acuñado por Rueda en 2011 y consiste básicamente en generar un primer cinturón o circunvalación interior que bordee toda el área afectada y por el que los vehículos motorizados privados realicen flujos de paso o acercamiento a la misma. A este cinturón se le dota de una red bien distribuida de parkings disuasorios y de una infraestructura y gestión que den fluidez al flujo soportado (se evita la doble fila, se diseñan carriles segregados para vehículos lentos o transporte público, se asignan velocidades medias-altas a los carriles destinados al flujo general, etc.). Por el contrario, la zona interior a esta circunvalación, se le dota de infraestructura viaria y mobiliario urbano que priorizan el movimiento en modos sostenibles (bici y sobretodo desplazamiento peatonal, salvo el caso de la vía que se analiza a continuación y en la que se añade a los sostenibles el modo colectivo), destacando la implantación de la plataforma única, las restricciones severas de velocidad, o las barreras físicas a los modos motorizados. Estos modos de acceso al interior han de estar a disposición del usuario una vez éste deje el transporte privado en el respectivo parking (el cual podría hacer además función de estación intermodal).

Todo esto mejora el flujo de acceso a dicha zona (en este caso el casco urbano central), disminuyendo la presión vehicular en la misma y cediendo la ciudad al ciudadano de a pie. Esta idea ya figura como propuesta en el PMUS de la ciudad pero presenta un problema de cara a su futura implantación: para que la supermanzana en el casco urbano central de Mérida sea una realidad, es necesario cerrar al tráfico privado la calle Almendralejo (vía de un solo sentido, que une el oeste con el este de la ciudad atravesando todo el centro urbano, con volúmenes muy elevados de tráfico). Para resolver este problema y ver cómo cambian las pautas de movilidad en el entorno ante el cierre de dicha calle, es para lo que se aplica el modelo de asignación propuesto en esta Tesis.

Sin embargo, previamente procede exponer aquellos resultados relativos al trabajo de interceptación llevado a cabo, por el cual se obtiene el volumen de población externa que accede al sistema a través de los diferentes puntos de entrada/salida localizados anteriormente.

En este sentido y una vez se dispone de la muestra de vehículos interceptados y validados, se extrae el volumen de tráfico externo por medio de consultas directamente a la base de datos (Figura 103).

Figura 103. Consulta para obtener el volumen de desplazamientos externos



Fuente. Encuestas de interceptación. Elaboración propia.

Así, se cuenta en primer lugar el número de desplazamientos externos detectados en los diferentes puntos de interceptación (tabla de flujos externos). A continuación se genera una segunda consulta en la que se obtiene igualmente el volumen de viajes internos para los mismos puntos de control y accesos (tabla de flujos internos).

Junto a las dos consultas anteriores, se genera una tercera consulta en la que se agrupan todas las rutas que cruzan cada punto en cuestión. Este es el volumen de viajes ya están extrapolados al conjunto poblacional.

Seguidamente y considerando las relaciones de flujos externos e internos anteriores se define el porcentaje de vehículos externos que acceden por cada control (Tabla 26).

Tabla 26. Porcentaje de población externa que accede por punto de control

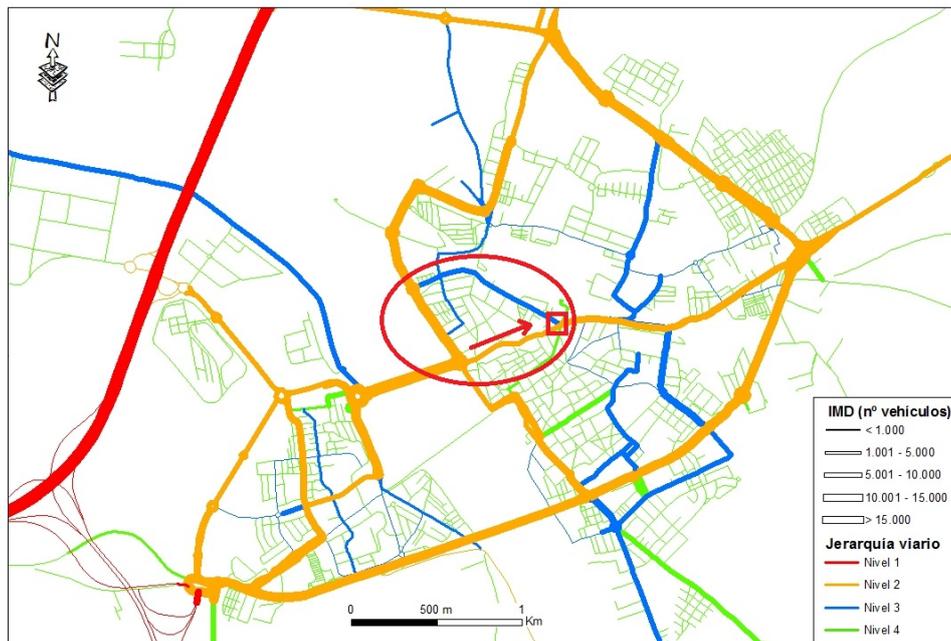
Punto de interceptación	Acceso	ID tramo	% Viajes externos
2.5	D	8000028	35,48
2.4	A	8000042	5,00
2.9	C	77101222	12,90
2.13	C	537475640	60,00
2.5	B	537475834	10,34
2.1	A	537495156	8,00
3.2	B	537495163	38,46
2.9	A	537495375	26,09
3.6	D	537495517	21,05
2.3	F	537496436	8,89
3.2	E	537496559	2,94
3.3	C	537496561	3,23
2.5	C	539356133	12,50
2.6	D	539356221	15,38
2.9	D	539357848	78,57
2.5	A	564229380	6,90
2.2	A	564229673	75,00
2.4	C	564229752	2,86
2.9	E	564230113	58,33
3.6	C	564230115	13,79

Fuente. Encuestas de interceptación. Elaboración propia.

Finalmente con las relaciones referidas al porcentaje de vehículos externos que atraviesan cada control y el volumen global de viajes que pasa por dichos puntos, se estiman los vehículos externos que acceden a la ciudad. De esta forma se obtiene que de los 30.500 flujos diarios soportados por la red urbana de Mérida, un 15% aproximadamente se corresponde con movimientos externos. Dicho dato además está avalado por la información obtenida en las encuestas domiciliarias.

Con la información recabada e implementada en el volumen de viajes totales predichos y volviendo al caso de estudio que ocupa este apartado, cabe decir que dicho marco de trabajo comprende el inicio de la calle Almendralejo y su desembocadura en la glorieta de la Torre (Figura 104). Además, se dispone de una red de puntos de control que sirven para evaluar inicialmente la fiabilidad del modelo (comparando las predicciones con los aforos reales) y posteriormente, para evaluar los cambios en las pautas de movilidad tras el cierre al tráfico de la vía en cuestión (comparando volúmenes de tráfico que atraviesan cada punto de control). El objetivo particular de dicho estudio, es detectar los cambios en la movilidad del casco urbano central ante el cierre al tráfico de dicha vía.

Figura 104. Área de estudio planteada para el análisis del modelo de asignación

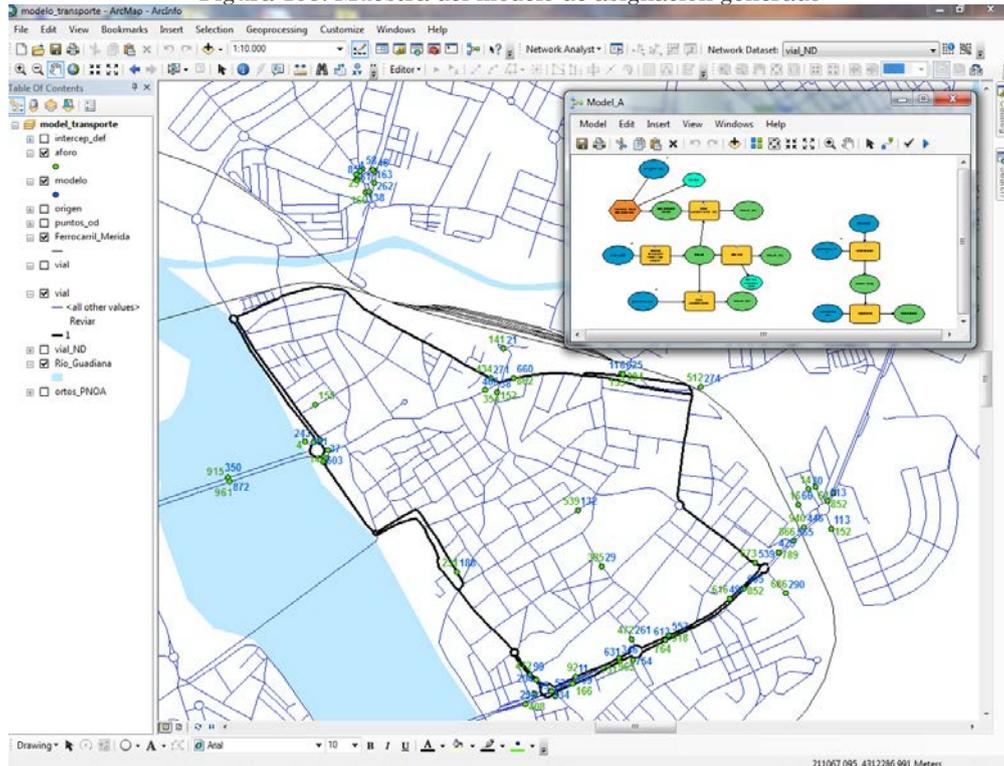


Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2013. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la jerarquía viaria en función de la IMD, se muestra el área de estudio sobre la que aplicar el modelo de asignación diseñado en esta Tesis (resaltada en color rojo). Ésta la constituye la calle Almendralejo, con un volumen de desplazamientos diarios comprendidos entre 5.000 y 10.000 vehículos/día (señalada con una flecha roja que indica el sentido de circulación de la misma) y la glorieta de La Torre (bordeada con un cuadrado rojo en la zona este de la propia calle Almendralejo). De esta forma, el hecho de cortar al tráfico privado una de las vías más problemáticas de la red, puede provocar una disminución del tráfico considerable en la glorieta o un cambio de dinámica hacia accesos con una mayor capacidad.

Para este estudio, únicamente se consideran los desplazamientos residenciales en modo privado de la ciudad, en el periodo de HP. Bajo estas premisas, se ajusta en primer lugar el modelo de asignación para calcular el volumen de tráfico, manteniendo abierta al tráfico la calle Almendralejo y controlando todos aquellos puntos de control necesarios para detectar cambios en las pautas de movilidad del entorno (incluyendo los propios accesos de la glorieta de La Torre). Esta red de control está compuesta por 10 accesos, 4 de ellos correspondientes con los propios de la glorieta La Torre, principal intersección objeto de estudio en este caso. A continuación se comparan los resultados obtenidos del proceso de modelización con los aforos tomados en campo en cada uno de los puntos de control identificados. (Figura 105).

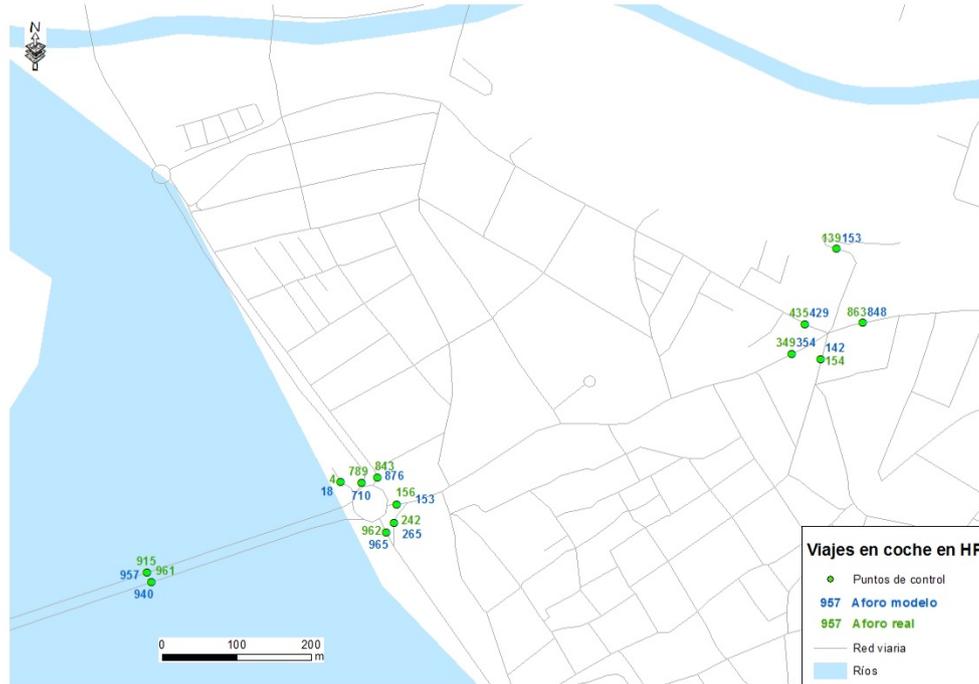
Figura 105. Muestra del modelo de asignación generado



Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2013. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 105, se hace uso de la herramienta *Model Builder* para generar un *Closest Facility* de todos los puntos origen a todos los destinos detectados en las encuestas domiciliarias. A continuación, se intersectan las rutas de cada par O/D con los diferentes puntos de control tenidos en cuenta en cada análisis (en este caso 10), consiguiendo la tabla de viajes que cruzan por cada punto. Esta última se añade a una base de datos de Access para extraer posteriormente los viajes finales ajustados en HP en cada punto de control. Este último resultado es el que se vuelve a implementar a modo de tabla en la aplicación SIG y, mediante una unión entre tablas, se añade la información de viajes predichos a la capa de puntos de control iniciales. De esta forma, ya es posible comparar los viajes predichos (cifras en el mapa siguiente en color azul) con los reales (cifras en el mapa siguiente en color verde) y por tanto, el grado de ajuste del modelo (Figura 106).

Figura 106. Comparativa de viajes predichos y aforados en el área de estudio

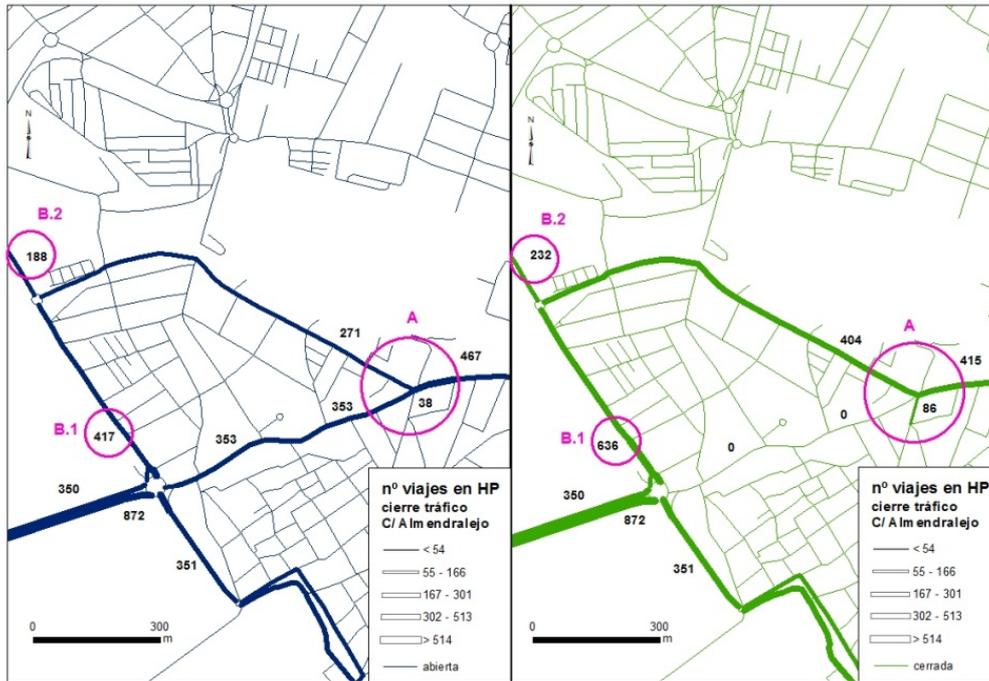


Fuente. Elaboración propia.

Tras la asignación llevada a cabo por el modelo en cuestión y teniendo en cuenta para ello la suma de viajes externos e internos (residenciales) detectados en la red, se observa una diferencia promedio en los puntos de control que bordean el casco urbano central cercana a los 30 viajes, con un coeficiente de variación de 0,0573 y una diferencia promedio entre el valor aforado y el predicho de 0,05 viajes.

Tras comprobar que la predicción del modelo es aceptable, se procede a continuación a cortar la calle Almendralejo al tráfico privado y se vuelve a ejecutar el modelo. Los resultados extraídos tras este proceso se exponen en la Figura 107 y en la Tabla 27.

Figura 107. Comparativa de viajes con la vía abierta y cerrada al tráfico privado



Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2013. Elaboración propia.

Al finalizar todos los cálculos anteriores, se observa un trasvase de viajes a la calle Marquesa de Pinares (acceso noroeste del punto A del mapa) y a la circunvalación exterior (zonas B.1 y B.2 del mapa), que ve incrementados esta última en 40 viajes su volumen de flujos en HP. Además, se detectan incrementos en el tiempo medio de los recorridos cercanos a los 2 minutos con respecto a los tiempos útiles predichos, sin tener en cuenta el cierre al tráfico de la calle Almendralejo. Es decir, los usuarios tardan en torno a 2 minutos más de media en llegar a sus destinos, utilizando la ruta alternativa tras el cierre de esta vía en cuestión.

Tabla 27. Estimación de flujos en la glorieta de La Torre

NOMBRE VIARIO	VIAJES C/ ALMENDRALEJO ABIERTA	VIAJES C/ ALMENDRALEJO CERRADA	DIFERENCIAS (TOTAL)	DIFERENCIAS (%)
C/ Almendralejo	406,42	0,00	-406,42	-10
Avda. Extremadura	660,10	415,26	-244,84	-3
C/ Camilo José Cela	38,63	86,96	48,33	12
C/ Marquesa Pinares	271,20	404,07	132,87	4
Totales	1.376,35	906,29	-470,05	

Fuente. Gutiérrez Gallego et al., 2013. Elaboración propia.

Si se analizan los datos obtenidos tras la aplicación del modelo de asignación (Tabla 27), se detectan perfectamente los cambios en las pautas de movilidad habituales de la zona: se observa un 37% de viajes en la avenida Extremadura porque los usuarios se ven condicionados a elegir la ruta de la circunvalación para desplazarse hacia la parte este de la ciudad; también se detecta un aumento de viajes en otros accesos de la intersección (calle Marquesa de Pinares y calle Camilo José Cela).

7. CONCLUSIONES

Tras los análisis pertinentes realizados en esta Tesis Doctoral, se exponen a lo largo de este capítulo las conclusiones más destacadas al respecto. Estas responden a las diversas cuestiones de investigación planteadas inicialmente y con ellas, a los objetivos marcados (apartado 1.3).

En lo que respecta a la movilidad global de Mérida, cabe destacar la consecución de una jerarquía viaria muy ajustada a las pautas reales seguidas por los usuarios (Figura 56). Este hecho se demuestra además con el elevado grado de ajuste existente entre la propia jerarquía y el mapa de ruido realizado por un equipo de investigación externo (Figura 57).

Dentro de dicha movilidad general, destaca el vehículo privado como el modo más utilizado. Además, se observa un mayor uso del mismo por parte de los hombres en detrimento de las mujeres, que están más predispuestas a los desplazamientos en autobús urbano (Figuras 77, 81 y 85). Sin embargo su uso no resulta homogéneo a lo largo del día: se aprecia un incremento muy marcado en las dos HP comprendidas entre las 8-9h y 14-15h, junto a un repunte menor que el anterior por la tarde, entre las 17h y las 20h. El primero de ellos, guarda relación con las entradas/salidas al trabajo y centros educativos (los llamados motivos obligados), mientras que el segundo tiene que ver con los desplazamientos por motivos de compras y ocio principalmente (Figura 74). Con respecto a la distinción por género de los motivos obligados (Figura 75), destaca el hecho de que los hombres llevan a cabo la mitad de los desplazamientos por trabajo y un 3% adicional dedicado a gestiones laborales; en cambio las mujeres reparten sus flujos equitativamente únicamente entre trabajo y estudios. Por otra parte, el tiempo medio de desplazamiento en este modo apenas supera los 20 minutos y de estos el 40% está entre 10-15 minutos (Figura 73).

Si se analizan los flujos en vehículo privado con respecto a las diferentes franjas horarias de un día laboral medio, se detecta un patrón de movilidad claro: si bien los hombres realizan bastantes más movimientos que las mujeres por la mañana, éstas últimas se equiparan al género masculino por la tarde. Esta pauta es fruto de la mejora en las condiciones de tráfico de la red y de la relación existente aún hoy día entre ciertos motivos de desplazamiento y su vinculación con la mujer (compras o visitas familiares). Por otra parte, se observa que la mayor parte de estos movimientos los realizan usuarios de mediana edad (Figura 78), con una repartición bastante equitativa entre géneros (cosa que no sucede fuera de dicho rango de edades). Superando los 44 años, los flujos en este modo caen en picado hasta prácticamente desaparecer a partir de los 65 años.

Otros datos destacado sobre este modo privado es que la ocupación detectada es realmente baja (Figura 83). El 89,3% de los automóviles circulan con un máximo de dos ocupantes incluido el conductor. Si a dicha ocupación se le añade que el 75% de los hogares disponen de uno o dos automóviles para llevar a cabo sus desplazamientos (Figura 76), que el mayor porcentaje de flujos se realiza entre barriadas alejadas del casco urbano central (Figura 72) y que gran parte de ellas concentran a la mayor parte de población residente (Nueva Ciudad, Bodegones y Abadías), es fácil hacerse una idea clara de lo insostenible que resulta este transporte en la ciudad.

Con respecto al resto de modos de transporte, se observa un patrón común entre el autobús urbano y el desplazamiento peatonal: ambos se dan con mayor asiduidad por las mañanas, con un pico máximo de movimientos entre las 10h y las 13h (relacionado con el motivo compras y gestiones por trabajo, este último únicamente para el caso peatonal) y un incremento menor por la tarde entre las 17h y las 20h (guardando relación en este caso con las visitas familiares y ocio).

En cuanto a la relación entre dichos modos y la edad de los usuarios, se observa que las personas mayores de 65 años se decantan más por el desplazamiento peatonal (y como segunda opción el autobús urbano), mientras que el resto de residentes presentan probabilidades más elevadas de desplazamiento en modos motorizados (Figura 52). Dentro de estos últimos, llama mucho la atención la excesiva dependencia del vehículo privado por parte de los jóvenes menores de 14 años, lo cual ha de relacionarse a su vez con los hábitos de movilidad adquiridos por sus progenitores (las personas de mediana edad utilizan el coche en el 70% de los flujos urbanos realizados).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el servicio ofertado por el autobús urbano es bastante limitado (apartado 4.2, y Figuras 49, 84 y 92): la inseguridad en las frecuencias de paso, la localización de una parte importante de la población en zonas alejadas al casco urbano central y el hecho de que el modo privado es el vehículo que presenta costes de desplazamientos menores (Figura 53), hacen que el usuario se decante por este último en detrimento del autobús urbano. Esto provoca que por cada 100 desplazamientos realizados en vehículo privado, 9,5 se realicen en autobús urbano. A tenor de la comparación realizada con otras ciudades similares (Figura 45), queda patente el bajo nivel de importancia que cobra este modo colectivo en la movilidad general de la ciudad.

En lo que se refiere al tiempo medio de espera registrado en las paradas de autobús urbano, éste se encuentra entre los 5 y 10 minutos, aunque existe un 30% de los usuarios que llegan a esperar 15 minutos e incluso más (Figura 92). Dicha espera viene motivada fundamentalmente por el paso de los recorridos del servicio por tramos parcialmente congestionados a ciertas horas del día (de 8-9h a 14-15h), lo que unido a la falta de información facilitada por el servicio a los usuarios, conlleva que éstos últimos acaben optando por otro modo más efectivo y fiable (según la Figura 95, la ocupación media del servicio es de 10 usuarios/día mientras que el número medio de plazas por vehículo es de 81).

Destacan las paradas de autobús con mayor número de movimientos de pasajeros la segunda parada de la urbanización El Prado, el Paseo de Roma, la parada de Carrefour, avenida de la Constitución, las dos paradas de la avenida de las Américas y la del centro de salud Zona Sur. El perfil tipo de dichos pasajeros es el de una mujer de mediana edad (Figuras 85 y 86), que utiliza el autobús urbano con mucha frecuencia aunque no lo perciba como un modo fiable (gran inseguridad en los horarios, según las Figuras 84 y 87) y que accede en la mayor parte de los casos caminando durante 10 minutos desde su lugar de residencia (Figura 89). Cuando monta en el vehículo de una línea, no se baja de él hasta que no llega a la parada más cercana a su destino (sin trasbordos). Los motivos principales que le mueven a desplazarse en este modo son trabajo, visitas familiares, compras o estudios (Figura 93). En general asegura estar contenta con el servicio prestado, sobre todo las líneas de fin de semana (Figura 94).

Teniendo en cuenta el dato anterior a cerca del tiempo de acceso de la población a las paradas de autobús urbano (menos de 10 minutos a pie según las Figuras 100 y 101) y que la mayor parte de las paradas permiten acceder a casi todos los servicios ofertados en la ciudad, se puede afirmar que este modo es realmente accesible. Únicamente las zonas periféricas presentan niveles de accesibilidad bajos (Figura 102).

En general, los motivos de desplazamiento con más peso específico en la red, principalmente en las horas de mayor volumen circulatorio (HP de 8h a 9h y de 14h a 15h), son aquellos relacionados con trabajo y estudios en el primer periodo punta y con regreso al hogar en el segundo (Figuras 47 y 48). Esto coincide con el inicio y final del horario laboral del sector servicios (Figura 4) y los diferentes centros educativos existentes en el casco urbano. El resto de motivos son meramente anecdóticos, aunque destacan en cierta medida aquellos relacionados con las compras, sanidad o visitas familiares. A parte de los motivos obligados, el resto siguen una dinámica concreta que es interesante resaltar (Figuras 47 y 48): se observa en primer lugar que las actividades relacionadas con las compras se suelen realizar en mayor medida por la mañana que por la tarde, siendo su punto álgido entre las 9h y las 13h (las tardes suelen aprovecharse más para llevar a cabo actividades de esparcimiento o visitas familiares).

Comparando los aforos de tráfico relativos a las campañas de julio y octubre, queda patente un claro incremento de vehículos en la red. Tras el periodo vacacional anterior, dicho aumento de flujo guarda una relación evidente con la vuelta al trabajo y el inicio del nuevo curso académico a todos los niveles (Figuras 56 y 58). Esta tendencia urbana provoca problemas de congestión en intersecciones que anteriormente no sufrían dicho fenómeno. Así, se identifican en la red como tramos conflictivos aquellos pertenecientes a la avenida Reina Sofía que conectan con dichas intersecciones, junto al tramo correspondiente al puente Lusitania. Asimismo, se detectan tramos cuya capacidad aún no se ve superada pero que comienza a ser elevada (entre el 80-90%), como es el caso de los accesos de la avenida de Portugal a la intersección 2.4 o la avenida de Cáceres a la intersección 2.9. Dichos tramos son coincidentes en gran medida con aquellos problemáticos identificados en el servicio de autobús urbano (salvo la barriada de San Juan y avenida de Las Américas por la extremada estrechez del viario y la barriada de la Zona Sur y barriada de La Corchera por el elevado grado de rodeo de los itinerarios seguidos por las líneas, todo ello conforme a las Figuras 98 y 71).

Sin embargo, la existencia de algunos accesos que sobrepasan su capacidad máxima de absorción de flujo sin provocar congestión vehicular, no modifica el comportamiento seguido por los usuarios del sistema a la hora de elegir sus rutas óptimas en los desplazamientos (Figuras 60, 61 y 62). La explicación a este fenómeno es el elevado grado de orientación del tráfico motorizado existente en la ciudad, junto al hecho de que la propia localización de dichos puntos parcialmente congestionados (Figuras 58 y 71), impide realizar rutas alternativas que los eviten (un claro ejemplo es el tramo del puente Lusitania). Además, la diferencia de costes temporales obtenida en el estudio comparando el viaje en FL con respecto al de HP nunca excede de los 2 minutos, con diferencias de velocidades medias menores a 24 km/h (Figuras 63 a 70). Esta diferencia temporal es más que asumible por los usuarios de la red.

Finalmente, en lo relativo al modelo de asignación propuesto en esta investigación, se extrae como primera conclusión que la metodología propuesta permite obtener información acerca del volumen de desplazamientos que atraviesan cada tramo, junto a los orígenes y destinos de los mismos. Todo ello ofrece una idea clara a cerca de la dinámica general de movilidad existente en una ciudad de este tipo y facilita las herramientas necesarias para analizar cualitativamente al menos los posibles cambios en dicha dinámica.

Viendo los resultados extraídos tras la ejecución de dicho modelo (Figuras 106, 107 y Tabla 27), se puede afirmar que efectivamente, la desagregación de la población a nivel de portales mejora el grado de exactitud en la predicción de flujos y rutas óptimas. Esta mejora resulta muy interesante porque la mayor parte de modelos similares a este utilizan como orígenes y destinos los centroides de las zonas en las que se suele dividir una ciudad. Con la desagregación por portal se evita además el paso de estimar los costes intrazonales de los desplazamientos. Además, el ajuste de las predicciones con respecto a los aforos reales es más intuitivo y ofrece la posibilidad de detectar anomalías relacionadas con la localización geográfica.

La asignación planteada con este modelo ofrece un ajuste muy elevado (Tabla 27), debido a que los puntos problemáticos existentes en la red solo lo son a determinadas horas del día y se localizan en zonas donde no es posible buscar alternativas que los eviten, sin aumentar considerablemente el coste de desplazamiento. Por este motivo, los hábitos de comportamiento de los usuarios no se ven afectados y continúan eligiendo rutas óptimas en función de la distancia y la velocidad máxima permitida.

Por otro lado, el hecho de utilizar entornos SIG genéricos agiliza, por un lado, ciertos pasos en la modelización como el cálculo de las rutas óptimas y por otro, permite comparar las predicciones del modelo con información externa al mismo, mejorando la toma de decisiones al respecto. Además, utilizar este tipo de aplicaciones genéricas reduce enormemente los costes de software y humanos. Con respecto a los primeros, es necesario disponer de personal cualificado que sea capaz de interpretar coherentemente los resultados obtenidos con software específicos como TransCAD, Visum, EMM2 o SUMO. Por otro lado y en relación a los costes económicos de las licencias, cabe destacar que las aplicaciones anteriores, propias de ingeniería del tráfico, requieren paquetes concretos muy costosos para disponer de las funcionalidades necesarias con las que modelizar este aspecto de la realidad.

En resumen, se puede afirmar que el análisis de determinadas variables como la intensidad de vehículos, el sexo y la edad de los usuarios, la localización de áreas residenciales y zonas de atracción poblacional, la demanda de modos o los motivos de desplazamiento permiten diagnosticar la movilidad de una ciudad de tamaño medio de un modo claro y real. Con respecto a la intensidad de vehículos, su análisis proporciona información clave para diseñar un modelo de asignación con el que entender las dinámicas seguidas por los usuarios del sistema y predecir cambios.

El hecho de que en Mérida exista una repartición de la demanda muy desigual entre dos únicos modos de transporte (el vehículo privado, seguido muy de lejos por el autobús urbano), con ocupaciones bajo mínimos (1,2 viajeros por vehículo privado y apenas 10 viajeros por autobús) y con IMD en la ciudad cercanas a los 26.600 viajes, son algunas de las conclusiones más destacadas de este estudio.

Por otro lado, las predicciones aportadas por el modelo de asignación propuesto, basado en un entorno SIG genérico, ofrece un nivel de exactitud elevado. La diferencia entre los aforos y el cálculo obtenido con el modelo en el punto más desfavorable es de 30 viajes y la diferencia promedio es del 5%. Aun así hay, que ser cautos y dejar claro que dicha propuesta funciona bien en ciudades medias con características similares a Mérida: baja o nula congestión vehicular en la red y un elevado grado de orientación circulatoria en la misma. Para aquellos otros casos más complejos será necesario aplicar modelos que sí consideren restricciones de capacidad.

Todas estas indicaciones dan respuesta a las cuestiones de investigación planteadas inicialmente y con ellas, a los objetivos de la misma.

8. PROPUESTAS

Una vez analizados todos los resultados de la investigación y extraídas las conclusiones más destacadas, se muestra a continuación algunas propuestas de mejora, con vistas a fomentar una repartición modal más equitativa a favor del transporte público y hacer más eficiente la movilidad en la ciudad. Además, se exponen algunas líneas de investigación futuras a considerar.

En primer lugar, es necesario fomentar una mayor coordinación entre la planificación y gestión urbana y la movilidad. Es una práctica habitual hoy día encontrarse con zonas de nueva construcción que apenas tienen en cuenta el acceso del transporte público o nuevos servicios que se construyen sin considerar la movilidad de los usuarios potencialmente atraídos. Esto conlleva a un crecimiento cada vez mayor de las distancias entre zonas residenciales y centro urbano, lo que fomenta indirectamente el uso del vehículo privado en detrimento del transporte colectivo o modos sostenibles. Asimismo, se detecta que gran parte del viario está reservado a estos modos privados y no tanto a modos colectivos o no motorizados, por lo que se incita indirectamente al uso del automóvil. En tercer lugar, se detectan equipamientos en la ciudad que han sido construidos sin considerar la movilidad de los usuarios atractores. Teniendo en cuenta este detalle y que gran parte de los residentes acceden al equipamiento en vehículo privado (además con bajas ocupaciones), apenas se observan alternativas reales en su entorno inmediato (con lo que se detectan continuos problemas de estacionamiento en centros como los educativos o administrativos, por ejemplo). Por todo ello, se entiende que esta relación entre urbanismo y movilidad ha de ser mucho más estrecha que la actual y deben considerarse en mayor medida las tendencias actuales en materia de sostenibilidad y eficiencia de la movilidad. De este modo, se propone implementar en el próximo Plan General Municipal de Mérida las principales indicaciones subrayadas en el documento de líneas estratégicas, objetivos y actuaciones del PMUS, obligando a los técnicos a considerar las características de movilidad en la urbanización y dando en la medida de lo posible más peso a los modos colectivos y no motorizados del que se les concede en la planificación actual.

Una de las primeras propuestas nace de la necesidad de optimizar la oferta de infraestructuras existentes, para ofrecer a los usuarios una movilidad más eficiente. Tras el análisis de tráfico realizado, se observa que de una parte los trabajadores de la administración y en general del sector servicios que están ubicados en el casco urbano central, y de otra la población que accede a los diferentes centros educativos, tienen en muchos casos horarios comunes. Esto se resume en un elevado volumen de tráfico en la red a dichas horas y por tanto, problemas de congestión. Visto que la mayor parte de estos establecimientos tienen un horario común, se cree necesario considerar la idea de escalonar horarios de entrada y salida a estos centros, considerando por un lado a los centros laborales del sector servicios que puedan coincidir con los educativos y por otro a estos últimos. Esta medida agilizaría el tráfico por eliminación de flujo coincidente en la red, ajustando la oferta a la demanda actual. Dicha medida no tiene por qué ser problemática para nadie, ya que aparte de buscar el consenso bastaría con adelantar o atrasar 15-30 minutos la entrada y salida de los trabajadores con respecto a los alumnos que acceden habitualmente a los centros educativos o viceversa.

Otra batería de propuestas muy interesante va encaminada a incentivar el reparto modal entre el autobús urbano y el vehículo privado, en favor del primero. Con una repartición modal más equitativa se reduce el flujo de vehículos privados en la red, lo que conlleva una reducción importante de zonas congestionadas (reducción de intersecciones con accesos por encima de su capacidad). Esto hace más eficiente el desplazamiento por la red y elimina la escasa demora existente en tiempo entre la HP y el FL. Dichas propuestas básicamente se limitan a la reducción de paradas con bajo volumen de movimientos al día (siempre que existan paradas a menos de 10 minutos), la eliminación de recorridos del servicio que atraviesen vías de Nivel 4 e incluso 3 y la adecuación de horarios de entrada y salida de grandes equipamientos (centros educativos y administrativos). Esto aumentaría la frecuencia de paso, la fiabilidad y la ocupación del servicio (contribuyendo a reducir un buen número de automóviles de la red, a tenor de la baja ocupación detectada por vehículo), al mismo tiempo que se les da a los habitantes de la ciudad la posibilidad real de utilizar el autobús para llevar a cabo sus movimientos obligados.

Finalmente, tras los resultados extraídos con la modelización y la existencia de vías alternativas para desplazarse de oeste a este de la ciudad sin atravesar el casco urbano central, se cree conveniente proponer el cierre al tráfico privado de aquellas vías que atraviesan dicha área. De esta forma, el acceso se restringiría a vehículos destinados a carga/descarga, residentes y servicios públicos (emergencias y autobús urbano). Con esta iniciativa se busca crear una zona en la que el peatón sea el dueño del espacio urbano y pueda disfrutarlo con total seguridad. Además, en este espacio se enclavan los principales equipamientos ofertados en la ciudad, por lo que estas restricciones supondrían una mejora del servicio ofrecido a los clientes potenciales. Todo ello debe ir acompañado de un Plan Director de Ordenación del Tráfico que regule los accesos, junto a actuaciones en las infraestructuras que favorezcan la convivencia entre peatones y ciclistas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (2007): *Real Decreto 1.071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial de España*, Madrid.
- Ainstein, L. (2001): “Estructura urbana y accesibilidad social a servicios de transporte: el caso del aglomerado Buenos Aires”. *VI Congreso Internacional del CLAD*, 15p.
- Antón, F. J. (2011): “Los transportes y la vertebración socio-territorial”. *V Congreso de Geografía de los Servicios*, Las Palmas de Gran Canaria.
- Antón, F. J. (2013): “Redes de transporte, articulación territorial y desarrollo regional”. *Revista de Estudios Andaluces*, 30, pp.27-47.
- AA.VV. (2012): *Movilidad sostenible en ciudades medias*. Edición IERU, Coimbra.
- Bañobre, E. y Romero, A. (2009): “Los BRT en corredores segregados como sistema óptimo de transporte urbano”. *Congreso Nacional de la Asociación Europea de Dirección y Economía de Empresa*. Escuela Superior de Gestión Comercial y Marketing, 20p.
- Ben-Akiva, M. E., Gao, S., Wei, Z. and Wen, Y. (2012): “A dynamic traffic assignment model for highly congested urban networks”. *Transportation Research Part C*, 24, pp.62-82.
- Biehl, D. (1986): *The contribution of infrastructure to regional development*. Final Report. Ed. Comisión de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- Buzai, G. D. (2011): “Geografía y sistemas de información geográfica. Evolución teórico-metodológica hacia campos emergentes”. *XIII Encuentro de Geógrafos de América Latina, EGAL*, San José, Costa Rica.
- Cardozo, O. D., Gutiérrez Puebla, J. y García-Palomares, J. C. (2010): “Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple”. *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 10, pp.82-102.
- Cardozo, O. D., García-Palomares, J. C. and Gutiérrez Puebla, J. (2012): “Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level”. *Applied Geography*, 34, pp.548-558.
- Carrasco, A. y Clemente, V. (2011): “Movilidad sostenible en Alaquás, Valencia”. *IV Congreso de la Red Ciumed*, Mérida.
- Cascajo, R., Monzón, A. y Jordá, P. (2008): “Análisis de la movilidad metropolitana española en el quinquenio 2002-2006”. *VIII Congreso de Ingeniería del Transporte*, La Coruña.
- Cascetta, E. and Cantarella, G. E. (1993): “Modelling dynamics in transportation networks: state of the art and future developments”. *Simulation Practice and Theory*, 1, pp.65-91.
- Chen, S., Tan, J., Claramunt, C. and Ray, C. (2011): “Multi-scale and multi-modal GIS-T data model”. *Journal of Transport Geography*, 19, pp.147-161.
- Comisión de las Comunidades Europeas (1996): *Política futura de lucha contra el ruido. Libro verde de la Comisión Europea*, Bruselas.
- Comisión de las Comunidades Europeas (2006): *Libro blanco del transporte*. Bruselas.
- Comisión de las Comunidades Europeas (2007): *Directiva 34/CE de 14 de junio que modifica a la Directiva 70/157/CE del Consejo sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos de motor*, Bruselas.
- Comisión de las Comunidades Europeas (2007): *Libro verde. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*. Bruselas.

- Comisión de las Comunidades Europeas (2011): *Libro blanco. Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible*. Bruselas.
- Comisión de las Comunidades Europeas (2013): *Road Safety Vademecum: road safety trends, statistics and challenges in the EU 2011-2012*. Bruselas.
- Consejo Europeo (2007): *Reglamento 175 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la homologación de tipo de los vehículos a motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos*, Bruselas.
- Cortínez, V.H. y Domínguez, P.N. (2010): “Un modelo continuo anisótropo para el estudio del comportamiento del tráfico urbano congestionado”. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, vol. 29, pp.2.173-2.197.
- De Castillo, J. (1992): “Infraestructuras y desarrollo regional”. *III Congreso de Economía Regional de Castilla y León*, Segovia.
- De Castro, M. y Aloj, E. (2005): “Efectos sobre la salud humana producidos por la contaminación del tráfico. Perspectivas de educación ambiental en el transporte público para una movilidad sostenible”. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 5, pp.114-119.
- De Cea, J., Fernández, J. E. y Soto, A. (2003): “ESTRAUS: un modelo computacional para la solución de problemas de equilibrio oferta-demanda en redes multimodales de transporte urbano con múltiples clases de usuarios”. *Transportation Research Part B*, 37, pp.615-640.
- De Kassia, R. (2011): “Plano de movilidad do centro histórico de Paranaguá-Paraná-Brasil”. *IV Congreso de la Red Ciumed*, Mérida.
- Dombriz, M. A., López, M. E., Lamiquiz, P., Gamó, A., Constantino, R., Medina, B. y Sastre, J. (2008): *Libro verde del urbanismo y la movilidad*. Ed. Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Dombriz, M. A. (2009): “Urbanismo y movilidad: dos caras de la misma moneda”. *Ingeniería y Territorio*, 86, pp.4-9.
- Environmental System Research Institute, ESRI (2012). [Consulta: 20-05-2012]. Disponible en <http://www.esri.com>.
- European Metropolitan Transport Authorities (2012): *EMTA barometer of public transport in european metropolitan areas (2009)*, Madrid.
- European Commission Statistical, Eurostat (2012). [Consulta: 22-06-2012]. Disponible en <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>.
- Espluga, J., Cebollada, A. y Miralles-Guash, C. (2008): “Percepciones de la movilidad y participación ciudadana en la región metropolitana de Barcelona”. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 50, 157, pp.499-510.
- Eboli, L. and Mazzulla, G. (2011): “A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger’s point of view”. *Transport Policy*, 18, pp.172-181.
- Red de Ciudades Medias Europeas, CIUMED (2011). [Consulta: 25-04-2012]. Disponible en <http://www.ciumed.org>.
- Fariña, J. y Naredo, J. M. (2010): *Libro blanco de la sostenibilidad en el planeamiento urbanístico español*. Biblioteca CF+S, Madrid.
- Federación Española de Municipios y Provincias, FEMP (2011): *Implementación de los planes de movilidad urbana sostenible*, Madrid.
- Felicísimo, A. M. (1994): *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa Ediciones, Oviedo.

- Fernández, R. (2005): “Ciudades al borde del colapso. Nota sobre la insoportable insostenibilidad urbana”. *Perspectivas Urbanas*, 6, pp.1-9.
- Foot, P. J., Stuart, D. G. and Elmore-Yalch, R. (2001): “Exploring customer loyalty as a transit performance measure”. *Journal of Transportation Research Board*, 1.753, pp.93-101.
- Fundación MAPFRE (2012). [Consulta: 06-08-2012]. Disponible en <http://www.profesoresyseguridadvial.com/accidentes-de-traffic-en-europa>.
- García, D. L. (2008): *Actitudes hacia modos de transporte urbano: aspectos expresivos y afectivos*. Tesis Doctoral dirigida por Mercedes López Sáez. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- García-Palomares, J. C. y Gutiérrez Puebla, J. (2007): “Pautas de movilidad en el área metropolitana de Madrid”. *Cuadernos de Geografía*, 81/82, pp.7-30.
- García-Palomares, J. C. (2008): “Incidencia en la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante”. *Revista Eure*, 34, 101, pp.5-24.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez Puebla, J. and Latorre, M. (2012): “Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: a GIS approach”. *Applied Geography*, 35, pp.235-246.
- Gentile, G., Meschini, L. and Papola, N. (2007): “Spillback congestion in dynamic traffic assignment: a macroscopic flow model with time-varying bottlenecks”. *Transportation Research Part B*, 41, 10, pp.1.114-1.138.
- Gómez, A. (2005): *El estado del arte en la modelación de problemas de tránsito*. Monografía dirigida por Francisco Javier García O. Manizales, Universidad de Colombia.
- González, F. A. (2009): *Estimación de la demanda mediante modelos avanzados de distribución, utilizando técnicas econométricas y de programación matemática*. Tesis Doctoral dirigida por Ángel Ibeas Portilla y Luigi Dell’Oglio. Santander, Universidad de Cantabria.
- Gutiérrez Puebla, J. (1985): “El comportamiento espacial de la población en sus desplazamientos diarios”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 5, pp. 283-293.
- Gutiérrez Puebla, J. (1992): “Accesibilidad y descentralización en el espacio metropolitano madrileño”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 12, pp.325-331.
- Gutiérrez Puebla, J. (2000): “Accesibilidad peatonal a la red de metro de Madrid: efectos del Plan de Ampliación 1995-99”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20, pp.451-464.
- Gutiérrez Puebla, J. y García-Palomares, J. C. (2005): “Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 25, pp.331-351.
- Gutiérrez Puebla, J., Cardozo, O. D. y García-Palomares, J. C. (2008): “Modelos de demanda potencial de viajeros en redes de transporte público: aplicaciones en el metro de Madrid”. *IV Seminario de Ordenamiento Territorial, CIFOT*, vol. 1, núm. 4. Madrid.
- Gutiérrez Puebla, J., Cardozo, O. D. and García-Palomares, J. C. (2011): “Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression”. *Journal of Transport Geography*, 19, pp.1.081-1.092.
- Gutiérrez Gallego, J. A., Mora, J., Gómez, P. y Jaraíz, F. J. (2010): “Accesibilidad de la población a las aglomeraciones urbanas de la Península Ibérica”. *Finisterra*, 89, pp.107-118.

- Gutiérrez Gallego, J. A. Dir. y Pedraza, F. (2010): *Proyecto piloto municipal para la promoción de la movilidad sostenible de Mérida: Estudio del tráfico viario*. Ministerio de Fomento, Ref. 268/08. Inédito, Mérida.
- Gutiérrez Gallego, J. A. Dir. (2011): *Proyecto piloto municipal para la promoción de la movilidad sostenible de Mérida: Avance de conclusiones para el plan de movilidad urbana sostenible de Mérida*. Ministerio de Fomento, Ref. 268/08. Inédito, Mérida.
- Gutiérrez Gallego, J. A., Berrocal, R., Ruiz, E. E., Jaraíz, F. J. y Su-Jeong, J. (2014): “Análisis de la accesibilidad al autobús urbano de Mérida”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, AGE* (publicación aceptada para algún número de la revista en 2014).
- Gutiérrez Gallego, J. A., Ruiz, E. E., Jaraíz, F. J. y Pérez, J. M. (2013): “Diseño de un modelo de asignación de viajes con aplicaciones SIG para la gestión de planes de movilidad urbana sostenibles en ciudades medias”. *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 13, pp.1-21.
- Hernández, K. (2006): *Diseño e implementación de un modelo para apoyo de los planes de ordenamiento territorial en Colombia*. Trabajo de Grado en Maestría en Ingeniería Industrial dirigido por Jesús María Velázquez. Barranquilla, Universidad del Norte-Colombia.
- Knoblauch, R. L., Pietrucha, M. T. and Nitzburg M. (1996): “Field studies of pedestrian walking speed and start-up time”. *Transportation Research Part B*, 1.538, pp.27-38.
- Kuwahara, M. and Sullivan, E. C. (1987): “Estimating origin-destination matrices from roadside survey data”. *Transportation Research Part B*, vol. 21B, 3, pp.233-248.
- Lema, C. S. y Pedreira, L. P. (2009): “Un análisis de los modelos y métodos de optimización del tráfico urbano”. *XVII Jornadas ASEPUMA-V Encuentro Internacional de Profesores de Matemáticas para la Economía y la Empresa*, Burgos.
- Lotero, L. (2010): *Modelo matemático para la asignación de tráfico al sistema de transporte urbano aplicado al Valle de Aburrá*. Tesis Doctoral dirigida por Patricia Jaramillo Álvarez. Medellín, Universidad de Colombia.
- Ibeas, A. y Díaz, J. M. (2002): “Un modelo de operación del sistema de transporte público colectivo urbano en superficie considerando el tráfico en la ciudad”. *V Congreso de Ingeniería del Transporte*, Santander.
- Ibeas, A., González, F., Dell Olio, L. y Moura, J. L. (2007): *Manual de encuestas de movilidad (preferencias reveladas)*. Santander, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. [Consulta: 15-07-2012]. Disponible en <http://goo.gl/NN5O9>.
- Ibeas, A., González, F., González, M. J. y Dell Olio, L. (2008): “Análisis de la calidad en el transporte público: el caso de Santander”. *Fundación Movilidad*, pp.1-11.
- Instituto Nacional de Estadística, INE (2012): [Consulta: 18-07-2012]. Disponible en <http://www.ine.es>.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE (2006): *Guía práctica PMUS para la elaboración e implementación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Madrid.
- Juran, I., Prashker, J. N., Bekhor, S. and Ishai, I. (2009): “A dynamic traffic assignment model for the assessment of moving bottlenecks”. *Transportation Research Part C*, 3, pp.240-258.

- La Caixa (2012): Anuario económico de España [Consulta: 08-10-2012]. Disponible en <http://www.aunarieco.lacaixa.comunicacions.com>.
- Lai, W. T. and Chen, C. F. (2011): "Behavioral intentions of public transit passengers.- The roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement". *Transport Policy*, 18, pp.318-325.
- Lalana, J. L. (2010): "Los estudios de evaluación de la movilidad generada para actuaciones urbanísticas: metodología, estructura y contenidos". *Taller de Conferencias SUMOBIS. Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Castillo de los Templarios de Ponferrada, León.
- Lalana, J. L. (2011): "El paisaje urbano histórico: modas, paradigmas y olvidos". *Ciudades: Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, 14, pp.15-38.
- Latorre, M., Gutiérrez Puebla, J. y García-Palomares, J. C. (2012): "Distribución espacial de estaciones de bicicletas públicas mediante modelos de localización óptima". *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, Madrid.
- Long, J., Gao, Z. and Szeto, W. Y. (2011): "Discretised link travel time models based on cumulative flows: formulations and properties". *Transportation Research Part B*, 45, pp.232-254.
- López, G. A. (2008): "Geografía y ciudades medias en España". *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, núm. extra 12, 270.
- López, M. E. y La Paix, L. (2008): "Los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS) desde una perspectiva europea". *II Congreso Internacional de Movilidad de Ciudadanos de Madrid, CIMO*, Madrid.
- Lotero, L. (2010): *Modelo matemático para la asignación de tráfico al sistema de transporte urbano aplicado al Valle de Aburrá*. Tesis Doctoral dirigida por Patricia Jaramillo Álvarez. Medellín, Universidad de Colombia.
- Matas, A. (1991): "La demanda de transporte urbano: un análisis de las elasticidades y valoraciones del tiempo". *Investigaciones Económicas*, 15, pp.249-267.
- Mejías, M. A., Herrera, N., Vera, J. R., y Pérez, M. (2010): "Diseño de un modelo de datos de redes para el transporte multimodal". En Ojeda, J., Pita, M. F., y Vallejo, I. (Ed.) *Tecnologías de la información geográfica: la información geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Messina, V., Spinetto, M. V., Aguirre, J. C., Romero, C. y De Oto, L. (2011): "Gestión de la calidad del aire por impacto del tránsito vehicular en un municipio de la región metropolitana de Buenos Aires". *Revista Acta Nova*, 3, 2. Disponible en <http://goo.gl/aIqA0>.
- Ministerio de Fomento (2007): *Encuesta de movilidad de las personas residentes en España (MOVILIA 2006/2007)*, Madrid. Disponible en <http://goo.gl/boHb5>.
- Ministerio de Fomento (2008): *Atlas digital de las áreas urbanas*, Madrid. Disponible en <http://atlas.vivienda.es>.
- Miralles-Guasch, C. y Cebollada, A. (2009): "Movilidad cotidiana y sostenibilidad, una interpretación desde la geografía humana". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, AGE*, 50, pp.193-216.
- Monzón, A. (2005): "Gestión del transporte metropolitano". *Gobernar las metrópolis*, 519, 75, pp.405-434.
- Mora, J., Nogales, J. M., Gutiérrez Gallego, J. A. y Cortés, T. (2003): "Aplicación de técnicas SIG en la planificación del transporte por carretera en Extremadura (España)". *Finisterra*, 75, pp.67-83.

- Muñoz, F. (2009): *El tiempo del territorio, los territorios del tiempo*. Nogué y Romero, Ed. Las Otras Geografías. Colección Crónica, Valencia.
- Muñoz-Raskin, R. (2010): "Walking accessibility to bus rapid transit: does it affect property values? The case of Bogotá, Colombia". *Transport Policy*, 17, pp.72-84.
- Nie, Y. M. (2010): "A cell-based Merchant-Nemhauser model for the system optimum dynamic traffic assignment problem". *Transportation Research Part B*, 45, 2, pp.329-342.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España, OSE (2007): *Calidad del aire en las ciudades. Clave de sostenibilidad urbana*. Ed. OSE, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid.
- Ortúzar, J. de D. y Román, C. (2003): "El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte". *Revista Eure*, 88, pp.149-171.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L. (2008): *Modelos de transporte*. PubliCan, Ed. Universidad de Cantabria, Santander.
- Osses, M., Dursbeck, F. y Corvalán, R. (2001): "Modelo de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por transporte urbano: el caso de Santiago de Chile". *Ciencia Abierta*, 15. Disponible en <http://cabierta.uchile.cl/revista/15/articulos/pdf/paper3.pdf>.
- Peer, S., Koopmans, C. C. and Verhoef, E. T. (2012): "Prediction of travel time variability for cost-benefit analysis". *Transportation Research Part A*, 46, pp.79-90.
- Peeta, S. and Ziliaskopoulos, A. K. (2001): "Foundations of dynamic traffic assignment: the past, the present and the future". *Networks and Spatial Economics*, 1, pp.233-265.
- Pérez, J. A., Nogales, J. M. y Gutiérrez Gallego, J. A. (2001): "Análisis de accesibilidad a los centros de actividad económica de Extremadura mediante técnicas SIG". *Mapping Interactivo*, 74, pp.22-32.
- Pompilio, J. J. (2006): "Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros". *Revista de Economía y Estadística, Cuarta Época*, vol. 44, 2, pp.81-123.
- Pozueta, J. y Gurovich, A. (2007): *Alternativas al modelo dominante de ciudad dispersa, zonificada y de baja densidad: el caso de los corredores fluviales y la interfaz urbana rural de Madrid y Santiago de Chile*. Ed. Agencia Española de Cooperación Internacional, Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación de España, proyecto A/4930/06, Madrid.
- Ran, B., Boyce, D. E., and LeBlanc, L. (1992): "A new class of instantaneous dynamic user-optimal traffic assignment models". *Operations Research*, 41, 1, pp.192-202.
- Rozas, F. (2010): "Movilidad urbana sostenible de Ponferrada". *Taller de Conferencias SUMOBIS. Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Castillo de los Templarios de Ponferrada, León.
- Rueda, S. (2002): *Modelos de ordenación del territorio más sostenibles*. Ed. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, Barcelona.
- Rueda, S. (2011): "Las supermanzanas: reinventando el espacio público, reinventando la ciudad". *II Congreso Internacional Arte y Entorno. Ciudades Globales, Espacios Locales*. Valencia.
- Sánchez, E. y Sánchez, B. (2002): "Gestión territorial viaria e impulso de la sostenibilidad". *Revista de Obras Públicas*, 3425, pp.173-180.

- Sánchez, O. y Romero, J. (2010): “Factores de calidad del servicio en el transporte público de pasajeros: estudio de caso de la ciudad de Toluca, México”. *Economía, Sociedad y Territorio*, 32, pp.49-80.
- Scott, D. M. y He, S. Y. (2012): “Modeling constrained destination choice for shopping: a GIS-based, time-geographic approach”. *Journal of Transport Geography*, 23, pp.60-71.
- Seguí, J. M. y Martínez, M. R. (2003): “Pluralidad de métodos y renovación conceptual en la geografía de los transportes del s. XXI”. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 7, pp.133-156.
- Seguí, J. M. y Martínez, M. R. (2004): “Los sistemas inteligentes de transporte y sus efectos en la movilidad urbana e interurbana”. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, nº extra 8, 170.
- Servicio Extremeño Público de Empleo, SEXPE (2013): [Consulta: 18-08-2013]. Disponible en <http://observatorio.gobex.es>.
- Simões, N. R., Do Nascimento, P. H., Ferreira, A. L., An-Lin, C., De Paula, U. and Amador, L. A. (2011): “A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy”. *Clinics*, 66, 4, pp.681-690.
- Sundaram, S., Koutsopoulos, H. N., Ben-Akiva, M., Antoniou, C., and Balakrishna, R. (2011): “Simulation-based dynamic traffic assignment for short-term planning applications”. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19, pp.450-462.
- Szeto, W. Y. y Lo, H. K. (2006): “Dynamic traffic assignment: properties and extensions”. *Transportmetrica*, vol. 2, 1, pp.31-52.
- Terán, F. (1999): *Historia del urbanismo en España III. Siglos XIX y XX*. Ed. Cátedra, Madrid.
- Toro, D., Alvis, J. and Arellano, W. (2004): “Public transportation in Cartagena: what factors determine user preferences?”. *Economía y Región*, 3, pp.7-54.
- Thomson, I. (2002): *Impacto de las tendencias sociales, económicas y tecnológicas sobre el transporte público: una investigación preliminar en ciudades de América Latina*. Ed. Cepal Eclac, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Transportation Research Board, TRB (2000): *High capacity manual, HCM*. Washington, D.C.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2012): *World Urbanization Prospects: 2011 Revision*. CD-ROM Edition.
- Vassallo, J. M. y Pérez, P. (2008): “Equidad y eficiencia del transporte público en Madrid”. *Revista de Obras Públicas*, 155 (3494), pp.23-40.
- Wardrop, J. G. (1952): “Some theoretical aspects of road traffic research”. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers Part II*, 1, pp.325-378.
- Watling, D., Milne, D. and Clark, S. (2012): “Network impacts of a road capacity reduction: empirical analysis and model predictions”. *Transportation Research Part A*, 46, pp.167-189.
- Wen-Long, J. (2007): “A dynamical system model of the traffic assignment problem”. *Transportation Research Part B*, 41, pp.32-48.
- World Commission on Environment and Development (1987): *Our common future*. Nairobi, Presentation of the report of the world commission on environment and development to unep’s 14th governing council session. Informe Brundtland, 16p.
- Zargari, S. A., Araghi, M. and Mohammadian, K. (2009): “An application of combined model for Tehran metropolitan area incorporating captive travel behavior”. *American Journal of Applied Sciences*, 6, 1, pp.64-71.

10. ANEXOS

10.1 Plantilla de aforado en intersecciones

		AFORO INTERSECCIÓN DE ____ A ____ HORAS			CATEG. TRAMO: TRAMO: INTERSEC:	EQUIPO: FECHA:	HOJA:
	MOVIMIENTO ____	MOVIMIENTO ____	MOVIMIENTO ____	MOVIMIENTO ____	MOVIMIENTO ____		
TURISMOS							
CAMIONES LIGEROS FURGONES							
CAMIONES REMOLQUES							
BUS							
MOTOS							
BICIS							
OBSERVACIONES:							

10.2 Formulario de aforo en el punto de referencia principal

The image shows a software interface for recording traffic data. On the left is a list of vehicle types: Autobuses, Bicicletas, Camiones con remolq, Camiones y furgoneta, Motos, and Turismo (which is highlighted). Above this list is a dropdown menu currently showing 'Turismo'. To the right of the list are several input fields: 'Equipo' with value '2', 'ID aforo' with value '15182', 'categoria tramo' with value '3', 'Fecha_hora' with value '06/07/2009 18:22:32', 'Tramo' with value '0', 'Estación' with value '1', and 'Sentido' with value 'centro-puente'. A large button labeled 'nuevo registro' is positioned below the input fields. At the bottom are two smaller buttons: 'anterior' and 'siguiente'.

La toma de datos se realiza a través de un formulario de Access, con el que se guarda automáticamente toda la información relativa a cada vehículo junto al equipo, fecha y hora de toma. También se almacena el sentido de circulación.

10.3 Plantilla de aforado en vehículo flotante

CÁLCULO DE VELOCIDADES DE RECORRIDO ITINERARIO N° 1. FLUJO LIBRE									
ESTACIÓN	LONGITUD (metros)	IDA		VUELTA		IDA		VUELTA	
		TIEMPO (seg.)	VELOCIDAD OBSERVADA (km/h)						
Gasolinera "Sierra Carija"	----	----	----	----	----	----	----	----	----
Charca	872,199								
Tanatorio	580,480								
Montealto	466,896								
Tres Fuentes	1.472,684								
Lidl	806,478								
Velada	244,701								
Verato	481,087								
Juan de Ávalos	269,734								
Foro	2.060,993								
Agricultura	241,725								
Ciudad Deportiva	123,474								
Constitución	270,870								
Hospital	298,076								
TVE	395,163								
Guardia Civil	563,620								
Autovía	211,392								

Se expone la plantilla utilizada para llevar a cabo el seguimiento de las velocidades de recorrido y los tiempos de paso en cada uno de los tres itinerarios. Dicha plantilla se repite tantas veces como sea necesario hasta completar 12 recorridos por sentido (24 vueltas completas al Itinerario).

10.4 Plantilla de entrevistas y ocupación en autobús urbano

INTRODUCCIÓN: Buenos días, estamos haciendo una encuesta de funcionamiento de las líneas de autobuses urbanos de Mérida para el Plan de Movilidad de la ciudad. ¿Sería tan amable de responder a un par de cuestiones?

1.- Datos personales:



Línea: Parada: Hora de Realización de la encuesta:

1. SEXO 1. Hombre 2. Mujer

2. EDAD

3. TIPO TARIFA 1. Billete ordinario 2. Billete especial 3. Bono bus 10 billetes
4. Bono-bus mensual 5. Bono-bus joven 6. Bono-bus mayor

4. ORIGEN: *¿De dónde viene usted?
(calle y n.º a ser posible)*

¿En qué parada se ha subido usted? (código)

¿Cómo ha llegado a la parada? (código)

1. Andando 2. En autobús (trasbordo) 3. Coche

¿Cuánto tiempo ha tardado en llegar a la parada? (minutos)

5. ESPERA EN PARADA: *¿Cuánto tiempo ha estado esperando en la parada? (minutos)*

6. CONOCIMIENTO *¿Sabe usted a qué hora pasan los autobuses?*

1. Sí, con exactitud 2. Más o menos 3. No lo sabe

7. DESTINO: *¿A dónde va usted?*

(calle y n.º a ser posible)

¿Cómo llegará hasta allí? (código)

1. Andando 2. En autobús (trasbordo) 3. Coche

¿Cuánto tiempo tardará en llegar allí? (minutos)

¿En qué parada se bajará usted? (código)



8. MOTIVO: *¿Qué va a hacer usted allí? ¿Cuál es el motivo del desplazamiento?*

1. Trabajo 2. Estudios 3. Administración Local 4. Administración Regional 5. Ocio, deporte, cultura
6. Turismo 7. Compras o Comercios 8. Familiar o personal 9. Salud 10. Otro (especificar) _____

9. USO: *¿Con qué frecuencia utiliza usted el autobús urbano?*

1. Diariamente 2. Con frecuencia 3. Sólo de vez en cuando 4. Casi nunca

9.2 *¿Es habitual de esta línea?*

1. Sí 2. No

9.3 MEJORA: (SOLO SI ES HABITUAL DE ESTA LÍNEA)

¿Qué cambiaría o mejoraría de esta línea?

10. SATISFACCIÓN: *¿Cómo le parece a usted que funciona el servicio de autobús urbano?*

1. Muy bien 2. Bien 3. Regular 4. Mal 5. Muy mal

Observaciones:

FECHA:														
HORA														
ENCUESTADOR:														
LÍNEA N.º:														
CÓDIGO	NOMBRE PARADA	LLEGADA	SUBEN				BAJAN				SALIDA	LONGITUD TRAMO	OBSERVACIONES	
1			H	M	Hred	Mred	H	M	Hred	Mred				
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														

Esta plantilla permite obtener la información relativa a la ocupación existente en cada vuelta del recorrido perteneciente a una línea de autobús urbano. Se distinguen subidas de bajadas en cada parada, junto al número de viajeros que van entre estas. Además, se anota el tiempo de llegada y salida del vehículo en cada parada de la línea y se distinguen los usuarios por sexo y tipo de movilidad.

10.5 Modelo de encuesta domiciliaria

ENCUESTA DOMICILIARIA PILOTO DEL PLAN DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE DE MÉRIDA										
CUESTIONARIO DE VIAJES										
1. INFORMACIÓN GENERAL										
Datos Personales		1.1. Edad: _____	1.2. Sexo: V <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>		1.3. Domicilio en Mérida (Barriada, Calle y Nº): _____					
1.4. Nivel de renta individual (€/mes): < 600 <input type="checkbox"/> 600-1.200 <input type="checkbox"/> 1.200-2.500 <input type="checkbox"/> > 2.500 <input type="checkbox"/>		1.5. Plaza de Garaje: Sí <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		1.6. Número de vehículos en el hogar: _____						
				1.7. Tipo de Vehículo: (marcar varios si a lugar)						
				<input type="checkbox"/> Bicicleta		<input type="checkbox"/> Turismo				
				<input type="checkbox"/> Motocicleta		<input type="checkbox"/> Furgoneta				
2. INFORMACIÓN SOBRE LOS DESPLAZAMIENTOS O VIAJES REALIZADOS A LO LARGO DE UN DÍA LABORAL										
Nº ÓRDEN DEL VIAJE	ORIGEN Y DESTINO DEL VIAJE		HORARIO APROXIMADO		MOTIVO DEL VIAJE (marcar con X)			MODO DE TRANSPORTE UTILIZADO (marcar con X)		
	LUGAR DE SALIDA	LUGAR DE DESTINO	ENTRADA	SALIDA	1. REGRESO AL HOGAR 2. TRABAJO 3. GESTIONES POR TRABAJO 4. ESTUDIOS	5. COMPRAS 6. SANIDAD 7. ASUNTOS PERSONALES 8. OCIO	1. A PIE 2. BICICLETA 3. MOTO 4. AUTOMÓVIL (CONDUCIENDO)	5. AUTOMÓVIL (ACOMPAÑANTE) 6. AUTOBÚS URBANO 7. AUTOBÚS INTERURBANO 8. TREN		
1º	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	_____	_____	1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>		1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>			
2º	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	_____	_____	1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>		1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>			
3º	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	_____	_____	1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>		1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>			
4º	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	_____	_____	1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>		1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>			
5º	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	Localidad:..... Centro/Barriada:..... C/:..... Nº:.....	_____	_____	1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>		1. <input type="checkbox"/> 2. <input type="checkbox"/> 3. <input type="checkbox"/> 4. <input type="checkbox"/> 5. <input type="checkbox"/> 6. <input type="checkbox"/> 7. <input type="checkbox"/> 8. <input type="checkbox"/>			

10.6 Encuestas de interceptación por pantalla

ENCUESTA INTERCEPTACIÓN

1. Localización del Punto de Encuesta:

2. Edad:

3. Sexo: H M

4. Hora:

5. Desplazamiento:

5.1. ORIGEN Equipamiento, Barriada o Localidad

5.2. DESTINO Equipamiento, Barriada o Localidad

6. Motivo:

1. Casa

2. Trabajo

3. Gestiones por trabajo

4. Estudios

5. Compras

6. Sanidad

7. Asuntos personales

8. Ocio

7. Ocupación del vehículo:

Solo Conductor

Conductor + 1

Conductor + 2

Conductor + 3

Conductor + 4

Conductor +5 o más

8. Modo de desplazamiento:

1. A pie

2. Bicicleta

3. Moto

4. Automóvil (con)

5. Automóvil (ac)

6. Bus Urbano

7. Bus Interurbano

8. Tren

9. Camiones y Furgonetas

10. Camiones con remolque

10.7 Función R para calcular puntos medios de cada tramo

Algoritmo de generación de puntos medios en cada tramo de la red para la obtención del número de rutas

```
“require(shapefiles)
#Leer las rutas y los viales
r <- read.shapefile("C:/leershapeR/r_equ_pex")
v <- read.shapefile("C:/leershapeR/vial_vehPrivado")

# Número de objetos que hay en cada tema: rutas y viales
nr<-dim(r$shx$index)[1]
nv<-dim(v$shx$index)[1]

# Rutas que pasan por el punto central de un tramo de vía
nrv<-array(0,dim=c(0,3))
for (i in 1:nv)
{
n<- as.integer((v$shp$shp[[i]]$num.points)/2)# Calcular el punto medio de los dos
puntos medios de cada tramo
pmvx<-as.integer(v$shp$shp[[i]]$points[[n,1]]+v$shp$shp[[i]]$points[[n+1,1]])/2
pmvy<-as.integer(v$shp$shp[[i]]$points[[n,2]]+v$shp$shp[[i]]$points[[n+1,2]])/2
for (j in 1:nr)
{
cr<-r$shp$shp[[j]]$box
if (pmvx>=cr[1]&& pmvy>=cr[2]&& pmvx<=cr[3]&& pmvy<=cr[4])
{
np<-r$shp$shp[[j]]$num.points
for (p in 1:(np-1))
{
if (pmvx == as.integer(r$shp$shp[[j]]$points[p+1,1]+
r$shp$shp[[j]]$points[p,1])/2&&
pmvy== as.integer(r$shp$shp[[j]]$points[p+1,2]+
r$shp$shp[[j]]$points[p,2])/2)
{
nrv <- rbind(nrv,
c(v$dbf$dbf$LINK_ID[[i]],r$dbf$dbf$FACILITYRA[[j]],r$dbf$dbf$INCIDENTID[[j]
]))
break
}
}
}
}
}

write.table(nrv, "C:/leershapeR/r_equ_pex.txt”)”
```