

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

DISEÑO DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN DE VIAJES CON APLICACIONES S.I.G. PARA LA GESTIÓN DE PLANES DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLES EN CIUDADES MEDIAS

GUTIÉRREZ GALLEGU, J.A.^{1*}, RUIZ LABRADOR, E.E.^{2*}, JARAÍZ CABANILLAS, F.J.^{3**} y
PÉREZ PINTOR, J.M.^{4*}

*Dpto. de Expresión Gráfica, Escuela Politécnica de Cáceres

**Dpto. de Arte y Ciencias del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras de Cáceres
Avda. de la Universidad, s/n, España

¹jagutier@unex.es, ²eruizl@unex.es, ³jfjaraiz@unex.es, ⁴jimperpin@unex.es

RESUMEN

En este estudio se ofrece una metodología que sirve para diseñar modelos de transporte con los que gestionar planes de movilidad urbana sostenibles en ciudades de tamaño medio. Lo singular de este diseño radica en utilizar aplicaciones S.I.G., datos desagregados e identificaciones de orígenes y destinos de los viajes en cada tramo de la red. Los objetivos son: obtener el volumen, origen y destino de desplazamientos y predecir cambios en la dinámica de la movilidad urbana.

La metodología empleada se reduce a un aforo de tráfico en campo, seguido de encuestas domiciliarias (ajuste y expansión de desplazamientos con la pirámide poblacional), realizadas en los hogares emeritenses, y generación/asignación de rutas óptimas mediante aplicaciones S.I.G., tomando como ejemplo la movilidad urbana en vehículo privado para el periodo de hora punta, los resultados extraídos muestran un elevado grado de ajuste entre las predicciones y las observaciones.

Palabras clave: análisis de redes, matriz origen-destino (O/D), Mérida, modelos de transporte, S.I.G.

**DESIGN A TRIP ASSIGNMENT MODEL WITH G.I.S. APLICATIONS TO MANAGE
SUSTAINABLE URBAN MOBILITY PLANS FOR MIDDLE CITIES.**

ABSTRACT

This paper presents a methodology to design a dynamic transport model and to manage information obtained from sustainable urban mobility plans, especially relating to medium-sized cities. The distinction of this model design is to treat the data at the disaggregated level as using geographic information system (GIS) applications. The objective of the methodology is to obtain the volume of the displacement, to know each checkpoint, presenting the origin and destinations of each shift, and to be able to predict changes in the urban mobility dynamics.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

The methodology is made up of a traffic capacity examination, a household survey (adjustment and expansion of travel, using the population pyramid), and GIS applications to generate the optimal routes. Taking the urban mobility in private cars during a peak hour, the results present a high degree adjustment between predictions and real data.

Keywords: network analysis, origin-destination matrix, Mérida, transport models, G.I.S.

1. Introducción

Los modelos de transporte urbano son muy interesantes a la hora de predecir situaciones futuras y mejorar la toma de decisiones en lo que a la movilidad en una ciudad se refiere. En el estudio que se presenta, se ofrece una metodología tipo que sirva para diseñar modelos de transporte que ayuden a gestionar la información obtenida en los planes de movilidad urbana sostenible (en adelante PMUS), relativos a ciudades de tamaño medio.

Para desarrollar este modelo urbano de transporte, se han utilizado los datos del “Proyecto Piloto Municipal para la Promoción de la Movilidad Sostenible en Mérida” (en adelante PMUS de Mérida). Concretamente, aquellos datos extraídos del aforo de tráfico realizado en distintas campañas y durante el periodo de hora punta con un volumen de flujos mayor, comprendido entre la 13:45h y las 15:45h, junto con una muestra representativa de los desplazamientos habituales realizados por los residentes de la ciudad objeto de análisis en vehículo privado (por ser el modo de desplazamiento más problemático y utilizado en la ciudad, según datos extraídos del PMUS).

El marco de trabajo es la ciudad extremeña de Mérida. Ésta, se localiza en el centro-sur de la comunidad autónoma de Extremadura, al oeste de la Península Ibérica. La capital extremeña tiene una población de 56.885 habitantes (INE, 2011) y soporta un parque motorizado cercano a los 41.900 vehículos, de los cuales 28.200 son vehículos privados (datos del año 2010, del Anuario estadístico de La Caixa, 2011).

Junto a la relación población-vehículos hay que tener en cuenta las distintas barreras a la movilidad existentes en la ciudad: la primera la forman los ríos Guadiana, Albarregas y la infraestructura férrea que atraviesan la ciudad. Estas limitaciones la dividen de norte a sur y de este a oeste constriñendo los desplazamientos. Una segunda barrera la forma la propia red infraestructural. Mérida es una ciudad que conserva numerosos vestigios de época romana, visigoda y árabe (fue declarada por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad en 1993). Esto ha dado lugar a un entramado viario bastante irregular en algunas partes de la ciudad, lo que reduce la capacidad de soportar volúmenes de tráfico elevados. Una tercera barrera o limitación es que este núcleo atrae a un número de usuarios externos “extra”, que llegan por motivos burocráticos ya que es aquí donde se concentran todas las sedes principales de la administración regional (aparte de los servicios propios de la administración local).

Todas estas características particulares hacen que converjan multitud de visitantes (se estima que pueden llegar a la ciudad unos 10.000 diarios) y residentes, los que producen multitud de

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

desplazamientos concentrados en determinadas horas del día y que suelen provocar problemas de congestión vehicular, contaminación acústica o ambiental, entre otros.

Con el fin de predecir la dinámica de la movilidad urbana en ciudades de tamaño medio y mejorar la fluidez de los desplazamientos se ha diseñado una herramienta informática (modelo) que permite la inclusión de información derivada de los PMUS (como la caracterización de la población, las dinámicas de movilidad cotidiana, el servicio de transporte público, la oferta de estacionamientos, la contaminación acústica y ambiental existente, etc.) para, tras un proceso previo de análisis e interpretación, prever posibles cambios en las pautas de movilidad ante modificaciones (puntuales o permanentes) de la oferta infraestructural existente. A modo de ejemplo, se expone a continuación el diseño de este modelo de transporte en el que se representan los flujos en hora punta realizados exclusivamente en vehículo privado.

Entre las contribuciones que aporta este trabajo al diseño de los modelos de transporte en general destaca, en primer lugar, que el modelo presentado en este artículo se ha desarrollado totalmente en un entorno S.I.G. convencional (ArcGIS 10 apoyado en el gestor de base de datos Access). Esto no es algo habitual en este tipo de estudios y su bondad radica precisamente en que permite trabajar con información que relaciona simultáneamente la componente espacial de los datos geográficos con la atributiva, todo ello de un modo sencillo y eficiente. Además, su sencillez a la hora de trabajar con este tipo de aplicaciones y la reducción considerable de costes (humanos y económicos) hacen que este tipo de aplicaciones se erijan como herramientas muy a tener en cuenta en lo que a modelización urbana y seguimiento de PMUS se refiere.

2. Estado de la cuestión

Desde finales del siglo pasado hasta la actualidad, se vienen detectando distintas características en las ciudades europeas en general y por ende, en las de tamaño medio en particular (entre 20.000 y 150.000 habitantes, según fuentes como la red CIUMED, 2011), que dan como resultado un tipo de morfología urbana caracterizada por el término de “ciudad difusa” (Dombriz *et al.*, 2008). Entre estas características destacan la expansión en alza de los aprovechamientos urbanos en el territorio, alejándose del centro urbano primigenio; la descentralización de servicios, industria y residencia a los polos alejados del centro, asociada en buena medida a la ubicación de las principales vías de conexión con las infraestructuras de largo recorrido; y el aumento de la cantidad de flujos, a consecuencia de las características anteriores, destacando los desplazamientos por motivos “obligados” (Ortúzar y Willumsen, 2008).

Estas peculiaridades propias de la ciudad difusa, derivan en un cambio en el modo de desplazarse de los habitantes (García, 2008; Seguí y Martínez, 2004), caracterizado por un uso excesivo del vehículo privado, un aumento considerable de los desplazamientos (Pozueta y Gurovich, 2007) unido a ocupaciones cercanas a 1,2 usuarios/vehículo (Dombriz, 2009). Con estas características, los problemas de movilidad se incrementan de manera exponencial en las ciudades: congestión, contaminación acústica y ambiental, disminución de la seguridad o aumento de problemas de índole social (Fernández, 2005).

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Para reducir estos efectos negativos y buscar un tipo de movilidad más sostenible (IDAE, 2006), la Unión Europea lleva instando en los últimos 6 años a los agentes públicos nacionales y locales, a través del Libro Blanco del Transporte (CCE, 2006 y CCE, 2011) y del Libro Verde de la Movilidad Urbana (CCE, 2007) entre otros, a que apliquen una serie de medidas correctoras. Entre otras destacan el reparto de la demanda entre los distintos modos de transporte (destacando el incentivo a los modos públicos colectivos y la implantación de tarifas a los modos privados), la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y micropartículas emitidas por el parque motorizado (Consejo Europeo, 2007), la disminución de la contaminación acústica sufrida a diario por los residentes de dichos núcleos urbanos y fomentar el aumento de la equidad social en la movilidad en general, partiendo de que todos los usuarios tienen el mismo derecho a circular libremente y acceder a los distintos bienes urbanos sin importar su condición, estatus social o económico (Mora *et al.*, 2010). Por otra parte, estos bienes han de estar bien distribuidos en el territorio (Vassallo y Pérez de Villar, 2008) para favorecer una movilidad más eficiente a la par que sostenible (CCE, 2011).

Por consiguiente, teniendo en cuenta las pautas básicas abordadas anteriormente para mejorar la movilidad urbana en las ciudades medias, numerosos investigadores afrontan el diseño de diversos modelos de gestión del tráfico (como De Cea *et al.*, 2003, Gentile *et al.*, 2007 o Juran *et al.*, 2009 entre otros). Estos modelos, representan la parte de la realidad que más interesa al investigador idealizándola, para obtener resultados ajustados a lo que realmente se espera del problema en cuestión y ofrecer soluciones antes de que dicho problema se manifieste verdaderamente (De Cea y Fernández, 2003). Además, estos modelos tienen en cuenta los comportamientos de elección de los usuarios y los costes generalizados de los viajes (Ortúzar y Román, 2003).

Dentro de la gran variedad de modelos existentes, se ha optado tradicionalmente por los “matemáticos” a la hora de diseñar modelos de transporte (es decir, modelos que permiten gestionar el tráfico). Éstos, se caracterizan por la representación de la realidad mediante expresiones matemáticas y han cobrado mucha importancia en los últimos cuarenta años (Loterio y Jaramillo, 2010). Aquellos modelos matemáticos utilizados para analizar el tráfico reciben el nombre de “modelos de planificación del transporte”.

Los modelos de planificación del transporte se sustentan en una cartografía inicial que soporta toda la información alfanumérica. 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 una ciudad; 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). Estos modelos tradicionalmente han seguido cuatro etapas (Ortúzar y Willumsen, 2008): 1) *generación*: en la que se identifican el número de viajes que se pueden generar para cada una de las zonas en las que se divide el área de estudio; 2) *distribución zonal*: siendo el objetivo principal la distribución de viajes entre las distintas zonas objeto de análisis (determinación de zonas origen/destino y número de viajes entre ambas); 3) *distribución modal*: se distribuyen el total de viajes que se producen entre las zonas analizadas por modo de transporte utilizado; y 4) *asignación*: se representa la repartición del total de flujos entre toda la red viaria del área de estudio, teniendo en cuenta las características de dicha red.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Los modelos de planificación del transporte representan situaciones reales relativas a una o varias de estas etapas clásicas descritas (modelos parciales o generales). Sin embargo, aunque para desarrollar un modelo de transporte se suelen tener en cuenta estas etapas, en la actualidad comienzan a verse avances en la modelización que buscan la unión de dos o tres de ellas en una sola, mediante la generación de una única función objetivo (Zargari *et al.*, 2009).

Existen diversos métodos de clasificación de los modelos de transporte. Una de las más extendidas en la bibliografía, 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 que 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). 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 objeto de estudio: 1) analíticos, basados en la búsqueda de la optimización de una formulación matemática determinada para asignar flujos a una red, y 2) los modelos basados en la simulación, que tienen en cuenta experiencias de carga de flujos en la red reales y más prácticas (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).

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): 1) modelos macroscópicos: describen el tráfico con 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); 2) modelos mesoscópicos: suponen un nivel intermedio entre los modelos de gran detalle (microscópicos) y los que dan más peso a la dinámica general de la movilidad (macroscópicos); y 3) modelos microscópicos: ofrecen datos con mucho detalle sobre los desplazamientos realizados en la ciudad y se basan en reglas estocásticas (éstas se apoyan en la probabilidad que existe de que un individuo elija una ruta u otra en función de una serie de variables conocidas).

3. Materiales, datos y métodos

Los objetivos perseguidos en este artículo son: determinar el número de viajes que atraviesan cada tramo de vía para toda la red urbana objeto de estudio; conocer cuáles son los orígenes y destinos de cada ruta que atraviesa a dichos tramos, con el fin de identificar qué zonas de

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

la ciudad podrían verse afectadas ante variaciones puntuales de la oferta; y, poder predecir cambios en la movilidad urbana ante modificaciones en la red, por ejemplo el cierre al tráfico de una vía como la C/ Almendralejo que atraviesa el casco urbano central de este a oeste.

Para el diseño del modelo y la consecución de estos objetivos, se parte de una serie de premisas iniciales: se analiza única y exclusivamente la movilidad en vehículo privado de los usuarios residentes en la ciudad, ya que es este el grupo que más desplazamientos aporta al sistema; la inmensa mayoría de los desplazamientos, tanto de residentes como de población externa, se realizan en vehículo privado; puesto que la mayor parte de los movimientos se han detectado en la principal hora punta (entre las 14h y las 15h), se va a tomar esta hora del día como periodo de referencia en el diseño del modelo, representando los desplazamientos que se producen en dicho margen temporal; todos los usuarios son conocedores de la red urbana y eligen de forma racional cuál es la ruta que minimiza sus costes generales de desplazamiento. De esta forma, los desplazamientos serán asignados a la ruta de menor coste entre cada par origen-destino (en la metodología veremos que esta ruta mínima se “relaja” a varias rutas óptimas para contar también con posibles errores en la elección de ruta por parte del diseñador y/o por parte del usuario del sistema). En este sentido, no se ha considerado ni la existencia de congestión ni el problema estocástico a la hora de la elección de ruta por parte de los usuarios. La justificación es que se ha detectado que una buena parte de las ciudades de tamaño medio tienen una característica común en la red ofertada: existe una gran diferencia entre unos tipos de vías y otros en lo que a tiempos de viaje se refiere. Así, hay diferencias muy marcadas entre unas rutas y otras lo que nos ha guiado a la hora de decantarnos por elegir un modelo de asignación de viajes del tipo “*todo o nada*”; finalmente, la última premisa es que todos los desplazamientos tienen su origen en un punto medio de cada tramo y su destino en otro punto medio de otro tramo perteneciente a una región de la red urbana objeto de estudio (es decir, no se utilizan viajes cuyo destino es externo a la ciudad). Para resolver el problema de los viajes cuyo origen y/o destino son zonas urbanas del extrarradio, se han localizado cartográficamente una serie de puntos en los diferentes accesos a la ciudad en los cuales se agregan todos los desplazamientos de estas zonas, asignándolos a las vías que las unen al casco urbano central.

La metodología que tiene en cuenta todas estas premisas para el diseño del modelo expuesto en este artículo parte del seguimiento de las cuatro etapas tradicionales propias de los modelos de transporte de primera generación, con adaptaciones particulares ([figura 1](#)).

Además del seguimiento de estas etapas o fases de diseño, se tuvieron también en cuenta como datos de partida los flujos de tráfico obtenidos en campo por el PMUS de Mérida. Estos, fueron el fruto de dos campañas de aforado realizadas en distintos puntos de la ciudad y en diferentes periodos de tiempo (periodo estival e invernal). Los volúmenes promedio de tráfico obtenidos con este trabajo se tendrán en cuenta para el diseño del modelo que se estudia. Con la información de partida que se expone en este artículo (aforos, viario jerarquizado y metodología a seguir) se procede al diseño del modelo, cuyas tareas más destacadas se describen a continuación.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

3.1. Datos

En este apartado se presenta toda la información utilizada para el diseño del modelo de transporte en cuestión. El entorno de trabajo utilizado es el propio de un S.I.G. convencional, en el que se añaden la componente *espacial* (cartografía) con la *atributiva* (características de interés de cada elemento del sistema urbano) de los datos de forma simultánea, a través de una base de datos espacial (*Geodatabase*), lo que agiliza el proceso de modelización de un modo más sencillo e intuitivo.

Este tipo de entornos de trabajo (tal y como demuestran estudios como el de Mora *et al.*, 2003) permiten disponer de información cartográfica relativa a cada elemento o variable de estudio unida a la información atributiva, que representa las características descriptivas de estos datos. Esta estructura de trabajo permite diseñar modelos de transporte teniendo en cuenta toda la información al mismo tiempo, realizar modificaciones puntuales (de oferta y demanda) de un modo más visual y realista y obtener los cálculos de ajuste junto al sumatorio de viajes en cada uno de los tramos de la red, los orígenes y destinos de los mismos.

Los datos utilizados para la generación de la cartografía base y por tanto, para el diseño de este tipo de modelos, han tenido en cuenta los siguientes elementos (*figura 2*): la red viaria, los portales, los equipamientos y área de trabajo, la zonificación, los puntos de entrada y salida al exterior, los aforos, las tablas de rutas óptimas para cada par O/D y las encuestas domiciliarias.

La red viaria representa la oferta infraestructural existente en Mérida (las distintas calles de la ciudad) para llevar a cabo los distintos desplazamientos entre cada par origen-destino (en adelante par O/D) y, por lo tanto, satisfacer la demanda existente en dicho núcleo urbano. Esta información se utiliza en este caso para analizar la dinámica de la movilidad urbana existente exclusivamente en vehículo privado y se dispone de ella en un formato cartográfico de tipo lineal. Inicialmente, la red está dividida en calles. Sin embargo, para aumentar la exactitud del modelo se decide dividir cada calle en tramos, siendo éstos segmentos de línea limitados por dos intersecciones o *nodos* (puntos en los que se cruzan tres o más tramos de una calle). De este modo, se precisa más el origen y el destino de cada desplazamiento (similar casi a un modelo dinámico microscópico). Así, el total de tramos que conforman inicialmente la red es de 3.302. La información atributiva que interesa del viario es: nombre de la calle, velocidad máxima de paso permitida, longitud, jerarquía del viario, impedancia (entendida como resistencia que ofrece cada tramo al tránsito, midiéndose en tiempo de paso y siendo muy útil para generar las rutas óptimas para cada par O/D).

La capa de información cartográfica relativa a los portales (en este caso de tipo puntual), sirve para localizar a la población residente en la ciudad con este nivel de desagregación (portal de edificio). Para ello, se parte de las direcciones postales obtenidas del padrón municipal del Ayuntamiento de Mérida. Con el fin de reducir el tiempo de cálculo del modelo sin perder excesiva exactitud, se agruparon todos los puntos de portales al punto medio de cada tramo de vía (en dichos puntos centrales se unifican el número de portales localizados en ese tramo concreto y también la población residente en el mismo). A parte del número de portales y población residente para cada

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

tramo, en esta capa de información se guardan también los atributos relacionados con la calle y la barriada de pertenencia (esta información es útil para generar las consultas en la base de datos).

Una vez obtenida la capa de portales (orígenes de los desplazamientos residenciales) se genera la cartografía de equipamientos de tipo puntual. Dicha capa representa las áreas de servicios y trabajo existentes en la ciudad (principales destinos de la población). La información atributiva recogida aquí es: 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. Además, a esta información se la une una serie de imágenes aéreas que permiten conocer el entorno con vistas a realizar estudios parciales de acceso a cada edificio concreto (imágenes tomadas de la ortofoto aérea facilitada por la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura).

Otra información cartográfica importante en el diseño del modelo es la división de la ciudad en diferentes zonas. Esta cartografía de tipo poligonal representa a las diferentes barriadas de la ciudad. Hay que destacar que se utilizan las barriadas como zonificación urbana porque son fácilmente identificables por todos los residentes de Mérida y porque conforman unidades morfoestructurales singulares (características de movilidad, demográficas, socio-económicas y tipologías edificatorias propias). Además, guardan una clara relación de similitud con otras zonificaciones oficiales como distritos o secciones censales (esto permite obtener valores agregados para cada zona concreta e información relativa a los desplazamientos para, en caso de necesidad, actuar sobre una parte de la ciudad y no sobre la totalidad de la misma). El total de zonas generadas es de 37 y de ellas se recabó información relativa a: nombre de la barriada, distrito censal al que pertenece, longitud del perímetro, superficie y población residente.

Otra información cartográfica de tipo puntual empleada representa a las diferentes zonas de acceso a Mérida por parte de la población externa a la misma (población flotante) que llega a la ciudad por diferentes motivos. Al localizar todos estos accesos (entrada/salida) lo que se hace es ubicar en zonas concretas de la red puntos que van a ser tratados como origen y/o destino en el modelo de red. A estos puntos se les asignará la población externa en función del municipio de residencia y del camino mínimo tenido en cuenta para su desplazamiento en vehículo privado por la red interurbana extremeña. Los atributos tenidos en cuenta en este caso son: nombre del acceso (identificador) y estimación de población flotante que accede por cada punto mediante las encuestas de interceptación.

Los aforos, como información cartográfica de tipo puntual, sirven para establecer la jerarquía del viario, en función de la tipología de las mismas y del volumen de tráfico que las atraviesan ([tabla 1](#)). Con esta jerarquización se comprueba que las rutas óptimas generadas utilizan las vías que soportan una velocidad de paso mayor y que se corresponden además con las que presentan mayor capacidad. Por otro lado, estos aforos se utilizan para verificar los resultados obtenidos con el modelo, comparando los desplazamientos observados en campo (aforos) con los simulados por el modelo. La información guardada en esta capa es: 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.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Para la jerarquización viaria ([tabla 1](#)) se distinguieron vías en función del tipo de flujo que soportaban. Así, las vías de *Gran recorrido* eran aquellas que soportaban flujos de gran recorrido (interurbanos), las vías *Conectoras* eran vías arteriales o calles principales de la ciudad que unían a ésta con las vías de gran recorrido; las vías *Colectoras/Distribuidoras*, subordinadas a las conectoras, distribuían los desplazamientos entre áreas urbanas; finalmente, las vías *Origen/Destino final* lo conformaban el resto del viario (viario que soporta el menor tráfico diario en la ciudad).

Una vez diseñada la base de datos e implementada toda la información cartográfica se añade la tabla de rutas óptimas para cada par O/D de la muestra. Esta información permite asignar los viajes detectados de la población residente a estas rutas y analizar *a posteriori* la dinámica de la movilidad urbana existente en el periodo de hora punta. Esta tabla guarda información como: identificador de ruta o tramos que pertenecen a cada ruta en cuestión.

Finalmente, de las encuestas domiciliarias se extrae la matriz O/D o muestra de los desplazamientos urbanos que se dan en la ciudad. Esta información también se implementa en la base de datos del modelo como tabla (y no como cartografía) y contiene datos como el origen y destino de cada desplazamiento junto al número de desplazamientos que hacen cada desplazamiento concreto.

En lo que respecta a la obtención de la muestra poblacional a la que realizarle las encuestas domiciliarias, cabe destacar que se tuvo en cuenta la población residente en cada barriada y el número de portales localizados en la misma, partiendo de la cartografía de portales localizados en Mérida y de la población residente en cada uno de ellos. De este forma, se ajustó la muestra dándole más peso a aquellas barriadas que tenían un porcentaje mayor de población residente y número también mayor de portales.

El ajuste muestral se realizó teniendo en cuenta la población del padrón municipal de habitantes facilitado por el Ayuntamiento relativa al año 2010 y el número de portales registrados en el mismo.

Una vez se dispuso de la muestra total, se procedió a extraer el número de encuestas a realizar en cada barriada, teniendo en cuenta las dos premisas descritas anteriormente (población residente y número de portales). Para ello se seleccionó de forma aleatoria a un conjunto de portales a encuestar en cada barriada y se hizo un doble ajuste: *por portales localizados en cada barriada*, relacionando con una expresión sencilla el número de portales existentes con el número total de portales a encuestar y con el sumatorio de todos los portales localizados en Mérida; o por *población residente por portal* (nº medio de habitantes/portal) para cada barriada, dividiendo primeramente a la población de la barriada entre el número de portales y en segundo lugar, homogeneizando la muestra mediante la aplicación de un "peso" a cada barriada en función de dicho volumen poblacional y de portales.

De esta forma se obtuvo una muestra de portales a encuestar ajustada a cada barriada. El paso siguiente fue seleccionar aleatoriamente aquellos portales que debían ser visitados en cada zona para obtener información de desplazamientos habituales de todos los miembros residentes en el mismo con movilidad autónoma. En caso de que un portal tuviera más de una vivienda, se realizaba otra selección aleatoria de la vivienda a encuestar dentro de ese portal, tirando un dado al

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

aire (si el número del dado existía se encuestaba a esa vivienda y si no a la vivienda más cercana al número del dado). También se anotó información derivada como el número de viviendas por portal encuestado, población residente en la vivienda encuestada de cada portal, existencia de parking privado o público, junto al resto de datos propios de la caracterización de la muestra en sí.

Con todo ello, la muestra final ajustada a encuestar fue de 1.278 portales, lo que supuso obtener información sobre desplazamientos urbanos habituales de un total de 1.496 residentes ([tabla 2](#)), aceptando un error muestral global de 0,025. Tanto el número final de portales como el de residentes a encuestar coinciden con los valores totales inicialmente calculados.

En lo que respecta a la plantilla de esta encuesta, decir que se tomaron los datos en papel, rellenando ítems relacionados con la caracterización del encuestado y el hogar (género, edad, domicilio, número de vehículos, parking), junto a otros que tenían que ver con la movilidad cotidiana por la ciudad (origen y destino de cada viaje, modo de transporte del mismo, hora de salida y llegada por viaje y motivo del desplazamiento).

Una vez realizada la encuesta domiciliaria se implementaron toda la información sobre movilidad en una base de datos para extraer la matriz O/D, considerando como orígenes/destinos las barriadas (para usos residenciales), los puntos externos y los equipamientos. Para reducir el volumen de esta matriz solo se tuvieron en cuenta aquellos desplazamientos que tuvieran valores (eliminando las ausencias).

Sin embargo, esta matriz O/D no es la definitiva. Para obtener la matriz O/D definitiva se deben expandir los datos de la muestra al total de la población emeritense. Para tal fin se suelen tener en cuenta los niveles de renta (Ibeas, 2007), por la relación directa que se observa entre éstos y el número de desplazamientos realizados en vehículo privado.

No obstante, en este trabajo se optó por expandir la matriz de la muestra haciendo uso de un método no observado en la bibliografía consultada: ajustar los viajes en función de la pirámide de población. Esta opción hubo que tenerla en cuenta tras detectar en las encuestas domiciliarias realizadas que la población no contestó demasiado bien al ítem de clasificación por niveles de renta.

Para realizar este ajuste, se sigue un proceso que básicamente consiste en pasar los datos (tanto de la muestra como los poblacionales) a tantos por uno y ajustar la pirámide de la muestra a la pirámide de la población objeto de estudio. Este ajuste se realiza primero para cada grupo quinquenal de edades y en segundo lugar, en función del porcentaje por género de la pirámide poblacional.

El resultado final, ahora sí es la matriz O/D ajustada y expandida al total de la población emeritense.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

3.2. Asignación de viajes a la red

La asignación de viajes a la red viaria consiste en implementar cada una de las rutas, para cada par origen-destino visto en la matriz, a cada tramo del viario generado para este modelo. Así, se pueden analizar y extraer resultados relativos al número de viajes que pasan por un tramo determinado o cuáles son los centros de mayor atracción de población, en función de la red utilizada. Todas estas cuestiones son posibles gracias a las herramientas de diseño de redes propias de los SIG.

Existen diversos métodos de modelización en la asignación de los desplazamientos a la red (véase por ejemplo Ortúzar y Willumsen, 2008), en función de si se tiene en cuenta la congestión de la vía y la variabilidad en la demanda, en función de dicha congestión.

En lo que respecta al modelo expuesto en este artículo, se ha optado por utilizar el método de asignación *todo o nada* con algún matiz. Éste, parte de la asignación de todos los viajes (demanda) a la ruta de menor coste (normalmente medido en tiempo) sin tenerse en cuenta la capacidad de la vía ni la congestión. Por tanto, los costes de atravesar los arcos no cambian. Teniendo en cuenta esta invariabilidad de costes, se parte de la idea de que todos los usuarios son conocedores de la red y eligen siempre la misma ruta para desplazarse desde un origen hasta un destino: la más corta.

Sin embargo, en este modelo se plantea la idea de relajar la asignación todo o nada a dos rutas más (aparte de la inicial de menor coste). El objetivo de plantear esta relajación viene dado porque se detecta cierta similitud en las ciudades de tamaño medio en lo que a jerarquía del viario se refiere: se observa una marcada diferencia entre las vías conectoras y de circunvalación con aquellas vías de origen/destino final de los desplazamientos. Por eso, la mayor parte de los usuarios de la red deciden utilizar para los desplazamientos urbanos las vías con mejores condiciones para soportar el mayor volumen de tráfico posible y que les permita moverse a la mayor velocidad posible. Estas vías son precisamente las seleccionadas por este método de asignación (aún en casos en los que se detecten problemas de congestión en las vías), según las herramientas de análisis de redes SIG.

Al existir esta diferencia de vías, el método de asignación *todo o nada* se muestra muy efectivo, máxime cuando las diferencias de tiempo entre flujo libre y hora punta son mínimas (como es el caso de Mérida, según estudios del PMUS de la ciudad).

La expresión para asignar los desplazamientos sobre la red lo da la propia matriz O/D y el flujo asignado a cada tramo del viario, de acuerdo con las rutas conocidas para cada par origen-destino ([figura 3](#)).

En lo relativo a la obtención de rutas óptimas (rutas de menor coste en tiempo para ser recorridas), éstas vienen definidas por el campo *Impedancia* que muestra el tiempo que un usuario tarda en atravesar cada tramo de vía en función de la longitud del mismo y la velocidad máxima permitida en él. Así, las herramientas de análisis de redes de las aplicaciones SIG, calculan las rutas óptimas (primeras, segundas y terceras) para cada par origen-destino. Estas rutas serán la base

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

posterior a la que se asignarán los desplazamientos ajustados en las fases anteriores. Los porcentajes de asignación elegidos para cada una de las tres rutas óptimas por par origen-destino son 70% para la primera ruta óptima, 20% para la segunda ruta óptima y 10% para la tercera.

Con respecto a la asignación de valores de impedancia, decir que el proceso comienza con la implementación de los desplazamientos ajustados/expandidos a las rutas seleccionadas como óptimas en el punto anterior. De esta forma, se puede saber el número de rutas que atraviesan cada tramo de vía, de dónde viene y a dónde va cada una de ellas. La parte de cálculos que se refieren a la determinación de rutas que atraviesan cada tramo de vía, se realizan en la base de datos (exportando la capa resultado en la que están unidas las rutas óptimas a los tramos de red por los que pasan).

El resultado final es la obtención de una tabla en la que se identifican el número de desplazamientos reales (teniendo ya en cuenta la expansión y ajuste de la matriz O/D muestral) que atraviesan cada tramo de red. También se puede obtener información, a través de la generación de consultas en la base de datos, relativa a cuáles son los orígenes de los desplazamientos que acceden a un bien determinado o qué pasaría si se cortan vías concretas de la ciudad (o se construye un nuevo puente).

4. Resultados

Uno de los resultados iniciales obtenidos tras la ejecución del modelo de transporte es el mapa de flujos medios diarios (IMD) en el que se identifican aquellos arcos de la red que soportan un volumen mayor de desplazamientos para el caso del vehículo privado ([figura 4](#)).

Se evidencia claramente cómo la jerarquía viaria tiene relación directa con el volumen de flujos soportados a lo largo del día. Además, se detectan tramos claves como los dos puentes abiertos al tráfico, donde se concentran volúmenes diarios superiores a los 15.000 vehículos/día. Del mismo modos, destaca la C/ Almendralejo (vía que cruza el casco urbano central de oeste a este) con un volumen diario muy elevado (5.000 y 10.000 vehículos/día) para una vía de sentido único y con un carril de circulación motorizada. Este es uno de los tramos más conflictivos.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación del modelo de transporte diseñado anteriormente. Este, parte de la propuesta planteada por el equipo redactor del PMUS de Mérida de crear una "supermanzana" (Rueda, 2011) como primer cinturón interior que borde el casco urbano central (zona más problemática de la ciudad), con el fin de que los vehículos privados motorizados utilicen dicha circunvalación para aproximarse a esta zona y no para acceder a la misma. Una vez cerca, se ofrece la posibilidad de estacionar en zonas habilitadas (parkings disuasorios) y acceder al interior exclusivamente en modos sostenibles (a pie, en bici o en transporte público).

Para que esta propuesta sea una realidad entre otras intervenciones, es necesario restringir el acceso del vehículo privado en una calle (C/ Almendralejo) y ver cómo repercute este cierre a una de las intersecciones más problemáticas de Mérida (La glorieta de la Torre, remarcada con un círculo en la [figura 5](#)).

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Bajo estas premisas se ajustó el modelo para que calculara el volumen de tráfico soportado por el área de estudio, manteniendo abierta al tráfico la C/ Almendralejo ([figura 6](#)). Posteriormente, se validaron estos cálculos con los aforos realizados en campo en dicha zona (teniendo en cuenta predicciones de flujos individuales en cada uno de los accesos de la glorieta de La Torre) para comprobar que los resultados obtenidos se ajustaban a la realidad.

Tras comprobar que la predicción del modelo era aceptable, se cerró la C/ Almendralejo al tráfico y se volvió a ejecutar el modelo (ejemplificado en las [figura 6](#) y [figura 7](#)), obteniendo los resultados finales ([tabla 3](#)).

Así, se observa un trasvase de viajes a la C/ 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 hora punta. Además, se detectaron incrementos en el tiempo medio de los recorridos de 2 minutos con respecto a los tiempos útiles modelados sin tener en cuenta el cierre al tráfico de dicha calle. Es decir, los usuarios tardaban 2 minutos más de media en llegar a su destino utilizando la ruta alternativa tras el cierre de la C/ Almendralejo.

Estos resultados se compararon con los aforos de campo para validar la predicción del modelo. De esta forma, se detectaron perfectamente qué cambios se verían en la movilidad de la zona ([tabla 3](#)): cómo pierde un 37% de los viajes la avda. Extremadura porque los usuarios eligen la ruta de la circunvalación para desplazarse hacia la parte este de la ciudad, o cómo aumentan los viajes en otros accesos de la intersección analizada (calles Marquesa de Pinares y Camilo José Cela).

5. Conclusiones

Una primera conclusión que se puede obtener tras este trabajo, es que la metodología propuesta permite la obtención de información en la que se identifican el número de desplazamientos reales que atraviesan cada tramo de red y cuáles son sus orígenes y destinos. Con ello se obtiene la dinámica de movilidad que se da en la ciudad en momentos concretos y permite analizar cualitativamente al menos los posibles cambios en estas pautas por parte de los usuarios.

Por otra parte, el modelo ofrece la posibilidad de realizar análisis concretos por tipo de bienes u obtener áreas de influencia de los mismos (por ejemplo, zonificación de centros educativos). Para este tipo de trabajos resultan fundamentales las herramientas de análisis de redes propias de los SIG. Estas, agilizan los cálculos para generar las rutas origen-destino y muestran además, de forma cartográfica, estas rutas. Las herramientas de redes permiten también generar polígonos de tiempo de recorrido para distintos modos de transporte, permitiendo comparar la competitividad de los mismos de cara a futuras propuestas.

Esta herramienta predice cambios parciales o totales en las pautas de movilidad de una ciudad media, ante modificaciones de la oferta infraestructural inicial (como cortes de vías al tráfico).

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Entre las contribuciones que aporta este tipo de aplicaciones a los diseños de modelos de transporte y al seguimiento de PMUS en general destacan, tal y como se ha comentado inicialmente, el uso de entornos S.I.G. Esto permite trabajar con información que relaciona simultáneamente la componente espacial de los datos geográficos con la atributiva de forma sencilla. Además, ofrece la posibilidad de trabajar con variables exógenas al propio modelo de transporte en sí (datos de contaminación, indicadores de accesibilidad, inventarios de señalización,...) con lo que se ofrecen resultados más ajustados a la toma de decisiones teniendo en cuenta un abanico más amplio de variables.

En segundo lugar, este tipo de aplicaciones ofrecen la posibilidad de validar los datos obtenidos con la ejecución del modelo y ajustarlos a la realidad de un modo más eficaz e intuitivo; esto es así porque permiten disponer de una visión geográfica y global que otras aplicaciones no tienen o, si lo hacen, son más difíciles de obtener. Además, se reducen algunas fases costosas de diseño tales como los cálculos de costes generalizados y/o separables de la red objeto de análisis.

Algunos de los software más utilizados para modelizar esta realidad urbana se basan en expresiones matemático-estadísticas un tanto complejas que requieren paquetes muy costosos (licencias comerciales) para contar con las funcionalidades específicas necesarias (algunos ejemplos muy conocidos son TransCAD, Visum, EMM2 o SUMO). A parte de los costes de inversión propios, hay que añadir los costes derivados de la necesidad de disponer de personal muy cualificado para trabajar con dichas aplicaciones y para interpretar de forma lógica y coherente los resultados extraídos de las mismas. Los modelos como el que se presenta en este artículo reducen considerablemente ambos costes y ofrecen la posibilidad de modelizar la movilidad de una forma más sencilla, sin menospreciar el grado de calidad y exactitud necesarias en los resultados obtenidos, lo que afectará considerablemente a la correcta toma de decisiones.

Otra ventaja potencial de esta metodología, tiene relación con el grado de información inicial y con la devuelta tras los cálculos. Con respecto a la primera, cabe destacar que aunque el modelo propuesto en este trabajo pueda clasificarse como *mesoscópico*, tiene la ventaja de trabajar con flujos de tráfico cuyos orígenes y destinos son los puntos centrales de cada tramo de vía. De esta forma, se le dota de una precisión en el inicio y final de los desplazamientos propia de los modelos *microscópicos*. Téngase en cuenta que el nivel máximo de exactitud con el que los modelos meso y macroscópicos suelen trabajar es a nivel de zonas urbanas, agregando la información intrazonal al punto medio o centroide de éstas. En cambio, el modelo propuesto en este artículo llega más allá del nivel de calle, trabajando además con datos desagregados y tratando a los desplazamientos de los usuarios de forma discreta.

En lo relativo a la información que devuelve el método propuesto, cabe decir que frente a otras aplicaciones y modelos, este permite conocer no solo el número total de viajes que pasan por cada tramo de la red (entendiendo por tramo aquel segmento de vía que está limitado por dos intersecciones), sino que también permite conocer el origen y el destino de cada uno de estos viajes, con un elevado grado de ajuste entre predicciones y observaciones. Además, como se ha comentado anteriormente, una vez desarrollada la aplicación es fácil trabajar con la información y prever cambios en la movilidad, partiendo de la generación de diversos escenarios previos.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Por tanto, este tipo de modelos permiten a usuarios no especializados realizar tareas de predicción y seguimiento de aquellas actuaciones adoptadas por los agentes locales gestores de la movilidad en un núcleo urbano tras la implantación de un PMUS, disponiendo en todo momento de una visión global de los problemas existentes en cada zona de la misma y de las evoluciones que dichas medidas correctoras aportan.

Finalmente, se puede concluir afirmando que este tipo de modelización es adecuado para analizar y gestionar la movilidad general de una ciudad de tipo medio y para el seguimiento de actuaciones propuestas por los PMUS, ya que a la base de datos geográfica utilizada para esta modelización se le puede implementar todo tipo de información (contaminación acústica y/o ambiental, nivel de estacionamiento, etc.). Esto enriquece enormemente la posible toma de decisiones y permite identificar áreas problemáticas o realizar un seguimiento de las iniciativas llevadas a cabo en los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS).

Agradecimientos

Estimamos en gran medida el apoyo recibido por la Junta de Extremadura, a través de la beca de formación de personal investigador, F.P.I. y al Fondo Social Europeo como financiador de dicha beca predoctoral (Ref. PRE09142). Así mismo, queríamos agradecer las estimables aportaciones de los dos revisores anónimos que han contribuido a enriquecer este artículo.

Referencias bibliográficas

- Comisión de las Comunidades Europeas (2006): *Libro blanco del transporte*. 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.
- De Cea, J., Fernández, J. E. y Soto Ogueta, 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 B*, 37, pp. 615-640.
- De Dios Ortúzar, J. y Román, C. (2003): "El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte", *Revista Eure*, 88, pp.149-171.
- De Dios Ortúzar, J. y Willumsen, L. (2008): *Modelos de transporte*. Santander, PubliCan, Ed. Universidad de Cantabria.
- Dombriz, M. A. (Ed.) (2008): *Libro verde del urbanismo y la movilidad*. Madrid, Ed. Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Dombriz, M. A. (2009): "Urbanismo y movilidad: dos caras de la misma moneda", *Ingeniería y Territorio*, 86, pp.4-9.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Fernández, R. (2005): “Ciudades al borde del colapso. Nota sobre la insoportable insostenibilidad urbana”, *Perspectivas Urbanas*, 6, pp.1-9.

García, J. C. (2008): “Incidencia en la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante”, *Revista Eure*, 34, 101, pp.5-24.

Gentile, G., Meschini, L. y Papola, N. (2007): “Spillback congestion in dynamic traffic assignment: a macroscopic flow model with time-varying bottlenecks”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 41, 10, pp.1.114-1.138.

Gómez, A. (2005): *El estado del arte en la modelación de problemas de tránsito*. Tesis doctoral, Universidad de Colombia.

Ibeas, A. (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>.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE (2006): *Guía práctica PMUS para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Madrid.

Juran, I., Prashker, J. N., Bekhor, S. y Ishai, I. (2009): “A dynamic traffic assignment model for the assessment of moving bottlenecks”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3, pp. 240-258.

Lotero, L. y Jaramillo, P. (2010): *Modelo matemático para la asignación de tráfico al sistema de transporte urbano aplicado al valle de Aburrá*. Tesis doctoral, Universidad de Colombia.

Mora, J., Nogales, J. M., Gutiérrez, 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.

Mora, J., Domínguez, P., Gutiérrez, J. A. y Jaraíz, F. J. (2010): “Accesibilidad de la población a las aglomeraciones urbanas de la Península Ibérica”, *Finisterra*, 89, pp.107-118.

Peeta, S. y Ziliaskopoulos, A.K. (2001): “Fundamentals of dynamic traffic assignment: the past, the present, and the future”, *Networks and Spatial Economics*, 1, 2, pp.201-203.

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*. Madrid, Ed. Agencia Española de Cooperación Internacional, Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación de España, proyecto A/4930/06.

Red CIUMED (2011): [Consulta: 20-07-2012]. Disponible en <http://www.ciumed.org>.

Rueda, S. (2011): “Las supermanzanas: reinventando el espacio público, reinventando la ciudad”, en Armand, L. (Dir.): *Ciudades impropias: la tensión entre lo global y lo local*. Valencia, Ed. CIAE e IPV.

Seguí, J. M. y Martínez, M. R. (2004): “Los sistemas inteligentes de transporte y sus efectos en la movilidad urbana e interurbana”, *Scripta Nova*, VI, 170.

Vassallo, J. M. y Pérez, P. (2008): “Equidad y eficiencia del transporte público en Madrid”, *Revista de Obras Públicas*, 155, 3494, pp. 23-40.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Zargari, S., Araghi, M. y 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.

TABLAS

Tabla 1. Jerarquización viaria por tipo y flujo de paso.

Jerarquía	Tipología	Intensidad media diaria (IMD)
Nivel 1	Gran recorrido	> 15.000 vehíc./día
Nivel 2	Conectoras	10.000 - 15.000 vehíc./día
Nivel 3	Colectoras/Distribuidoras	5.000 - 10.000 vehíc./día
Nivel 4	Origen/Destino final	< 5.000 vehíc./día

Fuente: *Estudio de tráfico viario*, PMUS de Mérida 2010. Elaboración propia.

Tabla 2. Número de encuestas a realizar por barriada

Barriada	Nº Encuestas ajustadas	Barriada	Nº Encuestas ajustadas
Bellavista	21	Ntra.Sra.la Antigua	31
Cabo Verde	29	Nueva Ciudad	106
Carrión	4	Plantonal de Vera	15
Corchera	16	República Argentina	18
Cruzcampo	23	S. Agustín-T. Galván	11
El Barrio	24	Salesianos	15
El Prado	35	San Albín	56
El Vivero	7	San Andrés	41
Extrarradio	18	San Antonio	33
Jardín de Mérida	45	San Bartolomé	12
Jardines Hipódromo	23	San Juan	86
Juan Canet	4	San Lázaro	20
La Algodonera	3	San Luis	21
La Calzada	5	Santa Catalina	9
La Heredad	0	Santa Isabel	22
Las Abadías	42	Sta. Eulalia-Milagros	37
Los Bodegones	63	Zona Centro	285
María Auxiliadora	15	Zona Sur	36
Monte Alto	47		
TOTAL 1.278			

Fuente: Elaboración propia.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

Tabla 3. 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	-100%
Avda. Extremadura	660,10	415,26	-244,84	-37%
C/ C. José Cela	38,63	86,96	48,33	125%
C/ Marquesa Pinares	271,20	404,07	132,87	49%
Totales	1376,35	906,29	-470,05	

Fuente: Elaboración propia.

FIGURAS

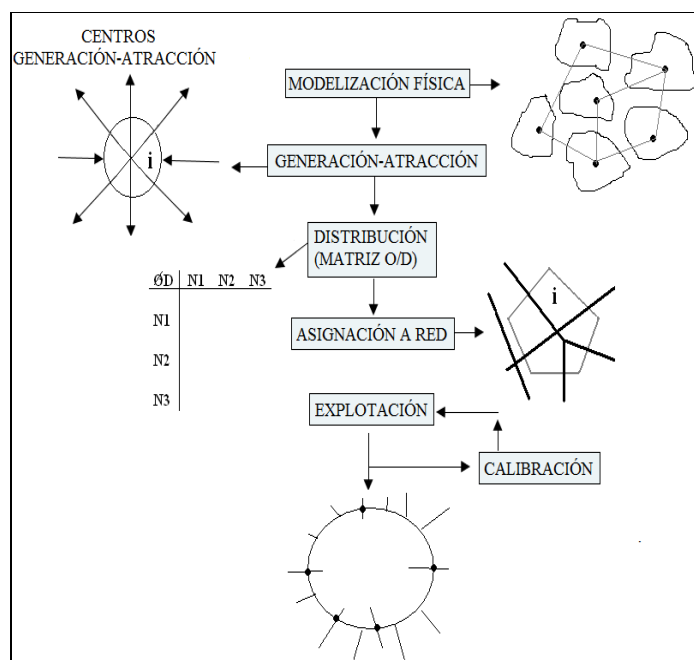


Figura 1. Esquema general del modelo de transporte diseñado.

Fuente: Elaboración propia.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

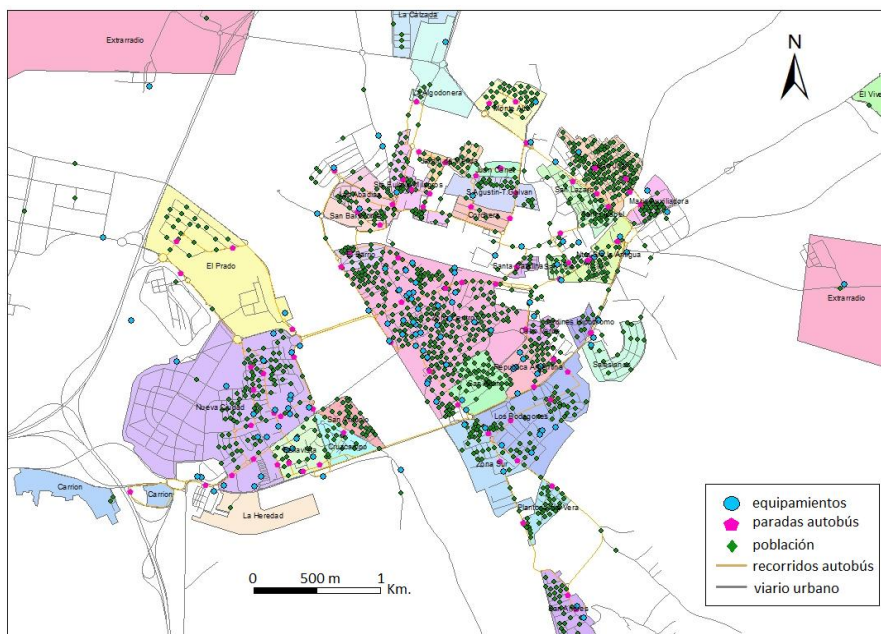


Figura 2. Cartografía base para la implementación de los cálculos.
Fuente: Elaboración propia.

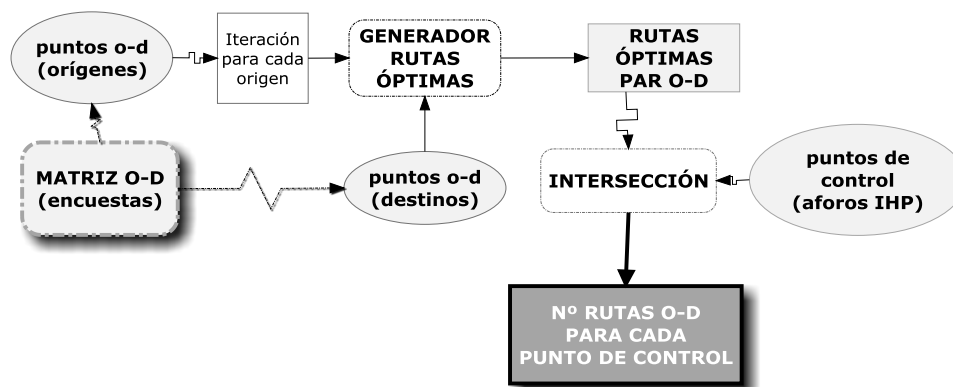


Figura 3. Model Builder aplicado a la obtención de rutas óptimas.
Fuente: Elaboración propia.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

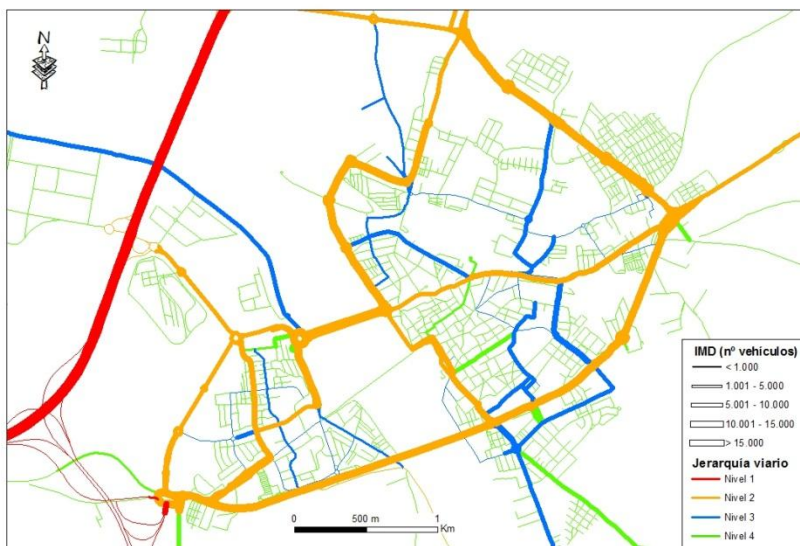


Figura 4. Flujo de tráfico medio diario estimado en la red urbana.
Fuente: Elaboración propia.

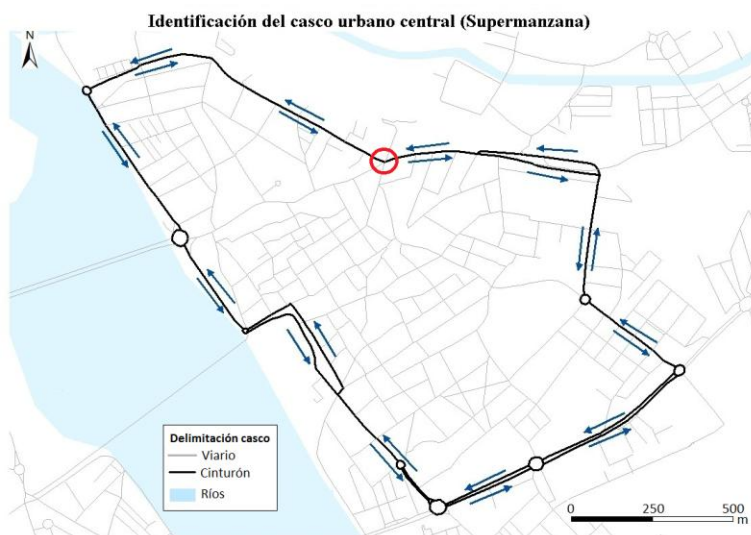


Figura 5. Identificación del casco urbano central (supermanzana).
Fuente: Elaboración propia.

Gutiérrez Gallego, J.A., Ruiz Labrador, E.E., Jaraíz Cabanillas, F.J. y Pérez Pintor, 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 (Artículos)*, nº 13, p. 1-21. ISSN: 1578-5157

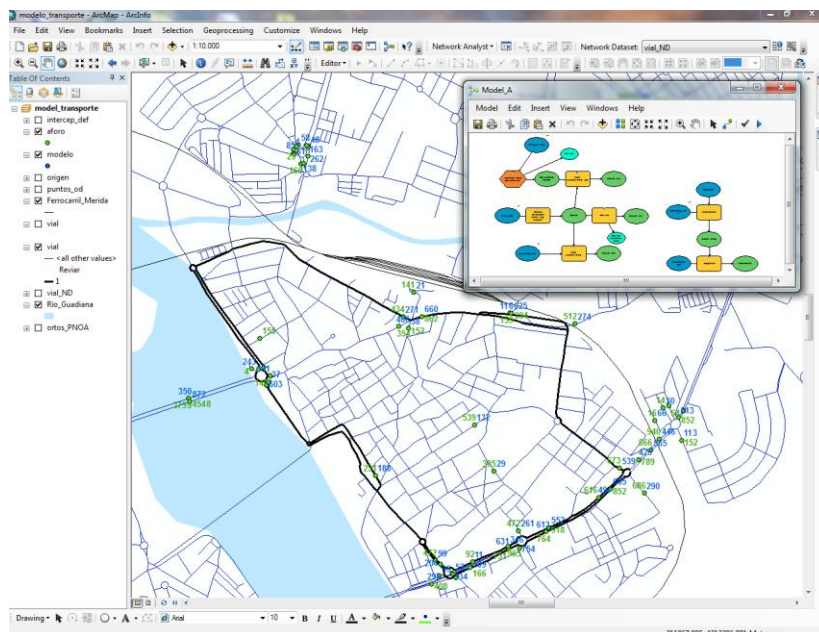


Figura 6. Muestra visual de la aplicación de modelización.

Fuente: Elaboración propia.

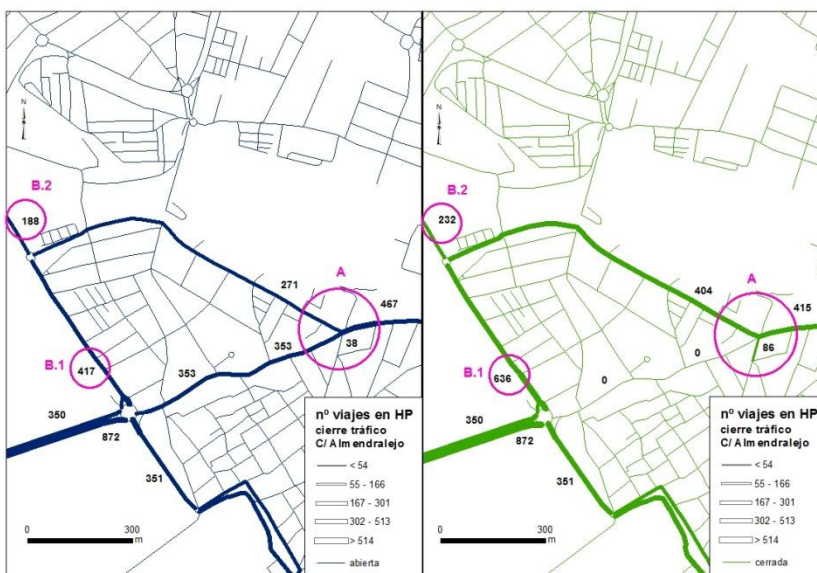


Figura 7. Comparativa de viajes predichos en la calle afectada.

Fuente: Elaboración propia.