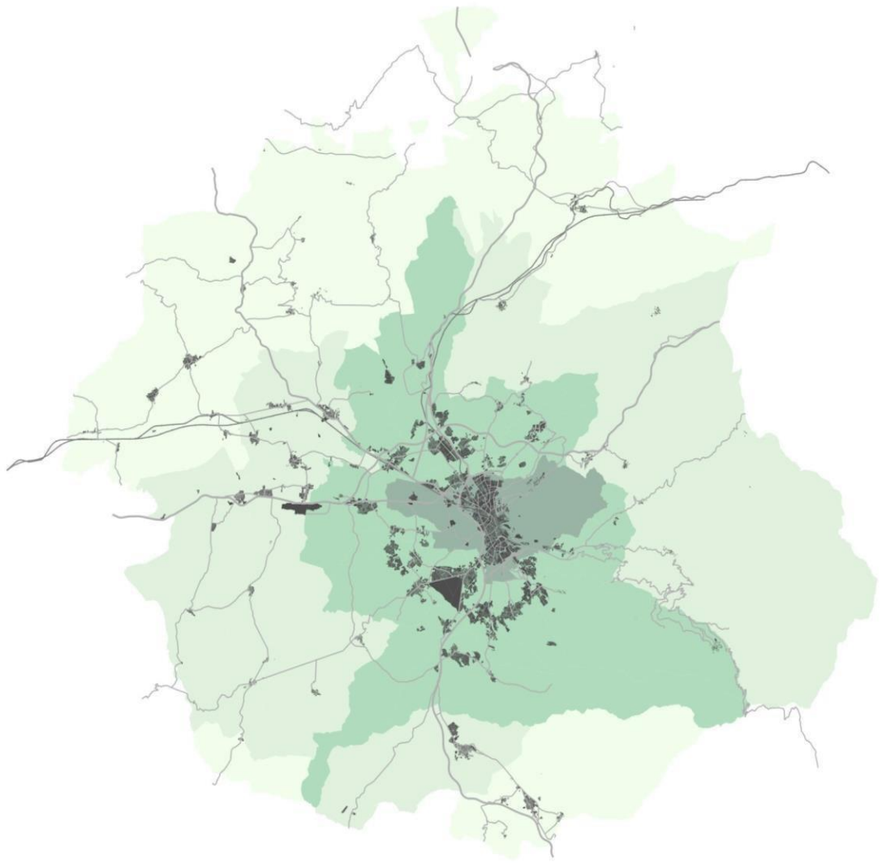
Plan de Transporte Metropolitano del Área de Granada

Plan de Movilidad Sostenible

Andalucía se mueve con Europa



Anexo II: Modelización

VCG

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Junta de Andalucía
Consejería de Fomento,
Articulación del Territorio y Vivienda

CONSORCIO DE TRANSPORTE METROPOLITANO
DEL ÁREA DE GRANADA

ÍNDICE GENERAL

1. PLAN
    1. Plan de acción. Tomo I
    2. Plan de acción. Tomo II
    3. Anexos:
        3.1. ANEXO I. Análisis Coste Beneficio y Multicriterio
        3.2. ANEXO II. Modelización
        3.3. ANEXO III. Valoración de Impacto en la Salud
    4. Resumen ejecutivo del Plan
2. RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN PÚBLICA Y LAS CONSULTAS
3. ESTUDIO AMBIENTAL ESTRATÉGICO
    3.1. Estudio Ambiental Estratégico
    3.2. Resumen no técnico del Estudio Ambiental Estratégico

Anexo II: Modelización

Índice:

1. INTRODUCCIÓN 5

2. OBJETIVOS PERSEGUIDOS POR EL MODELO DE TRANSPORTE 5

2.1. Funcionalidades del modelo de transporte propuesto 6

2.2. Relación del modelo de transportes con el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Granada (PTMAG) 7

3. DATOS DE PARTIDA PARA LA MODELIZACIÓN 7

3.1. Datos socioeconómicos, demográficos y urbanísticos 8

3.2. Información Proveniente de encuestas 9

3.3. Datos provenientes de registros de telefonía móvil 10

3.3.1. Comparativa de las fuentes de telefonía móvil 10

3.4. Transporte Público 15

3.5. Transporte Privado 16

3.6. Modos Sostenibles 18

3.7. Otras fuentes 19

3.8. Justificación de la existencia de suficientes datos para alcanzar los objetivos marcados por la modelización 19

4. METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN DEL ESCENARIO BASE 20

4.1. Introducción 20

4.2. Zonificación 20

4.3. Generación/Atracción 22

4.4. Distribución 23

4.5. Reparto Modal 23

4.6. Asignación 24

4.6.1. Segmentos de demanda 24

4.6.2. Sistema de Transporte Privado 25

4.6.3. Sistema de Transporte Público 29

4.6.4. Calibración del modelo base 35

4.6.5. Validación del modelo base 38

5. ESCENARIOS FUTUROS 41

5.1. Proyección de las variables socioeconómicas 41

5.1.1. Población 41

5.1.2. Afiliados a la Seguridad Social que no comparten la ubicación entre la residencia y el trabajo 43

5.1.3. Plazas escolares 44

5.1.4. Metros cuadrados dedicados a uso deportivo 45

5.1.5. Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio 46

5.1.6. Motorización 47

5.2. Medidas propuestas 49

5.2.1. Escenario 1 49

5.2.2. Escenario 2 50

5.2.3. Escenario 3 50

5.2.4. Escenario 4 50

5.3. Resultados 51

Índice de tablas:

Tabla 1. Datos socioeconómicos, demográficos y urbanísticos empleados en la etapa de generación y atracción del modelo de transportes propuesto. 8
Tabla 2. Comparación de los viajes originados por macrozona según los datos de KIDO DYNAMICS y del MITMS. 13
Tabla 3. Datos disponibles para la modelización del sistema de transporte público (● Disponible; ○ Parcialmente disponible; x No disponible; NA No Aplica) 16
Tabla 4. Datos disponibles para la modelización del sistema de transporte privado (● Disponible; ○ Parcialmente disponible; x No disponible; NA No Aplica) 16
Tabla 5. Estaciones de aforo disponibles en el área metropolitana de Granada 17
Tabla 6. Formulaciones LOGIT del modelo de la etapa de reparto modal 24
Tabla 7. Matrices de Viajes en transporte público, vehículos ligeros y vehículos pesados en un día laborable tipo de octubre de 2019 en el área metropolitana de Granada, segmentado por corona metropolitana 25
Tabla 8. Tabla de Link Types del modelo 26
Tabla 9. Dimensiones autorizadas para las Zonas de Acceso Restringido del municipio de Granada 28
Tabla 10. Líneas de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada 29
Tabla 11. Sistema Tarifario en función del nº de saltos realizados por Sistema de Transporte 33
Tabla 12. Tarifa kilométrica de las líneas no pertenecientes al Consorcio de Transportes de Granada que pasan por los municipios incluidos en el PTMAGR 33
Tabla 13. Demanda de 24h y de 2h por línea de transporte público utilizadas en el proceso de calibración del modelo base 34
Tabla 14. Funciones cónicas y sus coeficientes en relación a la categoría del link 36
Tabla 15. Variables socioeconómicas analizadas 41
Tabla 16. Población por municipios para los diferentes horizontes 41
Tabla 17. Afiliados a la Seguridad Social por municipios en 2019 44
Tabla 18. Plazas escolares por municipios en 2019 44
Tabla 19. Metros cuadrados dedicados a uso deportivo en 2019 45
Tabla 20. Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio para 2019 y 2030 46
Tabla 21. Tasa de motorización para los diferentes horizontes temporales analizados 47
Tabla 22. Resultados de indicadores para Escenario Base y Escenario 1 futuro 51

Índice de imágenes:

Imagen 1. Principales relaciones de movilidad en el ámbito de estudio. 11
Imagen 2. Principales relaciones de movilidad de los extranjeros. 11
Imagen 3. Visualización de los datos del MITMS (zonificación MITMS). Movimientos de la población residente en España. 12
Imagen 4. Visualización de los datos del MITMS (zonificación MITMS). Movimientos de los no residentes en la provincia de Granada (sin incluir extranjeros). 12
Imagen 5. Número de viajes hacia/desde/entre el Área Metropolitana de Granada en función del lugar de residencia de los españoles no residentes en Granada. 13
Imagen 6. Comparación de los viajes originados por macrozona según los datos de KIDO DYNAMICS y del MITMS. 14
Imagen 7. Comparación de los viajes entre macrozonas según los datos de KIDO DYNAMICS y del MITMS. 14
Imagen 8. Comparación de los viajes originados por macrozona según los datos de KIDO DYNAMICS y de la Encuesta Domiciliaria de 2015. 15
Imagen 9. Red de carreteras codificada en el modelo de simulación. 17
Imagen 10. Puntos de aforo disponibles en el ámbito de estudio (área metropolitana) 17
Imagen 11. Puntos de aforo disponibles en la ciudad de Granada. 18
Imagen 12. Puntos de aforo ciclistas y de vehículos de movilidad personal en Granada 18
Imagen 13. Red de carriles bici en el Área Metropolitana de Granada codificada en VISUM 19
Imagen 14. Granularidad espacial de las antenas de telefonía móvil 20
Imagen 15. Zonificación interna del Área Metropolitana y su agregación en macrozonas 22
Imagen 16. Zonificación externa más próxima al Área Metropolitana de Granada 22
Imagen 17. Lista de Link Types del modelo 28
Imagen 18. Red de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada 30
Imagen 19. Mapa de calor de expediciones diarias que tiene cada parada del Sistema de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada 31
Imagen 20. Mapa de calor de expediciones diarias que tiene cada parada del Sistema de Transporte Público en la ciudad de Granada y la 1ª corona metropolitana 31
Imagen 21. Restricción de bajados en la línea 125 – ida 32
Imagen 22. Restricción de subidos en la línea 125 - vuelta 32
Imagen 23. Zonificación Tarifaria del Área Metropolitana de Granada 32
Imagen 24. Paradas de Transporte público según la Zona Tarifaria 33
Imagen 25. Gráfica de la función cónica. El eje de abscisas representa la ratio intensidad/capacidad. El eje de ordenadas muestra por cuánto se va a multiplicar el tiempo para cada grado de saturación. 36
Imagen 26. Parámetros del método de asignación de transporte privado introducidos en el modelo base 37
Imagen 27. Parámetros de asignación de transporte público introducidos en el modelo base 37
Imagen 28. Fórmula para el cálculo de la Impedancia de transporte público 38
Imagen 29. Resultado del análisis de regresión de los vehículos ligeros observados y modelizados 39
Imagen 30. Resultado del análisis de regresión de los vehículos pesados observados y modelizados 39
Imagen 31. Resultado del análisis de regresión de las velocidades observadas y modelizadas en la red de carreteras del Área Metropolitana de Granada 40
Imagen 32. Resultado del análisis de regresión de la demanda diaria observada y modelizada en las líneas de transporte público. 40
Imagen 33. Resultado del análisis de regresión de la demanda diaria observada y modelizada en las líneas de transporte público. 42
Imagen 34. Proyección de la población para los municipios con mayor decrecimiento 43
Imagen 35. Pirámide poblacional del área metropolitana para los horizontes temporales 2021-2030 43
Imagen 36.: Proyecciones de la tasa de motorización de los 10 municipios más poblados 49
Imagen 37. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan. 52
Imagen 38. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan – Zoom ciudad centro de Granada. 53
Imagen 39. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan – Zoom Norte de ciudad centro de Granada. 54
Imagen 40. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan – Zoom Sur de ciudad centro de Granada. 55
Imagen 41. Flujo de personas en transporte público del Escenario 4 del Plan – Zoom ciudad centro de Granada. 56
Imagen 42. Flujo de personas en transporte público del Escenario 4 del Plan – Zoom Norte de ciudad centro de Granada. 57
Imagen 43. Flujo de personas en transporte público del Escenario 4 del Plan – Zoom Sur de ciudad centro de Granada. 58

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo detallar la metodología que se ha seguido para confeccionar el escenario base del modelo de transportes de cuatro etapas del Área Metropolitana de Granada, justificando en función de los objetivos a cumplir por la modelización la idoneidad de los datos de partida para alcanzar dichos objetivos, proponiendo una metodología acorde con dicho análisis.

La necesidad de justificar la idoneidad de los datos de partida disponibles para la modelización para alcanzar los objetivos perseguidos viene motivada por la imposibilidad de llevar a cabo una campaña de campo con garantías debido a la situación causada por la actual pandemia mundial de la COVID-19. Debido a los efectos de la pandemia la movilidad se está viendo severamente afectada, se destaca que:

- Según datos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, la movilidad medida en personas viajeras-km intraprovinciales en la provincia de Granada si comparamos la situación en febrero de 2020 (situación previa a la toma de medidas debido a la pandemia) diciembre de 2020 la movilidad descendió un 30%.
- El transporte público se ha visto especialmente afectado debido al miedo ante un posible contagio.
- En la actualidad mucha gente ha puesto en práctica una actitud de distanciamiento social, se encuentra teletrabajando o ha perdido su empleo.
- La movilidad es especialmente volátil, cambiante entre semana y semana en función de la evolución de la pandemia y la posible toma de medidas excepcionales de restricción a la movilidad por parte de los órganos de gobierno con competencias en esa materia.
- No hay certeza de que el problema se pueda resolver en el corto plazo.

Los argumentos expuestos anteriormente indican que la información recabada en cualquier campaña de campo que se hubiese llevado a cabo tras la irrupción de la pandemia no sería representativa de una situación de movilidad normal, por lo que haber planteado una campaña de aforos o encuestas supondría, además de incurrir en un esfuerzo económico importante, obtener muestras con un alto riesgo de estar sesgadas y de no ser representativas de la movilidad en condiciones normales.

Con todo ello se ha considerado que ante la imposibilidad de nutrir al modelo de transportes con la información recopilada del trabajo de campo y retrasar así su calibración, se concluye que la metodología llevada a cabo a partir de la información recabada, fusionada y utilizada permite caracterizar la movilidad del ámbito de forma adecuada, sin necesidad de una nueva EDM en pandemia, pues se considera suficiente para alcanzar los objetivos perseguidos por el Plan.

En cuanto a la alternativa a la realización de las encuestas, se ha empleado una metodología basada en la agregación de datos de demanda para la calibración de la formulación de reparto modal, así como la estimación del valor del tiempo en base los valores propuestos en las principales guías de Análisis Coste-Beneficio y utilizados en áreas de estudio similares a la del objeto de este Plan. Además de toda la información utilizada, se posee una extensa red de estaciones de aforos existentes en el ámbito de estudio considerablemente densa (339 puntos) procedentes de 4 fuentes de información distintas, y ubicadas tanto en corredores viarios principales como secundarios, los cuales han sido utilizados para caracterizar los diferentes segmentos de demanda vehiculares y calibrar el modelo de transportes para obtener un escenario base sustentado en datos realistas a lo largo de todo el ámbito y con certidumbre de la caracterización del tráfico en el mismo, así como una gran cantidad de datos de demanda de transporte público que ha permitido conocer su funcionalidad en el área de estudio, así como garantizar una calibración de este segmento de demanda acorde a la realidad del período modelizado.

Toda la metodología propuesta por el consultor viene motivada por la imposibilidad de llevar a cabo una campaña de campo con seguridad y garantías de éxito en cuanto a resultados realistas debido a la situación actual causada por la COVID-19. Es por todo ello que **el modelo de transportes constituye una herramienta fundamental para la confección del presente Plan, por lo que ante la imposibilidad de nutrirlo con información reciente tomada en campo o de retrasar su calibración (ante la espera de recabar datos en campo) por motivo de plazos, el Consultor ha puesto en práctica una metodología que garantiza la consecución de los objetivos marcados por la modelización empleando la información disponible actualmente, calibrando la herramienta para un escenario base fijado en el año 2019, situación previa a la pandemia donde se dispone de información histórica.**

El **apartado 2** describe los objetivos a cumplir por el modelo de transportes y su rol como herramienta de planificación durante la confección del Plan.

El **apartado 3** presenta la información de partida para confeccionar el modelo de transportes, detallando la idoneidad de la información disponible en función de los objetivos de modelización marcados en el apartado 2.

El **apartado 4** presenta la metodología empleada para confeccionar el modelo de transportes de acuerdo con la información de partida disponible y los objetivos que debe satisfacer el modelo, explicando el estado de cada una de las etapas del modelo. Este apartado también expone los resultados de la calibración/validación de la herramienta y del escenario base.

El **apartado 5** muestra la confección y resultados de los modelos en el año horizonte del Plan, estudiando la demanda de movilidad futura para ese año y aplicando las actuaciones propuestas en los diferentes escenarios planteados para la ejecución del PTMARG.

2. OBJETIVOS PERSEGUIDOS POR EL MODELO DE TRANSPORTE

A lo largo de las últimas décadas ha proliferado el uso de los modelos de simulación en el ámbito de la planificación del transporte. Previamente a la existencia de modelos como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, los planificadores del transporte empleaban su experiencia e intuición en los procesos de planificación, lo que equivale a decir que empleaban un “modelo mental”. Las principales diferencias entre emplear un “modelo mental” o un modelo analítico implícito (como por ejemplo un modelo de cuatro etapas) son:

- A pesar de que el empleo de la experiencia e intuición aporta valor en un proceso de toma de decisiones, un "modelo mental" no permite evaluar las hipótesis en las que se basa, su robustez no se puede evaluar, las consecuencias lógicas son desconocidas, como también es su relación con la información del sistema de transportes existente. Por el contrario, a pesar del escepticismo que generan en algunos órganos decisores, los modelos analíticos sí permiten discutir las hipótesis en las que se basan, las consecuencias lógicas de sus datos de salida vienen dadas por sus formulaciones matemáticas y se basan en información recabada del sistema de transportes que pretenden simular, por lo que su validación se puede argumentar y discutir.
- Un modelo analítico implícito permite realizar análisis de sensibilidad a sus principales variables e hipótesis tomadas, permitiendo comprobar su robustez ante combinaciones de parámetros que intervienen en su formulación.
- Ambos modelos son complementarios, siendo la situación ideal el uso de la experiencia y conocimiento ingenieril para la calibración del modelo analítico y su posterior interpretación a la hora de incorporar sus resultados en la toma de decisiones, siempre teniendo en mente todas las hipótesis de partida en las que se basa el modelo implícito y sus formulaciones para realizar una correcta interpretación de los resultados del mismo.

El principal problema de los modelos analísticos implícitos, como es el caso de los modelos de transporte de cuatro etapas, es que en la gran mayoría de las ocasiones no se fijan correctamente de antemano los objetivos a satisfacer por el modelo o dichos objetivos no son realistas de acuerdo con la información existente para la modelización. En otras ocasiones la metodología propuesta, las principales hipótesis y formulaciones en las que se basa el modelo no se detallan en los anejos de modelización con suficiente detalle, el proceso de calibración es deficiente ante la ausencia en nuestro territorio nacional de recomendaciones técnicas y criterios claros (únicamente se trata en un capítulo de la Nota de Servicio 5/2014) o no se detalla la información de partida empleada para la calibración del modelo, perdiendo la trazabilidad de los datos sobre los que está construido. Estas circunstancias conducen a modelos de transporte de poca utilidad para evaluar escenarios futuros, retroalimentando la incertidumbre que generan en ciertos profesionales.

Por los motivos expuestos anteriormente, en este capítulo se fijan los objetivos a satisfacer por el modelo de cuatro etapas propuesto por el Consultor para este contrato, haciendo hincapié en qué se puede evaluar y qué no se puede evaluar con certidumbre utilizando como herramienta de apoyo el modelo de transportes propuesto. Por último, se describe la relación del modelo de transportes con las distintas fases del Plan.

2.1. Funcionalidades del modelo de transporte propuesto

Un modelo macroscópico de transportes de cuatro etapas constituye una herramienta de planificación que permite analizar en un mismo archivo (paquete de simulación) la oferta de transportes, la demanda de transportes y la simulación de la interacción entre la oferta y demanda en un determinado ámbito de estudio para un día tipo, tanto en su situación base (en el caso del modelo del Plan es octubre de 2019) como en la situación futura, observando las implicaciones que tiene un cambio en la oferta de transportes sobre la demanda (redistribución geográfica y/o entre los distintos modos de transporte existentes) y viceversa (el incremento o decremento de demanda que experimenta la infraestructura de transporte frente a variaciones de demanda de transporte en el ámbito de estudio).

El modelo de transportes confeccionado para el Plan consiste en un modelo de transportes de 4 etapas, que satisface los siguientes objetivos:

- A partir de la etapa de generación/atracción es capaz de estimar la demanda de transportes en el ámbito de estudio en función de hipótesis de la evolución de variables socioeconómicas, sociodemográficas y urbanísticas que intervienen en su formulación de generación/atracción, como por ejemplo la población, el número de afiliados a la Seguridad Social, la tasa de motorización, el número de plazas escolares y universitarias, el número de camas de hospital, etc. Además, las formulaciones de generación y atracción se están calibrando por motivo de viaje para poder tener más flexibilidad a la hora de realizar estimaciones de demanda en años futuros donde existe la posibilidad de que pueda emerger una crisis económica en el corto-medio plazo.
- A través de sus etapas de distribución de la demanda, reparto modal y asignación (con consideración de la congestión viaria) permite estudiar los efectos de una determinada actuación o paquete de actuaciones estimando:
    - Redistribución de la demanda entre los modos de transporte.
    - Redistribución de la demanda entre distintos itinerarios dentro de un mismo modo de transporte.
    - Redistribución de la demanda entre zonas de transporte debido a cambios en la oferta y/o demanda de transporte que incrementen o abaraten el coste percibido de viajar entre cualquier par de zonas.
- Visualización del tráfico de corto y largo recorrido de cualquier arco del modelo. A través de esta potencialidad se puede conocer el número de usuarios afectados (junto con su origen y destino) por cualquier actuación que se proponga, conociendo la extensión geográfica del impacto que la actuación va a tener en el sistema de transportes. A través de esta potencialidad podremos determinar si el efecto de la actuación tiene un efecto localizado o amplio en la red de transportes del ámbito de estudio y su grado de afección sobre los modos de transporte afectados.
- Visualización de las rutas alternativas en el ámbito de estudio. Tras codificar una actuación se puede comparar el escenario con la actuación frente al escenario sin la actuación, comprendiendo cuáles son las rutas alternativas del itinerario bajo estudio y su modo, obteniendo un alto grado de comprensión del sistema de transportes en su conjunto.
- Una vez una vez calibrado y validado el modelo de transportes (incluso durante la fase de calibración) el modelo permite, entre otras muchas funcionalidades:
    - Identificar relaciones de movilidad metropolitanas con una demanda global razonable y con una oferta de transporte público deficiente.
    - Identificar relaciones de movilidad metropolitanas con una demanda global razonable cuya distancia sea compatible con los modos bicicleta y vehículos de movilidad personal que carecen de infraestructura dedicada a estos modos.
    - Obtener multitud de indicadores necesarios para llevar a cabo el análisis coste-beneficio y cálculos medioambientales que no podrían ser estimados con precisión sin el empleo de un modelo de transportes.

- Servir de insumo para los cálculos medioambientales o de coste-beneficio requeridos para la redacción del Plan.
    - Para cada escenario codificado y tras asignar la demanda de cada modo a su red, el modelo permite observar simultáneamente bajo una misma herramienta métricas como la intensidad, velocidad, porcentaje de pesados, ratio volumen/capacidad, veh-km, veh-h, pasajeros-km, pasajeros-h, etc. de cualquier arco de la red de transportes codificada en el modelo. Haciendo uso de esta información se pueden estimar las emisiones de contaminantes y la contaminación acústica en el ámbito de estudio. También se puede emplear esta información como dato de partida o complementario como insumo en un análisis coste-beneficio o de seguridad vial.
- Estudio de dos periodos de modelización, uno diario (24 horas) para la planificación del sistema de transportes a nivel estratégico (también para servir de insumo a cálculos medioambientales y de coste beneficio) y otro periodo de modelización de hora punta de la mañana (2 horas) para observar los efectos de la congestión y tomar decisiones con respecto a dimensionar la capacidad del sistema de transportes.

Por lo tanto, con el modelo de cuatro etapas del Plan se pueden estudiar multitud de actuaciones sobre el sistema de transportes para distintos escenarios de oferta y demanda. A continuación, se exponen ejemplos de actuaciones que se podrán estudiar con el modelo de simulación:

- Afección de nuevos desarrollos urbanísticos en el sistema de transportes.
- Cambios en la oferta de transporte de cualquier modo de transporte, por ejemplo:
    - Nueva infraestructura viaria, como por ejemplo la Variante Exterior de Granada (A-44a), la prolongación de la autovía GR-43 o la autovía Badajoz-Granada (A-81).
    - Prohibición de circulación de vehículos pesados en una vía.
    - Implantación de carriles dedicados al bus.
    - Cambios en la política tarifaria.
    - Nuevas líneas de transporte público.
    - Modificación del trazado de líneas de transporte público.
    - Cambios en las frecuencias de los servicios de transporte público.
    - Cambios en la velocidad comercial de las líneas de transporte público.
- Políticas de restricción de aparcamiento.
- Efectos de la implantación de zonas de bajas emisiones.
- Estudio de escenarios con un coeficiente de ocupación en vehículo privado mayor (políticas de car sharing, etc.)
- etc.

Aunque uno de los objetivos principales del modelo es el de estimación de los efectos de las distintas medidas, el modelo resulta también una herramienta útil para el análisis conjunto de la oferta y la demanda de transportes, sirviendo como herramienta para la compresión del sistema de transportes y el análisis e identificación de necesidades durante la fase de análisis y diagnóstico.

Cabe resaltar que el foco de un plan de transportes metropolitano debe estar sobre los desplazamientos interurbanos y periurbanos, sin descuidar las etapas de estos desplazamientos que se realicen en suelo urbano. Por este motivo, el foco del modelo de transportes propuesto consiste en modelizar con precisión el transporte mecanizado (transporte privado y transporte público), siendo posible estudiar los efectos de cualquier actuación sobre la demanda de transporte de los modos mecanizados. El modelo también incluye la red de transportes de los modos sostenibles (movilidad peatonal, ciclista y en vehículos de movilidad personal), permitiendo estudiar de forma indirecta el impacto que las actuaciones sobre los modos ciclopeatonales puedan tener sobre el sistema de transportes del Área Metropolitana de Granada en su conjunto.

2.2. Relación del modelo de transportes con el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Granada (PTMAG)

A continuación, se resume el rol del modelo de transportes dentro de cada una de las etapas del PTMAG:

- Durante la confección del **BORRADOR DEL PTMAGR** (ETAPA 1), la calibración del escenario base del modelo sirve como una herramienta de validación de la información recabada de oferta y demanda del sistema de transportes, al constituir el modelo de simulación una herramienta donde se simula la interacción entre la oferta y la demanda del sistema de transportes, detectando inconsistencias en los datos de entrada o en las formulaciones del modelo si la interacción simulada no encaja con los datos observados (velocidades, intensidades, demanda por línea de transporte, etc.). Por este motivo, el modelo de transportes resulta de gran interés para ahondar en la compresión del sistema de transportes del área metropolitana en su conjunto, al integrar bajo una misma herramienta la oferta y la demanda de transportes del área metropolitana y su interacción.
- Durante la redacción de la **VERSIÓN PRELIMINAR DEL PTMAGR** (ETAPA 2) y de la **VERSIÓN FINAL DEL PTMAGR** (ETAPA 3), el escenario base del modelo ya estará calibrado y validado, por lo que se empleará el mismo para simular múltiples escenarios de oferta (análisis de actuaciones planteadas) y demanda (hipótesis de evolución de la demanda) para estudiar la interacción de estas nuevas condiciones de oferta y demanda, observando en el modelo los flujos resultantes por modo de transporte. En este momento y para diversos escenarios bajo análisis, se estará en disposición de hacer uso del modelo para obtener múltiples indicadores que sirvan como dato de entrada en los análisis coste-beneficio o medioambientales requeridos para el correcto desarrollo del Plan.

3. DATOS DE PARTIDA PARA LA MODELIZACIÓN

Para la modelización del Área Metropolitana de Granada **se ha tomado como escenario base un día laborable tipo de octubre de 2019**. La selección de un día laborable tipo de octubre de 2019 como escenario base para la modelización se debe a que es preferible llevar a cabo el ejercicio de calibración del escenario base en una situación de movilidad normal.

Cuando se modeliza el sistema de transportes de un determinado territorio se modeliza un día tipo, se toma una “foto” de ese día (datos observados de oferta y demanda por modo de transporte) y mediante un ajuste de formulaciones matemáticas se alcanza una situación donde la interacción entre la oferta y demanda

modelizadas de los distintos modos se asemeja a los datos observados. Es evidente que partir de una "foto" o escenario base con una movilidad normal va a conducir a unas formulaciones mucho más estables que si partimos de una situación inestable, cambiante semana a semana como la situación que se ha vivido tras la irrupción de la pandemia de la COVID-19, donde el comportamiento de los usuarios ha sido muy volátil en función de las políticas de restricción a la movilidad puestas en marcha o en función del miedo a un posible contagio en la red de transporte público. Las fórmulas matemáticas pretenden reflejar el comportamiento de los usuarios de los distintos modos de transporte y es preferible calibrar ese comportamiento en una situación de movilidad normal. Dado que el PTMAGR es un plan para el medio plazo, es razonable asumir que la movilidad en el año horizonte del Plan va a ser una movilidad normal sin efectos de una pandemia, siendo preferible simular los escenarios futuros con formulaciones matemáticas representativas de una situación de movilidad normal que sí permita flexibilidad adicional como por ejemplo tener en cuenta los efectos de una posible crisis económica a través de un juego de escenarios con distintas tasas de desempleo. Cabe destacar que la alternativa a esta propuesta hubiese sido calibrar el modelo para una "foto" de un día laborable tipo de 2020 a partir de un trabajo de campo extenso, siendo previsible que las condiciones de movilidad del sistema de transportes en ese momento no se asemejen a las condiciones que puedan existir el próximo año y mucho menos en un plazo superior a dos años, corriendo el riesgo de emplear una herramienta para el análisis de escenarios futuros que pueda ser de poca utilidad.

A continuación, se detallan los datos de partida disponibles para llevar a cabo la modelización, junto con una descripción de la fuente, el año al que hace referencia la información y las precauciones que ha tenido en cuenta el Consultor para la fusión e incorporación de cada fuente de información en el modelo.

3.1. Datos socioeconómicos, demográficos y urbanísticos

Las variables que se resumen a continuación son una selección de las variables sociodemográficas, demográficas y urbanísticas que han sido empleadas para la calibración de los modelos de generación y atracción (primera etapa de un modelo de cuatro etapas).

Tabla 1. Datos socioeconómicos, demográficos y urbanísticos empleados en la etapa de generación y atracción del modelo de transportes propuesto.

Variable	Fuente	Entidad geográfica de medida	Año
Población por sexo, Sección y edad (grupos quinquenales). Estadística del Padrón Continuo a 01/01/2019.	INE	Sección Censal	2019
Afiliados a la Seguridad Social en alta laboral que trabajan en Andalucía. Afiliaciones según sexo y municipio de residencia por rama de actividad.	IECA	Municipal	2018
Afiliados a la Seguridad Social en alta laboral que trabajan en Andalucía. Afiliaciones según sexo y municipio de trabajo por rama de actividad.	IECA	Municipal	2018
Parque de vehículos	IECA	Municipal	2017
Alumnos en centros públicos	IECA	Municipal	2017
Centros de enseñanza	DERA	Capa Puntos Geolocalizados	2019
Número de estudiantes universitarios por facultad	Universidad Granada	Facultad	2019
Camas de Hospital	IECA	Municipal	2016
Plazas en establecimientos hoteleros	SIMA	Municipal	2017
Plazas en apartamentos	SIMA	Municipal	2017
Estadística de los declarantes del IRPF por municipios (Agencia Tributaria)	Agencia Tributaria	Municipal e Inframunicipal	2017
m^2 acumulados en todas las plantas construidas de uso destinado a viviendas colectivas, viviendas unifamiliares, industrial, oficinas, comercio, deportes, sanitario y cultural.	IECA	Malla Estadística 250mx250m	2017

Fuente: Elaboración propia

Tras un análisis de la información socioeconómica, urbanística y demográfica publicada por fuentes oficiales referida al ámbito de estudio, podemos afirmar que la información es bastante reciente (cercana al año del escenario base, 2019) y cubre la totalidad de las variables que suelen ser interesantes para la confección de los modelos de generación y atracción. Estas variables se incorporan en la formulación de la etapa de generación y atracción de viajes para explicar la movilidad generada y atraída por cada zona de transporte por motivo de viaje, al existir información sobre el empleo (municipio de residencia de los afiliados a la Seguridad Social y municipio donde está ubicado el lugar de trabajo), estudios (número de plazas escolares y número de plazas universitarias) y otros motivos de viaje donde englobaríamos el ocio, la salud, etc.

Los datos son coherentes, siendo la única precaución que se ha tomado en cuenta cómo fusionar los datos de las distintas fuentes, al estar referidos a entidades geográficas distintas como por ejemplo nivel municipal, nivel de sección censal o datos presentados en una malla estadística de 250m x 250m.

3.2. Información Proveniente de encuestas

Para la modelización del Área Metropolitana de Granada se dispone de las siguientes encuestas:

- Encuesta de satisfacción a los usuarios del Metro de Granada (2018 y 2019)
- Encuesta de satisfacción a los usuarios de la red de bus interurbano de Granada (2018 y 2019)
- Estudio de la satisfacción de los usuarios de Transportes Rober de Granada (febrero 2020)
- Encuesta domiciliaria en el Área Metropolitana de Granada (2015)

Las **encuestas de satisfacción** a los usuarios del Metro de Granada y del bus urbano e interurbano de Granada han permitido conocer los principales modos y tiempos de acceso y dispersión de sus usuarios, además de aportar información acerca del número de transbordos que realizan de media en sus trayectos. Esta información ha sido analizada y las principales conclusiones se han incorporado en la etapa de asignación del modelo de transportes para perfeccionar la elección de ruta de los usuarios de transporte público.

La **Encuesta Domiciliaria** llevada a cabo en 2015 se ha explotado con cautela debido a los cuatro años de antigüedad de la misma con respecto al escenario base que pretendemos modelizar (2019) y debido a que es anterior a la puesta en operación del Metro de Granada. No obstante, tomando las precauciones necesarias, esta fuente ha aportado información valiosa a incorporar al proceso de modelización. Por ejemplo, el motivo de viaje es un tipo de información que en general no se suele quedar obsoleta y que se requiere para llevar a cabo una modelización por motivo de viaje que resulta mucho más conveniente que realizar una modelización de todos los usuarios de forma agregada. De la encuesta domiciliaria también se pueden obtener las ratios de generación de viajes, coeficientes de ocupación en transporte privado, así como también la matriz de viajes global y por modo resultante de la explotación de la misma en el año 2015, para su comparación con los datos de telefonía móvil. Es importante recordar que la Encuesta Domiciliara únicamente aporta información sobre los viajes de los residentes en el Área Metropolitana, no aporta información acerca de los viajes externos-internos al Área Metropolitana.

Cabe resaltar que toda la información que se ha incorporado en el modelo de transportes consiste en información existente, al no haberse realizado una campaña de encuestas específicas debido a la situación de pandemia que se ha vivido desde el inicio del Contrato. Para lidiar con esta situación y garantizar así la consecución de los objetivos deseados con éxito, se ha sustituido la campaña de campo (ante la imposibilidad de llevarla a cabo con garantías) con trabajo adicional de gabinete de análisis y fusión de la información existente en el ámbito de estudio que avala la capacidad predictiva del modelo de transportes objeto de este documento.

A continuación, se detallan las principales limitaciones que tiene el modelo por no disponer de una campaña de encuestas específicas:

- **Encuesta Domiciliaria**: No disponer de una encuesta domiciliaria reciente para llevar a cabo los trabajos de modelización sí resulta una limitación importante, al ser la encuesta domiciliara la fuente de información que más información aporta acerca de las pautas de movilidad de los residentes en el ámbito de estudio. La anterior encuesta es del año 2015, siendo la diferencia con respecto al escenario base que se pretende modelizar de 4 años. Debido a no disponer de una encuesta domiciliaria reciente, el Consultor ha tenido que emplear información de la encuesta de 2015. Entre la información que se ha empleado de la encuesta de 2015 para la elaboración del modelo destaca:
    - El motivo de viaje de los desplazamientos. Como medida de paliar la antigüedad de estos datos el consultor los ha contrastado con los motivos de viaje provenientes de las fuentes de telefonía móvil.
    - Las matrices por modo de transporte obtenidas en 2015. Estas matrices se han comparado con las fuentes de telefonía móvil, dando prioridad a las fuentes de telefonía móvil como fuente principal de demanda global. No obstante, se ha realizado un esfuerzo importante de contraste de la información y de fusión de todas las fuentes de información para obtener las matrices de movilidad que mejor encajen con los datos de oferta del sistema de transportes y de demanda (estaciones de aforo y transporte público). Este proceso de decisión acerca de qué matrices se ajustan mejor a todos los datos recabados forma parte del proceso de calibración del modelo y se exponen en el **apartado 4**.
    - Coeficientes de ocupación en vehículo privado. Se realizará la hipótesis de que los coeficientes de ocupación en 2019 son los mismos que los observados en 2015.
    - Distribuciones de distancia de los viajes por motivo de viaje. Este dato es importante para la calibración de los modelos de distribución. En principio la distancia media recorrida por motivo de viaje no debería de haber variado considerablemente en los últimos 4 años. No obstante, se ha contrastado esta información con las distancias medias recorridas por motivo de viaje recabadas en distintos ámbitos de estudio y se ha comprobado que efectivamente tienen sentido. Además, los datos provenientes de la telefonía móvil están segmentados por motivo de viaje y distancia (en intervalos) por lo que se ha realizado una labor de contraste de esta información para la actualización de los datos, fusionando las fuentes.
    - Niveles de cautividad. Esta información se extrae de la encuesta domiciliaria. Se ha comprobado la evolución del parque de vehículos para decidir si es necesario reajustar esta información.
    - En la encuesta domiciliaria planteada por el Consultor incluíamos una batería de preguntas acerca del aparcamiento (tipo, coste, tiempo medio de aparcamiento, etc.) con el que pretendíamos afinar el modelo de demanda con respecto a la elección de modo en zonas con poco aparcamiento o con un coste significativo de cara a simular con más garantías el escenario con una zona de bajas

emisiones. También preguntábamos acerca de la antigüedad y tipo de combustible de los vehículos de los encuestados para afinar los cálculos de emisiones medioambientales. Estos aspectos se han paliado con búsqueda de información específica y explotación de otras fuentes de información existentes.

- **Encuestas de Preferencias Reveladas**: Estas encuestas hubiesen aportando puntos de control sobre los centros atractores encuestados que hubiesen facilitado el proceso de calibración del modelo. No disponer de esta información es habitual, siendo el proceso a seguir en estos casos la explotación de fuentes de datos alternativas como la telefonía móvil y el empleo de ratios de generación/atracción estándar para observar si los totales tienen sentido en comparación con centros atractores de prestaciones similares.

En resumen, la ausencia de una campaña de encuestas específicas se ha traducido en un incremento considerable del trabajo de gabinete fusionando datos y contrastando diversas fuentes, con el principal objetivo de obtener la información necesaria para describir la movilidad en el ámbito para un día laborable tipo de octubre de 2019 de la manera más realista posible.

3.3. Datos provenientes de registros de telefonía móvil

Como elemento fundamental para la calibración de la demanda del escenario base el Consultor ha puesto al servicio del contrato datos provenientes de registros de telefonía móvil de días laborables tipo de octubre de 2019 obtenidos a través de un acuerdo de colaboración con la empresa KIDO DYNAMICS. Esta información servirá de base para la modelización al indicar los viajes totales que se llevan a cabo en el ámbito de estudio, diferenciando entre viajes internos-internos, internos-externos y pasantes (externos-externos) con respecto al área metropolitana de Granada. Ante la imposibilidad de llevar a cabo una encuesta domiciliaria que aporte pautas de movilidad normales en el ámbito de estudio, los datos de telefonía resultan cruciales para caracterizar la demanda global de movilidad en el ámbito de estudio. Las ventajas de utilizar datos de telefonía móvil para obtener datos de movilidad son varias:

- Recolección pasiva de los datos, que elimina algunas de las limitaciones inherentes a las encuestas, tales como las respuestas imprecisas o incorrectas, dependencia del deseo de responder del entrevistado, etc.
- Muestras mucho más grandes, capaces de capturar una mayor variedad de comportamientos (del orden de decenas de millones de personas para un país como España).
- Posibilidad de actualización con la frecuencia deseada y casi a tiempo real (desfase del orden de pocas horas), dado que los datos se recogen y almacenan de manera continua en el tiempo.
- Facilidad para evaluar a posteriori eventos no planificados (como perturbaciones del tráfico por accidentes, manifestaciones, celebraciones deportivas, etc.), gracias al almacenamiento de los datos. Además, dado que el formato de los registros sigue los mismos estándares en cualquier país u operador, cualquier herramienta basada en metadatos de movilidad es fácilmente exportable a otros operadores del mismo país o a nuevos países en cualquier continente.
- Etc.

El tratamiento y análisis de los datos provenientes de registros de telefonía móvil empleados en el estudio, abarcando desde la extracción de los datos hasta la obtención de las matrices de movilidad resultantes, incluido el proceso de extrapolación y análisis de los datos se detalla en el entregable *E-5B-1. Informe detallado del tratamiento y análisis de los datos obtenidos de los terminales móviles*.

Con la finalidad de validar las matrices de movilidad que el consultor ha puesto en disposición del contrato, y dado que el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana ha publicado[1] recientemente en abierto datos de movilidad entre municipios en todo el territorio nacional, el Consultor ha realizado una comparativa de los datos de telefonía móvil del estudio (KIDO DYNAMICS) con los publicados por el Ministerio, así como también con la Encuesta Domiciliaria que se llevó a cabo en 2015 que le ha permitido fusionar las fuentes y obtener la mejor imagen posible de la movilidad global (todos los modos de transporte) en el Área Metropolitana de Granada

3.3.1. Comparativa de las fuentes de telefonía móvil

A continuación, se procede a la realización de un análisis comparativo de la información obtenida a través de la explotación de datos de telefonía móvil de dos fuentes distintas, la facilitada para el estudio (KIDO DYNAMICS) y la publicada por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Para ello, primero se detalla la especificación de los datos obtenidos en ambos estudios con la finalidad de interpretarlos correctamente para posteriormente poder realizar la comparativa, conociendo así las principales diferencias metodológicas entre ambas fuentes.

A. Especificación de los datos aportados al estudio (KIDO DYNAMICS)

Zonificación: La zonificación a la que van referidos los datos de movilidad es la zonificación del estudio, expuesta en el apartado 4.2, consistente en 389 zonas, siendo 181 zonas internas y 208 zonas externas con respecto al Área Metropolitana de Granada. Las zonas internas se agregan en 22 macrozonas y 7 territorios. Como se puede observar en la Imagen ***15***, la zonificación del estudio es muy desagregada, obteniendo así unos datos de movilidad con mucho detalle en cuanto a resolución de relaciones de movilidad. Cabe resaltar que si se hubiese llevado a cabo una encuesta domiciliaria en el presente Plan (no se ha llevado a cabo debido a la situación de pandemia), lo ideal hubiese sido que las macrozonas de la zonificación del estudio coincidiesen con las zonas del estudio del MITMS, pudiendo así comparar los datos de forma directa sin realizar una tarea de transformación de zonificaciones. La necesidad de fusionar los datos de telefonía móvil para el estudio (KIDO DYNAMICS) con la EDM del 2015 justifica que las macrozonas empleadas en la zonificación del estudio se hayan mantenido, coincidiendo con aquellas empleadas en el Plan anterior.

Días de estudio: Se ha realizado un promedio de días laborables tipo de octubre de 2019 (martes, miércoles y jueves) que no sean víspera de festivos. Los datos mostrados corresponden a un promedio de la movilidad de los días 02/10/2019, 15/10/2019, 16/10/2019, 17/10/2019, 23/10/2019 y 24/10/2019.

Población de estudio: Población residente en España y extranjeros. Comparado con los datos proporcionados por el MITMS cabe destacar que los datos que el Consultor ha puesto al servicio del contrato sí incluyen los movimientos de extranjeros (obtenidos a partir de los teléfonos móviles en roaming).

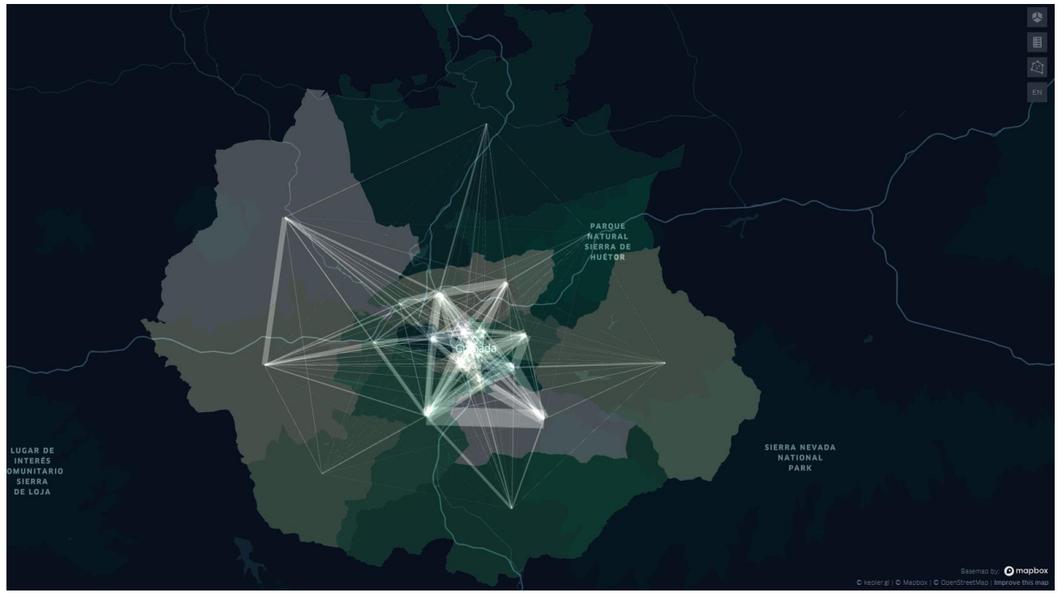
[1] https://www.MITMS.gob.es/ministerio/covid-19/evolucion-movilidad-big-data

Viajes objeto de estudio: La información facilitada por la empresa KIDO DYNAMICS incluye una estimación de todos los desplazamientos que se realizan en el ámbito de estudio, incluyendo aquellos desplazamientos inferiores a 500 m, conocidos como microtrayectos. Esto nos permite tener una estimación de la movilidad global en el ámbito de estudio, incluyendo los desplazamientos de muy corto recorrido.

Indicadores: Se segmentan los datos de demanda 5 franjas horarias según la franja de inicio del viaje, por género, por franjas de edad, por dispositivos en itinerancia o roaming (nacionales o extranjeros) y por viajes de ida y vuelta.

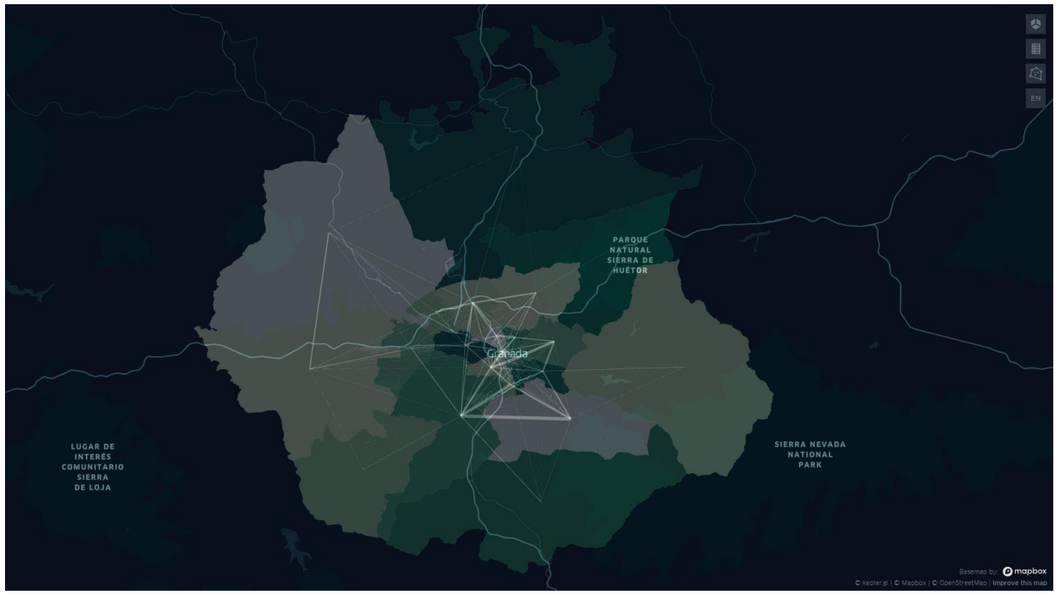
En las siguientes dos imágenes se presentan los viajes entre las 22 macrozonas en las que se puede agrupar la zonificación del estudio según los datos facilitados por KIDO DYNAMICS, el primer gráfico muestra la movilidad global en el área metropolitana de Granada y el segundo los movimientos de los extranjeros. Como se observa en las imágenes, la ciudad de Granada y su primera corona metropolitana constituyen los principales focos de atracción y generación de viajes. Posteriormente, en la Imagen 3 se presenta una visualización similar que muestra los datos publicados por el MITMS sobre la zonificación del MITMS que cubre el Área Metropolitana de Granada.

Imagen 1. Principales relaciones de movilidad en el ámbito de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía de KIDO DYNAMICS

Imagen 2. Principales relaciones de movilidad de los extranjeros.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía de KIDO DYNAMICS

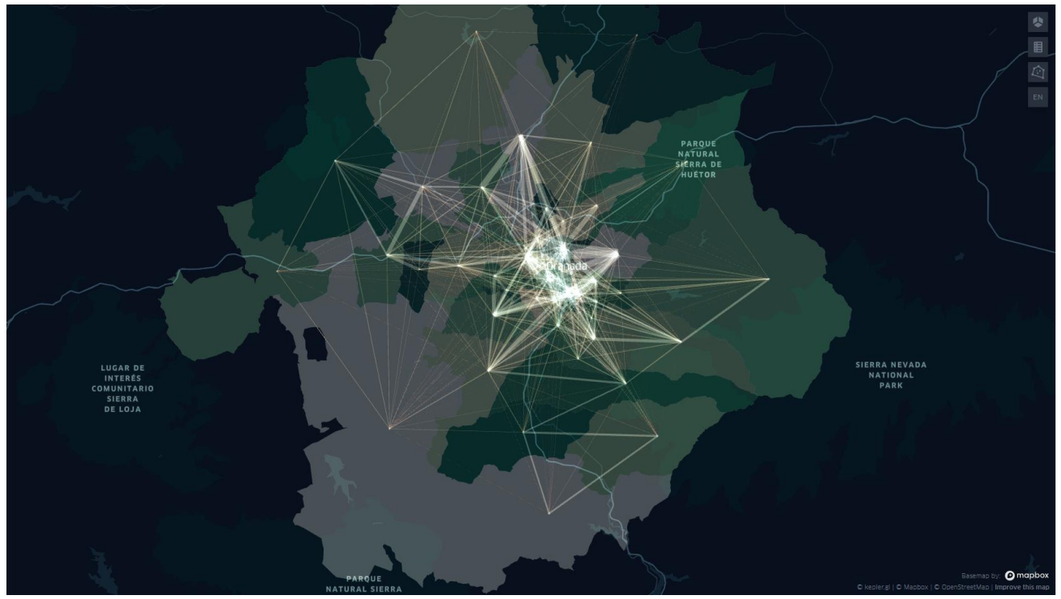
B. Especificación de los datos publicados por el MITMS

Zonificación: La zonificación del estudio publicado por el MITMS es mucho más agregada que la zonificación del estudio, al constituir una zonificación basada en unidades administrativas (distritos, municipios o agrupaciones de municipios, según los casos) con una población, en general, superior a 5.000 habitantes y en ningún caso inferior a 1.000 habitantes. La zonificación del estudio del MITMS ofrece por lo tanto un nivel de detalle muy inferior a la zonificación del estudio (que está constituida principalmente a partir de secciones censales), siendo este uno de los principales beneficios de haber incluido en el contrato datos de telefonía específicos para el estudio.

Días de estudio: Se ha realizado un promedio de días laborables tipo de febrero de 2020 (martes, miércoles y jueves) que no sean víspera de festivo, en una de las semanas previas a la situación de pandemia (movilidad normal). Los datos mostrados corresponden a un promedio de la movilidad de los días 18/02/2020, 19/02/2020 y 20/02/2020.

Población de estudio: Población residente en España. Cabe destacar que no incluye a los extranjeros, aunque sí especifica en qué provincia residen los residentes en España que viajan en el área metropolitana de Granada, facilitando información de los españoles no residentes en la provincia de Granada.

Imagen 3. Visualización de los datos del MITMS (zonificación MITMS). Movimientos de la población residente en España.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía publicados por el MITMS

Viajes objeto de estudio: Se analizan los viajes de más de 500 metros con origen y destino dentro de España.

Indicadores: Se segmentan los datos de demanda en tramos de 1 hora según la hora de inicio del viaje, por la distancia ortodrómica entre el origen y el destino, así como también por motivo de viaje, lo que permitirá comparar los motivos de viaje con los obtenidos en la Encuesta Domiciliaria de 2015.

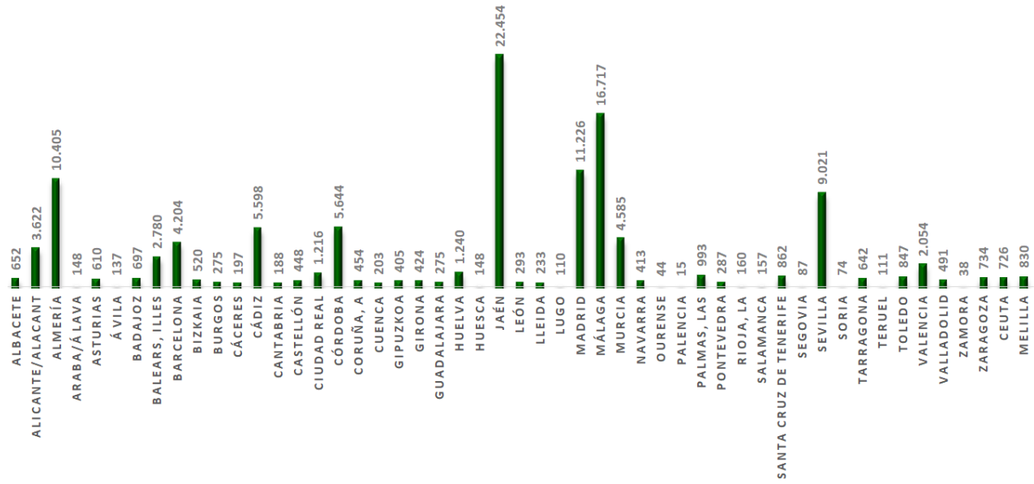
Imagen 4. Visualización de los datos del MITMS (zonificación MITMS). Movimientos de los no residentes en la provincia de Granada (sin incluir extranjeros).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía publicados por el MITMS

Como se puede observar en las dos anteriores imágenes, las relaciones de movilidad de los no residentes en la provincia de Granada se concentran principalmente en la ciudad de Granada y en destinos turísticos como el Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada, mientras que las relaciones de movilidad de todos los residentes en España tienen un carácter mucho más metropolitano, siendo Granada y su primera corona metropolitana los principales focos de atracción de viajes.

Según los datos publicados por el MITMS, la provincia de residencia de los habitantes que más se desplazan hacia/desde/entre el área Metropolitana de Granada, sin contar con los residentes en la provincia de Granada, son Jaén (22.454 desplazamientos), Málaga (16.717 desplazamientos), Madrid (11.223 desplazamientos), Almería (10.405 desplazamientos) y Sevilla (9.021 desplazamientos).

Imagen 5. Número de viajes hacia/desde/entre el Área Metropolitana de Granada en función del lugar de residencia de los españoles no residentes en Granada.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía publicados por el MITMS

C. Comparativa de las dos fuentes de telefonía móvil disponibles

Tras conocer las especificaciones de las dos fuentes de datos de telefonía móvil (KIDO DYNAMICS y MITMS) tenemos que tener presente que:

- La zonificación del estudio del MITMS es mucho más agregada. Para poder comparar los datos de ambas fuentes se ha llevado a cabo un proceso de fusión de zonificaciones que puede distorsionar ligeramente los resultados, al tener que repartir los viajes de la zonificación más agregada (MITMS) en la zonificación más desagregada (zonificación del estudio) a partir de datos de población y usos del suelo.
- El estudio del MITMS únicamente contabiliza los desplazamientos de una longitud superior a 500 m, mientras que los datos de telefonía aportados por el Consultor incluyen todos los desplazamientos.
- El estudio del MITMS únicamente contabiliza los desplazamientos de los residentes en España, mientras que los datos de KYDO DYNAMICS también incluye a los extranjeros. Sin embargo, los datos del MITMS sí segmentan por la provincia de residencia de los residentes en España, dato que puede ser de utilidad para observar cómo se mueven los españoles no residentes en la provincia de Granada a través del área metropolitana de Granada, tal y como se ha mostrado anteriormente con una visualización.
- El estudio del MITMS segmenta los datos hora a hora, lo que resulta una desagregación superior a la ofrecida por el Consultor (5 franjas horarias).

A continuación, se muestra una tabla comparando los viajes internos (con origen y destino el área metropolitana de Granada) que se originan en cada macrozona del estudio según las dos fuentes de explotación de datos de telefonía móvil. En la tabla podemos observar cómo los datos facilitados por KIDO DYNAMICS son siempre superiores a los datos del MITMS debido a que incluyen todos los desplazamientos, mientras que los datos del MITMS solo cuantifican los desplazamientos que recorren una distancia en línea recta superior a 500 metros. Además, la columna ratio consiste en la división de los viajes de ambas fuentes, comprobando que la mayor diferencia se produce en la ciudad de Granada (macrozonas 140-148). Esto tiene sentido, ya que es esperable que haya una mayor proporción de microtrayectos en las zonas comerciales, de ocio y en la Universidad de Granada en comparación con otras macrozonas.

Tabla 2. Comparación de los viajes originados por macrozona según los datos de KIDO DYNAMICS y del MITMS.

Universo 1:	INTERNOS	INTERNOS-INTERNOS	
Universo 2:	RESIDENTES/NO RESIDENTES	MOVIMIENTOS EN EL AM DE RESIDENTES EN LA PROVINCIA DE GRANADA	
Descripción Viaje:	CON MICROTRAYECTOS	+ de 500 metros	
Información Adicional:	PROMEDIO(02/10/2019;15/10/2019;16/10/2019;17/10/2019;23/10/2019;24/10/2019)	PROMEDIO (20200218,20200219,20200220)	
Fuente:	**Kido Dynamics**	**MITMA**	
Año:	**2019**	**2020**	
MACROZONAO	**VIAJES KIDO**	**VIAJES MITMA**	**Ratio**
1	19.049	15.440	1,23
2	318.965	152.198	2,10
3	73.578	44.378	1,66
4	65.334	38.510	1,70
5	78.602	51.024	1,54
6	80.444	42.389	1,90
7	10.265	7.991	1,28
8	451.585	264.202	1,71
9	58.268	34.710	1,68
10	314.822	165.355	1,90
11	13.641	12.432	1,10
12	8.598	8.544	1,01
13	90.529	47.691	1,90
140	185.241	77.712	2,38
141	287.717	154.258	1,87
142	198.503	98.382	2,02
143	126.577	49.121	2,58
144	195.497	78.377	2,49
145	263.483	144.450	1,82
146	131.696	77.933	1,69
147	220.251	110.449	1,99
148	197.313	93.974	2,10
Total	**3.389.957**	**1.769.521**	**1,92**

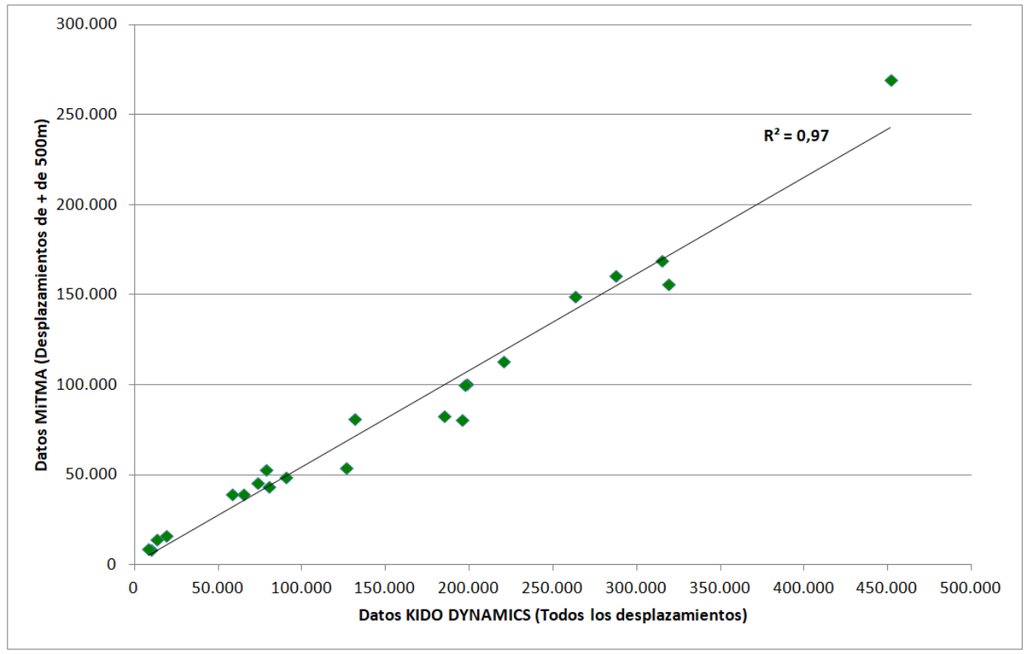
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía de KIDO DYNAMICS y del MITMS

Tal y como observamos en la tabla, a través de la telefonía móvil se estima que se llevan a cabo 3.389.957 desplazamientos con origen y destino el área metropolitana de Granada, de los cuales 1.769.521 cubren una distancia en línea recta superior a los 500 metros.

A pesar de que la especificación de ambas fuentes de datos es distinta, si comparamos los viajes originados por macrozona en ambas fuentes a través de una regresión lineal, encontramos que el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0,97. De forma análoga, si comparamos todas las relaciones de movilidad entre macrozonas a través de una regresión lineal, observamos como el coeficiente de determinación (R^2) es igual a 0,88. La obtención de unos coeficientes de determinación altos en ambas comparativas (agregada y desagregada) aportan confianza acerca del proceso de obtención de los datos de telefonía, al obtener resultados correlacionados de dos procesos de obtención de datos llevados a cabo por empresas de

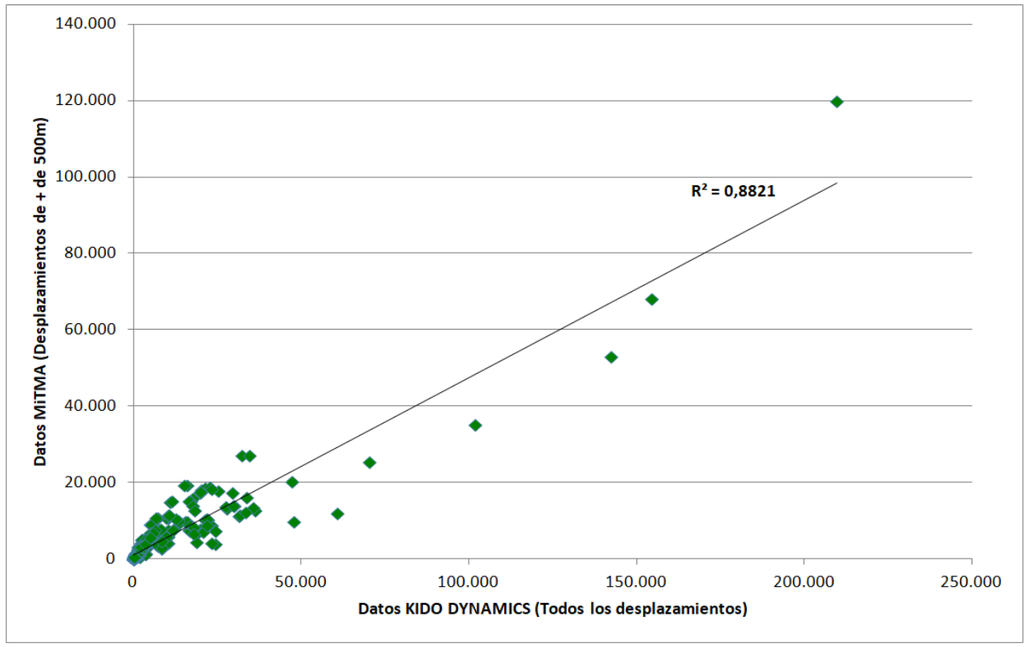
explotación de datos de telefonía móvil distintas, siendo posible la fusión de ambas fuentes con cierto nivel de confianza para sacar el máximo provecho a cada conjunto de datos.

Imagen 6. Comparación de los viajes originados por macrozona según los datos de KIDO DYNAMICS y del MITMS.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía de KIDO DYNAMICS y del MITMS

Imagen 7. Comparación de los viajes entre macrozonas según los datos de KIDO DYNAMICS y del MITMS.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía de KIDO DYNAMICS y del MITMS

D. Comparativa de las fuentes de telefonía móvil con la Encuesta Domiciliaria de 2015.

Además de la comparativa entre ambas fuentes de datos procedentes de la explotación de datos de registros de telefonía móvil, el consultor ha comparado sendas fuentes con los resultados que se obtuvieron en la Encuesta Domiciliaria de 2015 (EDM2015). La especificación de los datos obtenidos en la EDM2015 es la siguiente:

Zonificación: La zonificación por macrozonas en el Plan es exactamente la misma que la que se empleó en el estudio anterior, tal y como se ha comentado anteriormente.

Días de estudio: La encuesta domiciliaria se llevó a cabo en días laborables desde el 15 de noviembre de 2015 al 15 de diciembre de 2015. Esto supone un desfase de alrededor de 4 años en comparación con las fuentes de telefonía móvil.

Población de estudio: Población residente en el área metropolitana de Granada. Cabe resaltar que la encuesta domiciliaria no recaba información acerca de no residentes en el ámbito de estudio (nacionales residentes fuera del área metropolitana de Granada y extranjeros), siendo esta una limitación tradicional de la encuesta domiciliaria.

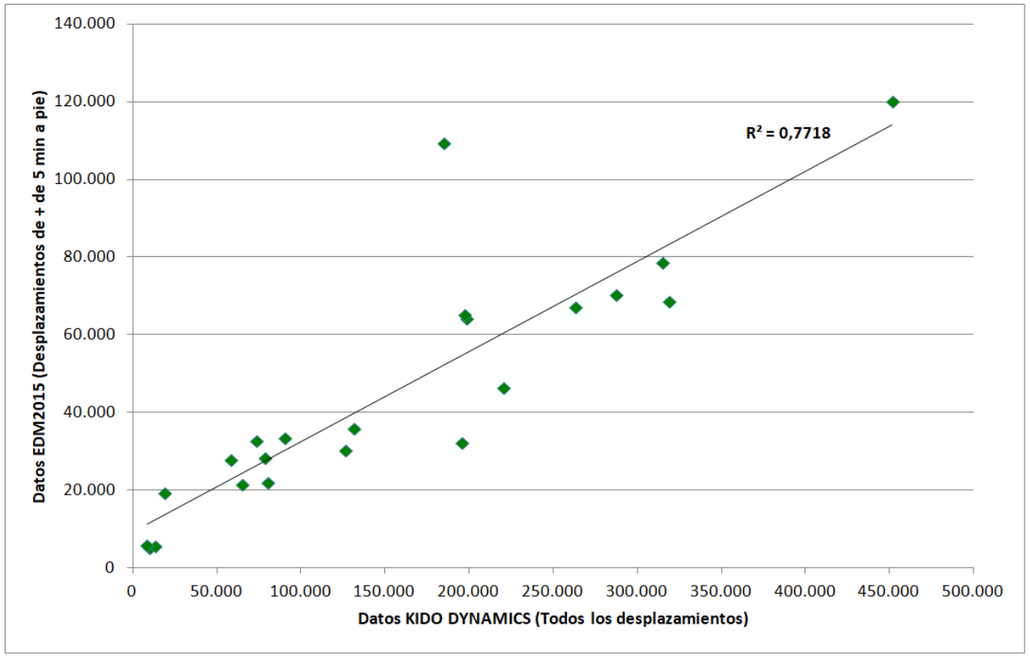
Viajes objeto de estudio: Los viajes registrados en la encuesta domiciliaria corresponden a aquellos desplazamientos superiores a una distancia equivalente a 5 minutos a pie. Cabe destacar que no se recaban por lo tanto los microtrayectos, aunque la distancia de 5 minutos a pie sí es similar a la especificación de 500 metros establecida en el MITMS (500 metros equivalen a aproximadamente 6 minutos a pie).

Indicadores: La encuesta domiciliaria proporciona una gran cantidad de información de cada desplazamiento como por ejemplo hora, motivo de viaje, modo, coeficiente de ocupación si el modo elegido es vehículo privado, tipo de billete, línea y parada empleados si se ha viajado en transporte público, etc.

Como se observa en la siguiente imagen, a pesar de que los datos de movilidad se han recabado de fuentes completamente distintas (encuesta domiciliaria y telefonía móvil), con un desfase temporal de 4 años y que la especificación de las fuentes de datos es distinta, vemos como a nivel de viajes generados por macrozona los datos de KIDO DYNAMICS y de la EDM2015 guardan cierta relación, presentando un coeficiente de determinación (R^2) de 0,77.

Tal y como se ha comentado anteriormente, la especificación de los datos de la EDM2015 (viajes de más de 5 minutos a pie) y la especificación de los datos publicados por el MITMS sin contar los viajes de los no residentes (viajes de más de 500 metros que equivaldría aproximadamente a unos 6 minutos a pie) es similar, aunque la diferencia en viajes sea muy importante, concretamente en la EDM el número de viajes se estimó en 1.082.446 viajes, mientras que del estudio del MITMS se obtienen 1.769.521 viajes, lo que supone un incremente del 37%. Este hecho unido a que las dos fuentes de telefonía móvil arrojan resultados consonantes conduce a pensar que en la anterior EDM2015 el número de viajes de los residentes se infraestimó. Cabe destacar que es habitual que en las encuestas domiciliarias exista una tendencia a que los encuestados informen acerca de menos viajes que los que realmente realizaron, siendo este hecho una de las causas de la diferencia.

Imagen 8. Comparación de los viajes originados por macrozona según los datos de KIDO DYNAMICS y de la Encuesta Domiciliaria de 2015.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de telefonía de KIDO DYNAMICS y de la encuesta domiciliaria de 2015

3.4. Transporte Público

La red de transporte público relevante para alcanzar los objetivos propuestos por la modelización incluye la red de autobús interurbano, el Metro de Granada y la red de autobús urbano de la ciudad de Granada.

Para modelizar el sistema de transporte público en el escenario base debemos de introducir fidedignamente en el paquete de simulación la oferta de transporte público y tras el proceso de calibración, debemos obtener una demanda modelizada por línea de transporte público que esté en el mismo orden de magnitud de la demanda observada, así como también reflejar correctamente el número de pasajeros subidos por parada de transporte, en caso de estar el dato disponible.

A continuación, se presenta una tabla resumen con toda la información disponible de un día laborable tipo de octubre de 2019 para modelizar el sistema de transporte público diferenciando entre datos de oferta y demanda.

Tabla 3. Datos disponibles para la modelización del sistema de transporte público (● Disponible; ○ Parcialmente disponible; x No disponible; NA No Aplica)

Tipo	Variable	Metro	Bus urbano	Bus interurbano
Oferta	Información georeferenciada: Líneas, número de expediciones, frecuencias, recorridos, horario y paradas.	●	●	●
Oferta	Sistema tarifario	●	●	●
Oferta	Tráficos permitidos entre paradas (coordinación entre los autobuses urbanos e interurbanos)	NA	●	
Oferta	Velocidad comercial por línea	●	●	○
Demanda	Número total de pasajeros por línea y hora	●	●	●
Demanda	Pasajeros subidos por parada de transporte	●	○	x
Demanda	Pasajeros bajados por parada de transporte	○	x	x
Demanda	Número de transbordos por parada	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla anterior, **la información necesaria para introducir todas las líneas de transporte público en el paquete de simulación** con sus tarifas, frecuencias, horarios, recorridos y tráficos permitidos entre paradas **está totalmente disponible** para un día laborable tipo de octubre de 2019. Los tráficos permitidos entre paradas se refieren a los tráficos que puede captar la red de autobuses interurbanos dentro de la ciudad de Granada (subidos y bajados dentro de la ciudad de Granada). Por ejemplo, la línea interurbana 33 Cenes de la Vega – Estación de Autobuses sí tiene permitido subir y bajar pasajeros con origen y destino la ciudad de Granada, cosa que no suele ser habitual al requerirse de un acuerdo interadministrativo y entre operadores.

En lo referente a la demanda, se cumple el requisito indispensable para poder ajustar la demanda de transporte público que es disponer del número total de pasajeros por línea. Además, en el ámbito de estudio también disponemos de información por horas, lo que permitirá ajustar con garantías el modelo de hora punta de la mañana. La red de bus urbana y la red de metro disponen de datos de pasajeros subidos por parada (la red de metro también dispone de pasajeros bajados en las cuatro estaciones subterráneas), por lo que esta información adicional será de gran utilidad para conseguir un mejor ajuste de las matrices de transporte público de estos modos, al disponer de totales tanto a nivel de línea como a nivel de parada.

Como suele ser habitual, no se dispone del número de transbordos por parada, no obstante, las encuestas de satisfacción a los usuarios de la red de transporte de metro y de bus urbano e interurbano, sí nos ofrecen una idea general acerca del número medio de transbordos que realizan los usuarios de estas redes de transporte, pudiendo incorporar esta información en el modelo y simular mejor el comportamiento de los usuarios con respecto a la tendencia a realizar transbordos y los modos de acceso/dispersión de la red de transporte público.

3.5. Transporte Privado

Para obtener una "foto" fidedigna de la movilidad en un día laborable tipo de octubre de 2019 en vehículo privado se requiere que el modelo calibrado y validado refleje las intensidades de tráfico por tipo de vehículo ligero (longitud < 6m) y pesado (longitud > 6m) en las vías más importantes del área metropolitana de Granada, así como también su congestión (velocidades o tiempos de recorrido). La existencia de una red densa de espiras desplegadas en la red de carreteras y de datos históricos de aforos que aporte datos de intensidades y velocidades en puntos clave de la red de carreteras es suficiente para calibrar y validar la asignación sobre la red de carreteras.

También se dispone de la planta de la red de carreteras en el ámbito de estudio con información a nivel de arco de la velocidad máxima permitida, el número de carriles, tipo de vehículo permitido, giros permitidos, etc.

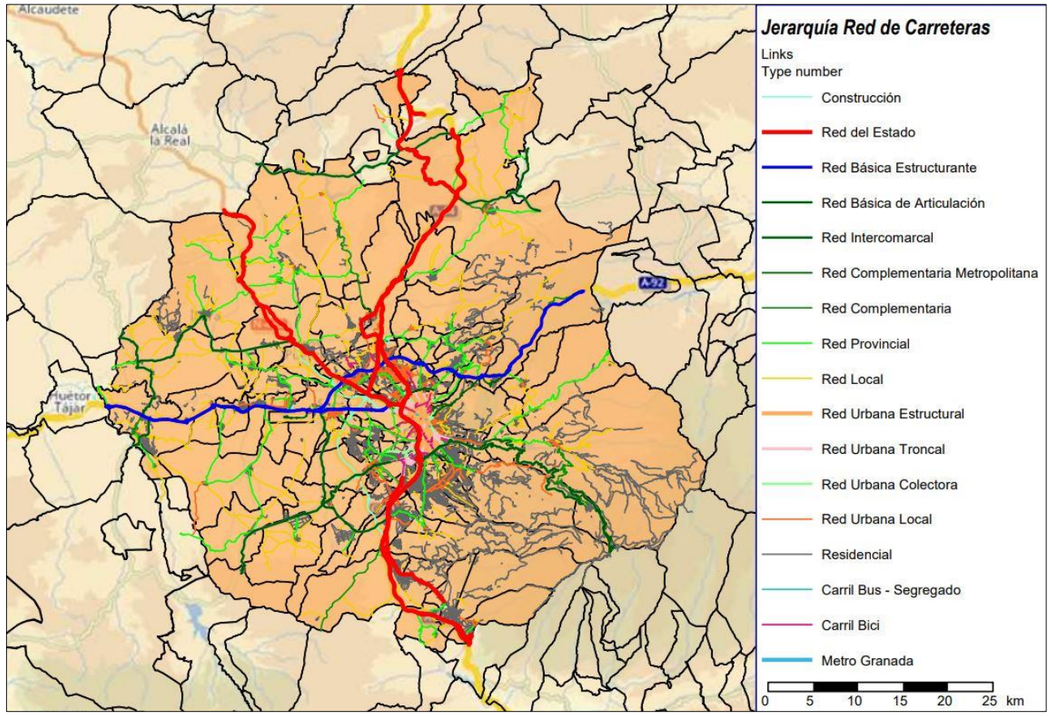
Tabla 4. Datos disponibles para la modelización del sistema de transporte privado (● Disponible; ○ Parcialmente disponible; x No disponible; NA No Aplica)

Tipo	Variable	Disponible
Oferta	Red de transporte por carretera (trazado, número de carriles, velocidad máxima permitida giros permitidos, tipo de vehículo permitido, etc.)	●
Demanda	Intensidades de tráfico por hora en puntos clave de la red de carreteras	●
Demanda	Velocidades instantáneas por hora en puntos clave de la red de carreteras.	●

Fuente: Elaboración propia

La información anterior se completará con información proveniente de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera 2019 para una mejor caracterización del tráfico pesado. También se consultará el Estudio Piloto de Movilidad Interprovincial publicado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana para obtener el modo de los viajes cuyo origen o destino sea otra provincia. También se emplearán datos de tiempos de recorrido recabados a partir de la API de Google como información adicional para validar las funciones intensidad-demora del modelo de demanda.

Imagen 9. Red de carreteras codificada en el modelo de simulación.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Bajo el punto de vista del consultor la red de estaciones de aforos existentes en el ámbito de estudio es densa y una campaña de aforos hubiese supuesto un esfuerzo económico importante comparado con lo que hubiese aportado al estudio. Esto se debe a que, tras la recolección y análisis de los datos de las estaciones de aforo disponibles y útiles que aportan información relevante desplegadas en la red de carreteras del ámbito de estudio se consideran idóneas para facilitar las labores de calibración del modelo.

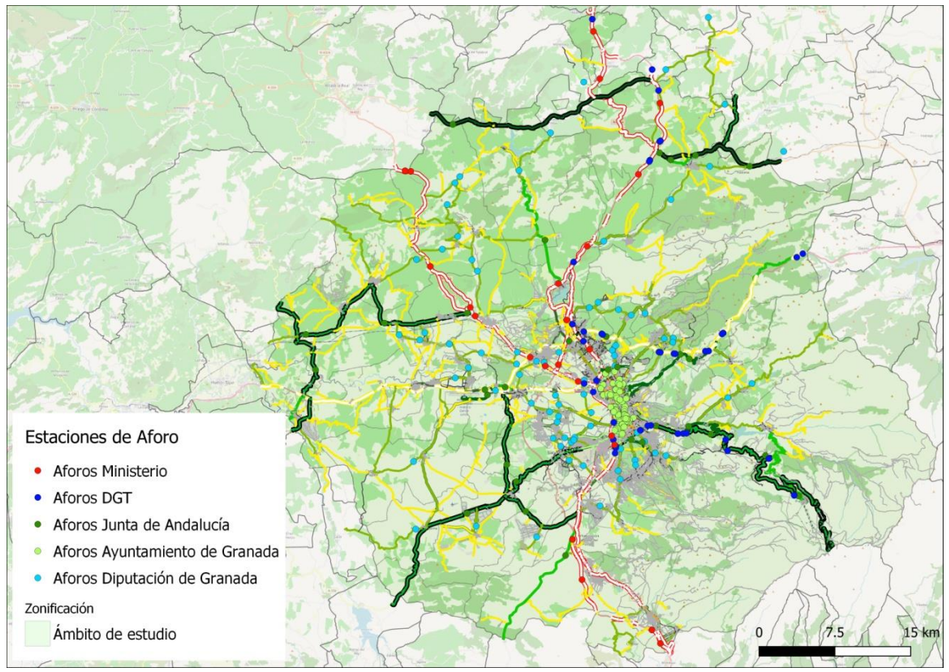
Las siguientes dos imágenes muestran la red de estaciones de aforo disponibles en el ámbito de estudio, la primera muestra el área metropolitana de Granada en su conjunto y la segunda la ciudad de Granada. Como se observa en las imágenes, se ha realizado un gran esfuerzo recopilando información de cuatro administraciones diferentes (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana; Dirección General de Tráfico; Junta de Andalucía y Ayuntamiento de Granada), obteniendo una red densa de estaciones de aforo desplegadas en la red de carreteras del ámbito de estudio que se considera suficiente para lo objetivos definidos para la modelización. En total dispondremos de 339 puntos de aforo, tal y como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 5. Estaciones de aforo disponibles en el área metropolitana de Granada

Fuente de Información	Estaciones de aforo disponibles
Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana	32
Dirección General de Tráfico	52
Junta de Andalucía	54
Ayuntamiento de Granada	77
Diputación de Granada	124
Total	**339**

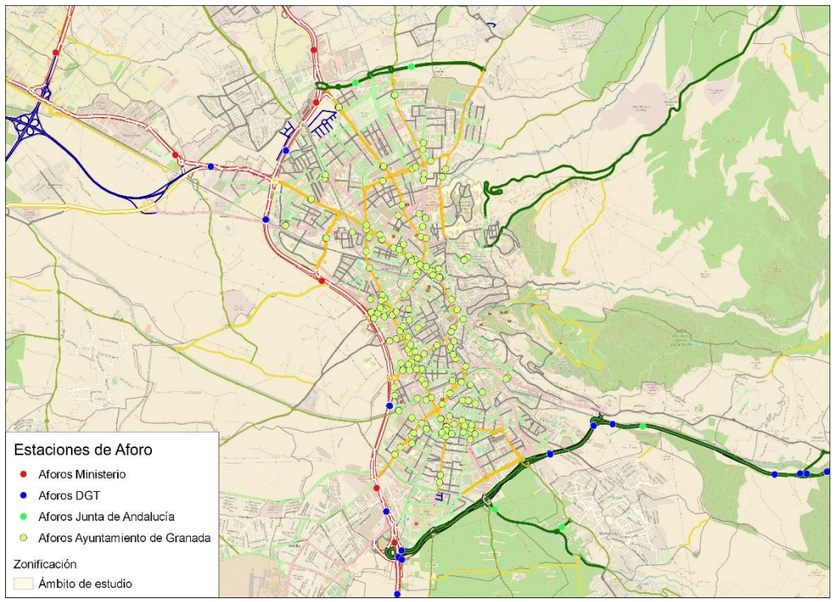
Fuente: Elaboración propia

Imagen 10. Puntos de aforo disponibles en el ámbito de estudio (área metropolitana)



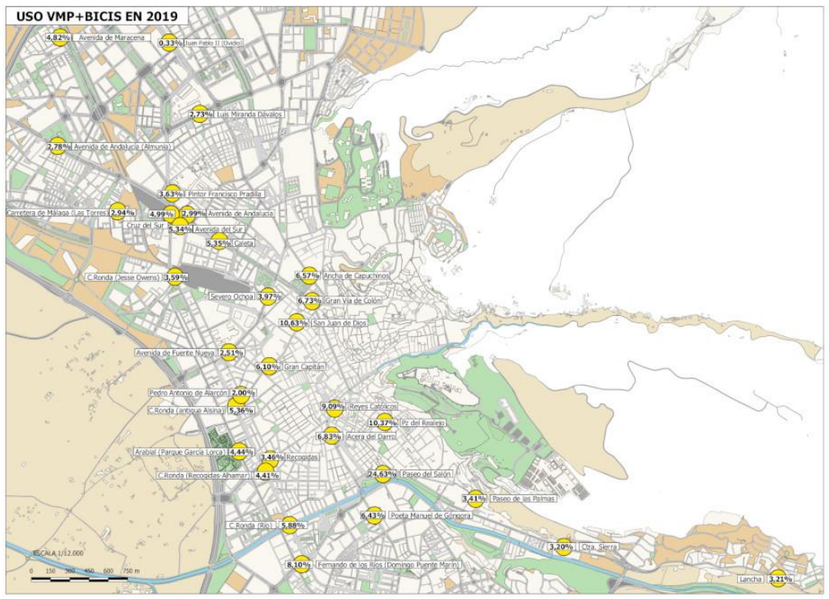
Fuente: Elaboración propia

Imagen 11. Puntos de aforo disponibles en la ciudad de Granada.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 12. Puntos de aforo ciclistas y de vehículos de movilidad personal en Granada



Fuente: Área de Movilidad del Ayuntamiento de Granada

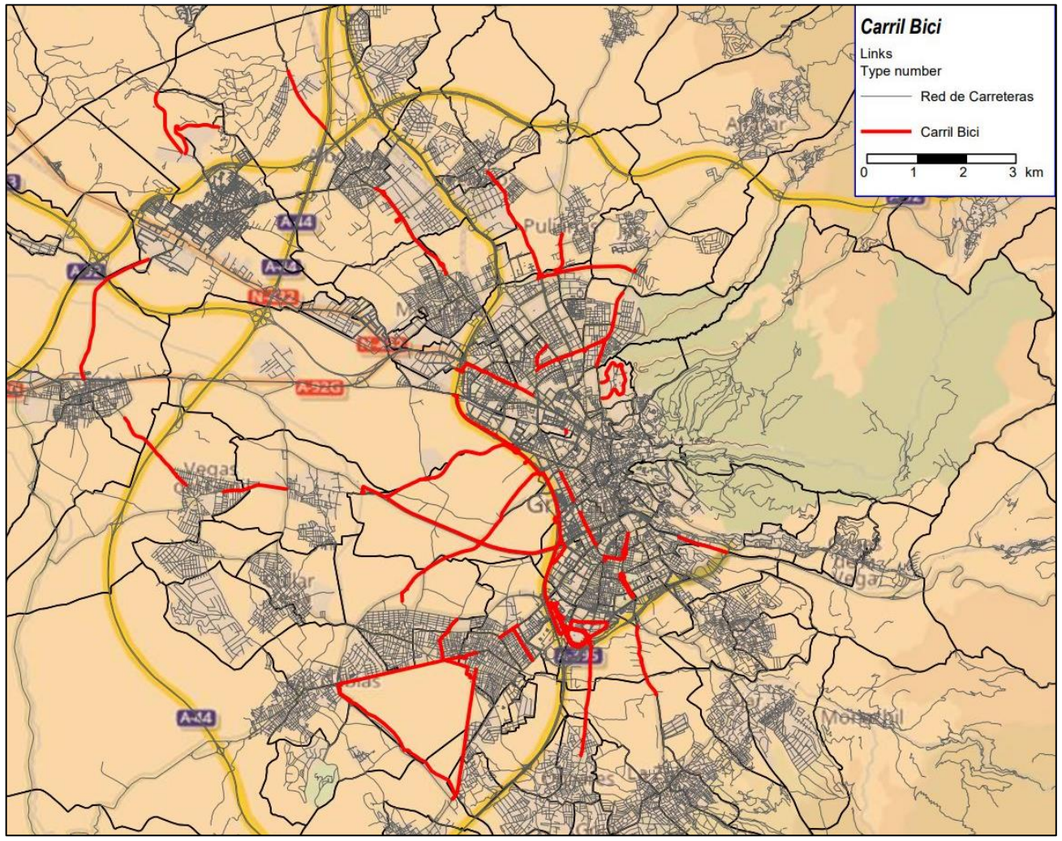
3.6. Modos Sostenibles

Comparada con la información disponible de movilidad mecanizada (transporte público y privado), la información existente referente a modos sostenibles (bicicleta, peatón, Vehículos de Movilidad Personal (VMP)) es mucho más limitada. En la actualidad no existen aforos peatonales, aunque sí existen aforos de bicis y VMP desde los años 2017 a los años 2020 en la ciudad de Granada que pueden ayudar a estimar el reparto modal de estos modos. Para el año 2019 (año base) se disponen de 32 puntos de aforos ciclistas y VMP en la ciudad de Granada, tal y como se muestra en la imagen siguiente.

Como se ha comentado en un apartado anterior, el foco de un plan de transportes metropolitano debe estar sobre los desplazamientos interurbanos y periurbanos, sin descuidar las etapas de estos desplazamientos que se realicen en suelo urbano. Por este motivo, el foco del modelo de transportes propuesto consiste en modelizar con precisión el transporte mecanizado (transporte privado y transporte público), siendo posible estudiar los efectos de cualquier actuación sobre la oferta de transporte de los modos mecanizados. Sin embargo, el modelo también incluirá la red de transportes de los modos sostenibles (movilidad peatonal, ciclista y en vehículos de movilidad personal), permitiendo estudiar de forma indirecta el impacto que las actuaciones sobre los modos ciclopeatonales puedan tener sobre el sistema de transportes del Área Metropolitana de Granada en su conjunto, aunque su calibración no será tan precisa al disponer de menos puntos de aforo.

A continuación de muestra un gráfico elaborado con PTV VISUM obtenido tras codificar la red de carriles bici existente en el ámbito de estudio, en concreto se muestra la red de carriles bici en la ciudad de Granada y su conexión con la primera corona metropolitana. La información de los modos sostenibles, aunque no son un modo altamente empleado para desplazamientos metropolitanos de larga distancia se tendrá en cuenta en la calibración del modelo, sobre todo como modo de acceso y dispersión del sistema de transporte público.

Imagen 13. Red de carriles bici en el Área Metropolitana de Granada codificada en VISUM



Fuente: Elaboración propia con el paquete PTV VISUM a partir de datos del Área de Movilidad del Ayuntamiento de Granada, de OpenStreetMaps y del visor Google Maps

3.7. Otras fuentes

Además de las fuentes de información ya mencionadas, en el trabajo de recopilación de información también se ha recabado información acerca de los planes de movilidad que se han redactado en el ámbito de estudio e información acerca de centros atractores que, aunque no constituyen la información primaria para calibrar y validar el modelo, sí aportan conocimiento sobre el ámbito de estudio e información puntual de contraste que puede resultar de interés en la calibración del escenario base del modelo de transportes. Estas fuentes de información son:

- **Planes de futuro de Mercagranada en el Área Logística**. El documento incluye el movimiento de tráfico pesado desde 2018 a 2020 con una periodicidad mensual, por lo que la fuente es de interés como punto de control para tener correctamente modelizado el tráfico pesado con/origen destino Mercagranada en el día laborable tipo modelizado de octubre de 2019.
- **Estudio para la elaboración del Plan Integral de Tráfico y Movilidad en el término municipal de Albolote (Julio 2017).** El documento incluye un análisis de la movilidad y aforos de tráfico realizados en marzo de 2017 en el municipio de Albolote.
- **Plan de Movilidad y Transporte al Trabajo del Hospital Universitario Virgen de las Nieves (2009).** Aunque el plan se redactó 10 años con anterioridad al año del escenario base que se pretende modelizar (2019), el documento incluye información interesante como por ejemplo el número de trabajadores del hospital y el modo de transporte en el que accedían al mismo.
- **Viajeros de media y larga distancia en tren desde el 2014 al 2020 (ADIF).** Gracias a estos datos facilitados por ADIF conocemos la evolución de las personas viajeras de media y larga distancia desde el 2014 hasta 2020 con una periodicidad mensual. Estos datos servirán como dato de control para el tráfico modelizado en la estación de ADIF (tráfico externo-interno al ámbito de estudio), ya que conocemos que en octubre de 2019 el número de pasajeros de tren en servicios de media y larga distancia fue de 96.546 pasajeros.
- **Ficha de la Asociación Española de Centros Comerciales (AECC) del centro comercial Granaita.** La ficha incluye información de los m^2 de Superficie Bruta Alquilable (SBA), datos de empleos (1.132) y número de visitantes (aprox. 10 millones) en 2019. También aporta información sobre el reparto modal aproximado (97% en vehículo privado, 2% en transporte público y 1% a pie). Esta información se tendrá en cuenta durante el proceso de calibración como punto de control para tener modelizada correctamente la demanda en el escenario base.
- **Plan de acción de Optimización del transporte público por una movilidad regional verde (OptiTrans).** Este documento publicado por la Agencia Provincial de la Energía de Granada, implementado a través del programa INTERREG EUROPE y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) consiste en un plan de actuaciones reales y financiables con fondos FEDER (o cualquier otro tipo de fondos elegible) relativas a la optimización del transporte público y movilidad verde.
- **Servicios para la elaboración de un estudio informativo de la ampliación del metro de Granada (2020).** En este contrato se llevaron a cabo encuestas de preferencias declaradas que condujeron a la estimación de una formulación de reparto modal en el ámbito de estudio, y la estimación del valor del tiempo de los usuarios. Estas formulaciones y valores se han aprovechado para nutrir la etapa de reparto modal del modelo de transportes para el Plan.

3.8. Justificación de la existencia de suficientes datos para alcanzar los objetivos marcados por la modelización

Tras exponer los objetivos perseguidos por la modelización y las fuentes de información disponibles podemos afirmar que **sí se dispone de información suficiente para calibrar y validar un modelo de demanda del área metropolitana de Granada que satisfaga los objetivos marcados** y también que su uso nutrirá el Plan con una herramienta para una mejor compresión del sistema de transportes y el estudio de las actuaciones del Plan.

Por una parte, disponemos de toda la oferta del sistema de transportes (privado, público y de modos sostenibles), por otra disponemos de información suficiente de demanda de cada uno de los modos (sobre todo de los mecanizados que son los que mayor demanda tienen) y por último información de demanda global proveniente de registros de telefonía móvil. Tras incorporar toda esta información en el modelo los especialistas en modelización han sido capaces de cruzar toda la información y calibrar, de acuerdo con los estándares internacionales en mejores prácticas de calibración, un escenario base que simule los datos observados de forma adecuada. El ejercicio de calibración se puede conceptualizar como un puzle donde toda la información recabada encaja una vez calibrado el modelo y donde la interacción entre la oferta y la demanda de transportes observada queda reflejada en el modelo. Una vez calibrado el escenario base, la herramienta estará lista para el estudio de escenarios de oferta y demanda futuros, pudiendo obtener del modelo multitud de indicadores que son fundamentales para análisis coste-beneficio y medioambientales.

4. METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN DEL ESCENARIO BASE

4.1. Introducción

Las cuatro etapas del modelo de demanda propuesto son:

- Etapa 1. Generación/atracción. Persigue obtener los viajes generados y atraídos por motivo de viaje de cada una de las zonas de transporte pertenecientes al área metropolitana de Granada.
- Etapa 2. Distribución espacial. A partir de los resultados anteriores (suma de filas y columnas de la matriz de viajes generados/atraídos), se estima la matriz G/A por motivo de viaje y, a partir de ella, se obtiene la matriz O/D global por motivo de viaje.
- Etapa 3. Reparto modal. El objetivo es descomponer la matriz O/D global en diversas matrices por modo de transporte, reproduciendo la elección modal que realiza el usuario en cada caso. El foco de esta etapa es la descomposición de la matriz global de viajes entre los modos privado y público.
- Etapa 4. Asignación de las matrices correspondientes a los modos de transporte público y privado sobre su red.

El proceso de modelización expuesto a continuación se ha llevado a cabo para los siguientes períodos horarios:

- Punta de la mañana correspondiente con el tramo horario de 7:00-9:00h
- Modelo de un día completo 24h

A continuación, se resumen las principales características de la zonificación y etapas del modelo de demanda propuesto para alcanzar los objetivos definidos anteriormente.

4.2. Zonificación

La zonificación propuesta para el PTMAG consiste en un total de **389 zonas**, siendo **181 zonas internas y 208 zonas externas con respecto al Área Metropolitana de Granada.** Las zonas internas se agregan en **22 macrozonas** y **7 territorios**, coincidiendo estas macrozonas y territorios con los del anterior Plan de Transporte Metropolitano del Área de Granada: Plan de Movilidad Sostenible (2017), aportando esta zonificación agregada una visión más global de la movilidad interurbana objeto de estudio. Cabe destacar que, de las zonas internas, 21 de ellas se consideran como zonas especiales debido a su gran potencial de atracción de viajes.

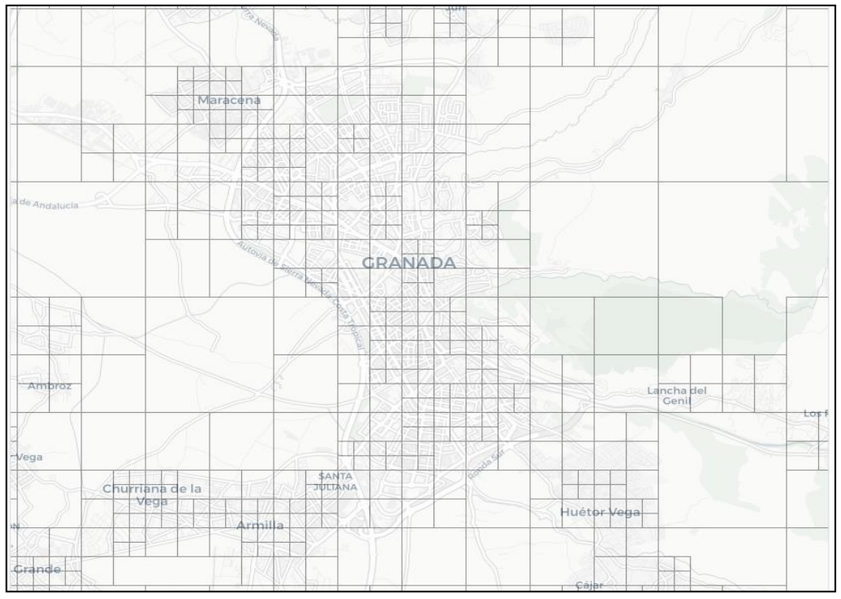
Las tres primeras etapas del proceso de modelización se han diseñado con la macrozonificación para obtener formulaciones estadísticamente más robustas, ya que la información agregada a este nivel es más completa y ofrece resultados más fiables.

Posteriormente, en la fase de aplicación de los modelos, estas formulaciones se aplican de manera desagregada, obteniendo así matrices de viajes para la zonificación de detalle (389 zonas) que es la que se adopta para el modelo de red (etapa de asignación).

La zonificación se ha diseñado siguiendo los siguientes criterios:

- **Garantizar la compatibilidad con las divisiones administrativas existentes.** Se ha garantizado la compatibilidad con las secciones censales (2019) obtenidas del Instituto Nacional de Estadística (INE) y con los límites municipales. Una zona como mínimo, salvo en el caso de las zonas especiales, corresponde con una sección censal y como máximo con el área que abarca un municipio.
- **Garantizar que el nivel de detalle es suficiente para permitir alcanzar con éxito los objetivos a alcanzar por la modelización.**

Imagen 14. Granularidad espacial de las antenas de telefonía móvil

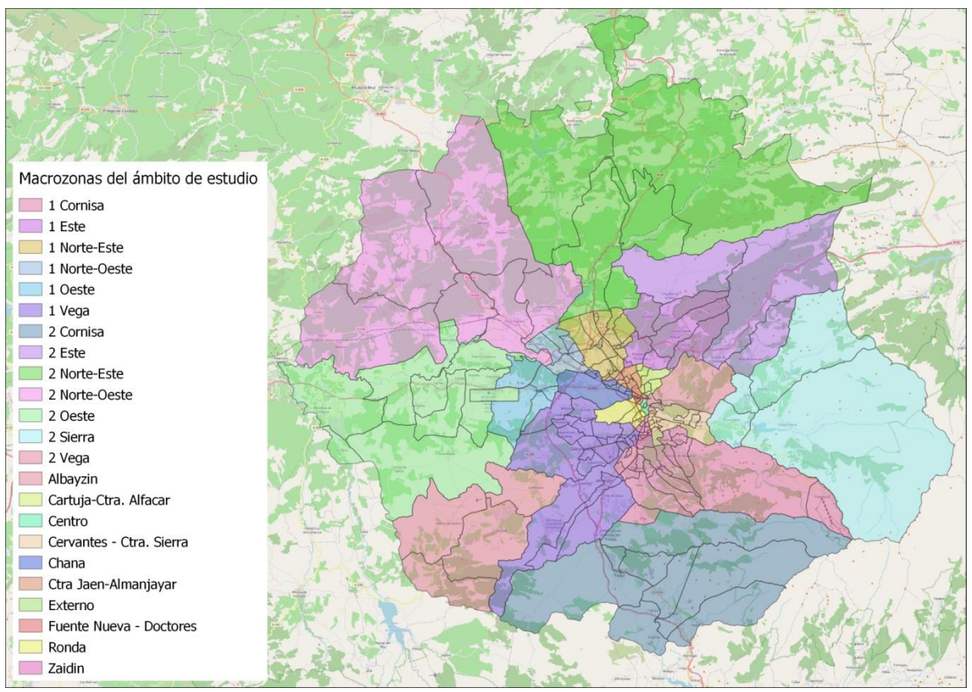


Fuente: KIDO DYNAMICS

- **Garantizar la compatibilidad con estudios anteriores y con la ubicación de las antenas de telefonía móvil**. La zonificación propuesta es compatible con la del Plan de Movilidad Urbano Sostenible de Granada (2013) y con la zonificación del anterior Plan de Transporte Metropolitano del Área de Granada: Plan de Movilidad Sostenible (2017). Las únicas diferencias de la zonificación propuesta con la del PMUS (2013) se deben a que éstas ya se incorporaron en la zonificación del anterior Plan (2017). A pesar de que la zonificación propuesta es compatible con la del anterior Plan (2017), también existen algunas diferencias. Los principales cambios son:
    - Mayor desagregación zonal de los municipios situados en el área metropolitana de Granada para que la población no supere alrededor de 7.000 habitantes por zona, ya que en la anterior zonificación había zonas con poblaciones superiores a 15.000 habitantes, lo que supone realizar un análisis con un nivel de agregación excesivo para los objetivos marcados.
    - Mayor agregación zonal de las zonas ubicadas en el municipio de Granada. Se considera que el nivel de detalle de la zonificación del Plan anterior (2017) en la ciudad de Granada (cada zona corresponde con una sección censal) es excesivo, no siendo este nivel de detalle compatible con las antenas de telefonía móvil, al requerirse un nivel mayor de agregación para obtener resultados robustos a partir de datos provenientes de registros móviles.
    - La anterior zonificación agregaba municipios de la corona metropolitana de Granada, por lo que se han desagregado estas zonas para que cada zona corresponda como máximo con el área que abarca un municipio, pudiendo representar así en el modelo los flujos interurbanos entre todos los municipios contenidos en el área metropolitana.
    - La zonificación ha sido verificada por el proveedor de datos de telefonía móvil KIDO DYNAMICS, quedando garantizada su compatibilidad con la zonificación de las antenas. No obstante, algunas de las zonas especiales propuestas son demasiado pequeñas para garantizar que el nivel de extrapolación en la obtención del número de viajes a partir de datos provenientes de registros de telefonía móvil sea robusto. Este hecho afecta a varias de las zonas especiales propuestas, por lo que las zonas especiales afectadas se han agregado junto a la zona correspondiente a su sección censal original para proceder a la obtención de las matrices OD provenientes de datos de telefonía móvil. Posteriormente, en trabajo de gabinete, se ha realizado una desagregación para trabajar con la zonificación propuesta a lo largo del Plan.
    - Se han aislado 21 zonas especiales con un especial potencial de atracción de viajes. Las zonas se resumen a continuación:
        - Sierra Nevada (200).
        - Alhambra (201)
        - Aeropuerto (202)
        - Base aérea de Armilla (203)
        - Centro Comercial Nevada (204)
        - Campus de La Cartuja, Universidad de Granada (205)
        - Estación de autobuses (206)
        - Polígono Industrial El Florío (207)
        - Estación RENFE (208)
        - Parque Comercial Granaita (209)
        - Mercagranada (210)
        - Hospital Universitario Clínico San Cecilio (211)
        - Campus de Fuente Nueva, Universidad de Granada (212)
        - Parque de Las Ciencias (213)
        - Estadio de Los Cármenes y Palacio Municipal de Deportes (214)
        - Polígono Tecnológico San Nicolás (215)
        - Centro Comercial Serrallo (216)
        - Polígono Industrial Juncaril (217)
        - Polígono Industrial Asegra (218)
        - Campus de La Salud, Universidad de Granada (219)
        - Polígono de La Paz (220)
- **Inclusión de un elevado número de zonas externas para la correcta caracterización de la movilidad interna-externa al ámbito de estudio, aprovechando las virtudes de los datos provenientes de registros móviles.** Por ejemplo, se incluyen como zonas externas al ámbito de estudio cada uno de los municipios de la provincia de Granada que no forman parte del área metropolitana de Granada. También se han desagregado con mayor detalle las provincias aledañas a la provincia de Granada, llevando a cabo las divisiones pertinentes para agruparlas por corredores de acceso por carretera al área metropolitana de Granada. El resto de provincias españolas tienen su propia zona externa. La gran cantidad de zonas externas nos permitirá tener una gran certidumbre acerca de las relaciones de movilidad del área metropolitana de Granada con su exterior y sus principales vías de acceso al área metropolitana, aprovechando así una de las principales virtudes de la tecnología basada en registros de telefonía móvil en comparación con métodos tradicionales como encuestas origen destino.

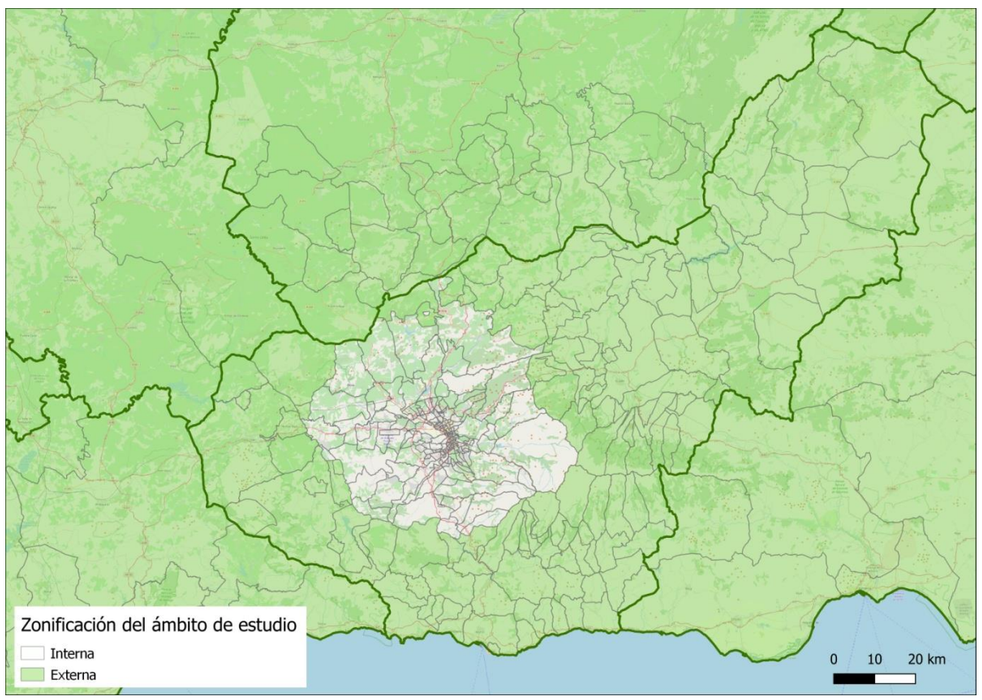
A continuación, se muestran dos imágenes de la zonificación propuesta para el Plan. En la primera podemos observar las zonas internas al área metropolitana de Granada y su nivel de agregación por macrozonas. En la segunda imagen se muestran las zonas externas más próximas al área metropolitana de Granada.

Imagen 15. Zonificación interna del Área Metropolitana y su agregación en macrozonas



Fuente: Elaboración propia

Imagen 16. Zonificación externa más próxima al Área Metropolitana de Granada



Fuente: Elaboración propia

4.3. Generación/Atracción

La etapa de generación y atracción consiste en la obtención de formulaciones matemáticas que vinculan la movilidad existente en un territorio con una serie de variables socioeconómicas, sociodemográficas y urbanísticas. Como resultado de esta etapa se obtiene el número total de viajes que genera y atrae cada una de las zonas de transporte en las que se ha zonificado el ámbito de estudio.

Una vez ajustada esta formulación matemática para el escenario base, la proyección a futuro de las variables que intervienen en las formulaciones junto con el empleo de las citadas fórmulas determinarán la movilidad global en el ámbito de estudio en cualquier escenario futuro, al obtener la cantidad de viajes que genera y atrae cada una de las zonas de transporte en el escenario futuro considerado (año futuro al que se han proyectado las variables).

Con la finalidad de disponer de modelos de generación y atracción flexibles se ha segmentado la generación y atracción por motivo de viaje, obteniendo una fórmula de generación y otra de atracción para cada uno de los siguientes motivos de viaje en los que se ha segmentado la demanda:

- **HBW** - Home Based Work (viajes por motivo trabajo basados en el hogar),
- **HBS** - Home Based Study (viajes por motivo estudios basados en el hogar),
- **HBO** - Home Based Other (viajes por motivo distinto a estudios o trabajo basados en el hogar) ,

- **NHB** - Non-Home Based (viajes de cualquier motivo no basado en el hogar).

La segmentación por motivo de viaje propuesta permite involucrar a un mayor número de variables socioeconómicas, sociodemográficas y urbanísticas en las formulaciones de generación y atracción, teniendo así un mayor control acerca de la proyección de la demanda futura. Por ejemplo, un descenso de la previsión de afiliados a la Seguridad Social se trasladaría en un menor número de viajes por motivo trabajo.

El modelo de generación permite:

- Crecer la demanda a futuro para un año horizonte determinado proyectando las variables al año horizonte para introducir dichas variables en las formulaciones de generación/atracción por motivo de viaje.
- Durante el proceso de proyección de las variables a futuro se pueden realizar hipótesis de proyección de las variables y generar distintos escenarios de evolución de la demanda que permitan obtener resultados del modelo de simulación para un determinado año horizonte en un rango de valores.

Las variables socioeconómicas, sociodemográficas y urbanísticas que se han cruzado con los datos de movilidad para obtener formulaciones estadísticamente significativas en cada uno de los modelos de generación y atracción asociados a cada motivo de viaje son por ejemplo la población, el parque de vehículos, el número de plazas escolares, el número de plazas universitarias, el número de camas de hospital, la renta, los afiliados a la Seguridad Social en residencia y lugar de trabajo, población demandante de empleo, el número de camas de hotel y/o en apartamentos turísticos y los m^2 acumulados en todas las plantas construidas de todas las tipologías contempladas por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA).

4.4. Distribución

Los modelos de distribución permiten reproducir el número de viajes entre cada par origen/destino mediante modelos matemáticos basados en las variables de generación/atracción entre cada zona de transporte y el coste generalizado del viaje entre ellas. El modelo de distribución "redistribuye" la demanda, o en otras palabras cambia la estructura de la matriz O/D global, si existe un cambio significativo en la infraestructura de transporte privado o público (o una mejora del servicio de transporte público) entre dos pares de zonas que haga disminuir o aumentar el coste generalizado de transporte entre las mismas, haciendo esta relación de movilidad más o menos atractiva. Estos modelos deben cumplir dos premisas fundamentales:

- Ser consistentes desde un punto de vista puramente estadístico con un elevado coeficiente de correlación (R^2) y un *t* estadístico significativo (mayor de 2) en las variables explicativas del modelo.
- Tener relaciones funcionales coherentes, es decir, que los coeficientes del modelo deben aparecer siempre con el signo teórico esperado, positivo para la variable viajes en zona de generación/atracción y negativo para el coste generalizado, variable siempre penalizadora de la movilidad (a mayor coste menor número de viajes).

El modelo utilizado es de tipo gravitatorio con la siguiente formulación:

$$V_{ij} = a * G_i^b * A_j^c * CG_{ij}^d$$

Donde:

Vij	Número de viajes entre las zonas i y j
Gi	Viajes generados en la zona de origen i
Aj	Viajes atraídos en la zona de destino j
CGij	Coste generalizado entre cada par de zonas ij
a,b,...,d	Parámetros de ajuste

Como coste generalizado del viaje se han adoptado los datos procedentes del modelo de asignación en transporte público y privado, ponderando tiempos y costes en función de la demanda de estos modos. Cabe resaltar que el modelo de distribución de la demanda se aplica de forma independiente para cada motivo de viaje.

El último paso para obtener las matrices de viajes por motivo es trasformar la matriz de generados/atraídos (G/A) en el formato de matriz origen/destino (O/D) que se emplea en la etapa de asignación. Para ello, se ha adoptado el siguiente procedimiento:

- La matriz G/A de punta de la mañana es similar a la matriz O/D ya que la gran mayoría de viajes responden a una movilidad con origen en el hogar. Por tanto, no ha sido preciso hacer ningún proceso de transformación para este período horario.
- El modelo de día laborable (24h) se obtiene la matriz O/D como la semisuma de la matriz resultante del modelo y su traspuesta, ya que al ser una matriz diaria se considera que es simétrica.

4.5. Reparto Modal

El objetivo de este modelo es explicar el reparto entre transporte público y vehículo privado en el año base y estimar las alteraciones producidas en la demanda de estos modos al modificarse la distribución espacial del sistema de actividades o las condiciones de oferta del sistema de transporte.

Por otra parte, es preciso aclarar que la distinción entre transporte público y privado en la que se basa este modelo se refiere al modo predominante en la secuencia modal de los viajes. A este respecto cabe señalar lo siguiente:

- Cuando la secuencia modal está integrada en su totalidad por medios de transporte público, se trata de un viaje en transporte público.
- Cuando la secuencia modal está integrada en su totalidad por medios de transporte privado, se trata de un viaje en transporte privado.
- Cuando la secuencia modal combina medios de transporte público y privado, se trata de un viaje en transporte público por entender que ése es el modo que predomina en el viaje y que la etapa en transporte privado es una etapa de mera aproximación a la red de transporte público.

Este modelo, cuyo contenido responde a un proceso conceptualmente bien conocido, ha estado marcado en esta ocasión por dos consideraciones básicas:

- Es necesario construir un modelo de reparto que pueda ser integrado sin dificultad en un proceso general y convencional de modelización de cuatro etapas. Esto conduce a la elección de un modelo tipo agregado, que opera sobre una matriz de viajes totales que es preciso repartir entre los diferentes modos.
- Es necesario obtener un modelo que reproduzca lo mejor posible la secuencia de decisiones que realiza el usuario del sistema de transportes para optar por una modalidad concreta en cada viaje. Hay que tener en cuenta que una parte importante de los usuarios del transporte público son usuarios cautivos de estos modos, ya que carecen de vehículo privado y, por tanto, no tienen posibilidad de elección modal público-privado.

Ello pone de manifiesto que el modelo de reparto modal, además de entrar a considerar elementos del análisis comparado de "costes" entre los distintos modos, y para simular correctamente las decisiones del usuario, debe tener en cuenta variables como la disponibilidad de vehículo, siempre con la condición necesaria de que las variables a utilizar sean sencillas de calcular y de proyectar.

La formulación del modelo de reparto modal corresponde con la de un modelo Logit que permite permite definir funciones de utilidad que dependen de los modos de transporte considerados y de las variables de elección del usuario. Para una alternativa "i" la expresión matemática de la utilidad es:

$$U_i = K + a * X_1 + b * X_2$$

donde X son las características de elección del usuario y K una constante que recoge la parte no explicada por las variables de la elección del usuario.

Las características de elección del usuario para este tipo de modelo suelen ser variables como el tiempo y el coste, debiendo ser estos parámetros negativos, penalizando la elección del modo.

La probabilidad de elegir la alternativa "i" frente a la alternativa "j" viene dada por la siguiente formulación:

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{e^{U_i} + e^{U_j}}$$

donde Pi es la probabilidad de elegir el modo "i" frente al modo "j" y U la función de utilidad de la alternativa correspondiente.

Con estos criterios de partida se ha estimado los modelos de reparto modal, cuya formulación y valor del tiempo son los siguientes:

Tabla 6. Formulaciones LOGIT del modelo de la etapa de reparto modal

Variable	Coeficientes	Valor del tiempo
Constante	0.1063	7.47 €/h
Tiempo	-0.09052	
Coste	-0.7266	

Fuente: Servicios para la elaboración de un estudio informativo de la ampliación del metro de Granada

4.6. Asignación

4.6.1. Segmentos de demanda

Los segmentos de demanda que se asignan al sistema de transportes en el modelo de asignación corresponden con la demanda en transporte privado y en transporte público.

- La demanda en transporte privado involucra por una parte una **matriz de vehículos ligeros** y otra **matriz de vehículos pesados**, entendiendo vehículo ligero como aquel que tiene una longitud inferior a 6m y vehículo pesado como aquél que tiene una longitud superior a los 6m. La matriz de viajes en vehículos ligeros se obtiene de la etapa de reparto modal, siendo necesaria una conversión a una matriz de vehículos ligeros mediante coeficientes de ocupación observados en el ámbito de estudio (EDM 2015).
- La demanda en transporte público consiste en una única **matriz de viajes en transporte público** que se obtiene de la etapa de reparto modal.

La selección y definición de los segmentos de demanda en transporte privado (vehículos ligeros y pesados) viene determinada por los siguientes motivos:

- Las estaciones de aforo disponibles en el ámbito de estudio distinguen como máximo entre vehículos ligeros y pesados, clasificando como vehículos ligeros aquellos que tienen una longitud inferior a los 6 metros y los vehículos pesados como aquellos que tienen una longitud mayor a 6m. **Para armonizar y fusionar toda la información disponible se ha considerado oportuno seguir la misma clasificación en el modelo de demanda**. El hecho de que en las estaciones de aforo no se disponga de datos más desagregados por tipo de vehículo imposibilita poder segmentar los vehículos ligeros en coches, ciclomotores, furgonetas, etc. y los vehículos pesados en vehículos pesados de tonelaje medio y vehículos pesados de tonelaje alto. Para poder contar con una segmentación más desagregada se requeriría de una extensa campaña de aforos a lo largo del ámbito de estudio aforando ciclomotores y vehículos pesados de distinto tonelaje, incurriendo en un coste desproporcionado comparado con el beneficio que se podría obtener del análisis de dichos datos en un proyecto de planificación.
- Los modelos macroscópicos de demanda, a diferencia de los modelos microscópicos, no simulan el comportamiento individual de cada uno de los vehículos para estimar la congestión, sino que lo hacen de forma agregada. Para el estudio de la congestión, los modelos macroscópicos como el confeccionado para este Plan emplean formulaciones de intensidad-demora por tipo de vía que, en función de la intensidad de un determinado tramo para un escenario dado, proporcionan la demora experimentada por los vehículos que la atraviesan (a mayor intensidad mayor demora, incrementándose exponencialmente la congestión una vez se supere la capacidad teórica del tramo). La intensidad que interviene en la formulación se introduce en unidades de vehículos equivalentes, término conocido en inglés como *Passenger Car Units (*PCU). En estas unidades de vehículos equivalentes, un ciclomotor se considera que

equivale a 0,4 vehículos equivalentes, mientras que un vehículo pesado se considera que equivale a alrededor de 2 vehículos equivalentes. Para más información se recomienda la lectura del apartado 2.4.3.1 de las recomendaciones de modelización de tráfico de Transport for London *Traffic Modelling Guidelines* [en línea] [fecha de consulta: 17/11/2020]. Disponible en: http://content.tfl.gov.uk/traffic-modelling-guidelines.pdf. **En el modelo de transporte confeccionado para el Plan, el segmento de demanda de vehículos pesados computa como 2,3 vehículos equivalentes en los cálculos de capacidad.**

El hecho de que no se simulen en el modelo de forma más desagregada los distintos tipos de vehículos que forman parte de la demanda en transporte privado no significa que el Consultor no haya estudiado todos los modos de transporte en el Plan. Todos los modos de transporte e infraestructuras asociadas son estudiados en el Plan, pero para calibrar un modelo con garantías únicamente puedes incorporar aquella información que esté disponible, siendo necesaria en muchas ocasiones la agregación de tipos de vehículos bajo un mismo segmento de demanda. Si por ejemplo se identifica que en una zona determinada del ámbito de estudio el uso del ciclomotor se está disparando o se prevé que aumente considerablemente, se identificará si esta captación de demanda procede del transporte público o del transporte privado y en los escenarios futuros se modificará la demanda en vehículos equivalentes (PCU) entre las zonas donde se prevé este considerable aumento (1 ciclomotor equivale a 0.4 PCU). De esta forma, a nivel de planificación se pueden tener en cuenta los efectos de un aumento del uso del modo ciclomotor.

Las matrices diarias de cada segmento de demandas relativas a un día laborable tipo de octubre de 2019 tras realizar el ajuste del modelo son las siguientes:

Tabla 7. Matrices de Viajes en transporte público, vehículos ligeros y vehículos pesados en un día laborable tipo de octubre de 2019 en el área metropolitana de Granada, segmentado por corona metropolitana

Corona Metropolitana	Viajes en Transporte Público	Vehículos Ligeros (Coches y Motos)	Vehículos Pesados
0 (Granada)	139.533	341.656	22.014
1ª	49.131	476.881	31.264
2ª	5.742	64.717	3.922
3ª	2.732	25.131	987
Total Área Metropolitana	**197.138**	**908.385**	**58.187**

Fuente: Elaboración propia tras la calibración del escenario base (2019) del modelo de transportes

4.6.2. Sistema de Transporte Privado

A. Red de Transporte Privado

La red de Transporte Privado comprende la totalidad de la red de carreteras de la Provincia de Granada, identificando en ella las diferentes categorías viarias acorde a la jerarquía de carreteras establecida por La Junta de Andalucía.

Con la finalidad de modelizar fidedignamente la oferta de red viaria para lograr los objetivos de modelización de este Plan, se ha trabajado tanto con la herramienta GIS como con el software VISUM de la compañía PTV Group. La combinación de ambas permite la confección del modelo macroscópico que permite arrojar resultados georreferenciados de alta calidad. Para poder definir esta red se ha tenido en cuenta las siguientes dos premisas:

- Codificar la red viaria de transporte privado en función de las necesidades determinadas por la zonificación adoptada.
- Definir el viario de transporte privado siempre teniendo en cuenta las rutas y paradas de las líneas de transporte público, con la finalidad de que estén reflejadas en el modelo de manera detallada.

Para poder representar esta red a nivel geométrico se ha realizado un grafiado de la misma con la definición de los siguientes elementos principales:

- **Arcos o *links***: definen las secciones de la red en ambas direcciones. Contienen la información intrínseca sobre los atributos funcionales que las definen, como longitud, velocidad media, entre otros. Cada elemento de la red (carretera o vía) esta subdivido en varios arcos, de forma que permita representar tramos con distintas características geométricas (número de carriles, pendientes, etc.) o funcionales (velocidades, tiempos, tarifas, peajes, tipo de vehículo autorizado a circular en el arco etc.). En el software Visum se caracteriza cada arco de la red en función a la categoría que esté asociada, es decir, los arcos se organizan por categorías de vías y número de carriles, de forma que existen múltiples categorías distintas. A cada una de estas categorías se les ha aplicado las características geométricas y funcionales que le corresponden por tipo de vía y número de carriles, de forma que la red queda organizada por las distintas categorías, conocidas en PTV VISUM como *Link Types*.
- **Nodos**: los nodos de la red son los elementos de unión entre los arcos. Permiten definir los cambios de características en los distintos tramos de la red.
- **Centroides**: obtenidos a partir de la zonificación del área de estudio, son los elementos que conectan el centroide de cada zona de la zonificación de estudio con la red de carreteras con respecto a la cuál permiten asociar la demanda a la red viaria. Se corresponden con el centro representativo de cada zona de transporte origen o destino de demanda de viajes, y representan el acceso y dispersión de cada zona.

Tabla 8. Tabla de Link Types del modelo

Código Link Type	Tipo de Categoría	Tipo de Categoría	Número de carri-les	Velocidad máxima de la vía
0	Construcción	Construcción, 0 carriles, 0	0	0km/h
1	Red del Estado	Red del Estado, 1 carril, 20	1	20km/h
2		Red del Estado, 1 carril, 30	1	30km/h
3		Red del Estado, 1 carril, 40	1	40km/h
4		Red del Estado, 1 carril, 50	1	50km/h
5		Red del Estado, 1 carril, 60	1	60km/h
6		Red del Estado, 1 carril, 70	1	70km/h
7		Red del Estado, 1 carril, 80	1	80km/h
8		Red del Estado, 1 carril, 90	1	90km/h
9		Red del Estado, 1 carril, 100	1	100km/h
10		Red del Estado, 1 carril, 120	1	120km/h
11		Red del Estado, 2 carriles, 40	2	40km/h
12		Red del Estado, 2 carriles, 50	2	50km/h
13		Red del Estado, 2 carriles, 60	2	60km/h
14		Red del Estado, 2 carriles, 70	2	70km/h
15		Red del Estado, 2 carriles, 80	2	80km/h
16		Red del Estado, 2 carriles, 100	2	100km/h
17		Red del Estado, 2 carriles, 120	2	120km/h
18		Red del Estado, 3 carriles, 80	3	80km/h
19		Red del Estado, 3 carriles, 100	3	100km/h
20		Red del Estado, 3 carriles, 120	3	120km/h
21		Red del Estado, 4 carriles, 100	4	100km/h
30	Red Básica Estructurante	Red Básica Estructurante, 1 carril, 20	1	20km/h
31		Red Básica Estructurante, 1 carril, 40	1	40km/h
32		Red Básica Estructurante, 1 carril, 60	1	60km/h
33		Red Básica Estructurante, 1 carril, 70	1	70km/h
34		Red Básica Estructurante, 1 carril, 80	1	80km/h
35		Red Básica Estructurante, 1 carril, 100	1	100km/h
36		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 40	2	40km/h
37		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 50	2	50km/h
38		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 60	2	60km/h
39		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 70	2	70km/h
40		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 80	2	80km/h
41		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 100	2	100km/h
42		Red Básica Estructurante, 2 carriles, 120	2	120km/h
43		Red Básica Estructurante, 3 carriles, 40	3	40km/h
44		Red Básica Estructurante, 3 carriles, 50	3	50km/h
45		Red Básica Estructurante, 3 carriles, 100	3	100km/h
46		Red Básica Estructurante, 3 carriles, 120	3	120km/h
47		Red Básica Estructurante, 4 carriles, 40	4	40km/h
50	Red Básica de Articula-ción	Red Básica de Articulación, 1 carril, 40	1	40km/h
51		Red Básica de Articulación, 1 carril, 50	1	50km/h
52		Red Básica de Articulación, 1 carril, 60	1	60km/h
53		Red Básica de Articulación, 1 carril, 80	1	80km/h
60	Red Intercomarcal	Red Intercomarcal, 1 carril, 30	1	30km/h
61		Red Intercomarcal, 1 carril, 40	1	40km/h
62		Red Intercomarcal, 1 carril, 50	1	50km/h
63		Red Intercomarcal, 1 carril, 60	1	60km/h
64		Red Intercomarcal, 1 carril, 70	1	70km/h
65		Red Intercomarcal, 1 carril, 80	1	80km/h
66		Red Intercomarcal, 1 carril, 100	1	100km/h
67		Red Intercomarcal, 2 carriles, 40	2	40km/h
68		Red Intercomarcal, 2 carriles, 50	2	50km/h
69		Red Intercomarcal, 2 carriles, 60	2	60km/h
70		Red Intercomarcal, 2 carriles, 80	2	80km/h
71		Red Intercomarcal, 2 carriles, 100	2	100km/h
72		Red Intercomarcal, 3 carriles, 60	3	60km/h
73		Red Intercomarcal, 3 carriles, 100	3	100km/h
80	Red Complementaria Me-tropolitana	Red Complementaria Metropolitana, 1 carril, 20	1	20km/h
81		Red Complementaria Metropolitana, 1 carril, 30	1	30km/h
82		Red Complementaria Metropolitana, 1 carril, 40	1	40km/h
83		Red Complementaria Metropolitana, 1 carril, 50	1	50km/h
84		Red Complementaria Metropolitana, 1 carril, 60	1	60km/h
85		Red Complementaria Metropolitana, 1 carril, 80	1	80km/h
86		Red Complementaria Metropolitana, 2 carriles, 20	2	20km/h
87		Red Complementaria Metropolitana, 2 carriles, 30	2	30km/h
88		Red Complementaria Metropolitana, 2 carriles, 40	2	40km/h
89		Red Complementaria Metropolitana, 2 carriles, 50	2	50km/h
90		Red Complementaria Metropolitana, 2 carriles, 60	2	60km/h

Código Link Type	Tipo de Categoría	Tipo de Categoría	Número de carri-les	Velocidad máxima de la vía
91		Red Complementaria Metropolitana, 2 carriles, 70	2	70km/h
92		Red Complementaria Metropolitana, 3 carriles, 30	3	30km/h
93		Red Complementaria Metropolitana, 3 carriles, 40	3	40km/h
100	Red Complementaria	Red Complementaria, 1 carril, 20	1	20km/h
101		Red Complementaria, 1 carril, 30	1	30km/h
102		Red Complementaria, 1 carril, 40	1	40km/h
103		Red Complementaria, 1 carril, 50	1	50km/h
104		Red Complementaria, 1 carril, 60	1	60km/h
105		Red Complementaria, 1 carril, 80	1	80km/h
106		Red Complementaria, 2 carriles, 60	2	60km/h
110	Red Provincial	Red Provincial, 1 carril, 20	1	20km/h
111		Red Provincial, 1 carril, 30	1	30km/h
112		Red Provincial, 1 carril, 40	1	40km/h
113		Red Provincial, 1 carril, 50	1	50km/h
114		Red Provincial, 1 carril, 60	1	60km/h
115		Red Provincial, 1 carril, 70	1	70km/h
116		Red Provincial, 1 carril, 80	1	80km/h
117		Red Provincial, 2 carriles, 20	2	20km/h
118		Red Provincial, 2 carriles, 30	2	30km/h
119		Red Provincial, 2 carriles, 40	2	40km/h
120		Red Provincial, 2 carriles, 50	2	50km/h
121		Red Provincial, 2 carriles, 60	2	60km/h
122		Red Provincial, 3 carriles, 40	3	40km/h
130	Red Local	Red Local, 1 carril, 20	1	20km/h
131		Red Local, 1 carril, 30	1	30km/h
132		Red Local, 1 carril, 40	1	40km/h
133		Red Local, 1 carril, 50	1	50km/h
134		Red Local, 1 carril, 60	1	60km/h
135		Red Local, 1 carril, 70	1	70km/h
140	Red Urbana Estructural	Red Urbana Estructural, 1 carril, 30	1	30km/h
141		Red Urbana Estructural, 1 carril, 40	1	40km/h
142		Red Urbana Estructural, 1 carril, 50	1	50km/h
143		Red Urbana Estructural, 1 carril, 80	1	80km/h
144		Red Urbana Estructural, 2 carriles, 30	2	30km/h
145		Red Urbana Estructural, 2 carriles, 50	2	50km/h
146		Red Urbana Estructural, 2 carriles, 80	2	80km/h
147		Red Urbana Estructural, 3 carriles, 30	3	30km/h
148		Red Urbana Estructural, 3 carriles, 40	3	40km/h
149		Red Urbana Estructural, 3 carriles, 50	3	50km/h
150	Red Urbana Troncal	Red Urbana Troncal, 1 carril, 30	1	30km/h
151		Red Urbana Troncal, 1 carril, 40	1	40km/h
152		Red Urbana Troncal, 1 carril, 50	1	50km/h
153		Red Urbana Troncal, 1 carril, 60	1	60km/h
154		Red Urbana Troncal, 2 carriles, 30	2	30km/h
155		Red Urbana Troncal, 2 carriles, 40	2	40km/h
156		Red Urbana Troncal, 2 carriles, 50	2	50km/h
157		Red Urbana Troncal, 2 carriles, 60	2	60km/h
158		Red Urbana Troncal, 3 carriles, 30	3	30km/h
159		Red Urbana Troncal, 3 carriles, 50	3	50km/h
160		Red Urbana Troncal, 3 carriles, 60	3	60km/h
161	Red Urbana Colectora	Red Urbana Colectora, 1 carril, 20	1	20km/h
162		Red Urbana Colectora, 1 carril, 30	1	30km/h
163		Red Urbana Colectora, 1 carril, 40	1	40km/h
164		Red Urbana Colectora, 1 carril, 50	1	50km/h
165		Red Urbana Colectora, 2 carriles, 30	2	30km/h
166		Red Urbana Colectora, 2 carriles, 50	2	50km/h
167		Red Urbana Colectora, 2 carriles, 60	2	60km/h
168		Red Urbana Colectora, 3 carriles, 30	3	30km/h
169		Red Urbana Colectora, 3 carriles, 50	3	50km/h
170		Red Urbana Colectora, 4 carriles, 50	4	50km/h
171	Red Urbana Local	Red Urbana Local, 1 carril, 30	1	30km/h
172	Residencial	Residencial, 1 carril, 30	1	30km/h
173	Carril Bus - Segregado	Carril Bus - Segregado, 1 carril	1	50km/h
174		Carril Bus - Segregado, 2 carriles	2	50km/h
175	Carril Bici	Carril Bici	1	10km/h

Fuente: Elaboración propia a partir de los elementos introducidos en la herramienta de modelización PTV VISUM

La red grafiada está definida por un conjunto de nodos y arcos que conectan los nodos entre sí. La mayoría de los nodos representan intersecciones de vía o paradas de autobús interurbano, autobús urbano, y metro, mientras que los arcos o *links* corresponden a tramos de vía homogéneos entre intersecciones adyacentes.

El procedimiento de edición del modelo base en lo que respecta a la oferta de la Red Viaria de Transporte Privado ha consistido en:

- Seleccionar la red de carreteras a incluir en el modelo de simulación de acuerdo con los objetivos que se persiguen. Para ello, se ha partido de información obtenida de OpenStreetMap a través de un archivo ".osm" que contiene todas las carreteras del país según tipología de vía, lo que es un buen

punto de partida para poder depurar correctamente la red y adaptarla a los objetivos de modelización. También se ha consultado la información publicada por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

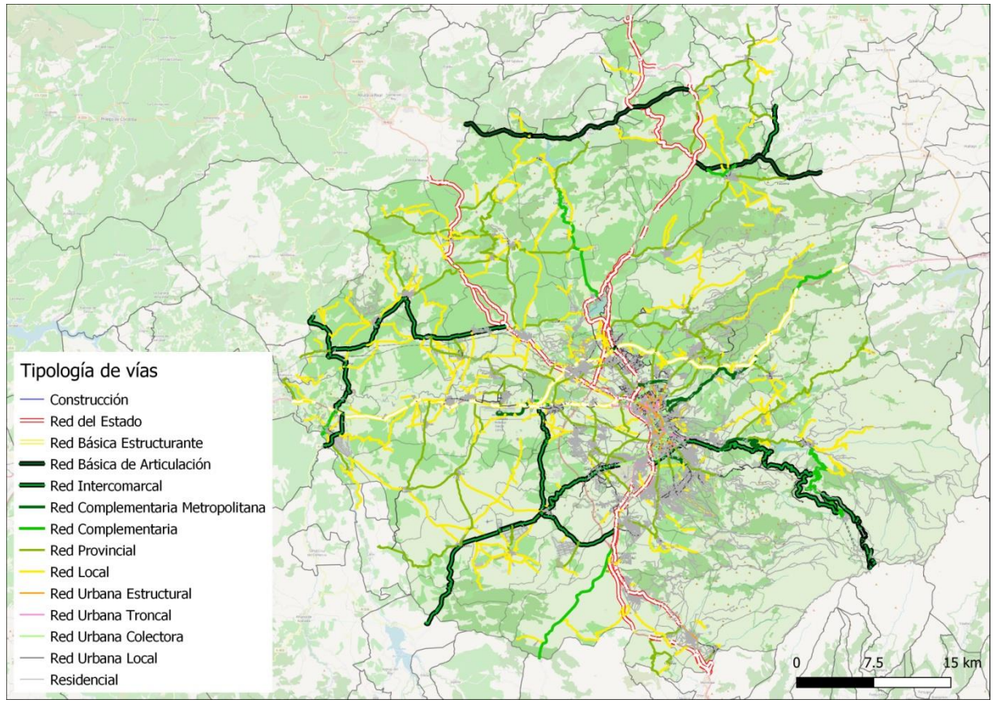
- El siguiente paso ha consistido en ajustar los elementos geométricos y funcionales de la red viaria a la situación base (año 2019), siendo un proceso bastante minucioso que determina en gran medida la cantidad de trabajo que se tendrá que realizar en la etapa posterior de calibración. El nivel de detalle en las proximidades de una ciudad en las zonas internas es mayor que en el resto del ámbito de estudio, de manera que se ha establecido un nivel de detalle que no comprometa a los objetivos perseguidos por la modelización. En concreto se han codificado:

    a. Velocidades en flujo libre de cada arco

    b. Número de carriles de cada arco

    c. Capacidad máxima diaria de cada arco

Imagen 17. Lista de Link Types del modelo



Fuente: Elaboración propia

- Una vez realizados los dos pasos anteriores, el siguiente paso, que posee especial relevancia, consiste en la edición de la accesibilidad de la red, que conlleva la revisión de que todos los componentes geométricos y funcionales de la misma funcionen correctamente en su conjunto. Para poder llevar acaso este paso se ha hecho uso de varias herramientas propias del software VISUM en combinación con la herramienta de Google Maps y Google Traffic, con el fin de analizar la accesibilidad a cada una de las zonas, así como encontrar errores en el modelado de la red.

A lo largo de todo el proceso de la confección del modelo macroscópico han ido realizando ajustes a los elementos de la red, de manera que se ha conseguido elaborar un modelo que refleja con la mayor fidelidad posible la realidad de un día laborable tipo en la red viaria de octubre de 2019 en el área metropolitana de Granada.

Dentro del área de la ciudad de Granada, tal y como se enuncia en la Ordenanza Municipal reguladora de las Zonas de Acceso Restringido y Carriles de Circulación Especialmente Protegidos de la Ciudad de Granada, existen tanto **Zonas de Acceso Restringido (ZAR)** como **Carriles de Circulación especialmente protegidos**, por lo que esto se ha tenido en cuenta tanto para la confección del modelo de un día laborable tipo como para el modelo de hora punta de la mañana. Respecto a las Zonas de Acceso Restringido, existen 4 zonas diferenciadas que tienen accesos restringidos: Albaicín, Realejo, Centro y Recogidas. Estas zonas son 4 zonas del municipio de Granada donde se restringe el acceso del tráfico rodado mediante ciertos puntos de control estratégicamente distribuidos:

Tabla 9. Dimensiones autorizadas para las Zonas de Acceso Restringido del municipio de Granada

Zona	Masa máxima autorizada (kg)	Anchura máxima (m)	Long. Máxima (m)
Albaicín	5.000	2,05	7,50
Realejo	5.000	2,20	7,50
Centro	5.000	2,20	7,50
Recogidas	5.000	2,20	7,50

Fuente: Ordenanza Municipal reguladora de las Zonas de Acceso Restringido y Carriles de Circulación Especialmente Protegidos de la Ciudad de Granada

B. Demanda de Transporte Privado

Para la confección de la Demanda de Transporte Privado, se ha llevado a cabo el procesado y la revisión de los datos de aforo provenientes de cinco fuentes de información diferentes:

- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMS)
- Dirección General de Tráfico (DGT)
- Junta de Andalucía
- Ayuntamiento de Granada
- Diputación de Granada

Para validar cada uno de los datos de aforos de las distintas fuentes se ha llevado a cabo un proceso de validación de los datos con el fin de detectar posibles inconsistencias y minimizar el sesgo en las estimaciones del modelo.

En primer lugar, se ha realizado una serie de visualizaciones temporales para detectar posibles anomalías en el funcionamiento de los detectores. A posteriori, se ha llevado a cabo un análisis estadístico para la obtención de un valor representativo de un día laborable tipo de octubre de 2019 (escenario base), acompañándose de una serie de contrastes para su validación. Asimismo, en los casos para los cuales no se dispone de información para octubre 2019, se ha hecho uso de coeficientes obtenidos de las estaciones afines permanentes del MITMS más próximas a las estaciones a introducir en el modelo objeto de estudio.

Se han introducido en el modelo las intensidades observadas por cada estación de aforo tanto para un día laborable tipo (24 horas) como para la hora punta de la mañana (2 horas), siendo esta última la franja de 07:00 a 09:00 horas. En los casos donde los datos no se encuentren dados para el año del escenario base (2019), tal y como se expone en el apartado 5 del Anexo II de la *Orden FOM/3317/2010, de 17 de diciembre, por la que se aprueba la Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento* se aplicará un incremento anual acumulativo de 1,44%, ya que tal y como se enuncia en dicho apartado, para el año de 2017 en adelante se aplicará dicho incremento.

La información de demanda de los aforos ha sido registrada en el modelo a nivel de arco o *link* en los atributos AFORO_24H_LIGEROS, AFORO_24H_PESADOS, AFORO_24H_TOTAL. Adicionalmente también se ha codificado el origen de los datos en los campos AFORO_SOURCE y AFORO_ID_DETECTOR. Por último, las estaciones de aforo que se han tenido en cuenta para el ajuste de las matrices tienen el atributo AFORO_CAL = 1, mientras que las estaciones de aforo cuyos datos no han pasado el proceso de calidad de datos o se han considerado sospechosos tienen codificado un 0 en el atributo AFORO_CAL.

4.6.3. Sistema de Transporte Público

A. Red de Transporte Público

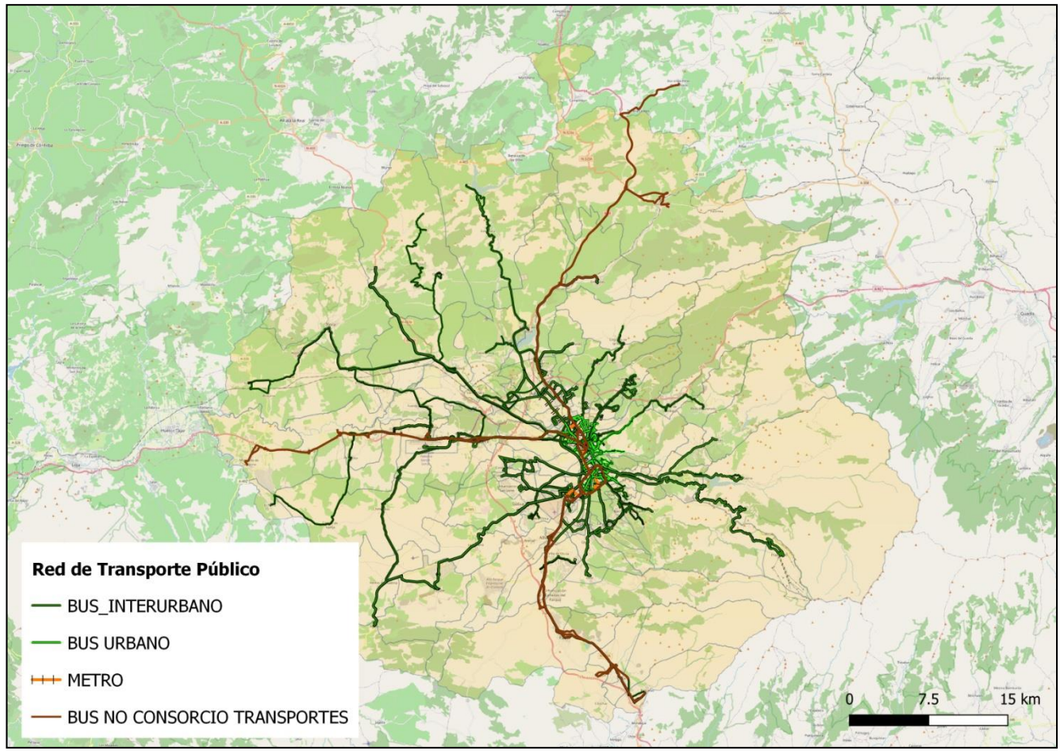
La Red de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada comprende un total de 63 líneas de autobús interurbano, 26 líneas de autobús urbano y 1 línea de Metro. Todas las líneas que componen la red de transporte público del modelo se detallan a continuación:

Tabla 10. Líneas de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada

Sistema de Transporte	Línea	Nombre de Línea	Nuevo nº expedicio-nes diarias
Autobús Interurbano	BI_100	Granada - Jun - Urbanización Abén Humeya - Víznar	30
	BI_101	Granada - Jun - Alfacar - Víznar	1
	BI_102	Granada - Jun - Alfacar	50
	BI_104	Urbanización Abén Humeya - Jun - Urbanización San Jerónimo	10
	BI_105	Granada - Pulianas	17
	BI_110	Granada - Peligros - Caserío Fonseca - Monteluz	65
	BI_111	Granada - Polígono de Asegra - Urbanización La Joya - Peligros	16
	BI_117	Granada - Pantano de Cubillas	17
	BI_120	Granada - Maracena	2
	BI_121	Granada - Maracena (por Carretera de Jaén)	28
	BI_122	Granada - Maracena - Albolote - Atarfe	46
	BI_123	Granada - Polígono de Juncaril - Albolote (por Carretera de Jaén)	46
	BI_124	Granada - Atarfe (por Avenida de la Cañada)	32
	BI_126	Granada - Atarfe - Medina Elvira - Urbanización Los Cortijos - Caparacena	8
	BI_128	Urbanización El Torreón - Albolote - Urbanización Loma Verde - Cortijo del Aire - El Chaparral	25
	BI_140	Granada - Santa Fe	60
	BI_150	Granada - Cúllar Vega - Vegas del Genil (por Ambroz)	25
	BI_151	Granada - Cúllar Vega - El Ventorrillo (Directo)	36
	BI_153	Granada - Churriana de la Vega - Híjar (Directo)	36
	BI_154	Granada - Vegas del Genil (Directo)	28
	BI_155	Granada - Armilla	30
	BI_156	Granada - Armilla - Churriana de la Vega - Las Gabias	94
	BI_157	Granada - Armilla - Churriana de la Vega (por A-338)-Pedro Verde - Gabia Chica	23
	BI_158D	Granada - Churriana de la Vega - Gabia Grande (Directo)	9
	BI_159	Armilla - Parque Tecnológico de la Salud	34
	BI_160	Granada - Alhendín - Otura	50
	BI_170A	Granada - Ogíjares - Lomalinda	59
	BI_170B	Granada - Ogíjares - Las Pedrizas - Lomalinda	6
	BI_171	Granada - Ogíjares - Gójar - Dílar	64
	BI_174A	Granada - Ogíjares - La Zubia (Circular)	28
	BI_174B	Granada - La Zubia - Ogíjares (Circular)	29
	BI_175	Granada - La Zubia (Laurel de la Reina)	33
	BI_176	Granada - La Zubia (Centro de Salud)	32
	BI_177	Granada - La Zubia (Campo de Fútbol)	30
	BI_180	Granada - Huétor Vega - Cájar - Bellavista - La Zubia	32
	BI_181	Granada - Huétor Vega - Barrio Monachil - Bellavista	48
	BI_182	Monachil - Barrio Monachil	35
	BI_183	Granada - Huétor Vega - Cájar - Barrio Monachil - Monachil	34
	BI_184	Granada - Huétor Vega - Mundo Nuevo	50
	BI_215	Granada - Deifontes	18
	BI_225	Granada - Pinos Puente	47
	BI_226	Granada - Pinos Puente - Zujaira	31
	BI_240	Granada - Santa Fe - Chauchina - Fuente Vaqueros	18
	BI_241	Granada - Santa Fe - Chauchina - Cijuela	8

Sistema de Transporte	Línea	Nombre de Línea	Nuevo nº expedicio-nes diarias
	BI_242	Granada - Santa Fe - Chauchina - Cijuela - Láchar	12
	BI_245	Granada - Aeropuerto	26
	BI_256	Granada - La Malahá - Escúzar - Ventas de Huelma	11
	BI_300	Granada - El Fargue - Huétor Santillán - El Colmenar - Beas de Granada	18
	BI_305	Granada - Pulianas - Güevéjar - Nívar - Cogollos Vega	36
	BI_313	Granada - Juncaril - Albolote - Loma Verde - Cortijo del Aire - Villas Blan-cas - Calicasas	20
	BI_318	Granada - Colomera	6
	BI_323	Granada - Olivares - Tiena - Moclín - Tózar - Limones	8
	BI_325	Granada-Pinos Puente-Zujaira-Obéilar-Íllora-Alomartes-Bracana-Tocón	25
	BI_335	Granada - Fuente Vaqueros - Valderrubio - Escóznar - Obéilar	19
	BI_336	Granada - Chauchina - Fuente Vaqueros - Valderrubio - Obéilar	12
	BI_340	Granada - Santa Fe - Cijuela - Láchar - Trasmulas - Peñuelas - Castillo de Tajarja - El Turro	6
	BI_345	Granada - Chimeneas - Ácula - Ventas de Huelma - Cacín	8
	BI_360	Granada - Alhendín - Padul - Marchena - Dúrcal - Nigüelas - Talará	28
	BI_361	Granada - Padul - Marchena - Dúrcal - Nigüelas	27
	BI_390	Granada - Pinos Genil - Güéjar Sierra	36
	BI_395	Granada - Cenes de la Vega - Dúdar - Quéntar	23
	BI_GR-SNI	Granada y Sierra Nevada-Invierno	6
	BI_P.Lope	Granada - Pinos Puente - Venta Algarra - Puerto Lope	12
Autobús ur-bano	BU_11	Circular Cno. Ronda - Ayuntamiento - Gran Vía	78
	BU_13	Cementerio - Puerta Real	60
	BU_21	Circular Gran Vía - Violón - Cno. Ronda	148
	BU_25	Alquerías (C. Deportivo) - Rosaleda - Gran Capitán	16
	BU_33	Cenes de La Vega - Estación de Autobuses	252
	BU_4	Chana - Zaidín	246
	BU_5	Beethoven - Parque Nueva Granada	165
	BU_8	Palacio de Deportes - Cno. De Alfacar	181
	BU_9	Los Rebites - Chana	223
	BU_C30	Alhambra - Centro	80
	BU_C31	Albaicín - Centro	79
	BU_C32	Alhambra - Albaicín	89
	BU_C34	Centro - Sacramonte	44
	BU_C35	Cementerio - Barranco Abogado - Centro	31
	BU_C5	Neptuno - Centro	16
	BU_N1	Bobadilla - Villarejo - Triunfo	97
	BU_N3	Cerrillo de Maracena - Triunfo	168
	BU_N5	Modesto Cendoya - Joaquina Egüaras - Triunfo	142
	BU_N6	Casería del Cerro - Avda. Pulianas - Caleta	119
	BU_N8	Fargue - Triunfo	33
	BU_N9	San Miguel - Triunfo	122
	BU_S0	Bola de Oro - Pt. Salud	31
	BU_S2	Villa Argaz - Centro	136
	BU_U1	Campus Aynadamar - Cartuja	130
	BU_U2	Campus Fuente Nueva - Cartuja	200
	BU_U3	Pt. Salud- Campus Cartuja - Cno. Alfacar	216
Metro	M1	Albolote - Armilla	186

Imagen 18. Red de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada



Fuente: Elaboración propia a partir de los ficheros GTFS recibidos

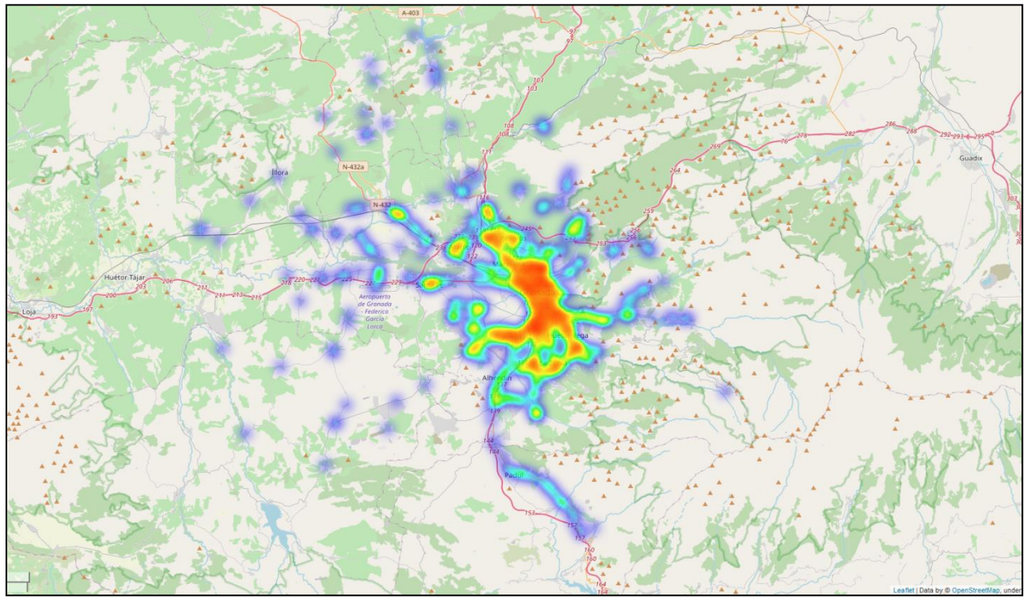
La red de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada viene definida por las siguientes características para un Día Laborable Tipo (DLT) de octubre de 2019:

- Itinerario de la línea y paradas
- Número de servicios de cada línea para 24h y para 2h (hora punta de la mañana)
- Frecuencia de cada servicio reflejada como tiempo de espera (min) según período horario.

- Tarifas de viaje de cada Sistema de Transporte (autobús interurbano, urbano y metro).

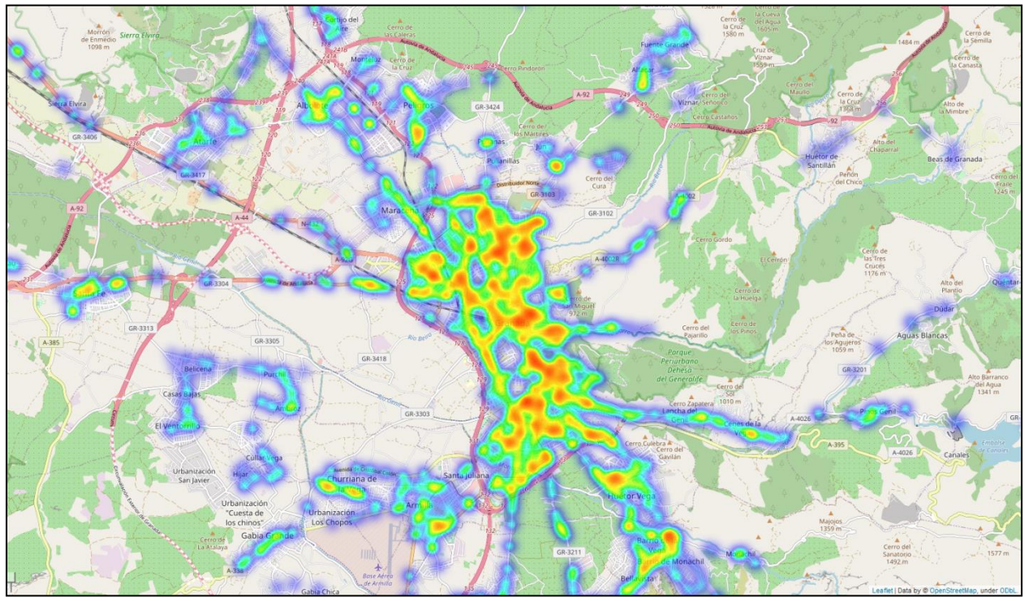
Como se puede observar en la Imagen ***19*** y la Imagen ***20***, por norma general, el Área Metropolitana de Granada se encuentra bien atendida en la mayoría de sus núcleos poblacionales.

Imagen 19. Mapa de calor de expediciones diarias que tiene cada parada del Sistema de Transporte Público del Área Metropolitana de Granada



Fuente: Elaboración propia a partir de los archivos GTFS recibidos

Imagen 20. Mapa de calor de expediciones diarias que tiene cada parada del Sistema de Transporte Público en la ciudad de Granada y la 1ª corona metropolitana



Fuente: Elaboración propia a partir de los ficheros GTFS recibidos

Para poder codificar el Sistema de Transporte Público en el modelo se ha hecho uso de los archivos *General Transit Feed Specification* (GTFS) proporcionados tanto por El **Consorcio de Transporte Metropolitano de Granada** para el autobús interurbano y el metro, como por la empresa de **Transportes Rober** para el autobús urbano. Estos archivos contienen la información de rutas, servicios y frecuencias de cada línea para un período de tiempo determinado, por lo que se han tenido que adaptar cada uno de los archivos y sus datos a un día laborable tipo de octubre de 2019, escogiendo como referencia el miércoles 23 de octubre de 2019. Se ha escogido ese día porque se trata de un miércoles laborable de una semana de octubre que no tiene festivos, de modo que el flujo de vehículos es estándar y la intensidad media diaria es la propia de un día laborable normal. Además de esto, se han codificado manualmente tanto los carriles bus como los carriles bici.

Con respecto a las restricciones de subida y bajada en las líneas de autobús interurbano, se han tenido en cuenta a la hora de ser codificadas en el modelo, tal y como se muestra a continuación como ejemplo de la línea 125 del Consorcio de Transportes:

Imagen 21. Restricción de bajados en la línea 125 – ida

Index	StopPointNo	StopPoint\Name	IsRoutePoint	AccumLength	Length	Info	Profile point	<>	Board	Alight
1	6078	Profesor Emilio Orozco	☒	0.000km			☒		☒	☐
28	5698	Avda. de Madrid 1	☒	0.950km	0.950km		☒	!	☒	☐
48	5866	Avda. de Juan Pablo II 6 - Hospital Traumatología	☒	1.610km	0.660km		☒	!	☒	☐
67	5943	Juan Pablo II - Fte Estación Autobuses	☒	2.456km	0.846km		☒	!	☒	☐
76	6794	Juan Pablo II 96 - Parque Norte de Bomberos	☒	3.149km	0.693km		☒	!	☒	☐
88	5615	Acceso a Maracena	☒	3.777km	0.628km		☒	!	☒	☐
95	6070	Pol. Ind. Olinda	☒	4.556km	0.778km		☒	!	☒	☒
107	5652	Avda. de Andalucía 1	☒	5.603km	1.047km		☒	!	☒	☒
112	5711	Granada 1	☒	5.846km	0.243km		☒	!	☒	☒
114	5712	Granada 2	☒	6.018km	0.172km		☒	!	☒	☒
126	726505	Biblioteca	☒	6.559km	0.541km		☒	!	☒	☒
132	172296	C/ Brasil	☒	6.731km	0.171km		☒	!	☒	☒
139	172142	San Ildefonso	☒	6.981km	0.250km		☒	=	☒	☒
147	558390	Avda. Reina Sofía 2	☒	7.283km	0.302km		☒	!	☒	☒
158	48390	Avda. Reina Sofía 1	☒	7.726km	0.443km		☒	=	☒	☒
161	172515	Residencia	☒	7.938km	0.213km		☒	!	☒	☒
174	11874	Caserío de Fonseca	☒	8.913km	0.974km		☒	=	☒	☒
187	28078	Monteluz 1	☒	9.766km	0.853km		☒	!	☒	☒
191	28076	Monteluz 2	☒	9.977km	0.211km		☒	=	☒	☒
196	28099	Monteluz 3	☒	10.155km	0.179km		☒	=	☐	☒

Fuente: Elaboración propia

Imagen 22. Restricción de subidos en la línea 125 - vuelta

Index	StopPointNo	StopPoint\Name	IsRoutePoint	AccumLength	Length	Info	Profile point	<>	Board	Alight
1	28099	Monteluz 3	☒	0.000km			☒		☒	☐
9	48732	Monteluz 4	☒	0.259km	0.259km		☒	-	☒	☒
21	11874	Caserío de Fonseca	☒	1.028km	0.768km		☒	-	☒	☒
46	11933	Avda. de Reina Sofía 2	☒	2.332km	1.304km		☒	-	☒	☒
52	51258	Avda. de La Fuente 1	☒	2.515km	0.183km		☒	-	☒	☒
58	726504	Avda. de La Fuente 2	☒	2.678km	0.163km		☒	-	☒	☒
68	726505	Biblioteca	☒	2.957km	0.278km		☒	-	☒	☒
78	11963	Plaza de Asegra	☒	3.207km	0.251km		☒	-	☒	☒
81	11955	Avda. de Córdoba 1	☒	3.391km	0.184km		☒	-	☒	☒
84	6213	Avda. de Córdoba 2	☒	3.570km	0.179km		☒	-	☒	☒
86	6214	Avda. de Córdoba 3	☒	3.730km	0.161km		☒	!	☒	☒
88	6187	Avda. de Andalucía 1	☒	3.856km	0.125km		☒	!	☒	☒
97	6275	Urb. Villasol	☒	5.324km	1.469km		☒	-	☒	☒
105	6159	Acceso a Maracena	☒	5.723km	0.399km		☒	-	☐	☒
119	7495	Juan Pablo II - Frente Parque Norte de Bomberos	☒	6.490km	0.767km		☒	-	☐	☒
122	9476	Parque Norte de Bomberos	☒	6.566km	0.076km		☒	-	☐	☒
130	6456	Juan Pablo II - Estación de Autobuses	☒	7.180km	0.614km		☒	!	☐	☒
145	6383	Avda. de Juan Pablo II 2	☒	7.802km	0.622km		☒	!	☐	☒
148	6382	Avda. de Juan Pablo II 1	☒	7.997km	0.195km		☒	!	☐	☒
165	6339	Concepción Arenal	☒	8.471km	0.474km		☒	!	☐	☒
176	6865	Avda. de Pulianas 1 V	☒	9.036km	0.566km		☒	!	☐	☒
181	6174	Ancha de Capuchinos 1	☒	9.354km	0.318km		☒	!	☐	☒
194	6078	Profesor Emilio Orozco	☒	10.015km	0.661km		☒	!	☐	☒

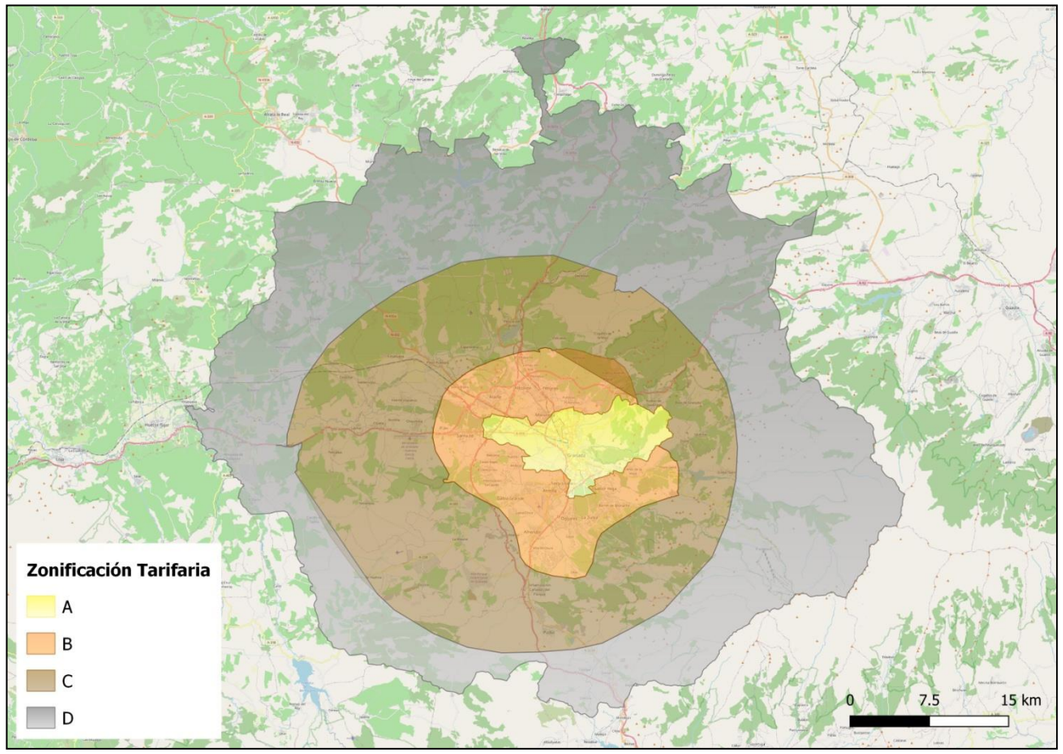
Fuente: Elaboración propia

Tal y como ha establecido el Consorcio de Transportes de Granada para los autobuses interurbanos, en la Imagen 21 se muestra la ruta de la línea 125 en sentido ida, donde se observa que desde la primera hasta la sexta parada de dicha ruta los pasajeros pueden subir al autobús, pero no pueden bajar, ya que la casilla *Alight* no se encuentra marcada para las paradas en cuestión. Al contrario, para la ruta de la línea 125 en sentido vuelta, desde la parada nº 14 hasta la última parada de esta ruta está restringida la subida de pasajeros al autobús. Tal y como muestra la Imagen 22, esto se refleja en el modelo de tal forma que la casilla *Board* no marque para dichas paradas. Este proceso de restricciones de subidos y bajados se ha realizado para cada una de las líneas interurbanas del modelo.

B. Sistema Tarifario

El Sistema Tarifario del modelo del Área Metropolitana de Granada se compone en su totalidad de cuatro zonas tarifarias (A, B, C y D), tal y como se muestra en la Figura 21:

Imagen 23. Zonificación Tarifaria del Área Metropolitana de Granada



Fuente: Elaboración propia

El consorcio de Transportes establece un Sistema Tarifario Integrado que permite integrar a todos los operadores de transporte que operan en el Área Metropolitana de Granada. Es por ello por lo que se establece una tarifa zonal en función de los movimientos realizados entre las zonas A, B, C y D en las que se divide el ámbito del Área Metropolitana de Granada, pudiendo realizar 0, 1, 2 o 3 saltos.

Para la codificación de las tarifas en VISUM, al existir un sistema tarifario integrado y billetes combinados entre los tres sistemas de transporte, el cambio de operador dentro de un mismo viaje no supone el pago de un nuevo billete, de modo que se comparten tarifas entre diferentes operadores y se permiten los transbordos entre ellos sin penalización (a excepción de si el transbordo se realiza en un tiempo superior a 60 minutos).

Para ello se han codificado diferentes billetes en función de las zonas atravesadas, obteniéndose el precio del billete del pasajero en función de una media ponderada de la cantidad de personas viajeras y tipo de billete que utilizan, según la información que ha sido remitida por cada operador de transporte público.

Como resultado se obtiene la siguiente tabla resumen con cada una de las tarifas en función de los saltos realizados y por sistema de transporte:

Tabla 11. Sistema Tarifario en función del nº de saltos realizados por Sistema de Transporte

	Nº de saltos realizados			
	0	1	2	3
BUS URBANO	0,88 €	0,89 €	-	-
BUS INTERURBANO	1,09 €	1,10 €	1,31 €	2,22 €
METRO	1,02 €	-	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recibida acerca del grado de penetración en de cada título de transporte y las tarifas vigentes para un día laborable tipo de octubre de 2019

Además de esto, también se han codificado líneas no pertenecientes al Consorcio de Transportes de Granada que dan servicio a los nuevos municipios que se han incluido en el ámbito territorial del PTMAGR, los cuales son: Iznalloz, Dúrcal, Villamena, Nigüelas, Moraleda de Zafayona y El Turro (Cacín). La mayoría de líneas que pasan por estos municipios (a excepción de El Turro) no se encuentran integradas tarifariamente en el "Sistema Tarifario integrado del Consorcio", por lo que no poseen un Sistema Tarifario por saltos, sino que su tarifa es kilométrica, por lo que se paga en función de la distancia recorrida con un mínimo de percepción:

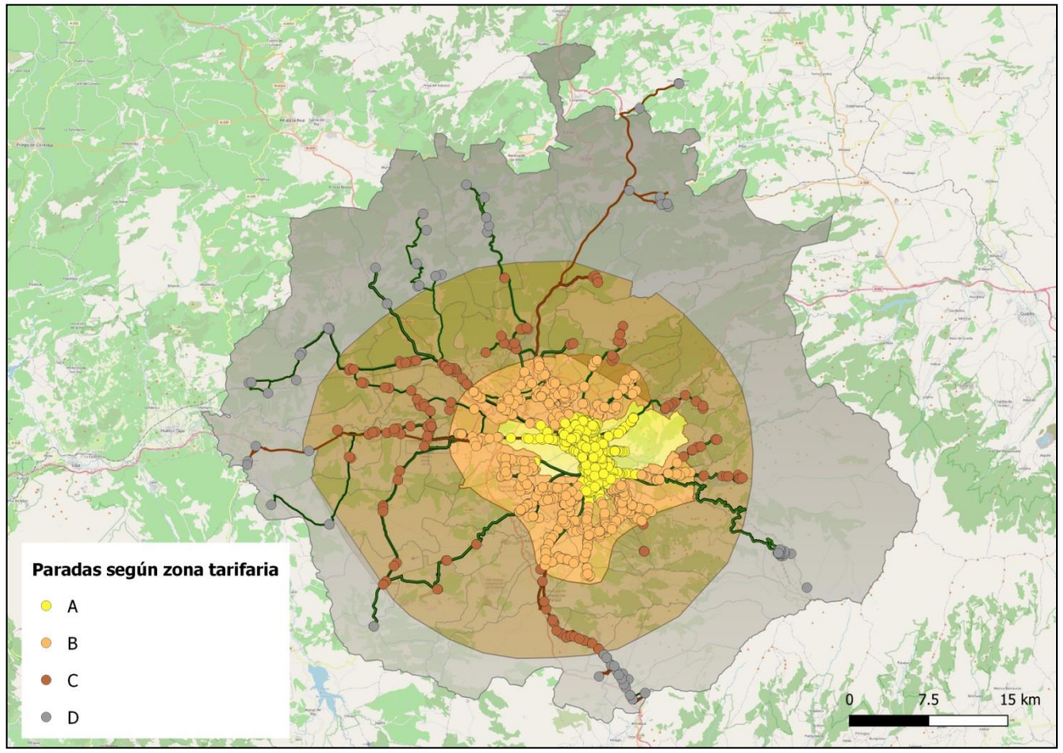
Tabla 12. Tarifa kilométrica de las líneas no pertenecientes al Consorcio de Transportes de Granada que pasan por los municipios incluidos en el PTMAGR

		Tarifa kilométrica	
		Tarifa Usuario	Mínimo de percepción
Concesiones correspondientes a las líneas no pertenecientes al Consorcio de Transportes de Granada	**VJA-073**	0,08 €	1, 18€
	VJA-087	0,08 €	
	VJA-136	0,08 €	
	VJA-158	0,09 €	
	VJA-160	0,09 €	
	VJA-167	0,09 €	
	VJA-173	0,09 €	
	VJA-194	0,09 €	
	VJA-400	0,01 €	

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recibida por parte de las concesiones citadas en esta tabla

A continuación, se muestran las distintas paradas diferenciadas por colores según la zona tarifaria en la que se encuentran:

Imagen 24. Paradas de Transporte público según la Zona Tarifaria



Fuente: Elaboración propia

C. Demanda de Transporte Público

En cuanto a la Demanda de Transporte Público, se ha obtenido en trabajo de gabinete la demanda por línea de transporte. Esta demanda se ha calculado para un DLT de octubre de 2019, tanto para 24h como para 2h (hora punta de la mañana), sirviendo de base la información facilitada por los operadores de transporte público. A continuación, se detalla tanto la demanda diaria como la demanda para la hora punta de la mañana por línea de transporte, siendo el periodo de hora punta de la mañana el comprendido entre las 7 y las 9 de la mañana. Cabe destacar que la tabla a continuación expuesta contiene únicamente las líneas con su respectiva demanda que han sido seleccionadas y utilizadas en el proceso de calibración del modelo, ya que el consultor ha creído conveniente no utilizarlas debido a la carencia de información base.

Tabla 13. Demanda de 24h y de 2h por línea de transporte público utilizadas en el proceso de calibración del modelo base

Sistema de Transporte	Línea	Demanda 24h (personas viajeras)	Demanda 2h (personas viajeras)
Autobús Interurbano	BI_100	1233	92
	BI_110	1204	214
	BI_111	192	68
	BI_117	216	52
	BI_120	53	35
	BI_121	284	38
	BI_122	1248	258
	BI_124	563	117
	BI_126	88	3
	BI_140	1402	158
	BI_150	365	17
	BI_151	487	42
	BI_153	490	84
	BI_154	430	39
	BI_155	298	51
	BI_156	1850	219
	BI_157	172	58
	BI_158D	435	104
	BI_160	1052	154
	BI_170A	803	100
	BI_170B	82	10
	BI_171	1710	212
	BI_174A	420	32
	BI_174B	436	33
	BI_175	869	107
	BI_176	742	85
	BI_177	733	107
	BI_180	591	113
	BI_181	978	156
	BI_183	746	102
	BI_184	689	107
	BI_215	408	42
	BI_225	1475	282
	BI_226	1455	298
	BI_240	629	52
	BI_241	280	23
	BI_242	419	35
	BI_245	1159	45
	BI_256	200	14
	BI_300	347	85
	BI_305	1001	135
	BI_323	108	23
	BI_325	658	105
	BI_335	562	130
	BI_336	373	51
	BI_340	277	96
	BI_360	853	0
	BI_361	822	0
	BI_390	609	103
	BI_395	246	32
	BI_P.Lope	72	0
Autobús Urbano	BU_11	2362	70
	BU_13	629	9
	BU_21	3778	103
	BU_25	82	2
	BU_33	14458	1607
	BU_4	6704	252
	BU_5	7362	237
	BU_8	8178	274
	BU_9	10369	283
	BU_C30	1840	35
	BU_C31	1368	22
	BU_C32	3903	65
	BU_C34	997	11
	BU_C35	354	7
	BU_C5	56	0
	BU_N1	908	35
	BU_N3	2433	86
	BU_N5	2731	74
	BU_N6	936	41
	BU_N8	392	10

Sistema de Transporte	Línea	Demanda 24h (personas viajeras)	Demanda 2h (personas viajeras)
	BU_N9	1910	76
	BU_S0	178	3
	BU_S2	1301	41
	BU_U1	2820	139
	BU_U2	5479	242
	BU_U3	9710	364
Metro	M1	42499	8765

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recabada.

En relación a los datos de subidos y bajados, por un lado, se tienen los subidos (entradas) por ruta de línea de los autobuses urbanos, así como también los subidos por parada de los autobuses urbanos y del metro. de los autobuses urbanos. Con respecto a los datos de bajados (salidas) por paradas, sólo se tienen datos de bajados de tres paradas de Metro, pues se trata de la información que ha sido enviada por el operador:

- Alcázar Genil.
- Méndez Núñez.
- Recogidas.

Al igual que para la demanda, se han desagregado los datos tanto para 24h como para 2h, una vez más, sirviendo de base la información facilitada por los operadores de transporte público.

4.6.4. Calibración del modelo base

Una vez identificada la oferta y la demanda de transporte en el ámbito objeto de estudio, en este epígrafe se presenta la etapa de calibración del escenario base del modelo de transportes. Esta etapa tiene como objetivo que el modelo simule la realidad observada con el nivel de representatividad suficiente para el objeto del mismo, siempre acorde con lo que la información de partida permita.

El proceso de calibración consiste, en el caso del transporte privado, en realizar ajustes para lograr que los volúmenes de tráfico y velocidades que resulten del proceso de asignación de tráfico sean semejantes a los tráficos y velocidades observados que han sido derivados de los equipamientos ITS y fuentes de información externas para el Día Laborable Tipo (DLT) bajo estudio. De forma similar, para el caso del transporte público, el proceso de calibración consiste en conseguir que la demanda de las líneas de transporte público observada y modelizadas sean semejantes y el comportamiento de los usuarios de transporte público modelizado (número de transbordos, tiempos de acceso y dispersión, etc.) refleje lo observado en la realidad. Para ello, se precisa realizar las siguientes actividades:

- Comprobar los atributos de cada arco a través del método de visualización gráfica del modelo (velocidades, número de carriles, tipo de arco, etc.).
- Codificación de funciones volumen-demora.
- Elección del método de asignación y codificación de las formulaciones de elección de ruta, tanto para la asignación de transporte privado como para la asignación de transporte público.
- Depuración de errores de codificación de la oferta y demanda de transportes.
- Ajuste de las matrices de demanda a aforos.
- Comprobación de las demoras asociadas a cada arco después de la asignación. Estas demoras deben ser coherentes y similares a las demoras de datos reales observados.
- Comprobar que las intensidades medias diarias simuladas presenten una correlación adecuada con los flujos observados por los equipamientos ITS y los datos de transporte público, adaptando las funciones de demora y propiedades de cada tramo.
- Comprobar que las matrices ajustadas de transporte privado y público sean coherentes con los datos de demanda global de telefonía móvil y con la encuesta domiciliaria realizada en el ámbito de estudio, llegando a la conclusión con el modelo de transportes calibrado de que todas las fuentes de información encajan, constituyendo el modelo de transportes una imagen de la movilidad en el Área Metropolitana de Granada de un día laborable tipo de octubre de 2019.

En lo referente al transporte privado este proceso iterativo no finalizará hasta lograr que los volúmenes de tráfico y velocidades que resulten del proceso de asignación del tráfico con el modelo base sean semejantes a los tráficos y velocidades observados por las estaciones de aforo en el ámbito de estudio, así como también lograr una elección de ruta y tiempos de recorrido similares a los observados en la realidad, todo ello de acuerdo a la *Nota de Servicio 5/2014 de Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras*.

En lo referente al transporte público este proceso iterativo no finalizará hasta lograr que la demanda de cada línea de transporte público modelizada sea semejante a la observada.

A. Implementación de las funciones volumen-demora

Las funciones intensidad-demora permiten simular los efectos de la congestión en la selección de ruta en la etapa de asignación de transporte privado. Dado que cada arco tiene codificada una capacidad teórica máxima y una velocidad máxima en flujo libre, estas funciones calculan la velocidad en congestión (tiempo que se tarda en atravesar el arco en condiciones de congestión) de cada uno de los arcos en función de su velocidad en flujo libre y la ratio intensidad/capacidad (grado de saturación), es decir, que, a mayor intensidad, menor va a ser la velocidad en congestión que el modelo considere para cada arco.

Una de las funciones más usadas para este tipo de trabajos es una función cónica propuesta por Heinz Spiess en 1990 como una alternativa para la mejora de los resultados que se obtienen con la función BPR, función muy usada en este tipo de estudio. La función cónica, seleccionada para el modelo confeccionado en este plan, incrementa el tiempo necesario en atravesar un arco a medida que aumenta la relación intensidad/capacidad, determinando que cuando la ratio volumen/capacidad es igual 1 (capacidad máxima teórica) la velocidad en congestión es la mitad de la velocidad en flujo libre. Para valores de la relación volumen/capacidad > 1 la velocidad en congestión disminuye radicalmente, al haberse alcanzado la capacidad máxima de la vía. La formulación de la función cónica es:

$$t_{cur} = t_0 \cdot [2 + \sqrt{a^2(1-sat)^2 + b^2} - a \cdot (1-sat) - b]$$

Donde:

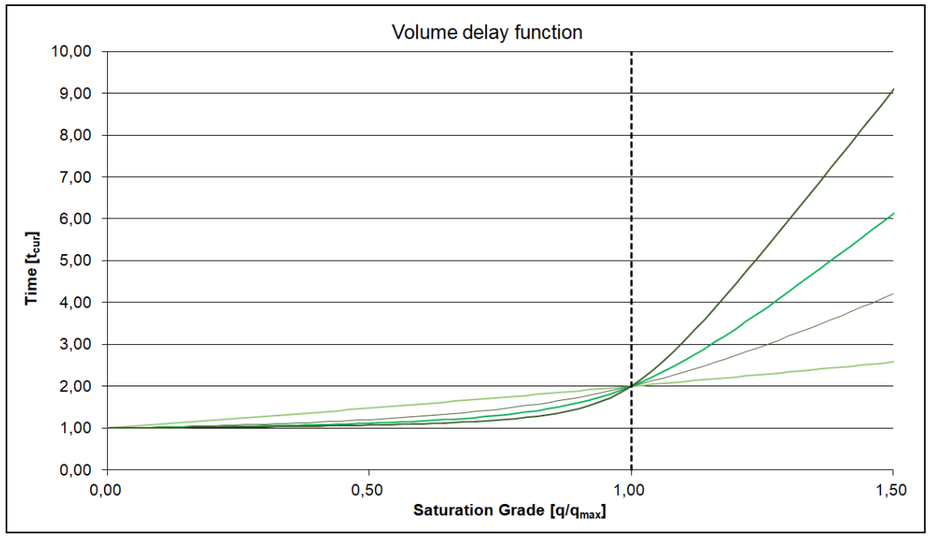
t_0 =Tiempo de viaje en flujo libre

a, b =Parámetros que definen la congestión que tiene sobre la vía la modificación del tiempo de viaje; $b = \frac{2a-1}{2a-2}$

$sat =$ Capacidad de la vía; $sat = \frac{q}{q_{\max} \cdot c}$

t_{cur} =Tiempo de viaje en función de la capacidad y volumen asignado

Imagen 25. Gráfica de la función cónica. El eje de abscisas representa la ratio intensidad/capacidad. El eje de ordenadas muestra por cuánto se va a multiplicar el tiempo para cada grado de saturación.



Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes a y c de las funciones cónicas empleadas varían en función de la tipología de la vía, asignando estos coeficientes a las diferentes categorías de arcos que existen en nuestro ámbito de estudio.

Se han introducido en el modelo cuatro funciones cónicas que varían en función de esos coeficientes, a fin de penalizar las categorías de arcos que tengan asociado un coeficiente a superior, de manera que las categorías con mayor coeficiente a tienen una mayor vulnerabilidad a la hora de sufrir congestión por su capacidad. A continuación, se muestra una tabla resumen de las diferentes funciones cónicas que se han empleado en el modelo y las categorías de arcos a las que están asociadas:

Tabla 14. Funciones cónicas y sus coeficientes en relación a la categoría del link

Número de la función	Categoría de link
Función 1 a= 13 y c=1	• Autopistas y Autovías de alta capacidad
Función 2 a= 12 y c=1	• Red Básica Estructurante • Red Básica de Articulación • Red Intercomarcal
Función 3 a= 10 y c=1	• Red Complementaria Metropolitana • Red Complementaria
Función 4 a= 6 y c=1	• Red Provincial • Red Local
Función 5 a= 4 y c=1	• Red Urbana Estructural • Red Urbana Troncal • Red Urbana Colectora • Red Urbana Local • Residencial

Fuente: Elaboración propia

B. Método de Asignación

El método de asignación de los viajes a la red implica cargar las matrices de demanda en la red de transporte ofertada, por lo que corresponde con uno de los pasos más importantes de cualquier modelo macroscópico.

El modelo desarrollado integra dos métodos de asignación, uno para transporte privado y otro para transporte público:

- Transporte Privado:

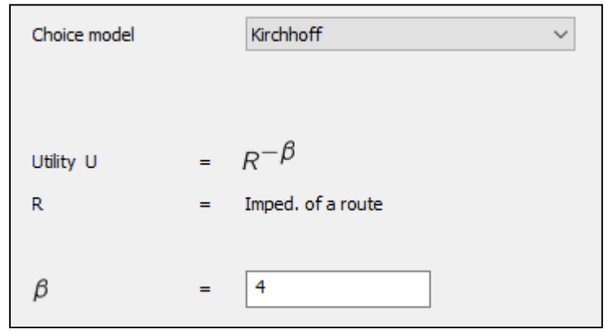
Para el transporte privado se integra en el modelo realizado un método de asignación en el que mediante un proceso iterativo se persigue que cada usuario elija la ruta que perciba como la mejor, es decir, aquella que minimiza su coste generalizado de viaje. Pese a que existen otros métodos de asignación basados en el equilibrio, en este modelo se ha empleado el método de asignación del software Visum denominado "Equilibro de Usuario Estocástico (SUE)", debido a que tiene un efecto más realista porque no siempre escoge la ruta con menor coste. Esto lleva consigo un coste computacional mayor del modelo de macrosimulación, ya que existen más rutas donde elegir. Este método se explica a continuación:

"... El procedimiento de asignación estocástica supone que los viajeros en vehículo en principio seleccionan el mejor camino, pero con una evaluación individual diferente del camino debido a una información incompleta de la red. En la asignación estocástica del vehículo, la demanda es distribuida de acuerdo a los caminos encontrados usando modelos de distribución del tipo Logit, Kirchhoff, Box-Cox, Lohse. Para tomar en cuenta la similitud espacial en los caminos durante la distribución, una medición semejante está determinada por la superposición de los caminos y su ajuste es llamado C-Logit. Comparando con el método de asignación de equilibrio de usuario (EU), hay más caminos seleccionados cargando aún en la red más lenta en la asignación estocástica, debido a que una parte de la demanda está también asignada a un camino no óptimo debido al modelo de distribución. En todos los casos, esta propiedad es más cercana a la realidad que estrictamente aplicando el primer principio de Wardrop..."[2]

Las características del modelo y el uso del método de asignación propuesto implican la consideración de los siguientes elementos:

- Dado que entre el mismo par origen - destino existirá más de un camino, se utilizará el método de asignación estocástica, siendo el modelo Kirchhoff) el modelo de distribución de la demanda seleccionado.
- La impedancia se ha corregido de acuerdo al método "C-Logit".[3]

Imagen 26. Parámetros del método de asignación de transporte privado introducidos en el modelo base



Fuente: PTV Visum

- Transporte Público:

Para el transporte público, el método de asignación utilizado es el "Timetable-based assignment", el cual se basa en los horarios del transporte público, teniendo en cuenta todos los servicios de las líneas de transporte público con sus horas exactas de salida y llegada.

Este método tiene en cuenta la coordinación del horario, pues en la búsqueda de conexiones para cada par OD, los pasajeros disponen de información sobre los horarios y eligen su hora de acceso en función de la primera salida de las líneas de transporte público. Gracias al conocimiento de los horarios y servicios, este método garantiza así resultados de cálculos muy precisos.

La impedancia se calcula en función del "Perceived journey time" (PJT), el cual depende de los siguientes factores:

Imagen 27. Parámetros de asignación de transporte público introducidos en el modelo base

Impedance

Perceived journey time (PJT) =

nber:	Coefficient	Attribute			BoxCox	Lambda
	1,00	In-vehicle time	*	1.0	☐	1,00
+	1,00	PuT-Aux ride time	*	1.0	☐	1,00
+	1,20	Access time			☐	1,00
+	1,20	Egress time			☐	1,00
+	1,00	Walk time			☐	1,00
+	1,50	Origin wait time		Parameters	☐	1,00
+	2,20	Transfer wait time		Parameters	☐	1,00
+	30min	Number of transfers	*	Formula	☐	1,00
+	0min	Number of operator chan		Parameters	☐	1,00
+	0,00	Extended impedance		Parameters	☐	1,00

[2] PTV Visum, Software, 2021.

[3] Cascetta, 1996.

Fuente: PTV Visum

Por lo tanto, la Impedancia será la suma del PJT más la tarifa, la cual se introduce como un factor que representa el valor del tiempo, siendo éste en este caso de 5€/hora, estimado a partir de las características socioeconómicas y conocimientos generales que se tienen del ámbito de estudio:

Imagen 28. Fórmula para el cálculo de la Impedancia de transporte público

Impedance =

mber	Coefficient	Attribute
	1,00	PJT [min]
+	12,00	Fare

Fuente: PTV Visum

Se han vinculado los tiempos en transporte público a los tiempos en transporte privado con el objetivo principal de que se tenga en cuenta la congestión de la vía para el cálculo de los mismos.

C. Proceso de ajuste de las matrices de demanda

Posteriormente a la obtención de las matrices iniciales de este modelo, se ha llevado a cabo un proceso de ajuste de las matrices iniciales, conocido en inglés como *Matrix Estimation* (ME). Este proceso se ha llevado a cabo de forma controlada para garantizar que la estructura previa de la matriz se mantenga después de haberlo realizado.

Para el transporte privado, este procedimiento toma como base los datos de aforos de los equipamientos ITS disponibles en el ámbito de estudio, para así intentar ajustar las matrices a esos datos. Este procedimiento se realiza para cada categoría de vehículo modelizado.

Tal y como se ha comentado en el apartado 3.5., para el ajuste de las matrices se han empleado los datos de aforos de cinco fuentes distintas:

- Aforos pertenecientes al Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- Aforos pertenecientes a la DGT
- Aforos pertenecientes a la Junta de Andalucía
- Aforos pertenecientes a la Diputación de Granada
- Aforos pertenecientes al Ayuntamiento de Granada

Para el transporte público, este procedimiento de ajuste de matrices toma como base la demanda total de cada una de las líneas de transporte público imputadas en el modelo, la cual se encuentra modelizada para un DLT de octubre de 2019 (modelo base).

4.6.5. Validación del modelo base

Tras la calibración, la siguiente fase es la validación del modelo, que tiene por objeto la verificación de la asignación realizada y la garantía de que el modelo macroscópico sea adecuado para la simulación de escenarios. Es por ello que se consigue contrastar la realidad y la simulación con datos de variables representativas independientes del paso de la calibración.

Para el transporte privado, el proceso de validación, tal y como se expone en la Nota de Servicio 5/2014 de Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras, se realiza mediante el empleo del **análisis de regresión** que se resume a continuación:

a) Se debe realizar la asignación sobre la red del año base

b) Se debe realizar un gráfico donde se muestren las parejas de valores de volúmenes de tráfico obtenidos en cada tramo mediante la asignación (eje vertical) y mediante la observación real mediante aforos (eje horizontal). Para ello se ajustará una recta de regresión con los valores del gráfico anterior y se comprobará que:

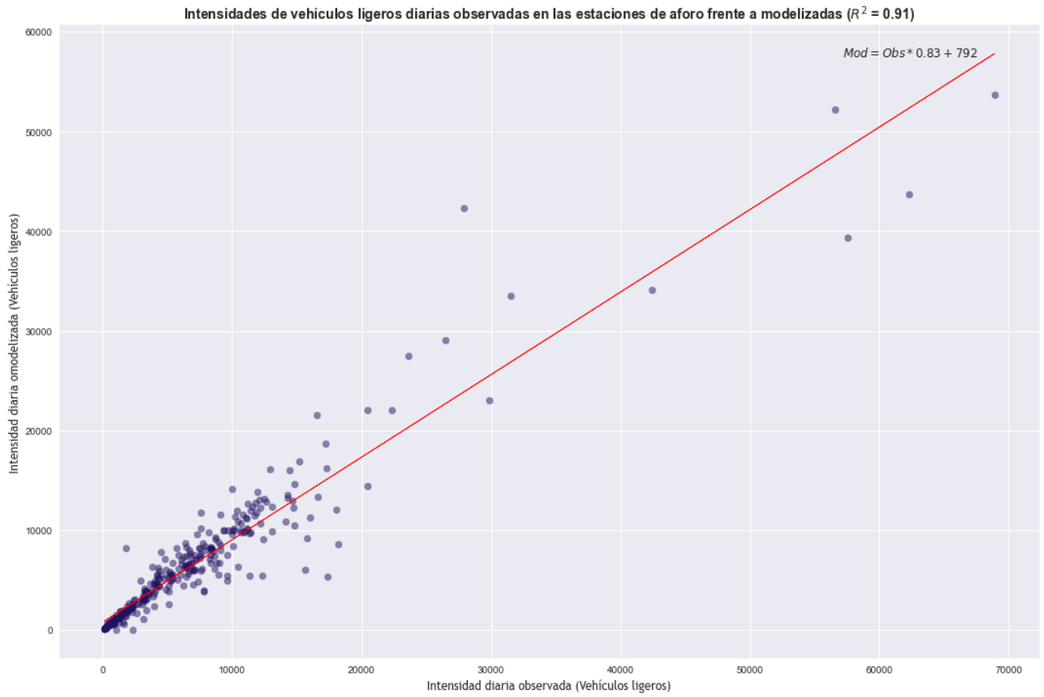
   – El valor de la pendiente es cercano a 1

   – El valor de interceptación del eje vertical es cercano a 0

   – El coeficiente de determinación R2 sea deseablemente mayor que 0,7

A continuación, se presenta el análisis de regresión de la asignación de los vehículos ligeros y de los vehículos pesados pertenecientes al transporte privado:

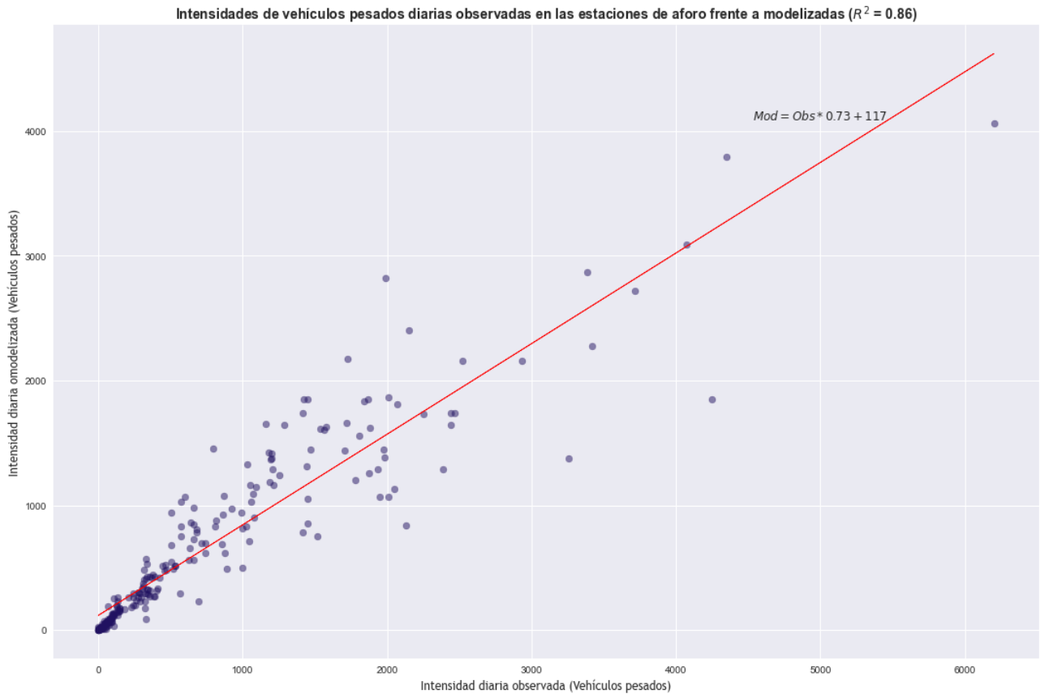
Imagen 29. Resultado del análisis de regresión de los vehículos ligeros observados y modelizados



Fuente: Elaboración propia

En base a las anteriores premisas, la Imagen ***29*** presenta el análisis de regresión relativo a la asignación de los vehículos ligeros. Como se puede observar, el valor de la pendiente es de 0.83 y el coeficiente de determinación (R^2) es 0.91, por lo que se considera que la demanda se ajusta bien a los datos observados.

Imagen 30. Resultado del análisis de regresión de los vehículos pesados observados y modelizados

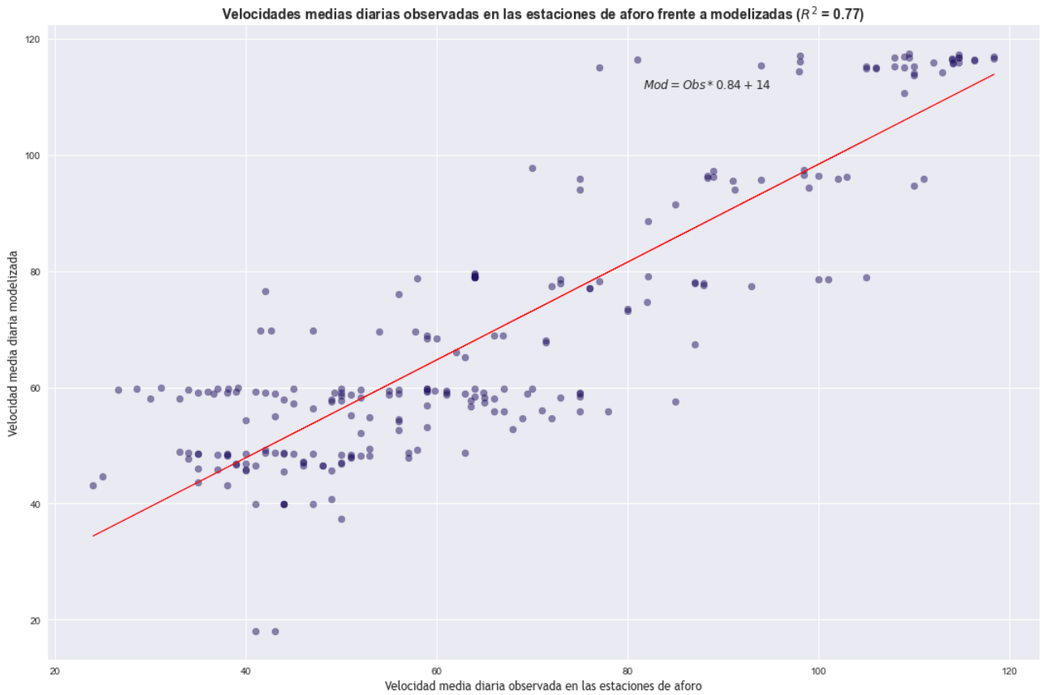


Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Imagen ***30*** muestra el análisis de regresión para los vehículos pesados. En este sentido, el valor de la pendiente es de 0.73 y el coeficiente de determinación R^2 es 0.86, por lo que también se considera que la demanda se ajusta bien a los datos observados.

Adicionalmente se ha realizado una comparativa de las velocidades observadas por las estaciones de aforo y las velocidades obtenidas con el modelo de transportes. La Imagen ***31*** muestra el análisis de regresión resultado de comparar las velocidades observadas y modelizadas en la red de carreteras del Área Metropolitana de Granada. En este sentido, el valor de la pendiente es de 0.77 y el coeficiente de determinación R^2 es 0.77, por lo que las velocidades también validan la asignación del transporte privado.

Imagen 31. Resultado del análisis de regresión de las velocidades observadas y modelizadas en la red de carreteras del Área Metropolitana de Granada



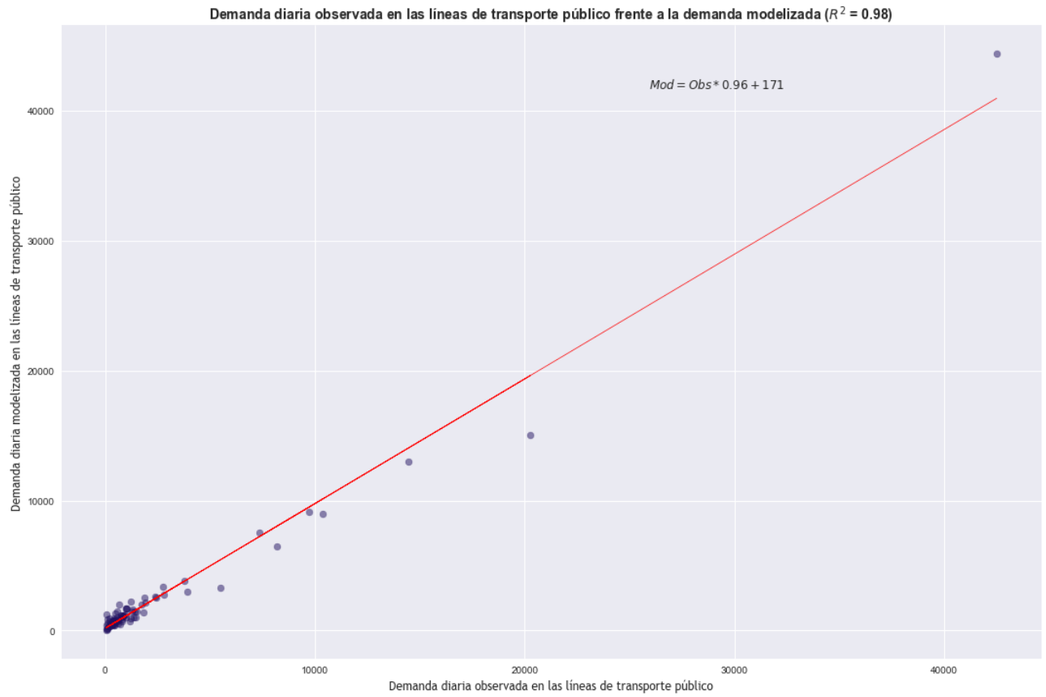
Fuente: Elaboración propia

Para el transporte público, en ausencia de normativa nacional al respecto, el proceso de calibración/validación ha consistido en comprobar que se simulan los siguientes indicadores relacionados de forma realista:

- Elección de ruta
- Nº de trasbordos realizados en el ámbito de estudio
- Dinámica de la ejecución de trasbordos en los puntos clave
- Tiempo total de los viajes realizados
- Tiempo de caminata del peatón para realizar trasbordos

A continuación, se presenta el análisis de regresión de la asignación de la demanda de líneas de transporte público:

Imagen 32. Resultado del análisis de regresión de la demanda diaria observada y modelizada en las líneas de transporte público.



Fuente: Elaboración propia

El análisis de regresión muestra un valor de la pendiente de 0.96 y el coeficiente de determinación R^2 es 0.86, por lo que se considera que la demanda de transporte público se ajusta bien a los datos observados.

Tras todo lo expuesto podemos afirmar que el modelo base (octubre 2019) del Plan Metropolitano de Transportes del Área Metropolitana de Granada queda validado tras un proceso minucioso de calibración y se considera apto para su uso en la modelización de los escenarios futuros que nutran el PTMAGR.

5. ESCENARIOS FUTUROS

5.1. Proyección de las variables socioeconómicas

La definición del horizonte temporal del Plan de Movilidad objeto de este proyecto se ha llevado a cabo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El horizonte escogido permite una planificación del sistema de transportes con una cierta amplitud temporal.
- Permite conocer con una cierta seguridad cuáles son los procesos de desarrollo territorial y urbanístico previstos, que generaran la movilidad que será preciso atender.
- Finalmente, permite también una cierta seguridad respecto a los procesos de predicción de la demanda y de efectos de las estrategias de transporte a partir de los modelos de demanda disponibles.

En la definición de los nuevos escenarios, además de las nuevas infraestructuras previstas, se debe tener en cuenta el crecimiento de la movilidad en el ámbito. Para ello se han diseñado tres modelos diferentes en función del motivo de viaje en cada caso:

- Viajes desde el hogar con motivo trabajo o estudios,
- Viajes desde el hogar por otros motivos, y
- Viajes por cualquier motivo que no se realizan desde el hogar.

El objetivo de cada modelo diseñado es, por tanto, definir cuáles son las variables socioeconómicas que intervienen en la evolución de la movilidad del Área Metropolitana de Granada. Las 23 variables analizadas en los tres modelos son las siguientes:

Tabla 15. Variables socioeconómicas analizadas

Variables socioeconómicas analizadas		
1. Población,	2. Parque de vehículos,	3. Población < 15 años,
4. Población > 65 años,	5. Afiliados a la SS que comparten ubicación de residencia y trabajo	6. Afiliados a la SS que no comparten la ubicación entre la residencia y el trabajo
7. Población entre 16 y 64 años,	8. Plazas hoteleras	9. Plazas escolares
10. Plazas universitarias	11. Camas de hotel	12. Población total demandante de empleo
13. Metros cuadrados de viviendas colectivas en zona urbana	14. Metros cuadrados de viviendas unifamiliares en zona urbana	15. Metros cuadrados de uso industrial
16. Metros cuadrados utilizados como oficinas	17. Metros cuadrados utilizados para comercio	18. Metros cuadrados de uso deportivo
19. Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio	20. Metros cuadrados de uso sanitario	21. Metros cuadrados de uso cultural
22. Metros cuadrados dedicados a espectáculos	23. Renta bruta media declarada por los contribuyentes	

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de las variables anteriores, los modelos desarrollados establecen que son principalmente 5 las que estadísticamente explican la evolución de la movilidad global en el ámbito de estudio:

- Población,
- Afiliados a la Seguridad Social que no comparten la ubicación entre la residencia y el trabajo
- Plazas escolares
- Metros cuadrados dedicados a uso deportivo
- Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio

Se considera como año horizonte de análisis el año 2030.

5.1.1. Población

Para la definición de los escenarios futuros se hace necesaria la estimación de la variable de población para el año horizonte 2030, estableciéndose también un escenario intermedio,2024, que permitirá una primera propuesta y evaluación de las actuaciones a corto plazo del presente plan de transporte metropolitano.

En la previsión de estas variables se ha optado por realizar la estimación teniendo en cuenta las previsiones de población realizadas por el Instituto de Estadística de Andalucía a nivel municipal y el comportamiento histórico registrado.

Tabla 16. Población por municipios para los diferentes horizontes

Municipios	Población				
	2021	2024	Tasa de variación	2030	Tasa de variación
Agrón	259	254	-0,65%	248	-0,48%
Albolote	19,033	19,236	0,35%	19,627	0,34%
Alfacar	5,49	5,496	0,04%	5,515	0,05%
Alhendín	9,513	9,524	0,04%	9,556	0,05%
Armilla	24,501	24,953	0,61%	25,758	0,56%
Atarfe	19,145	19,667	0,90%	20,606	0,82%
Beas de Granada	980	982	0,07%	985	0,06%
Cacín	267	263	-0,50%	256	-0,47%
Cájar	5,207	5,213	0,04%	5,231	0,05%
Calicasas	638	639	0,05%	641	0,05%
Cenes de la vega	8,156	8,166	0,04%	8,194	0,05%
Colomera	1,293	1,268	-0,65%	1,236	-0,50%
Chauchina	5,554	5,561	0,04%	5,58	0,05%
Chimeneas	1,244	1,224	-0,54%	1,192	-0,47%
Churriana de la vega	15,849	16,302	0,94%	17,113	0,86%
Cijuela	3,416	3,42	0,04%	3,432	0,05%
Cogollos de la vega	2,008	2,01	0,03%	2,017	0,05%
Cúllar vega	7,55	7,559	0,04%	7,585	0,05%
Deifontes	2,601	2,606	0,06%	2,617	0,07%
Dílar	2,093	2,095	0,03%	2,102	0,05%

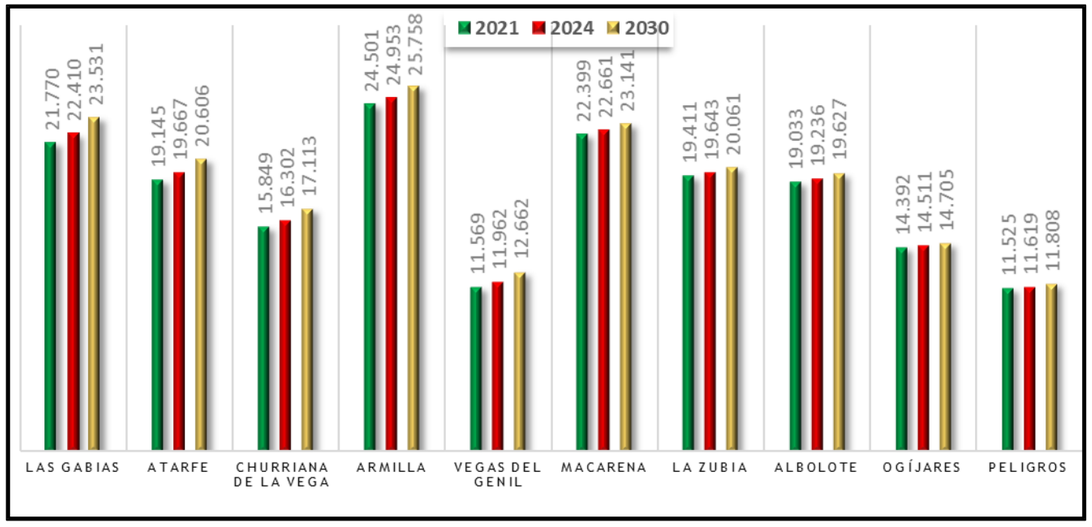
Municipios	Población				
	2021	2024	Tasa de variación	2030	Tasa de variación
Dúdar	327	328	0,10%	329	0,07%
Dúrcal	6,949	6,877	-0,35%	6,789	-0,26%
Escúzar	787	774	-0,55%	754	-0,47%
Fuente vaqueros	4,386	4,391	0,04%	4,406	0,05%
Gójar	5,911	5,918	0,04%	5,938	0,05%
Granada	232,461	229,137	-0,48%	223,691	-0,43%
Güéjar Sierra	2,858	2,861	0,03%	2,871	0,05%
Güevéjar	2,641	2,644	0,04%	2,653	0,05%
Huétor de Santillán	1,883	1,885	0,04%	1,891	0,05%
Huétor Vega	12,053	12,103	0,14%	12,194	0,13%
Íllora	10,006	9,851	-0,52%	9,622	-0,43%
Iznalloz	5,084	4,988	-0,63%	4,86	-0,50%
Jun	3,854	3,859	0,04%	3,872	0,05%
La Malahá	1,774	1,746	-0,53%	1,699	-0,48%
La Zubia	19,411	19,643	0,40%	20,061	0,37%
Láchar	3,514	3,518	0,04%	3,531	0,05%
Las Gabias	21,77	22,41	0,97%	23,531	0,87%
Maracena	22,399	22,661	0,39%	23,141	0,36%
Moclín	3,607	3,565	-0,39%	3,503	-0,32%
Monachil	8,01	8,019	0,04%	8,047	0,05%
Moraleda de Zafayona	3,104	3,068	-0,39%	3,015	-0,32%
Nigüelas	1,158	1,146	-0,35%	1,131	-0,26%
Nívar	1,036	1,038	0,06%	1,041	0,05%
Ogíjares	14,392	14,511	0,27%	14,705	0,24%
Otura	6,985	6,993	0,04%	7,017	0,05%
Padul	8,659	8,569	-0,35%	8,46	-0,26%
Peligros	11,525	11,619	0,27%	11,808	0,27%
Pinos Genil	1,491	1,492	0,02%	1,497	0,04%
Pinos Puente	9,85	9,729	-0,41%	9,571	-0,32%
Pulianas	5,468	5,474	0,04%	5,493	0,05%
Quéntar	947	948	0,04%	952	0,06%
Santa Fe	15,207	15,169	-0,08%	15,14	-0,05%
Valderrubio	2,067	2,069	0,03%	2,076	0,05%
Vegas del Genil	11,569	11,962	1,12%	12,662	1,01%
Ventas de Huelma	653	643	-0,51%	626	-0,47%
Villamena	913	903	-0,37%	892	-0,26%
Víznar	993	995	0,07%	998	0,06%

Municipios	Población				
	2021	2024	Tasa de variación	2030	Tasa de variación
TOTAL	*600,499*	*599,945*	-0,03%	*599,958*	-0,03%

Fuente: Elaboración propia

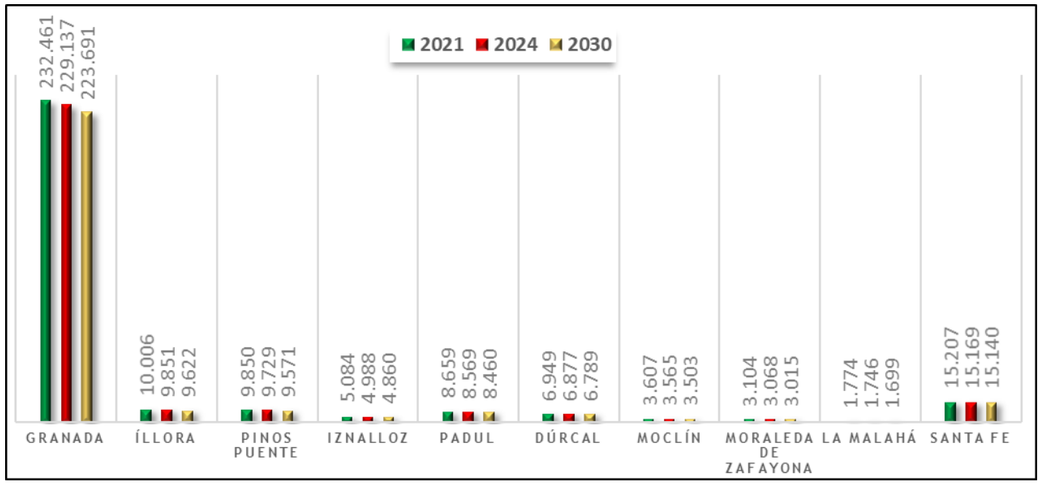
Según los datos del IECA la evolución de la población para los municipios del área metropolitana de la provincia de Ganada, mantendrá un ritmo constante a la baja, siendo éste 554 habitantes menos, un decrecimiento de 0,03%, lo que implica una tasa de decrecimiento anual de 0,01% durante el periodo 2021-2024.

Imagen 33. Resultado del análisis de regresión de la demanda diaria observada y modelizada en las líneas de transporte público.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

Imagen 34. Proyección de la población para los municipios con mayor decrecimiento

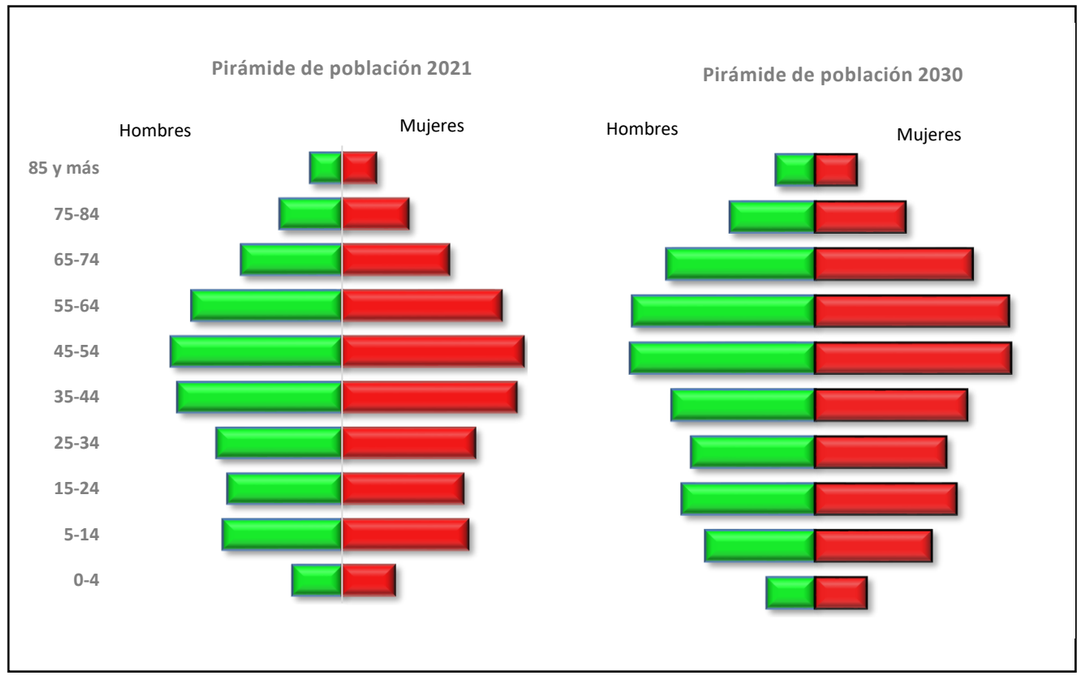


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

Según la información arrojada por las proyecciones, para el periodo 2021-2030, será Las Gabias quien experimente más crecimiento de la población, con un aumento de 1.761 habitantes. Por el contrario, los municipios con mayor decrecimiento son Granada e Íllora, con 8.771 y 384 habitantes menos respectivamente.

A continuación, se presenta la siguiente pirámide poblacional para el periodo 2021-2030, elaborado a partir de los datos del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. En ella, se puede observar cómo, en ambos sexos, la población para el conjunto de los municipios del área metropolitana analizados tiende al envejecimiento.

Imagen 35. Pirámide poblacional del área metropolitana para los horizontes temporales 2021-2030



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

En materia de transporte, este envejecimiento se traduce en un probable aumento del transporte público por parte de la población que, por edad, será cautiva del mismo.

5.1.2. Afiliados a la Seguridad Social que no comparten la ubicación entre la residencia y el trabajo

Andalucía, al igual que el resto de España, ha sufrido en los últimos años el impacto en los patrones de movilidad derivados de la pandemia del COVID-19. El IECA, en la encuesta sobre el uso de TIC y comercio electrónico en las empresas, destaca que el 42,1% de las empresas permitió el teletrabajo durante el primer trimestre de 2021, de las cuales el 62,8% lo hizo a raíz de la situación derivada del COVID-19.

A continuación, se muestra la tabla con el número de afiliados a la SS que no comparten la ubicación entre la residencia y el trabajo en cada uno de los municipios que componen el ámbito del Plan:

Tabla 17. Afiliados a la Seguridad Social por municipios en 2019

Municipios	Afiliados a la Seguridad Social que no comparten la ubicación entre la residencia y el trabajo		
	2019	2030	Tasa de variación
Agrón	65	62	-0,43%
Albolote	9292	9582	0,28%
Alfacar	1062	1067	0,04%
Alhendín	1452	1459	0,04%
Armilla	9340	9819	0,46%
Atarfe	6301	6782	0,67%
Beas de Granada	156	157	0,06%
Cacín	90	86	-0,41%
Cájar	767	771	0,05%
Calicasas	175	176	0,05%
Cenes de la vega	1178	1183	0,04%
Colomera	530	532	0,03%
Chauchina	3083	3097	0,04%
Chimeneas	543	520	-0,39%
Churriana de la vega	5590	6036	0,70%
Cijuela	880	884	0,04%
Cogollos de la vega	429	431	0,04%
Cúllar vega	1458	1465	0,04%
Deifontes	866	871	0,05%
Dílar	423	425	0,04%
Dúdar	75	75	0,00%
Dúrcal	1827	1785	-0,21%
Escúzar	708	678	-0,39%
Fuente vaqueros	1837	1845	0,04%
Gójar	790	794	0,05%
Granada	130832	125896	-0,35%
Güéjar Sierra	555	558	0,05%
Güevéjar	426	428	0,04%
Huétor de Santillán	336	337	0,03%
Huétor Vega	1687	1707	0,11%
Íllora	3472	3339	-0,35%
Iznalloz	1853	1771	-0,41%
Jun	425	427	0,04%
La Malahá	352	337	-0,40%
La Zubia	3369	3482	0,30%
Láchar	1171	1177	0,05%
Las Gabias	2571	2779	0,71%
Maracena	4124	4261	0,30%
Moclín	1283	1246	-0,27%
Monachil	4015	4034	0,04%
Moraleda de Zafayona	1148	1115	-0,26%
Nigüelas	534	522	-0,21%
Nívar	142	143	0,06%
Ogíjares	3295	3367	0,20%
Otura	1222	1228	0,04%
Padul	2307	2254	-0,21%
Peligros	6445	6603	0,22%
Pinos Genil	293	294	0,03%
Pinos Puente	3081	2994	-0,26%
Pulianas	2764	2777	0,04%
Quéntar	121	122	0,07%
Santa Fe	4876	4855	-0,04%
Valderrubio	524	526	0,03%
Vegas del Genil	1582	1731	0,82%
Ventas de Huelma	244	244	0,00%
Villamena	233	233	0,00%
Víznar	178	178	0,00%
TOTAL	*234.377*	*231.547*	*-0,11%*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

5.1.3. Plazas escolares

Se considera que la tasa de plazas escolares por habitante se mantiene constante en los escenarios futuros.

Tabla 18. Plazas escolares por municipios en 2019

Municipios	Plazas escolares		
	2019	2030	Tasa de variación
Agrón	0	0	-
Albolote	2794	2881	0,28%

Municipios	Plazas escolares		
	2019	2030	Tasa de variación
Alfacar	937	941	0,04%
Alhendín	1148	1153	0,04%
Armilla	3727	3918	0,46%
Atarfe	3558	3830	0,67%
Beas de Granada	58	58	0,00%
Cacín	0	0	-
Cájar	318	319	0,03%
Calicasas	47	47	0,00%
Cenes de la vega	440	442	0,04%
Colomera	148	149	0,06%
Chauchina	1252	1258	0,04%
Chimeneas	62	59	-0,45%
Churriana de la vega	2476	2673	0,70%
Cijuela	362	364	0,05%
Cogollos de la vega	623	626	0,04%
Cúllar vega	1513	1520	0,04%
Deifontes	328	330	0,06%
Dílar	159	160	0,06%
Dúdar	0	0	-
Dúrcal	1467	1433	-0,21%
Escúzar	85	81	-0,44%
Fuente vaqueros	372	374	0,05%
Gójar	412	414	0,04%
Granada	32254	31037	-0,35%
Güéjar Sierra	163	164	0,06%
Güevéjar	225	226	0,04%
Huétor de Santillán	150	151	0,06%
Huétor Vega	1087	1100	0,11%
Íllora	1591	1530	-0,35%
Iznalloz	1399	1337	-0,41%
Jun	289	290	0,03%
La Malahá	301	288	-0,40%
La Zubia	2881	2977	0,30%
Láchar	410	412	0,04%
Las Gabias	2586	2795	0,71%
Maracena	2690	2779	0,30%
Moclín	236	229	-0,27%
Monachil	623	626	0,04%
Moraleda de Zafayona	462	449	-0,26%
Nigüelas	274	268	-0,20%
Nívar	116	117	0,08%
Ogíjares	2224	2272	0,19%
Otura	940	944	0,04%
Padul	1369	1338	-0,21%
Peligros	1780	1824	0,22%
Pinos Genil	113	113	0,00%
Pinos Puente	1670	1623	-0,26%
Pulianas	618	621	0,04%
Quéntar	58	58	0,00%
Santa Fe	2021	2012	-0,04%
Valderrubio	342	343	0,03%
Vegas del Genil	1098	1202	0,83%
Ventas de Huelma	40	40	0,00%
Villamena	73	73	0,00%
Víznar	58	58	0,00%
TOTAL	*82.427*	*82.326*	*-0,01%*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

5.1.4. Metros cuadrados dedicados a uso deportivo

Se considera que la tasa de metros cuadrados dedicados a uso deportivo por habitante se mantiene constante en los escenarios futuros.

Tabla 19. Metros cuadrados dedicados a uso deportivo en 2019

Municipios	Metros cuadrados dedicados a uso deportivo		
	2019	2030	Tasa de variación
Agrón	5579	5342	-0,39%
Albolote	127492	131471	0,28%
Alfacar	11073	11123	0,04%
Alhendín	854	858	0,04%
Armilla	116957	122957	0,46%
Atarfe	45669	49154	0,67%

Municipios	Metros cuadrados dedicados a uso deportivo		
	2019	2030	Tasa de variación
Beas de Granada	8126	8167	0,05%
Cacín	703	674	-0,38%
Cájar	14365	14431	0,04%
Calicasas	0	0	-
Cenes de la vega	11898	11953	0,04%
Colomera	0	0	-
Chauchina	14166	14232	0,04%
Chimeneas	11713	11223	-0,39%
Churriana de la vega	34220	36949	0,70%
Cijuela	749	753	0,05%
Cogollos de la vega	1226	1231	0,04%
Cúllar vega	3960	3978	0,04%
Deifontes	6619	6660	0,06%
Dílar	4758	4778	0,04%
Dúdar	1711	1721	0,05%
Dúrcal	5393	5269	-0,21%
Escúzar	6625	6347	-0,39%
Fuente vaqueros	7286	7319	0,04%
Gójar	17048	17126	0,04%
Granada	1035008	995961	-0,35%
Güéjar Sierra	3003	3017	0,04%
Güevéjar	2725	2737	0,04%
Huétor de Santillán	1803	1811	0,04%
Huétor Vega	6255	6328	0,11%
Íllora	22943	22063	-0,35%
Iznalloz	10866	10387	-0,41%
Jun	4258	4278	0,04%
La Malahá	11448	10964	-0,39%
La Zubia	62455	64546	0,30%
Láchar	15429	15504	0,04%
Las Gabias	25268	27312	0,71%
Maracena	25150	25983	0,30%
Moclín	13894	13493	-0,27%
Monachil	55313	55569	0,04%
Moraleda de Zafayona	7157	6952	-0,26%
Nigüelas	1835	1792	-0,22%
Nívar	210	211	0,04%
Ogíjares	92273	94280	0,20%
Otura	19416	19505	0,04%
Padul	21695	21196	-0,21%
Peligros	6171	6323	0,22%
Pinos Genil	6585	6611	0,04%
Pinos Puente	3649	3546	-0,26%
Pulianas	8520	8559	0,04%
Quéntar	1633	1642	0,05%
Santa Fe	10364	10318	-0,04%
Valderrubio	7655	7688	0,04%
Vegas del Genil	20215	22125	0,82%
Ventas de Huelma	439	439	0,00%
Villamena	12190	12179	-0,01%
Víznar	2355	2353	-0,01%
TOTAL	*1.976.370*	*1.959.388*	*-0,08%*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

5.1.5. Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio

Se considera que no existen desarrollos en lo relativo a la hostelería y ocio en los municipios del ámbito de estudio excepto en el caso de Granada, Atarfe y Churriana de la Vega y Ogíjares, según se detalla en los Planes de Ordenación vigentes.

Tabla 20. Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio para 2019 y 2030

Municipios	Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio		
	2019	2030	Tasa de variación anual
Agrón	192	184	-0,39%
Albolote	26714	27548	0,28%
Alfacar	3205	3220	0,04%
Alhendín	2933	2946	0,04%
Armilla	24098	25335	0,46%
Atarfe	16588	22743	2,91%
Beas de Granada	554	557	0,05%
Cacín	288	276	-0,39%
Cájar	3701	3718	0,04%
Calicasas	293	294	0,03%

Municipios	Metros cuadrados dedicados a hostelería y ocio		
	2019	2030	Tasa de variación anual
Cenes de la vega	9851	9897	0,04%
Colomera	1735	1743	0,04%
Chauchina	5997	6025	0,04%
Chimeneas	1326	1271	-0,38%
Churriana de la vega	4091	6052	3,62%
Cijuela	1992	2002	0,04%
Cogollos de la vega	1631	1638	0,04%
Cúllar vega	1794	1803	0,04%
Deifontes	1394	1403	0,06%
Dílar	3418	3433	0,04%
Dúdar	303	305	0,06%
Dúrcal	4256	4158	-0,21%
Escúzar	1151	1103	-0,39%
Fuente vaqueros	1734	1742	0,04%
Gójar	2057	2067	0,04%
Granada	549362	557743	0,14%
Güéjar Sierra	6752	6783	0,04%
Güevéjar	966	970	0,04%
Huétor de Santillán	1127	1132	0,04%
Huétor Vega	15369	15548	0,11%
Íllora	9819	9442	-0,36%
Iznalloz	2324	2222	-0,41%
Jun	229	230	0,05%
La Malahá	1632	1563	-0,39%
La Zubia	2223	2297	0,30%
Láchar	2398	2410	0,05%
Las Gabias	4143	4478	0,71%
Maracena	5644	5831	0,30%
Moclín	7534	7317	-0,27%
Monachil	125143	125721	0,04%
Moraleda de Zafayona	5817	5650	-0,26%
Nigüelas	766	748	-0,21%
Nívar	406	408	0,04%
Ogíjares	9012	9437	0,42%
Otura	11942	11997	0,04%
Padul	6845	6688	-0,21%
Peligros	6617	6779	0,22%
Pinos Genil	11202	11247	0,04%
Pinos Puente	7052	6852	-0,26%
Pulianas	1609	1616	0,04%
Quéntar	1413	1420	0,04%
Santa Fe	17258	17182	-0,04%
Valderrubio	4050	4068	0,04%
Vegas del Genil	1243	1360	0,82%
Ventas de Huelma	2080	2078	-0,01%
Villamena	1428	1427	-0,01%
Víznar	5893	5888	-0,01%
TOTAL	*950.593*	*969.995*	*0,18%*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

5.1.6. Motorización

Adicionalmente, y debido a la importancia que la tasa de motorización supone en un Plan de Movilidad Sostenible como el PTMAGR, se ha analizado la tasa de motorización prevista en el ámbito de estudio. Según los datos arrojados por la estimación para el horizonte temporal 2024 y 2030, la tasa de motorización en el área metropolitana de la provincia de Granada aumentará, con una tasa de crecimiento del 2,98% anual.

Tabla 21. Tasa de motorización para los diferentes horizontes temporales analizados

Municipios	Tasa de motorización		
	2021	2024	2030
Agrón	1,070	1,058	1,028
Albolote	798	843	928
Alfacar	867	913	1,002
Alhendín	774	865	1,039
Armilla	699	735	802
Atarfe	727	777	870
Beas de Granada	1,002	1,043	1,119
Cacín	1,039	1,093	1,195
Cájar	775	829	926

Municipios	Tasa de motorización		
	2021	2024	2030
Calicasas	1,056	1,128	1,260
Cenes de la vega	760	804	884
Colomera	1,106	1,186	1,327
Chauchina	821	881	989
Chimeneas	1,071	1,162	1,331
Churriana de la vega	712	759	840
Cijuela	742	828	985
Cogollos de la vega	895	973	1,113
Cúllar vega	804	876	1,007
Deifontes	900	972	1,101
Dílar	995	1,133	1,380
Dúdar	1,037	1,117	1,260
Dúrcal	819	873	966
Escúzar	1,130	1,230	1,412
Fuente vaqueros	831	888	987
Gójar	854	913	1,016
Granada	697	721	765
Güéjar Sierra	835	890	983
Güevéjar	806	876	999
Huétor de Santillán	1,084	1,137	1,228
Huétor Vega	868	923	1,018
Íllora	908	973	1,086
Iznalloz	1,111	1,183	1,305
Jun	878	965	1,114
La Malahá	900	960	1,066
La Zubia	780	826	901

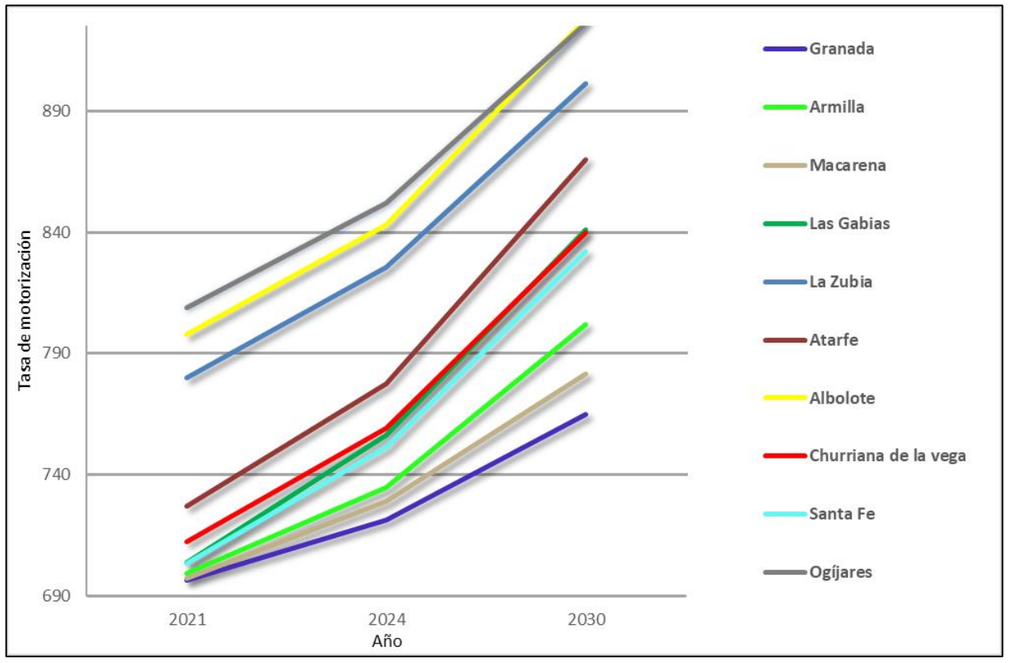
Municipios	Tasa de motorización		
	2021	2024	2030
Láchar	891	972	1,112
Las Gabias	704	757	841
Maracena	697	729	782
Moclín	1,108	1,178	1,298
Monachil	937	1,000	1,108
Moraleda de Zafayona	964	1,032	1,151
Nigüelas	1,366	1,639	2,113
Nívar	937	1,027	1,179
Ogíjares	809	852	926
Otura	841	906	1,016
Padul	914	1,008	1,167
Peligros	879	921	988
Pinos Genil	1,085	1,163	1,296
Pinos Puente	1,009	1,054	1,128
Pulianas	872	944	1,065
Quéntar	857	922	1,031
Santa Fe	704	752	832
Valderrubio	428	601	889
Vegas del Genil	732	794	887
Ventas de Huelma	1,119	1,210	1,369
Villamena	884	940	1,030
Víznar	920	990	1,103
PROMEDIO	*891,36*	*960,07*	*1079,70*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IECA

Nota: para obtener la tasa de motorización se ha utilizado el parque vehicular total del municipio (vehículos, motocicletas, camiones, etc).

Los municipios donde la tasa de motorización crecerá más son Valderrubio y Nigüelas. Por el contrario, en el municipio de Agrón se estima que experimentará un decrecimiento (3,96%).

Imagen 36.: Proyecciones de la tasa de motorización de los 10 municipios más poblados



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que se trata de una estimación, donde interviene la evolución de la población y del parque de vehículos, es decir, se calcula en base a la evolución de estas variables en los últimos 6 años y en cada uno de los municipios, pudiendo por tanto sufrir desviaciones en los próximos años.

5.2. Medidas propuestas

Con la finalidad de obtener decisiones informadas acerca de las medidas que se proponen en el presente plan, se han modelizado las propuestas que se pueden estudiar con el modelo macroscópico de transporte calibrado de cuatro etapas.

Como se muestra a continuación, cada uno de los escenarios modelizados se compone de un conjunto de medidas que se simulan para un día laborable tipo de invierno del año 2030. Seguidamente se presentan las medidas simuladas con el software de macrosimulación PTV Visum que conlleva cada uno de los escenarios simulados.

Con todo ello, se han planteado cuatro escenarios de actuación para el año horizonte del presente plan:

- Escenario 1, incluye la red base existente en la actualidad más las medidas que están en desarrollo y próximas a ejecutarse antes del año horizonte del plan, con adición de la Zona de Bajas Emisiones (ZBE) del casco urbano de Granada.
- Escenario 2, incluye, además de las medidas que figuran en el Escenario 1, las actuaciones propuestas por el Plan vigente, con adición de la ZBE del casco urbano de Granada.
- Escenario 3 incluye, además de las medidas que figuran en el Escenario 1, las actuaciones propuestas por el Plan vigente, con adición de la ZBE que abarcaría la ciudad de Granada centro junto a los municipios limítrofes que implanten ZBE.
- Escenario 4, incluye, además de las medidas que figuran en el Escenario 1, las actuaciones propuestas por el Plan Vigente, con adición de la ZBE que abarcaría la ZBE del Escenario 3 más los municipios que implanten ZBE.

5.2.1. Escenario 1

Este escenario consiste en no aplicar ninguna de las medidas en materia de planificación del transporte y movilidad propuestas por el PTMAGR. En este sentido, la previsible evolución de las variables y parámetros de movilidad sería continuista respecto a la situación actual, implementando sólo los cambios que ya se encuentran en proceso de desarrollo y ejecución y aquellos que su puesta en servicio se realizará antes del año horizonte del Plan. A continuación, se resumen dichas actuaciones garantizadas:

- Ampliación del metro Sur y Centro
- Segunda circunvalación de Granada
- Nueva carretera GR-43 y resto de carretera de autovía de acceso a Granada (Atarfe-Granada)
- Acceso desde la GR-30 sentido sur hacia Armilla
- Accesos desde la GR-30 hacia Asegra y Maracena
- Acceso Segunda Circunvalación de Granada: variante de Armilla, Churriana y Las Gabias (VAU-05)
- Carretera de Acceso a la Zubia (VAU-10)
- Acceso desde la GR-30 hacia Camino de Camaura
- Acceso desde A-395 hacia Ogíjares
- Mejoras enlaces Vegas de Genil - Cúllar Vega (A-44 con GR-3313) y con carretera autonómica A-385
- Plataforma reservada para Bus-VAO en el corredor de transporte de la A-92G
- Establecimiento de ZBE – Fase 1

5.2.2. Escenario 2

Este escenario consiste en aplicar la planificación en materia de transportes y movilidad que fomenta medidas para asegurar la fluidez del transporte mediante infraestructuras viarias. Dentro de este escenario se incluye, además de las incluidas en el escenario 1, el siguiente paquete de medidas propuestas por el propio Plan en la red de transporte privado y público:

- Inversión en infraestructura vial, priorización del transporte público: implantación de carriles bus en la red viaria del núcleo urbano de Granada (LE1-P6)
- Reestructuración de la red de transporte público: modificación de rutas de líneas existentes y mejora de frecuencias en HPM (LE2-P3)
- Revisión del marco tarifario: Reducción de zonas de transporte y, por ende, unificación de tarifas por saltos.
- Establecimiento de ZBE – Fase 1

5.2.3. Escenario 3

En este escenario se incluirán las actuaciones propuestas en el Escenario 2, a diferencia del establecimiento de la ZBE, la cual se establecerá la ZBE que abarca todo el ámbito urbano de la ciudad de Granada más los municipios limítrofes que implanten ZBE, la cual queda definida como ZBE – Fase 2.

5.2.4. Escenario 4

En este escenario se incluirán las actuaciones propuestas en el Escenario 2 y 3, a diferencia del establecimiento de la ZBE, la cual se establecerá la ZBE que abarca todo el ámbito de la ZBE – Fase 2 más aquellos municipios que implanten ZBE, designándose esta ZBE – Fase 3.

5.3. Resultados

Una vez obtenidos los resultados, se ofrece una comparación de los distintos escenarios simulados, considerando el Escenario 1 como base de comparación al considerarse el escenario base o "Do-Nothing (DN)", debido a que únicamente incorpora aquellas medidas que ya están previstas, siendo el escenario base en el 2030 al partir de hipótesis de continuidad de la tendencia de los últimos años.

Destaca el importante aumento del transporte público y el menor uso del transporte privado a medida que aumenta el área de implantación de las Zonas de Bajas Emisiones en el ámbito de estudio, siendo el escenario 4 el que mejor resultados arroja:

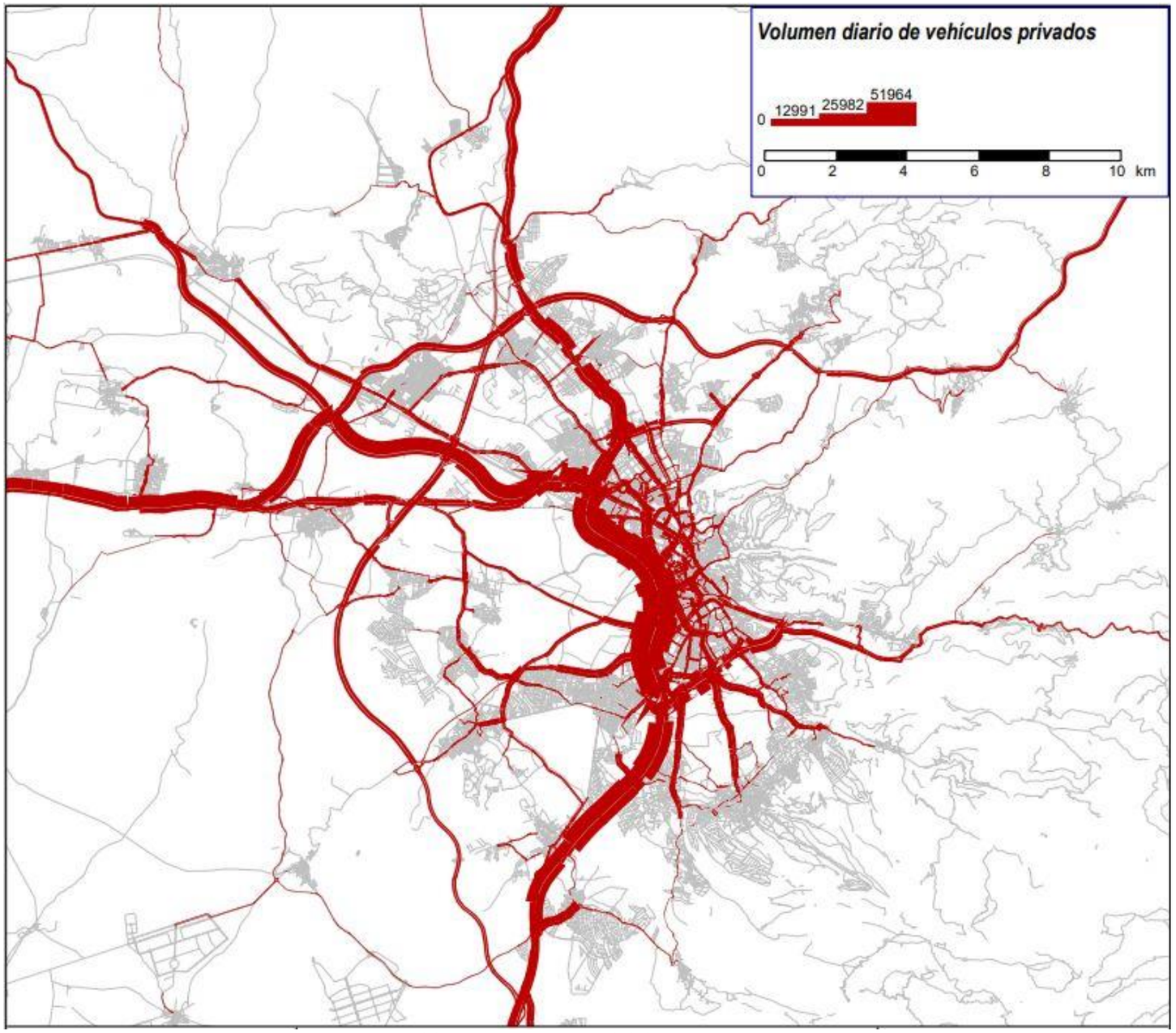
Tabla 22. Resultados de indicadores para Escenario Base y Escenario 1 futuro

Indicador	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia con Escenario 1	Escenario 3	Diferencia con Escenario 1	Escenario 4	Diferencia con Escenario 1
Demanda Transporte Público (Pasajeros)	220.117,63	225.902,62	**2,63%**	285.370,51	**29,64%**	318.933,46	**44,89%**
Demanda Ligeros (Vehículos Privados)	731.939,46	711.910,06	**-2,74%**	656.594,22	**-10,29%**	611.917,91	**-16,40%**
Veh*h Ligeros	144.318,25	140.131,04	**-2,90%**	132.400,18	**-8,26%**	122.198,75	**-15,33%**
Veh*h Pesados	19.300,59	19.312,98	**0,06%**	19.185,00	**-0,60%**	19.042,34	**-1,34%**
Veh*km Ligeros	7.683.887,06	7.473.344,96	**-2,74%**	7.174.088,19	**-6,63%**	6.792.291,99	**-11,60%**
Veh*km Pesados	1.099.498,19	1.099.766,65	**0,02%**	1.099.426,75	**-0,01%**	1.096.991,81	**-0,23%**

Fuente: Elaboración propia tras la obtención de resultados del modelo

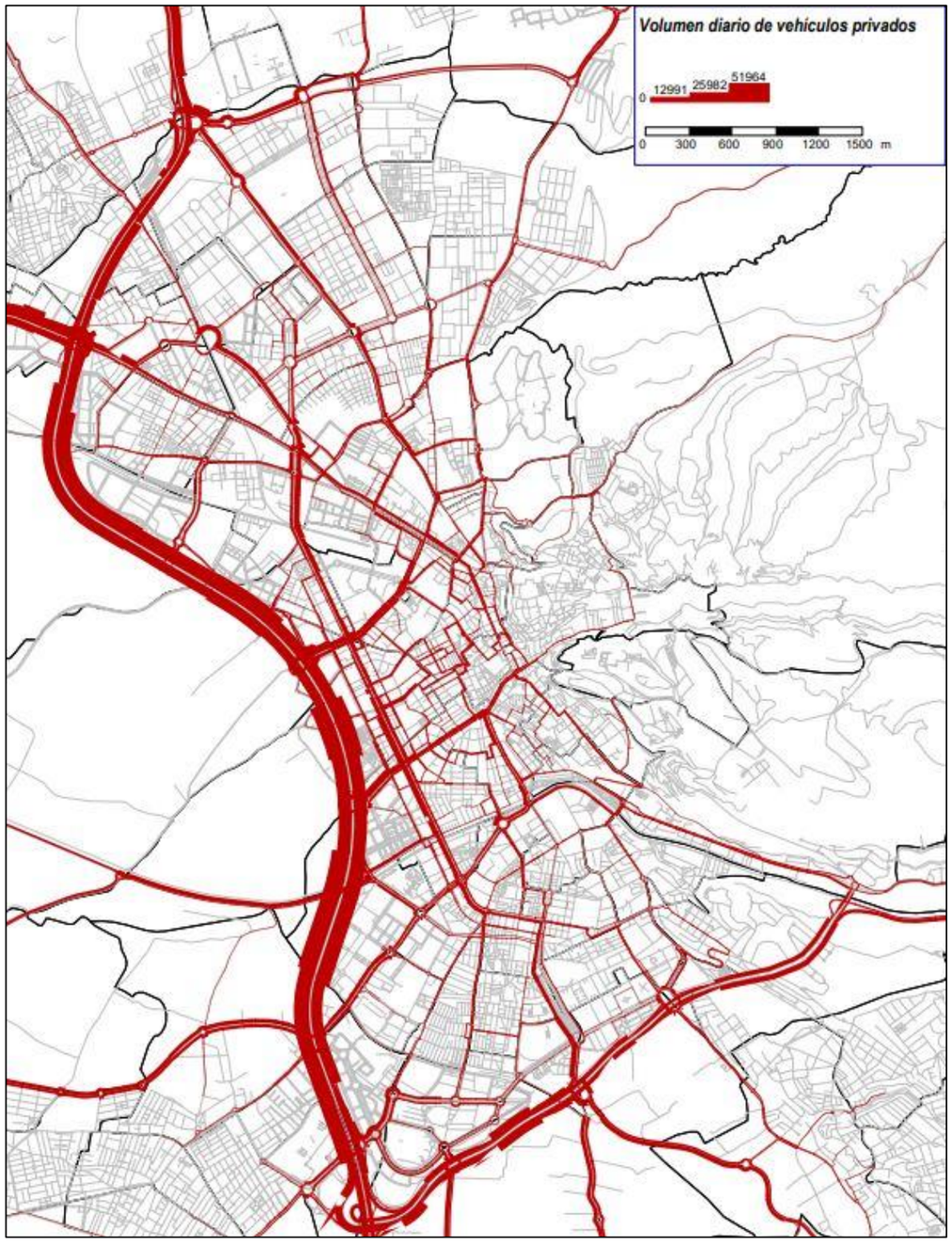
A continuación, se incluyen imágenes obtenidas con el software de simulación PTV Visum donde se muestra para el escenario 4 (escenario seleccionado para el Plan) las arañas de tráfico en vehículo privado y transporte público:

Imagen 37. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan.



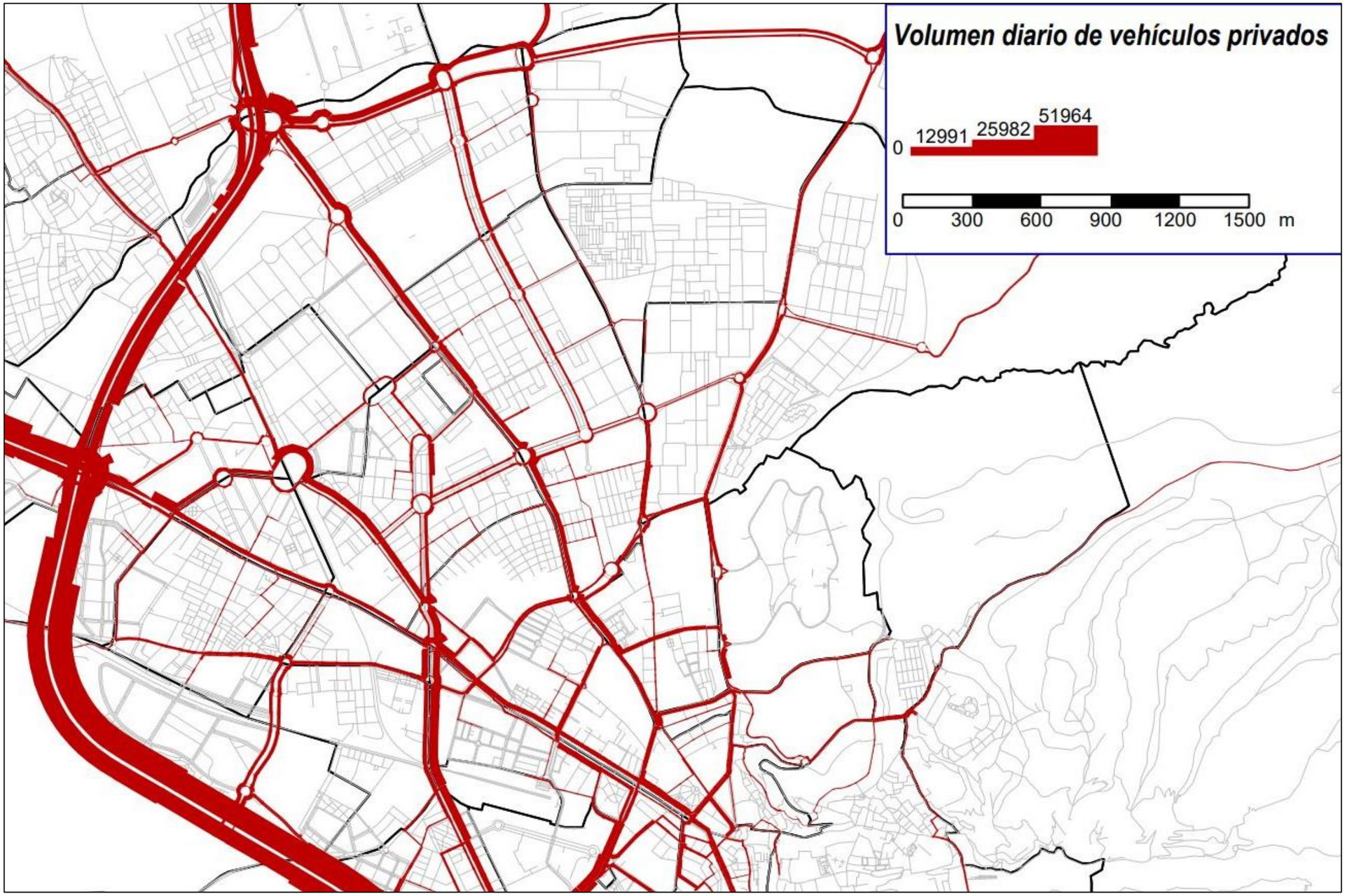
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Imagen 38. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan – Zoom ciudad centro de Granada.



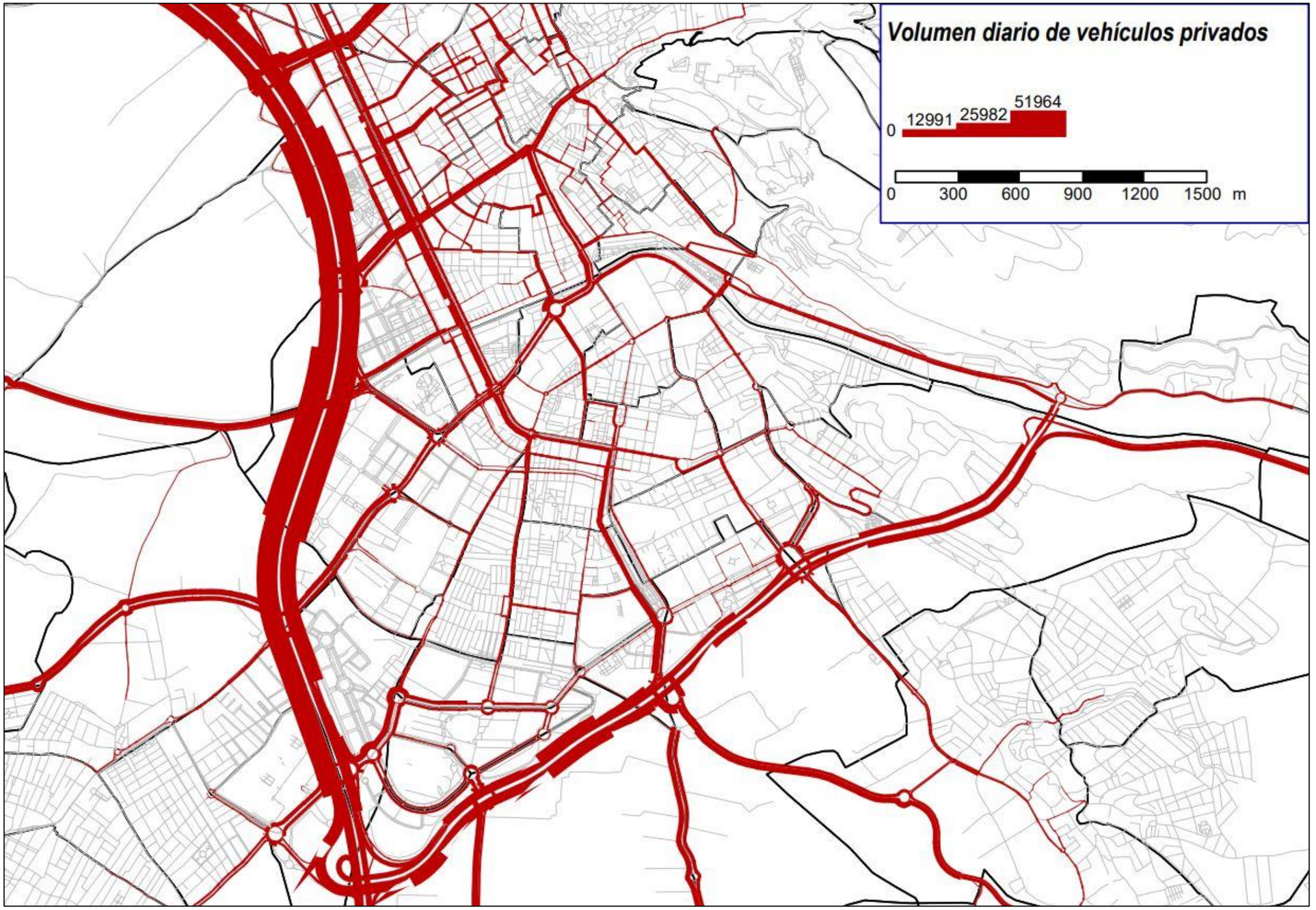
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Imagen 39. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan – Zoom Norte de ciudad centro de Granada.



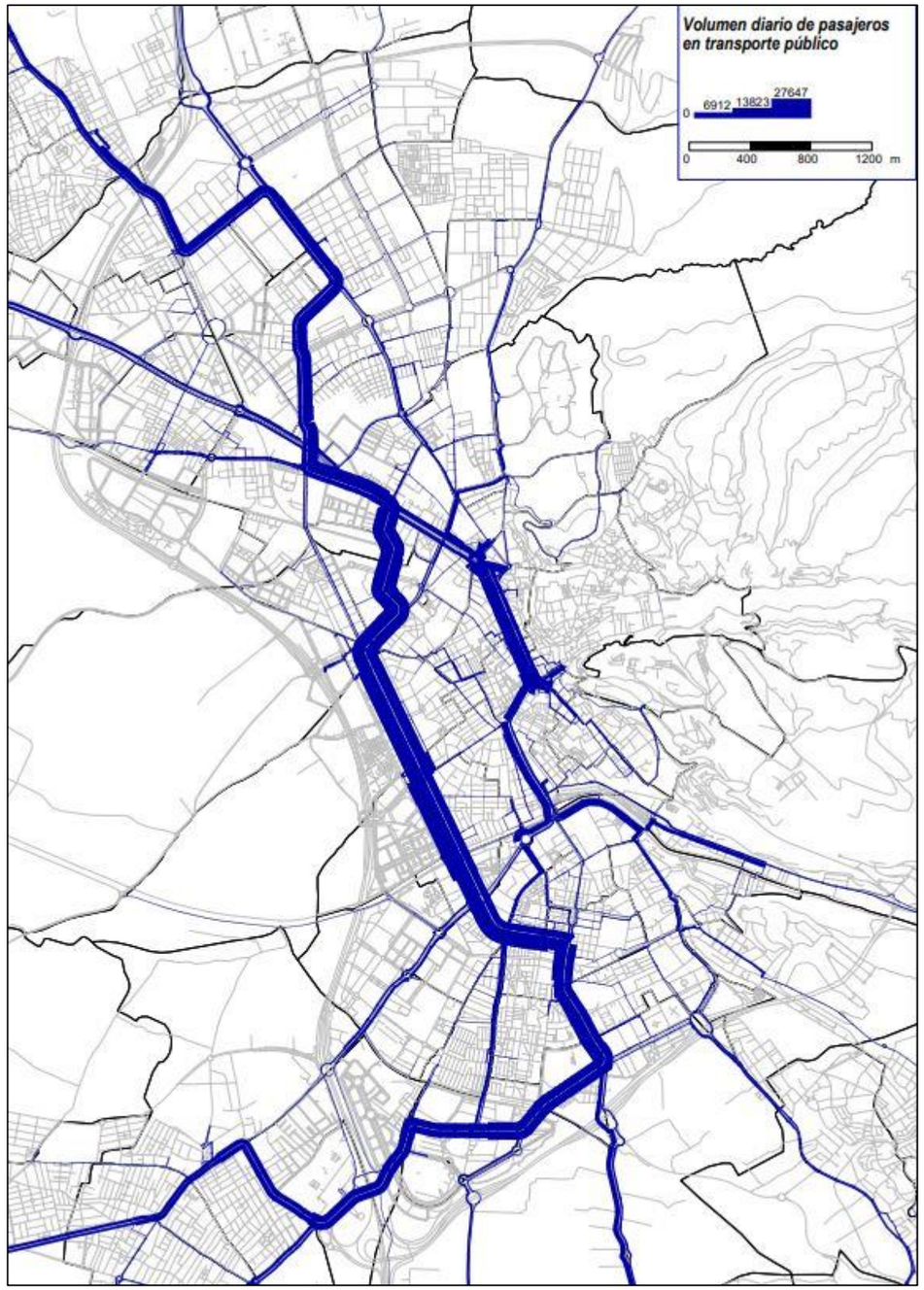
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Imagen 40. Flujo de Tráfico de vehículos privados del Escenario 4 del Plan – Zoom Sur de ciudad centro de Granada.



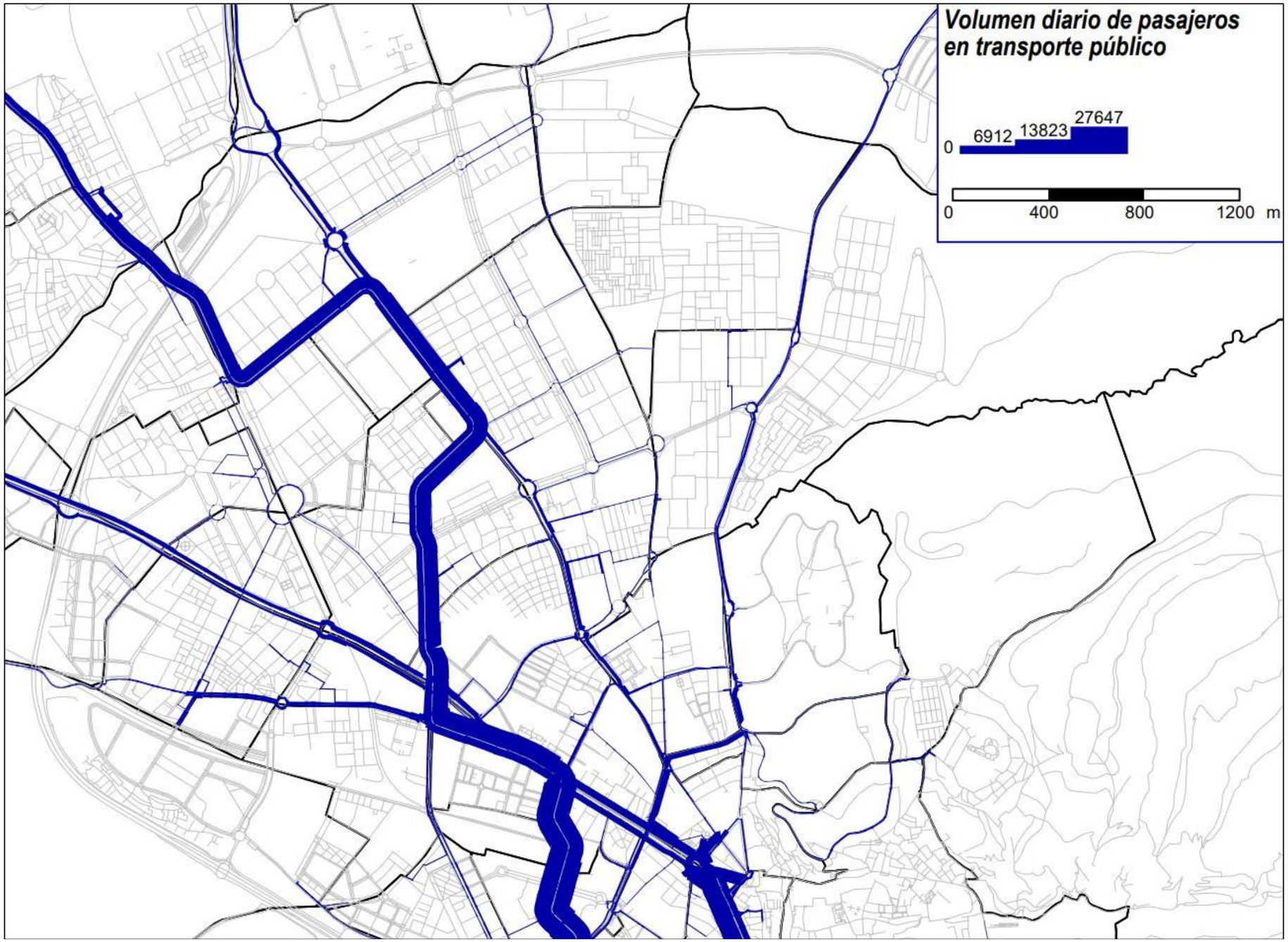
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Imagen 41. Flujo de personas en transporte público del Escenario 4 del Plan – Zoom ciudad centro de Granada.



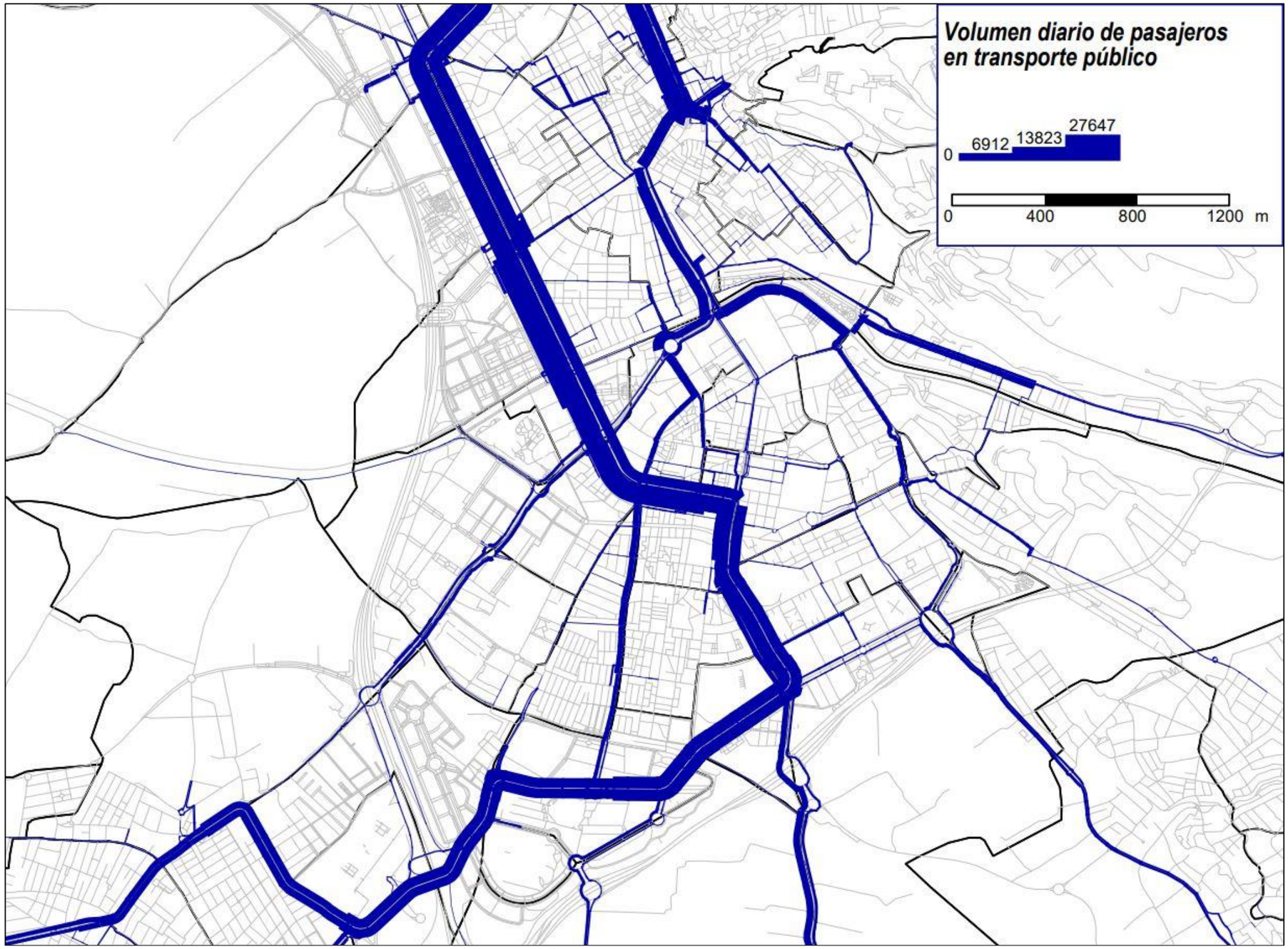
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Imagen 42. Flujo de personas en transporte público del Escenario 4 del Plan – Zoom Norte de ciudad centro de Granada.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

Imagen 43. Flujo de personas en transporte público del Escenario 4 del Plan – Zoom Sur de ciudad centro de Granada.



Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta PTV VISUM

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Junta de Andalucía
Consejería de Fomento,
Articulación del Territorio y Vivienda

CONSORCIO DE TRANSPORTE METROPOLITANO
DEL ÁREA DE GRANADA