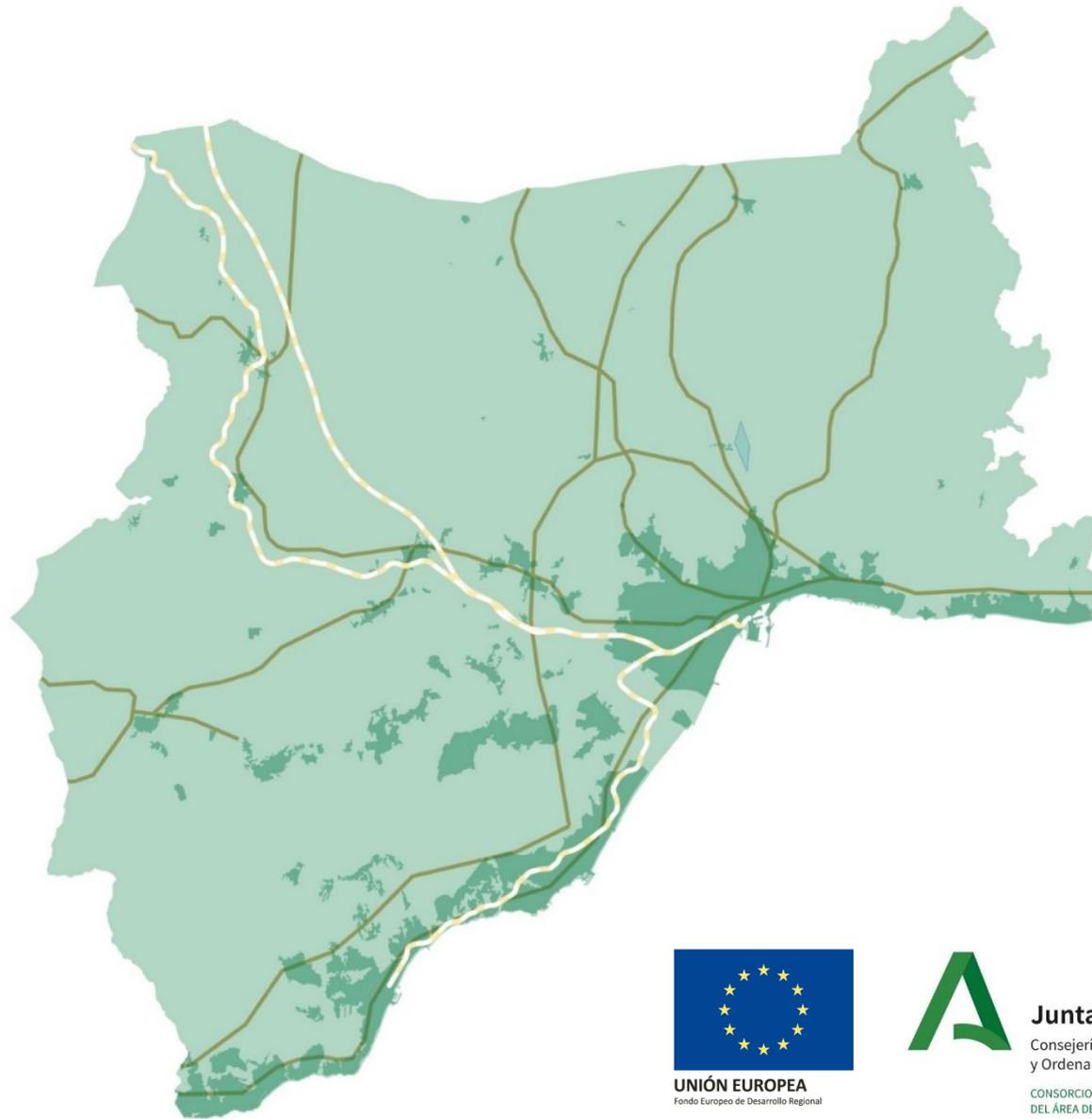


Plan de Transporte Metropolitano del Área de Málaga

Plan de Movilidad Sostenible



#muevetepormalaga

Anejo: Modelo de movilidad

Junio 2023



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



Junta de Andalucía
Consejería de Fomento, Infraestructuras
y Ordenación del Territorio
CONSORCIO DE TRANSPORTE METROPOLITANO
DEL ÁREA DE MÁLAGA

ÍNDICE:

1. Objeto	3	8. Aplicación de los modelos	42
2. Metodología general del modelo.....	3	8.1 Modelos de generación	42
2.1 Estimación de la demanda en invierno	5	8.2 Modelos de atracción/distribución	42
2.2 Estimación de la demanda en verano.....	5	8.3 Modelos de reparto modal	42
2.3 Estimación de la demanda de residentes en el extranjero	6	8.4 Modelos de asignación	43
2.4 Periodo utilizado para la calibración	6	9. Proyecciones de demanda	44
2.5 Resumen de la demanda. Año base 2017	7	10. Evaluación de escenarios	46
3. Escenario base del modelo de transporte	9	10.1 Introducción	46
4. Calibración de los modelos de generación	12	10.2 Escenario Tendencial	48
4.1 Motivo trabajo	12	10.3 Escenarios con proyecto	50
4.2 Motivo estudios	13	10.4 Resultados de la evaluación.....	54
4.3 Otros motivos	14	10.5 Resultados de la evaluación con actuaciones incorporadas en el proceso de alegaciones	55
5. Calibración de los modelos de atracción y distribución	16		
5.1 Motivo trabajo	16		
5.2 Motivo estudios	18		
5.3 Otros motivos	20		
6. Calibración de los modelos de reparto modal.....	23		
6.1 Motivo trabajo	23		
6.2 Motivo estudios	24		
6.3 Otros motivos	27		
7. Calibración de los modelos de asignación.....	29		
7.1 Calibrado del modelo de vehículo privado.....	29		
7.2 Calibrado del modelo de transporte público	35		

1. Objeto

El objeto de este documento es, en primera instancia, referir el proceso de calibración al año base 2017 del modelo de transportes del área metropolitana de Málaga. Este proceso incluye la consideración de dos periodos de modelización, uno para representar el periodo estival (verano), y otro para el resto del año (invierno), así como un tratamiento específico de la movilidad de residentes en el extranjero. Para ello, en los epígrafes siguientes se recoge, en primer lugar, una descripción esquemática de la metodología general desarrollada con dicho propósito, para, después detallar el proceso de calibración de cada uno de los submodelos que componen el trabajo.

Por otro lado, también se recoge la descripción de la proyección de la demanda, y se incorporan los resultados de evaluación de los distintos escenarios de actuación contemplados por el Plan.

2. Metodología general del modelo

El modelo se plantea como un modelo de movilidad de cuatro etapas, utilizando modelos combinados para las fases de atracción y distribución de viajes. Su desarrollo queda de la siguiente manera.

- Análisis de la información de demanda existente
- Estimación de las matrices de verano e invierno, así como de los residentes en el extranjero
- Preparación del escenario base del modelo de transporte
- Calibración de los modelos de generación
- Calibración de los modelos de atracción y distribución
- Calibración de los modelos de reparto modal
- Calibración de los modelos de asignación

La primera parte del trabajo ha consistido en actualizar la información de demanda global, recogida en la encuesta domiciliaria de movilidad de 2013, a partir de datos adicionales y más recientes. Estos nuevos datos están disponibles para dos días tipo del año 2017 (en la encuesta de movilidad de 2013 solo se había investigado un único día tipo):

- Periodo estival, un día medio laborable de agosto (media de los días 8 a 10 de agosto de 2017)
- Resto del año, un día medio laborable de octubre (media de los días 24 a 16 de octubre de 2017)

Son de dos tipos:

- Matrices Origen-Destino para día laborable obtenidas a partir de datos anonimizados de telefonía móvil.
- Demanda diaria total y por líneas de los modos de transporte público. Esta información se refiere a:
 - Tren de Cercanías
 - Autobuses interurbanos
 - Metro de Málaga (también por estación)
 - EMT de Málaga

Adicionalmente se ha dispuesto de datos de aforo de vehículos ligeros en el viario del ámbito del estudio, en concreto de datos facilitados o publicados por el Ayuntamiento de Málaga, la Junta de Andalucía, y del Ministerio de Fomento.

Por otra parte, respecto a las matrices origen-destino, hay que señalar que se corresponden, a nivel de zonificación, con la encuesta domiciliaria de movilidad de 2013, si bien se han desagregado tres zonas de las consideradas en la encuesta domiciliaria de movilidad de 2013 (municipios de Álora, Cártama y Pizarra), según los esquemas siguientes.

Adicionalmente, se ha incorporado el municipio de Coín como una nueva zona.

Figura 2-1 Detalle de zonificación encuesta domiciliaria de movilidad 2013 en el área modificada

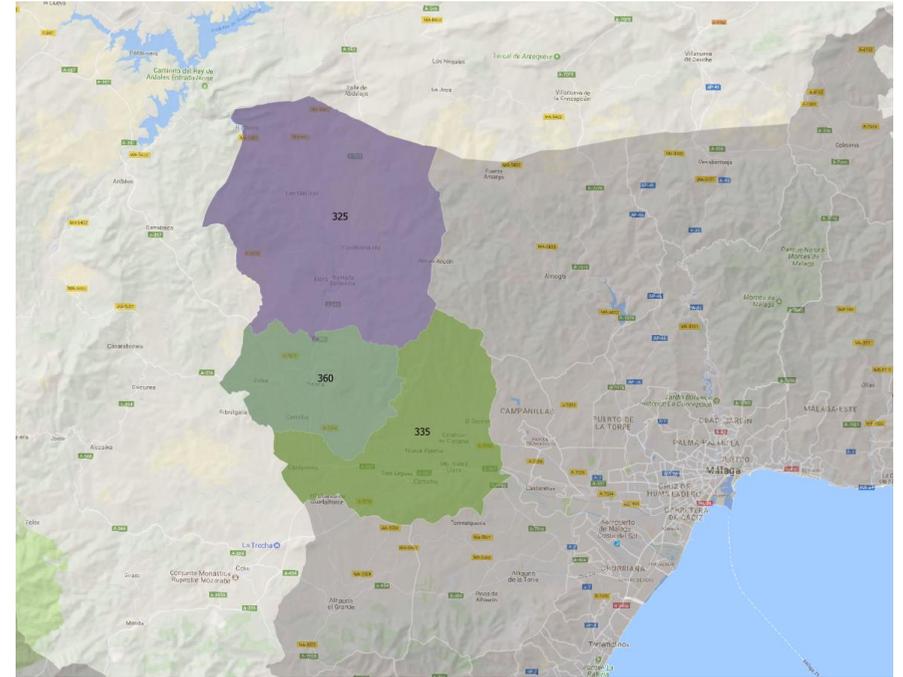
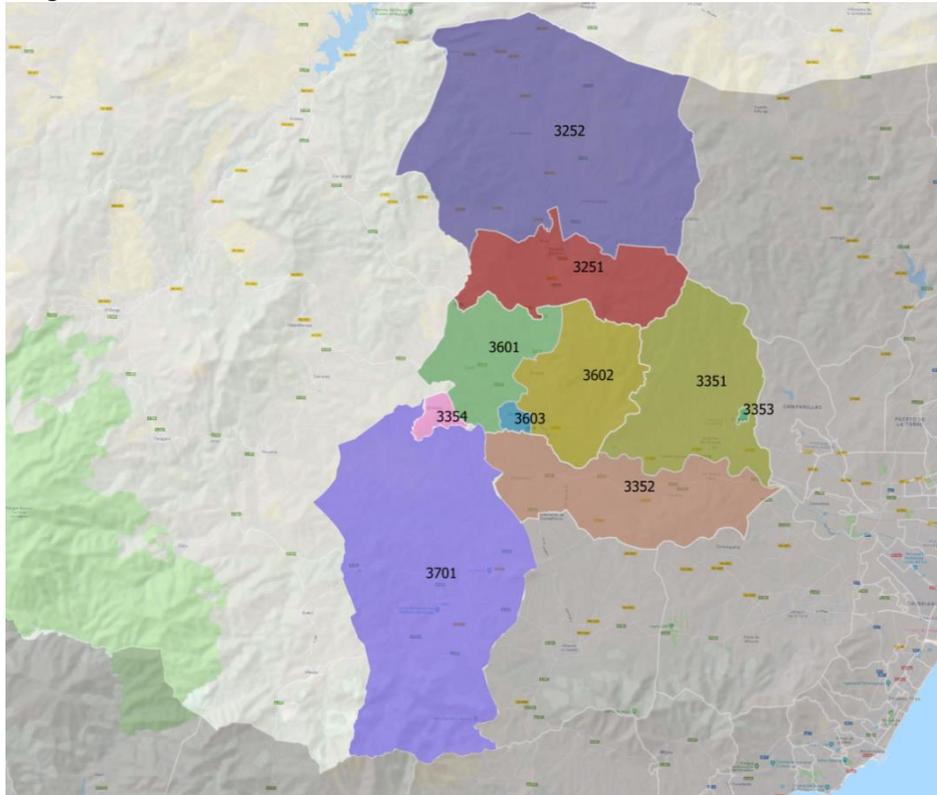


Figura 2-2 Detalle de zonificación 2017 en el área modificada



2.1 Estimación de la demanda en invierno

Para la estimación de la movilidad en día laborable en el periodo de invierno, se ha procedido a expandir la encuesta domiciliaria de 2013 con la demanda en todos los modos de un día laborable medio de octubre de 2017, obtenida

de datos de telefonía móvil. Para ello se ha calculado, para cada relación entre macrozonas, la relación entre la demanda de 2017, y la demanda estimada en la EDM de 2013. En el cálculo se ha tenido en cuenta que los datos de telefonía móvil no recogen a menores de 16 años, mientras la EDM de 2013 sí las incluía. Asimismo, se han considerado las limitaciones tecnológicas del análisis de telefonía móvil a la hora de detectar viajes muy cortos, tanto en términos de tiempo, como de distancia, lo que resulta en una infraestimación de viajes a pie de menos de 5 minutos.

Posteriormente se han aplicado los cocientes así calculados como factores de expansión a todas las encuestas de la EDM 2013, según la relación entre macrozonas a la que pertenecen.

2.2 Estimación de la demanda en verano

Para la estimación de la demanda en día laborable en el periodo de verano, los datos de la telefonía móvil constituyen la única fuente disponible, ya que la EDM de 2013 no recoge el periodo estival. Sin embargo, esta fuente refleja la demanda total (sin diferenciar los modos de transporte) para mayores de 16 años. Segmenta los viajes según motivo (casa, trabajo, actividades frecuentes y ocasionales), estimado a partir de un análisis de comportamiento de viajes. Esta clasificación, sin embargo, no es compatible con la utilizada en la EDM, tanto por la manera de obtenerse, como por la segmentación usada.

Para estimar la demanda de verano de forma compatible con la de invierno, aquí se ha optado por el siguiente procedimiento:

- Se calcula, para cada relación entre macrozonas, y para los motivos trabajo y estudios (asimilado como mezcla de motivo trabajo y actividades frecuentes), el cociente entre los viajes de verano e invierno, obtenidos de la telefonía móvil
- Se aplica este cociente como factor de estacionalidad a las encuestas expandidas de inviernos, según macrozona y motivo
- Se calcula, para cada relación entre macrozonas, un factor de estacionalidad del motivo ocio/personal (movilidad no-obligada), de tal forma que el cociente entre el total de viajes (todos motivos) de verano e invierno coincida con el observado en los datos de telefonía móvil.

2.3 Estimación de la demanda de residentes en el extranjero

Para la estimación de los viajes realizados por residentes en el extranjero en el ámbito de estudio, la única fuente disponible son los datos obtenidos de la telefonía móvil. En este caso, a tratarse de terminales en roaming, no puede obtenerse ninguna clasificación por motivos. Por ello, y a falta de cualquier otra información al respecto, se ha supuesto, que la totalidad de los viajes se realizan por motivos tipo ocio o personal. Como los datos de telefonía móvil tampoco ofrecen un reparto entre modos de transporte, aquí se ha procedido a estimar su reparto utilizando el modelo de reparto modal calibrado para el

motivo ocio/personal (ver apartado 6.3). Sin embargo, para tener en cuenta que la mayoría de los residentes en el extranjero accede al ámbito en avión, y por tanto no disponen de su propio automóvil, se ha asumido una menor disponibilidad y un mayor coste para los viajes en vehículo privado.

2.4 Periodo utilizado para la calibración

Los modelos de generación, atracción/distribución y reparto modal se han calibrado con las encuestas de la EDM 2013 reexpandidas a octubre de 2017. Se ha descartado la calibración de modelos independientes para el periodo de verano, principalmente porque las encuestas no corresponden a la situación estival, pero también, porque existen pocos motivos para asumir que las relaciones básicas entre la movilidad, el sistema territorial y la oferta de transporte sean fundamentalmente distintas entre los dos periodos del año.

2.5 Resumen de la demanda. Año base 2017

Como resultado de la expansión con los datos de telefonía móvil, se obtiene una demanda de residentes de 3,2 millones de viajes en el día laborable de octubre, y de 3,1 millones de viajes en el día laborable de agosto, con el siguiente desglose según modos de transporte:

Tabla 2-1: Demanda de residentes en día laborable. Encuestas expandidas a 2017

Modo	Invierno	Verano	Variación Verano/Invierno
a Pie	1.348.956	1.265.482	-6,2%
Tte. Público	212.444	194.378	-8,5%
Coche Conductor	1.145.569	1.156.266	0,9%
Coche Acompañante	422.944	409.098	-3,3%
Bicicleta	38.436	41.613	8,3%
Otros	36.956	36.943	0,0%
Total	3.205.305	3.103.780	-3,2%

Implica un estancamiento de la demanda de residentes con respecto al año 2013 en términos globales, debido principalmente a un retroceso de la demanda a Pie (posiblemente debido a su infraestimación en los datos de la telefonía móvil, incluso a pesar de las correcciones efectuadas aquí), mientras el transporte público, el vehículo privado y la bicicleta han crecido con tasas alrededor del 1% anual.

Adicionalmente el análisis de la telefonía móvil permite incluir, de forma explícita, de entre 72.000 (invierno) y 111.000 (verano) viajes diarios realizados

por residentes en el extranjero. La tabla siguiente recoge esta demanda y su reparto modal estimado:

Tabla 2-2: Demanda de residentes en el extranjero en día laborable. Datos de telefonía móvil. Reparto modal estimado

Modo	Invierno	Verano	Variación Verano/Invierno
a Pie	25.993	39.798	53,1%
Tte. Público	22.533	35.350	56,9%
Coche Conductor	14.176	22.185	56,5%
Coche Acompañante	7.366	11.525	56,5%
Bicicleta	1.823	2.682	47,1%
Total	71.891	111.539	55,2%

A efectos de modelización se retiene la demanda sin viajes intrazonales, y sin otros modos. Las tablas siguientes recopilan esta demanda por modos y motivos.

Tabla 2-3: Demanda a efectos de modelización. Por modo. Día laborable 2017

Modo	Invierno	Verano	Variación Verano/Invierno
Residentes			
a Pie	900.923	842.363	-6,5%
Tte. Público	195.100	178.033	-8,7%
Coche Conductor	953.284	955.704	0,3%
Coche Acompañante	351.514	339.813	-3,3%
Bicicleta	33.174	35.927	8,3%
Total Residentes	2.433.995	2.351.840	-3,4%
Residentes en el extranjero			
a Pie	25.993	39.798	53,1%
Tte. Público	22.533	35.350	56,9%
Coche Conductor	14.176	22.185	56,5%
Coche Acompañante	7.366	11.525	56,5%
Bicicleta	1.823	2.682	47,1%
Total Extranjeros	71.891	111.539	55,2%
Total	2.505.886	2.463.379	-1,7%

Cabe apuntar, aunque en cuanto al número total de viajes, las diferencias entre el día laborable de invierno y de verano son reducidas, las diferencias por modos y motivos son mayores. En el caso de los residentes el conjunto de la movilidad se ha reducido en la mayoría de los modos, produciéndose incrementos tan solo en la bicicleta (y muy reducidos en coche-conductor). En cuanto a motivos de viaje se reduce de forma importante la movilidad obligada, especialmente los viajes por estudios, mientras crecen los viajes por motivo ocio/personal.

Tabla 2-4: Demanda a efectos de modelización. Por motivo. Día laborable 2017

Motivo	Invierno	Verano	Variación Verano/Invierno
Residentes			
trabajo	501.331	399.858	-20,2%
estudios	428.464	303.240	-29,2%
otros	1.504.200	1.648.743	9,6%
Total Residentes	2.433.995	2.351.840	-3,4%
Residentes en el extranjero			
trabajo			
estudios			
otros	71.891	111.539	55,2%
Total Extranjeros	71.891	111.539	55,2%
Total	2.505.886	2.463.379	-1,7%

En el caso de los residentes en el extranjero, su movilidad en verano es más de un 50% superior a la de invierno en todos los modos de transporte, aunque son mayores los incrementos en transporte público y vehículo privado.

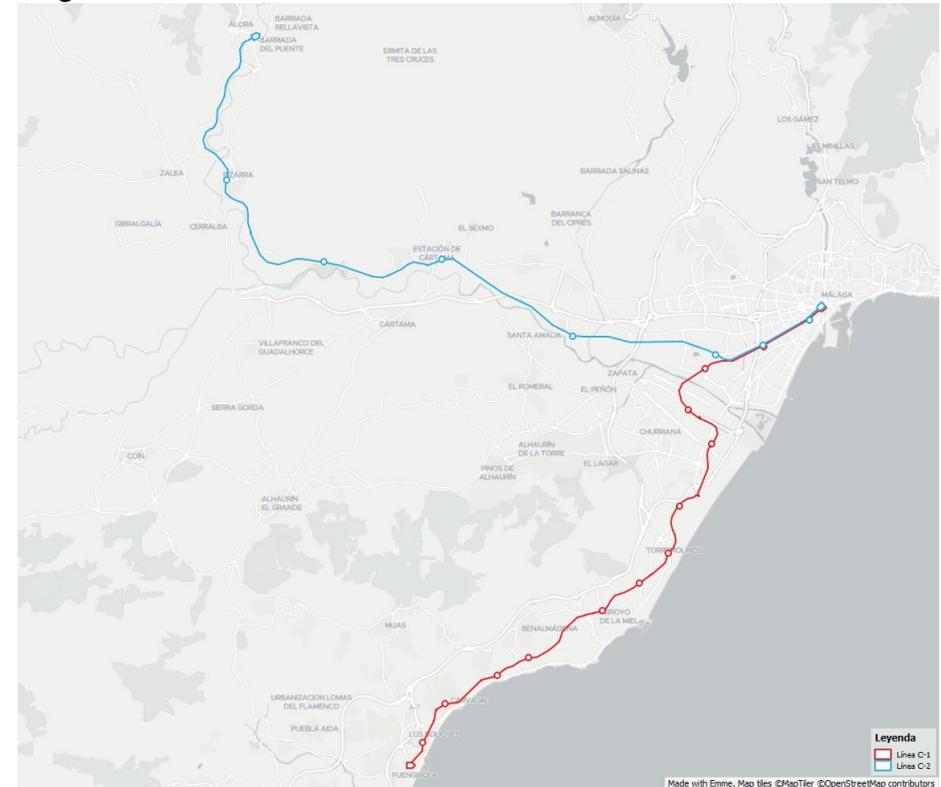
Asimismo, la distribución espacial de los viajes se diferencia de forma clara entre invierno y verano, se reduce la demanda en la ciudad de Málaga, mientras crece en los corredores de la costa, como puede observarse para el caso del vehículo privado en la Figura 7-10.

3. Escenario base del modelo de transporte

Antes de iniciar el proceso de calibración de los diferentes submodelos, se ha conformado el escenario base del modelo de transportes. Para ello se han completado los grafos de red de transporte público y vehículo privado en el modelo de EMME¹, de tal forma, que reflejen el estado del sistema de transporte en el nuevo año base de 2017.

Para el grafo de la red de transporte público, se ha prestado especial atención a las redes de Metro de Málaga y de ferrocarril de Cercanías, y se han introducido las líneas de autobús, tanto urbanas, como interurbanas. Asimismo, se ha realizado un análisis detallado de los conectores entre la red de transporte público, y las zonas de transporte, para asegurar así una adecuada representación de las condiciones de acceso a las paradas, tanto de autobús, como de los modos ferroviarios.

Figura 3-1 Red de ferrocarril de cercanías codificada en el modelo EMME



¹ Software específico de modelización de redes de transporte.

Figura 3-2 Red de Metro codificada en el modelo EMME



Figura 3-3 Red autobuses interurbanos codificada en el modelo EMME



En el caso de la red de metro, se ha tenido en cuenta, que en la actualidad las líneas 1 y 2 se explotan de forma conjunta, de tal forma que los convoyes procedentes de Andalucía Tec (Terminal L-1) continúan su recorrido hasta el Palacio de Deportes (Terminal L-2), sin que los viajeros tengan que descender en la estación de El Perchel (Terminal de ambas líneas).

4. Calibración de los modelos de generación

Los modelos de generación se plantean como modelos de clasificación cruzada, para los motivos de viaje trabajo, estudios y otros.

Para su calibración, se requiere de información actualizada sobre los viajes generados por motivo para los diferentes segmentos de población que definen la clasificación cruzada. Para realizar esta tarea se ha recurrido a la reexpansión de la encuesta domiciliaria de movilidad de 2013 al día laborable medio de invierno de 2017 (ver apartado 2.1).

4.1 Motivo trabajo

Para los viajes de tipo laboral/profesional, se asume la hipótesis de que los menores de 16 años no generan movilidad de este tipo. Así, la segmentación para este modelo se hace según 10 clases en base a la siguiente estructura:

- Clasificación por género
 - Hombre
 - Mujer
- Clasificación por ocupación
 - Ocupados
 - Parados
 - Otros
- Los ocupados se clasifican por edad
 - 1: 4-15 años

- 2: 16-24 años
- 3: 25-44 años
- 4: 45-64 años
- 5: ≥ 65 años

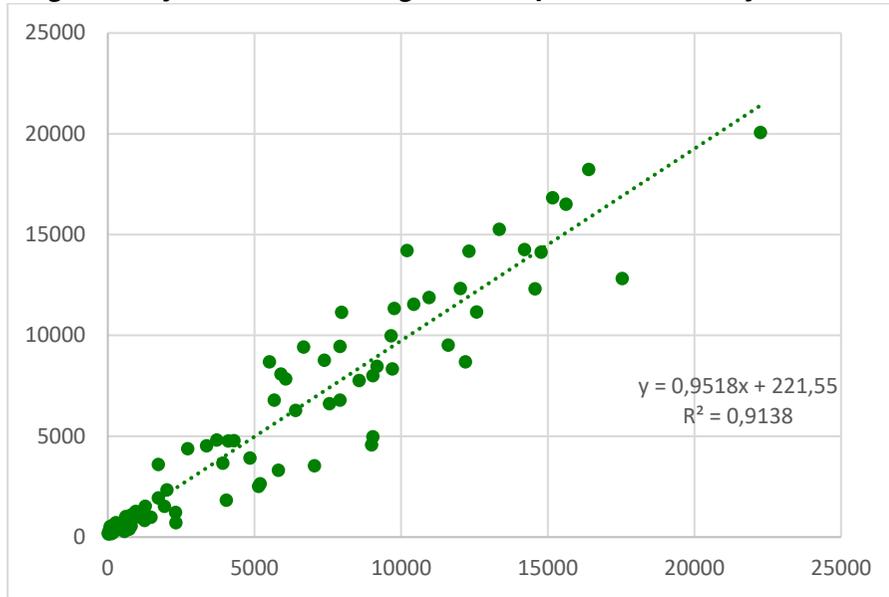
Con ello, el modelo toma la siguiente forma:

Tabla 4-1 Modelo de generación para motivo trabajo

Sexo	Actividad	Grupo Edad	Personas	Viajes	Viajes/Persona
Hombre	Ocupados	2	5.299	9.746	1,839
Hombre	Ocupados	3	156.374	258.274	1,652
Hombre	Ocupados	4 y 5	1.373	2.617	1,907
Hombre	Parados	2 a 5	36.701	13.896	0,379
Hombre	Otros	2 a 5	152.452	7.856	0,052
Mujer	Ocupados	2	77.126	111.782	1,449
Mujer	Ocupados	3	34.527	51.073	1,479
Mujer	Ocupados	4 y 5	467	476	1,020
Mujer	Parados	2 a 5	38.588	7.034	0,182
Mujer	Otros	2 a 5	229.358	11.476	0,050

En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo mediante la aplicación del mismo a nivel de segmentos definidos por macrozona, sexo y grupos de edad.

Figura 4-1 Ajuste del modelo de generación para motivo trabajo



4.2 Motivo estudios

Para los viajes por motivo estudios, la segmentación para el modelo se hace según 8 clases en base a la siguiente estructura:

- Clasificación por género
 - Hombre
 - Mujer
- <16 años
- ≥16 años: Clasificación por ocupación
 - Estudiantes

- Otros
- Estudiantes se clasifican por Edad
 - 16 y ≤24
 - >24

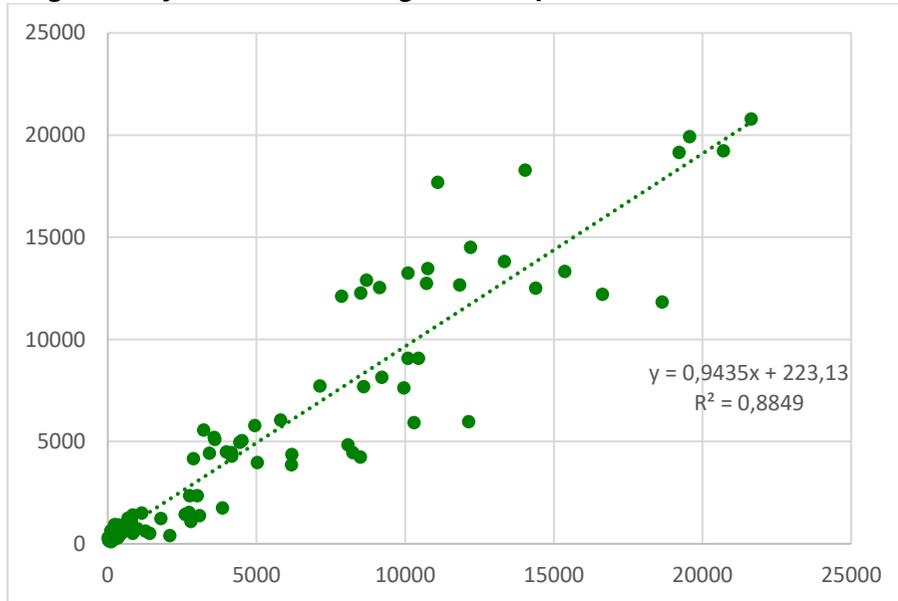
Con ello, el modelo toma la siguiente forma:

Tabla 4-2 Modelo de generación para motivo estudios

Sexo	Actividad	Grupo Edad	Personas	Viajes	Viajes/Persona
Hombre	Todas	1	70.613	168.690	2,389
Hombre	Estudiantes	2	35.309	61.041	1,729
Hombre	Estudiantes	3 a 5	7.002	8.247	1,178
Hombre	Otros	2 a 5	309.888	9.916	0,032
Mujer	Todas	1	66.800	165.508	2,478
Mujer	Estudiantes	2	33.136	57.209	1,726
Mujer	Estudiantes	3 a 5	4.816	5.326	1,106
Mujer	Otros	2 a 5	342.113	10.083	0,029

En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo mediante la aplicación del mismo a nivel de segmentos definidos por macrozona, sexo y grupos de edad.

Figura 4-2 Ajuste del modelo de generación para motivo estudios



4.3 Otros motivos

Para los viajes por el resto de motivos, la segmentación para el modelo se hace según 10 clases en base a la siguiente estructura:

- Clasificación por género
 - Hombre
 - Mujer
- <16 años
- ≥16 años: Clasificación por ocupación
 - Hombres:
 - ✓ Ocupados y Estudiantes
 - ✓ Parados
 - ✓ Otros
 - Mujeres
 - ✓ Ocupadas
 - ✓ Estudiantes
 - ✓ Paradas
 - ✓ Jubiladas
 - ✓ Otras

Con ello, el modelo toma la siguiente forma:

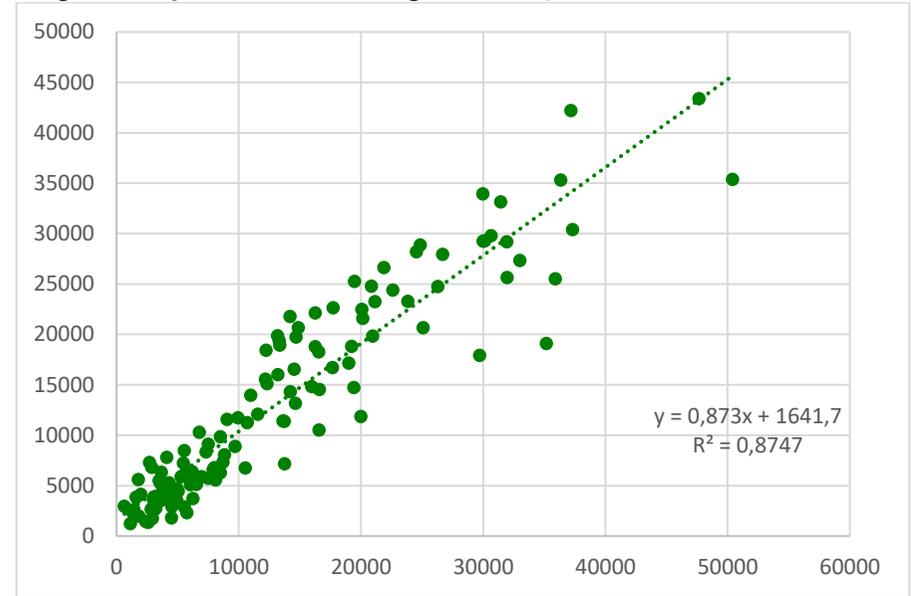
Tabla 4-3 Modelo de generación para otros motivos

Sexo	Actividad	Grupo Edad	Personas	Viajes	Viajes/Persona
------	-----------	------------	----------	--------	----------------

Hombre	Todas	1	70.613	51.804	0,734
Hombre	Ocupados y Estudiantes	2 a 5	205.356	219.535	1,069
Hombre	Parados	2 a 5	36.701	196.757	5,361
Hombre	Otros	2 a 5	110.141	243.758	2,213
Mujer	Todas	1	66.800	49.195	0,736
Mujer	Ocupadas	2 a 5	112.120	163.854	1,461
Mujer	Estudiantes	2 a 5	37.952	66.604	1,755
Mujer	Parados	2 a 5	38.588	201.562	5,223
Mujer	Jubiladas	2 a 5	76.732	154.818	2,018
Mujer	Hogar	2 a 5	114.673	333.080	2,905

En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo mediante la aplicación del mismo a nivel de segmentos definidos por macrozona, sexo y grupos de edad.

Figura 4-3 Ajuste del modelo de generación para otros motivos



5. Calibración de los modelos de atracción y distribución

Los modelos se formulan como modelos de elección de destino de tipo logit, en función de

- Coste generalizado de transporte
- Variables socioeconómicas en destino

Se calibran tres modelos, según los motivos de viaje trabajo, estudio y otros motivos.

Aquí se han usado, para los modelos conjuntos de atracción y distribución, una formulación logit del tipo:

$$V_{ij} = G_i \cdot \frac{e^{U_{ij}}}{\sum_k e^{U_{ik}}}$$

Donde G_i es la generación de la zona i , y U_{ij} es una función de utilidad que incluye el coste generalizado de transporte, así como variables socioeconómicas S_{kj} de la zona de atracción j :

$$U_{ij} = \beta \cdot CG_{ij} + \ln(S_{1j} + e^{\beta_2} \cdot S_{2j} + \dots + e^{\beta_n} \cdot S_{nj})$$

El coste generalizado de transporte incluye todos los modos de transporte.

5.1 Motivo trabajo

El modelo se ha calibrado utilizando:

- Para el coste generalizado de transporte: Tiempo medio de viaje, distancia en la red, y cuatro variables para relaciones intrazonales (según tipología de zona).
- Como variables socioeconómicas,
 - los puestos de trabajo² implícitos en la encuesta de movilidad
 - la oferta educativa implícita en la encuesta de movilidad.
- Adicionalmente se han utilizado constantes para cada macrozona.

Con todo ello, las estadísticas de ajuste son satisfactorias, y los coeficientes demuestran signo correcto y son significativos³:

² Como primera variable socioeconómica su coeficiente es la unidad

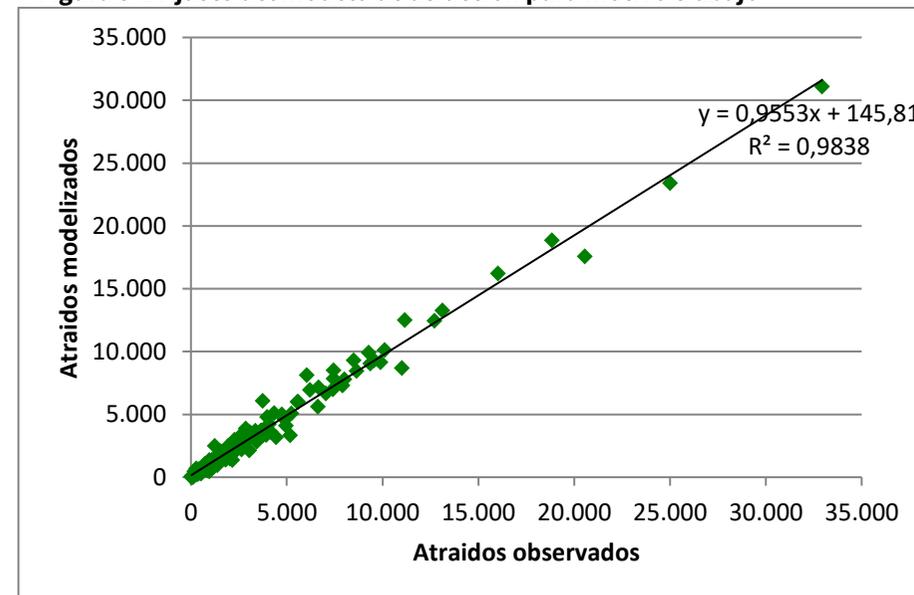
³ Con excepción de la constante de la macrozona 5, de valor absoluto muy reducido

Tabla 5-1 Estadísticas de ajuste del modelo de atracción-distribución para motivo trabajo

Descripción	Valor	Error Est.	Ratio "T"
Cte. MZ 02	-0,04075	0,00781	5,218
Cte. MZ 03	-0,09826	0,00539	18,23
Cte. MZ 04	-0,00307	0,00822	0,373
Cte. MZ 05	0,08593	0,0053	16,213
Cte. MZ 06	0,22423	0,00614	36,52
Cte. MZ 07	0,51842	0,00593	87,423
Cte. MZ 08	0,15841	0,00777	20,387
Cte. MZ 09	0,23605	0,00764	30,897
Cte. MZ 10	0,41937	0,00766	54,748
Cte. MZ 11	0,51537	0,00807	63,862
Cte. MZ 12	0,60412	0,00951	63,525
Cte. MZ 13	0,26382	0,00765	34,486
Cte. MZ 14	0,29867	0,01018	29,339
Cte. MZ 15	0,58121	0,01427	40,73
Cte. MZ 16	1,30488	0,0185	70,534
Cte. MZ 19	1,95552	0,01952	100,18
Cte. MZ 20	0,56804	0,01276	44,517
D. Intrazonales. Zonas Tipo 1	0,91619	0,00827	110,785
D. Intrazonales. Zonas Tipo 2	0,8362	0,01822	45,895
D. Intrazonales. Zonas Tipo 3	0,09713	0,01198	8,108
D. Intrazonales. Zonas Tipo 4	-0,36634	0,03351	10,932
Distancia	-0,07907	0,00083	95,265
Tiempo	-0,02366	0,00044	53,773
Puestos de trabajo	1	0	Nd.
Plazas de Educación	-4,84028	0,17712	27,328

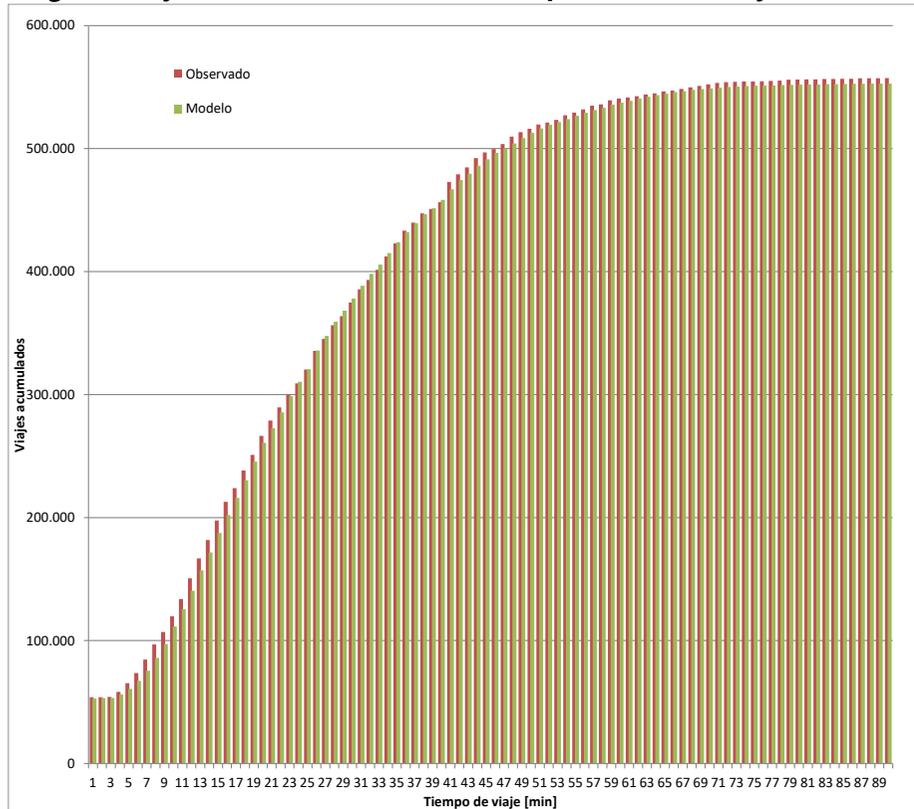
En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo de atracción mediante la aplicación del mismo a nivel zonal.

Figura 5-1 Ajuste del modelo de atracción para motivo trabajo



En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo de distribución mediante el contraste de las distribuciones de los tiempos de viaje.

Figura 5-2 Ajuste del modelo de distribución para motivo trabajo



5.2 Motivo estudios

El modelo se ha calibrado utilizando:

- Para el coste generalizado de transporte: Tiempo medio de viaje, distancia en la red, cuatro variables para relaciones intrazonales (según tipología de zona), y una dummy para viajes inferiores a 8 minutos.
- Como variable socioeconómica, la oferta educativa implícita⁴ en la encuesta de movilidad.
- Adicionalmente se han utilizado constantes para cada macrozona.

Con todo ello, las estadísticas de ajuste son satisfactorias, y los coeficientes demuestran signo correcto y son significativos⁵:

⁴ Como primera variable socioeconómica su coeficiente es la unidad

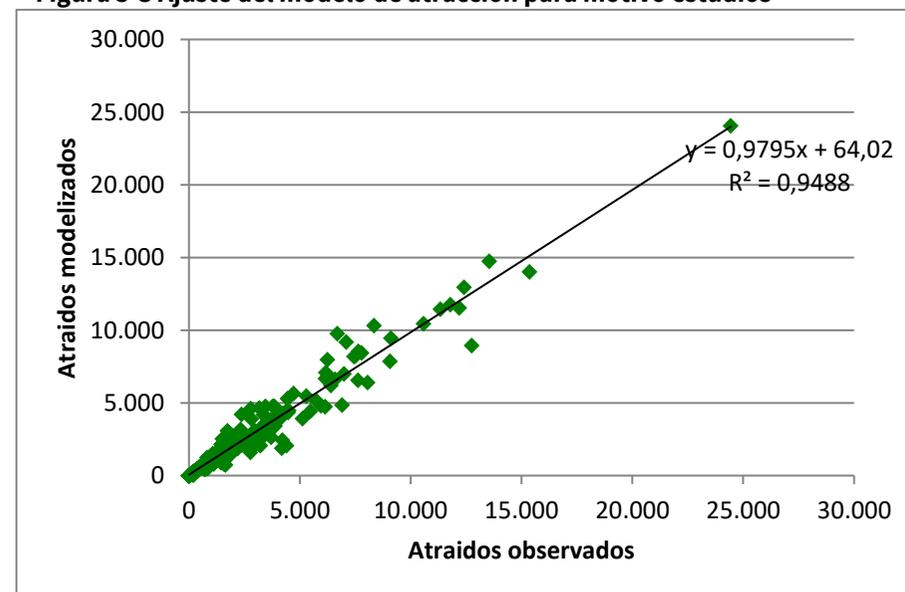
⁵ Con excepción de la constante de la macrozona 20, de valor absoluto muy reducido

Tabla 5-2 Estadísticas de ajuste del modelo de atracción-distribución para motivo estudios

Descripción	Valor	Error Est.	Ratio "T"
Cte. MZ 02	-0,13416	0,00817	16,421
Cte. MZ 03	-0,27855	0,00647	43,053
Cte. MZ 04	0,06365	0,00647	9,838
Cte. MZ 05	-0,15595	0,00634	24,598
Cte. MZ 06	0,22893	0,00934	24,511
Cte. MZ 07	0,35241	0,00892	39,508
Cte. MZ 08	0,3101	0,00718	43,189
Cte. MZ 09	0,27804	0,00594	46,808
Cte. MZ 10	0,2781	0,01053	26,41
Cte. MZ 11	-0,2767	0,01467	18,862
Cte. MZ 12	-0,28646	0,01478	19,382
Cte. MZ 13	0,22902	0,01072	21,364
Cte. MZ 14	0,15273	0,01472	10,376
Cte. MZ 15	0,3302	0,01789	18,457
Cte. MZ 16	-0,14327	0,06166	2,324
Cte. MZ 19	0,1756	0,02715	6,468
Cte. MZ 20	-0,02042	0,01318	1,549
D. Intrazonales. Zonas Tipo 1	1,53432	0,0072	213,1
D. Intrazonales. Zonas Tipo 2	0,1905	0,01619	11,767
D. Intrazonales. Zonas Tipo 3	0,25275	0,01205	20,975
D. Intrazonales. Zonas Tipo 4	0,8014	0,0214	37,449
D. Viajes < 8 min	0,88622	0,00502	176,538
Distancia	-0,11638	0,00105	110,838
Tiempo	-0,04277	0,00052	82,25
Plazas de Educación	1	0	Nd.

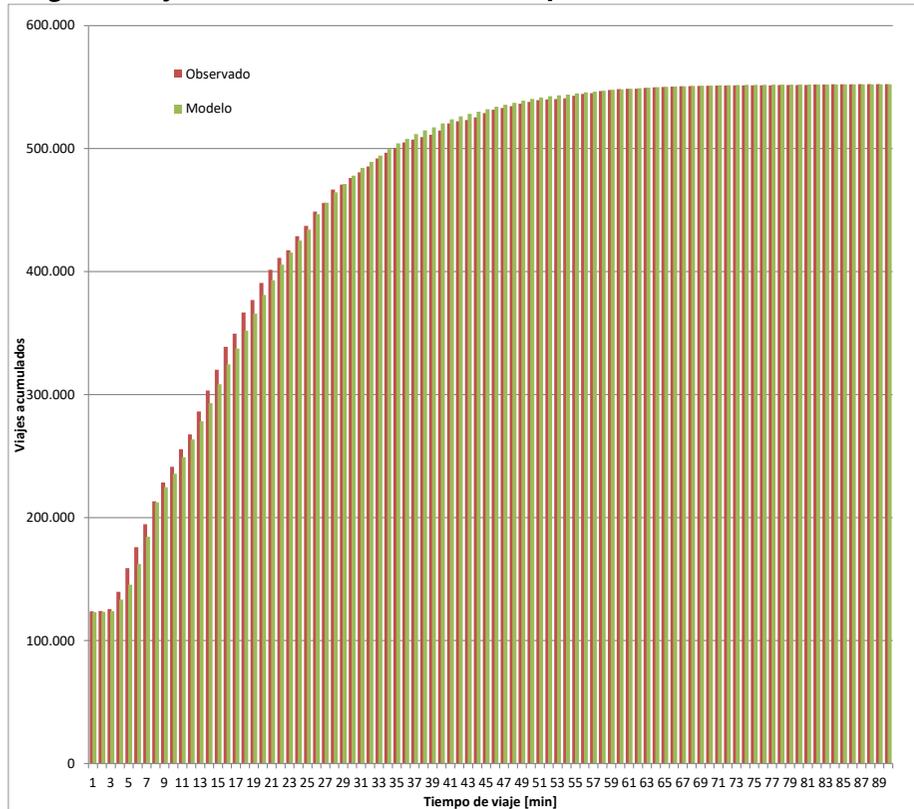
En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo de atracción mediante la aplicación del mismo a nivel zonal.

Figura 5-3 Ajuste del modelo de atracción para motivo estudios



En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo de distribución mediante el contraste de las distribuciones de los tiempos de viaje.

Figura 5-4 Ajuste del modelo de distribución para motivo estudios



5.3 Otros motivos

El modelo se ha calibrado utilizando:

- Para el coste generalizado de transporte: Tiempo medio de viaje, distancia en la red, cuatro variables para relaciones intrazonales (según tipología de zona), y una dummy para viajes inferiores a 8 minutos.
- Como variables socioeconómicas,
 - la población⁶
 - los puestos de trabajo implícitos en la encuesta de movilidad
 - la oferta educativa implícita en la encuesta de movilidad.
- Adicionalmente se han utilizado constantes para cada macrozona, así como para las zonas 1 (centro de Málaga) y 125 (Guadalmar).

Con todo ello, las estadísticas de ajuste son satisfactorias, y los coeficientes demuestran signo correcto y son significativos:

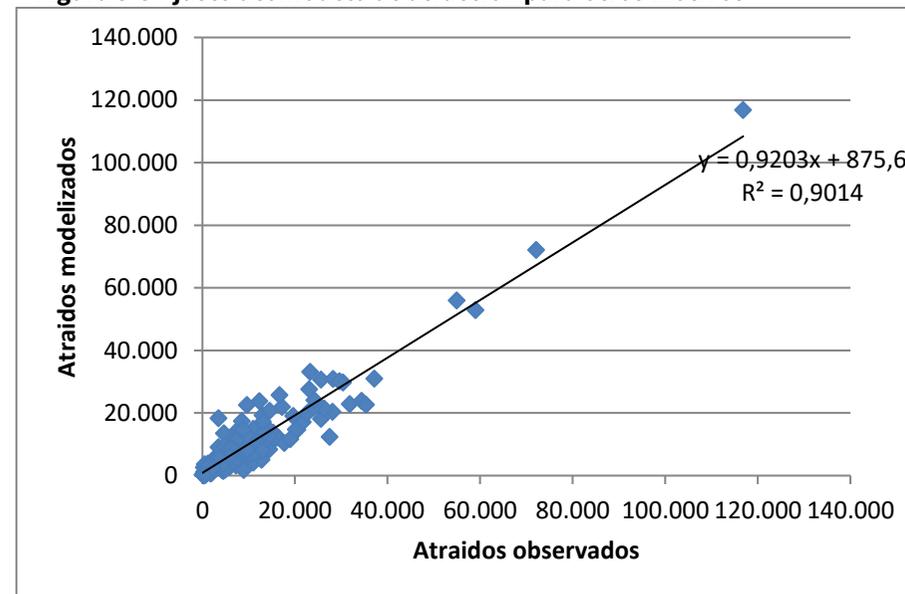
⁶ Como primera variable socioeconómica su coeficiente es la unidad

Tabla 5-3 Estadísticas de ajuste del modelo de atracción-distribución para otros motivos

Descripción	Valor	Error Est.	Ratio "T"
Cte. MZ 02	0,00342	0,00412	0,83
Cte. MZ 03	-0,29395	0,00334	88,009
Cte. MZ 04	-0,61718	0,00499	123,683
Cte. MZ 05	-0,21361	0,00336	63,574
Cte. MZ 06	-0,24227	0,00494	49,043
Cte. MZ 07	-0,23761	0,00508	46,774
Cte. MZ 08	0,08825	0,00418	21,112
Cte. MZ 09	0,22776	0,00375	60,736
Cte. MZ 10	0,2738	0,00485	56,454
Cte. MZ 11	0,18268	0,00594	30,754
Cte. MZ 12	0,08396	0,00639	13,139
Cte. MZ 13	0,29995	0,00463	64,784
Cte. MZ 14	0,32106	0,00648	49,546
Cte. MZ 15	0,2068	0,00935	22,118
Cte. MZ 16	-0,23631	0,01886	12,53
Cte. MZ 19	0,5903	0,01658	35,603
Cte. MZ 20	0,64808	0,00691	93,789
Cte. Zona 1	0,49878	0,00397	125,637
Cte. Zona 125	1,94691	0,00784	248,33
D. Intrazonales. Zonas Tipo 1	1,55692	0,00397	392,171
D. Intrazonales. Zonas Tipo 2	0,77821	0,00853	91,232
D. Intrazonales. Zonas Tipo 3	0,6162	0,00672	91,696
D. Intrazonales. Zonas Tipo 4	0,75338	0,01409	53,469
D. Viajes < 8 min	0,85509	0,00276	309,815
Distancia	-0,12333	0,00053	232,698
Tiempo	-0,02245	0,00027	83,148
Población	1	0	Nd.
Puestos de trabajo	2,94898	0,00893	330,233
Plazas de Educación	2,47686	0,00996	248,681

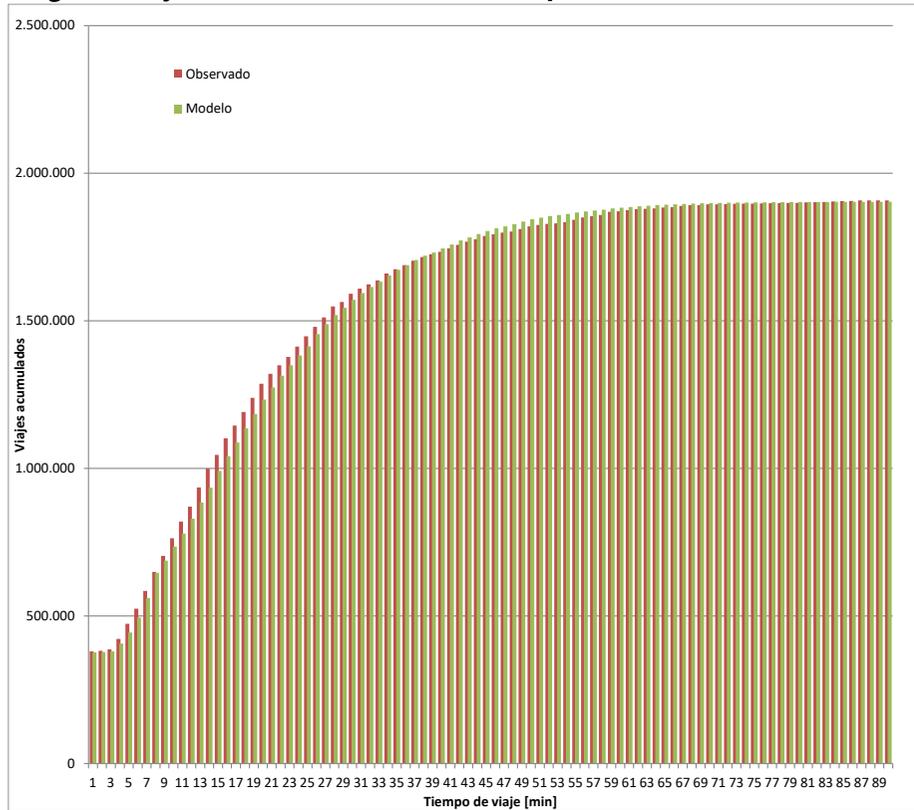
En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo de atracción mediante la aplicación del mismo a nivel zonal.

Figura 5-5 Ajuste del modelo de atracción para otros motivos



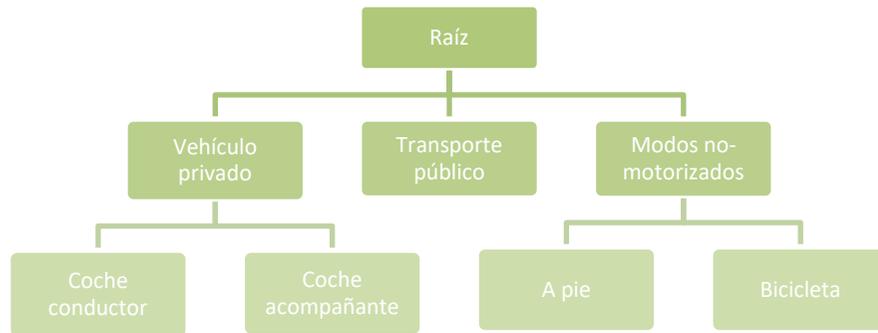
En la siguiente figura se observa el ajuste del modelo de distribución mediante el contraste de las distribuciones de los tiempos de viaje.

Figura 5-6 Ajuste del modelo de distribución para otros motivos



6. Calibración de los modelos de reparto modal

Aquí, se ha optado por la formulación de modelos logit con la siguiente jerarquía de modos:



Las funciones de utilidad incluyen el tiempo de viaje en cada modo para todas las alternativas, así como su coste percibido en el caso del vehículo privado, y del transporte público. Asimismo, todos los modos con excepción de la marcha a pie incluyen constantes modales, según el sexo del viajero.

6.1 Motivo trabajo

Las **funciones de utilidad** obtenidas para los distintos modos en los desplazamientos por motivos de trabajo obedecen a las siguientes formulaciones:

Vehículo privado, como conductor:

$$U_{VP} = conMc + conHc + t \times tiempo(VP) + c \times coste(VP) + ac \times (distancia(VP) < 2km)$$

Vehículo privado, como acompañante:

$$U_{VPa} = conMa + conHa + t \times tiempo(VPa) + c \times coste(VPa)$$

Transporte público:

$$U_{TP} = conMt + conHt + t \times tiempo(TP) + c \times coste(TP)$$

A pie:

$$U_{pie} = t \times tiempo(Pie)$$

Bicicleta:

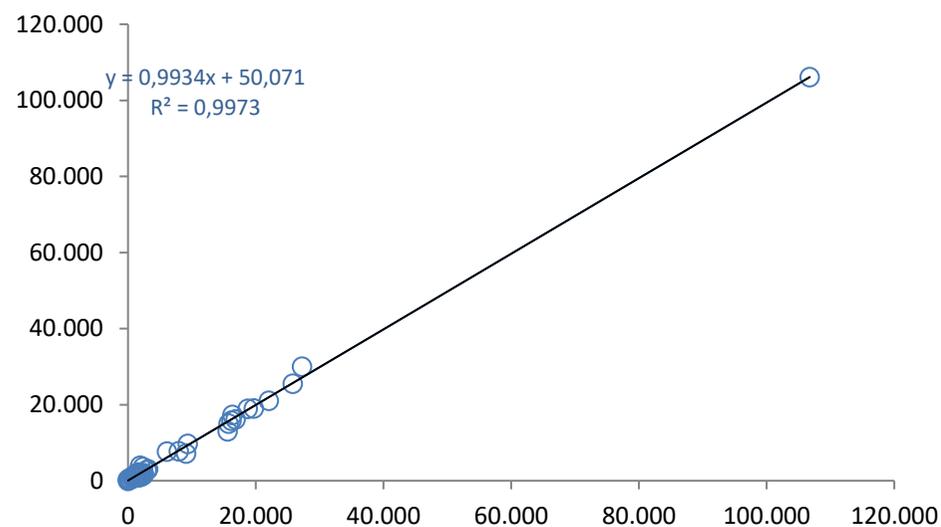
$$U_{bici} = conMb + conHb + t \times tiempo(Bici)$$

La tabla siguiente resume los coeficientes estimados en la calibración, así como su ratio T. Como puede observarse, todos los coeficientes tienen el signo esperado (variables que reducen la “atractividad” de un modo tiene signo negativo: tiempo y coste), y son altamente significativos.

Tabla 6-1 Parámetros del modelo de reparto para motivo trabajo

Descripción	Parámetro	Valor	Error Est.	Ratio "T"
Const. VP conductor. Mujeres	conMc	0,3294	0,0193	17,0627
Const. VP conductor. Hombres	conHc	0,5663	0,0190	29,7983
Const. VP acompañante. Mujeres	conMa	-2,1998	0,0148	-148,3069
Const. VP acompañante. Hombres	conHa	-2,9801	0,0162	-183,9686
Constante TP. Mujeres	conMt	-0,9541	0,0190	-50,1538
Constante TP. Hombres	conHt	-1,4793	0,0195	-75,8514
Const. Bici. Mujeres	conMb	-4,4773	0,0425	-105,4280
Const. Bici. Hombres	conHb	-2,9411	0,0249	-117,8930
Distancia < 2km. VP conductor	ac	-0,7628	0,0130	-58,8024
Tiempo	t	-0,0440	0,0004	-106,4481
Coste	c	-0,1605	0,0194	-8,2594
Coefficiente Nido	g	0,9945	0,0064	156,4197

Figura 6-1 Ajuste del modelo de reparto modal para motivo trabajo



El ajuste⁷ obtenido es, con un ρ^2 con respecto a constantes de 0,1632, suficiente.

El valor de tiempo implícito por motivo trabajo, ratio entre el parámetro de tiempo y el de coste, es de 16,46 €/hora.

Para el contraste de este modelo, se aporta a continuación su aplicación según intervalos⁸ de distancia de 1 km para los distintos modos de transporte y su comparación con los datos observados.

⁷ En los modelos logit, el parámetro λ^2 mide el incremento de la verosimilitud del modelo final con respecto a una formulación que solo usase constantes. Generalmente valores superiores a 0,1 - 0,2 se suelen considerar un ajuste adecuado.

6.2 Motivo estudios

Las **funciones de utilidad** obtenidas para los distintos modos en los desplazamientos por motivo de estudios son las siguientes:

Vehículo privado, como conductor:

⁸ El último Intervalo agrupa todos los viajes de más de 10 km de distancia

$$U_{VP} = conMc + conHc + t \times tiempo(VP) + c \times coste(VP) + ac \times (distancia(VP) < 2km) + p \times (periurb.)$$

Vehículo privado, como acompañante:

$$U_{VPA} = conMa + conHa + t \times tiempo(VPa) + c \times coste(VPa) + aa \times (distancia(VP) < 2km) + q \times (periurb.)$$

Transporte público:

$$U_{TP} = conMt + conHt + t \times tiempo(TP) + c \times coste(TP) + f \times \ln(frecuencia(TP))$$

A pie:

$$U_{pie} = t \times tiempo(Pie)$$

Bicicleta:

$$U_{bici} = conMb + conHb + t \times tiempo(Bici)$$

La tabla siguiente resume los coeficientes estimados en la calibración, así como su ratio T⁹. Como puede observarse, todos los coeficientes tienen el signo esperado (variables que reducen la “atractividad” de un modo tienen signo negativo: tiempo y coste), y son altamente significativos.

Tabla 6-2 Funciones de utilidad y estadísticas de ajuste del modelo de reparto para motivo estudios

Descripción	Parámetro	Valor	Error Est.	Ratio "T"
Const. VP conductor. Mujeres	conMc	1,5339	0,0536	28,6436
Const. VP conductor. Hombres	conHc	1,1575	0,0524	22,0821

⁹ Ratio entre el error estándar y el valor del parámetro. Para valores $|T| \geq 2$ el valor del parámetro es estadísticamente significativo

Const. VP acompañante. Mujeres	conMa	-0,9632	0,0323	-29,8495
Const. VP acompañante. Hombres	conHa	-1,4477	0,0349	-41,5107
Constante TP. Mujeres	conMt	-3,9847	0,1252	-31,8239
Constante TP. Hombres	conHt	-4,8941	0,1294	-37,8346
Const. Bici. Mujeres	conHb	-11,3625	0,1684	-67,4601
Const. Bici. Hombres	conMb	-14,9309	0,2475	-60,3202
Distancia < 2km. VP conductor	ac	-2,0404	0,0636	-32,0669
Distancia < 2km. VP acompañante	aa	-2,1673	0,0414	-52,3898
Viajes periurbanos. VP conductor	p	0,4899	0,0601	8,1473
Viajes periurbanos. VP acompañante	q	2,4315	0,0403	60,3688
Frecuencia TP	f	0,2572	0,0370	6,9466
Tiempo	t	-0,0311	0,0007	-43,7129
Coste	c	-0,4862	0,0498	-9,7544
Coefficiente Nido	g	0,4083	0,0054	76,0313

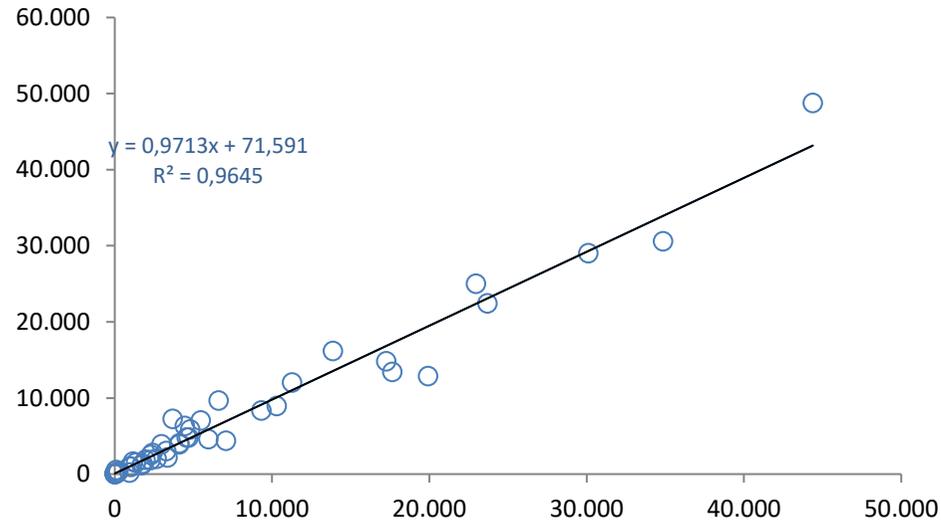
El ajuste¹⁰ obtenido es, con un ρ^2 con respecto a constantes de 0,1401, suficiente.

El valor de tiempo implícito por motivo estudios, ratio entre el parámetro de tiempo y el de coste, es de 3,83 €/hora.

¹⁰ En los modelos logit, el parámetro χ^2 mide el incremento de la verosimilitud del modelo final con respecto a una formulación que solo use constantes. Generalmente valores superiores a 0,1 - 0,2 se suelen considerar un ajuste adecuado.

Para el contraste de este modelo, se aporta a continuación su aplicación según intervalos¹¹ de distancia de 1 km para los distintos modos de transporte y su comparación con los datos observados.

Figura 6-2 Ajuste del modelo de reparto modal para motivo estudios



¹¹ El último intervalo agrupa todos los viajes de más de 10 km de distancia

6.3 Otros motivos

Las **funciones de utilidad** obtenidas para los distintos modos en los desplazamientos por otros motivos son las siguientes:

Vehículo privado, como conductor:

$$U_{VP} = conMc + conHc + t \times tiempo(VP) + c \times coste(VP) + ac \times (distancia(VP) < 2km) + p \times (periurb.)$$

Vehículo privado, como acompañante:

$$U_{VPa} = conMa + conHa + t \times tiempo(VPa) + c \times coste(VPa) + q \times (periurb.)$$

Transporte público:

$$U_{TP} = conMt + conHt + t \times tiempo(TP) + c \times coste(TP) + f \times \ln(frecuencia(TP)) + t \times (periurb.) + ne \times (etapas(TP) > 1,45)$$

A pie:

$$U_{pie} = t \times tiempo(Pie)$$

Bicicleta:

$$U_{bici} = conMb + conHb + t \times tiempo(Bici)$$

La tabla siguiente resume los coeficientes estimados en la calibración, así como su ratio T¹². Como puede observarse, todos los coeficientes tienen el

¹² Ratio entre el error estándar y el valor del parámetro. Para valores $|T| \geq 2$ el valor del parámetro es estadísticamente significativo

signo esperado (variables que reducen la “atractividad” de un modo tiene signo negativo: tiempo y coste), y son altamente significativos.

Tabla 6-3 Funciones de utilidad y estadísticas de ajuste del modelo de reparto para otros motivos

Descripción	Parámetro	Valor	Error Est.	Ratio "T"
Const. VP conductor. Mujeres	conMc	-0,8661	0,0162	-53,4815
Const. VP conductor. Hombres	conHc	-0,9367	0,0159	-58,8799
Const. VP acompañante. Mujeres	conMa	-2,8794	0,0120	-240,9370
Const. VP acompañante. Hombres	conHa	-3,4827	0,0131	-264,8734
Constante TP. Mujeres	conMt	-2,3847	0,0350	-68,1842
Constante TP. Hombres	conHt	-3,1850	0,0362	-87,8712
Const. Bici. Mujeres	conHb	-7,9913	0,0417	-191,5163
Const. Bici. Hombres	conMb	-6,0394	0,0300	-201,5996
Distancia < 2km. VP conductor	ac	-0,5394	0,0085	-63,6754
Viajes periurbanos. VP conductor	p	0,9309	0,0109	85,5017
Viajes periurbanos. VP acompañante	q	0,6323	0,0127	49,8526
Viajes periurbanos. TP	r	-1,1642	0,0146	-79,9655
Frecuencia TP	f	0,1509	0,0108	14,0004
Nº Etapas >1,45. TP	ne	-0,9616	0,0216	-44,4607
Tiempo	t	-0,0485	0,0003	-171,8687
Coste	c	-0,3195	0,0162	-19,7749
Coficiente Nido	g	0,6389	0,0027	239,7439

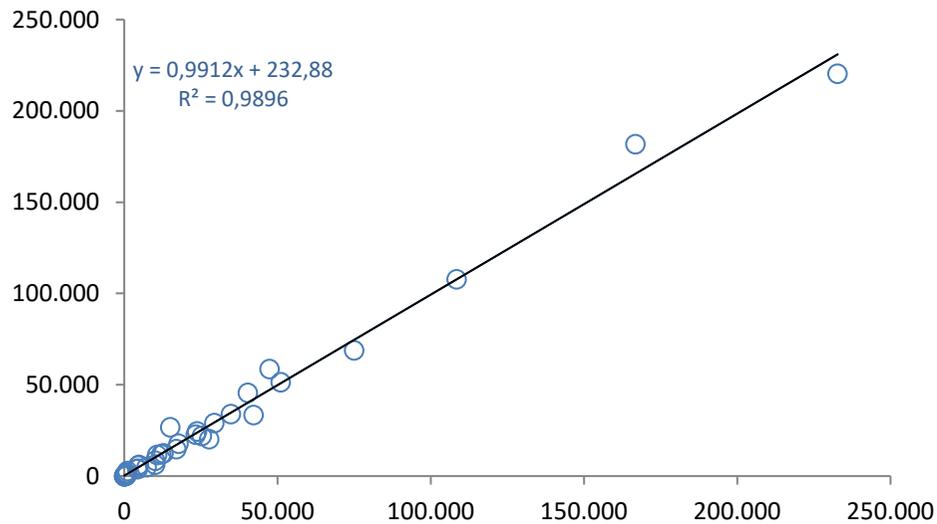
El ajuste¹³ obtenido es, con un ρ^2 con respecto a constantes de 0,1399, suficiente.

¹³ En los modelos logit, el parámetro χ^2 mide el incremento de la verosimilitud del modelo final con respecto a una formulación que solo usase constantes. Generalmente valores superiores a 0,1 - 0,2 se suelen considerar un ajuste adecuado.

El valor de tiempo implícito por otros motivos, ratio entre el parámetro de tiempo y el de coste, es de 9,10 €/hora.

Para el contraste de este modelo, se aporta a continuación su aplicación según intervalos¹⁴ de distancia de 1 km para los distintos modos de transporte y su comparación con los datos observados.

Figura 6-3 Ajuste del modelo de reparto modal para otros motivos



¹⁴ El último intervalo agrupa todos los viajes de más de 10 km de distancia

7. Calibración de los modelos de asignación

Los modelos de asignación utilizan los algoritmos implementados en el software EMME, en concreto el “Extended transit assignment” para el transporte público, y el “SOLA traffic assignment” para el vehículo privado.

7.1 Calibrado del modelo de vehículo privado

Para la calibración del modelo de vehículo privado, se recurre a los datos de intensidades de tráfico contenidos en el Mapa de Tráfico, editado por el Ministerio de Fomento, a los que se añaden algunos del Plan de Aforos de la Red Principal de Carreteras de Andalucía, realizado por la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, así como aforos realizados por el Ayuntamiento de Málaga.

Las matrices asignadas incluyen no solo la demanda de los residentes recogida en la encuesta de movilidad, sino también la demanda de los residentes en el extranjero en el ámbito, así como la demanda con el exterior del ámbito, incluida la de tránsito por él.

Figura 7-1: Aforos de tráfico en el ámbito disponibles en el Mapa de Tráfico

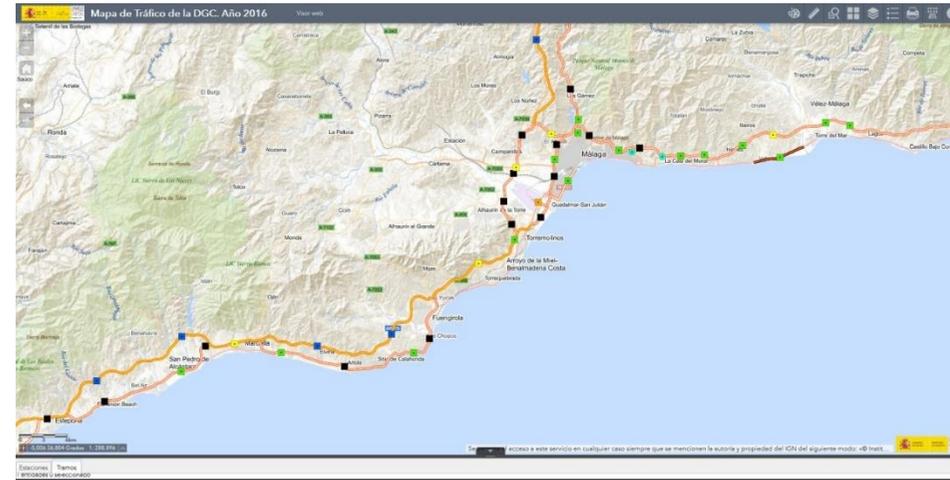


Figura 7-2: Aforos de tráfico en el ámbito disponibles en el Plan de Aforos de la Junta

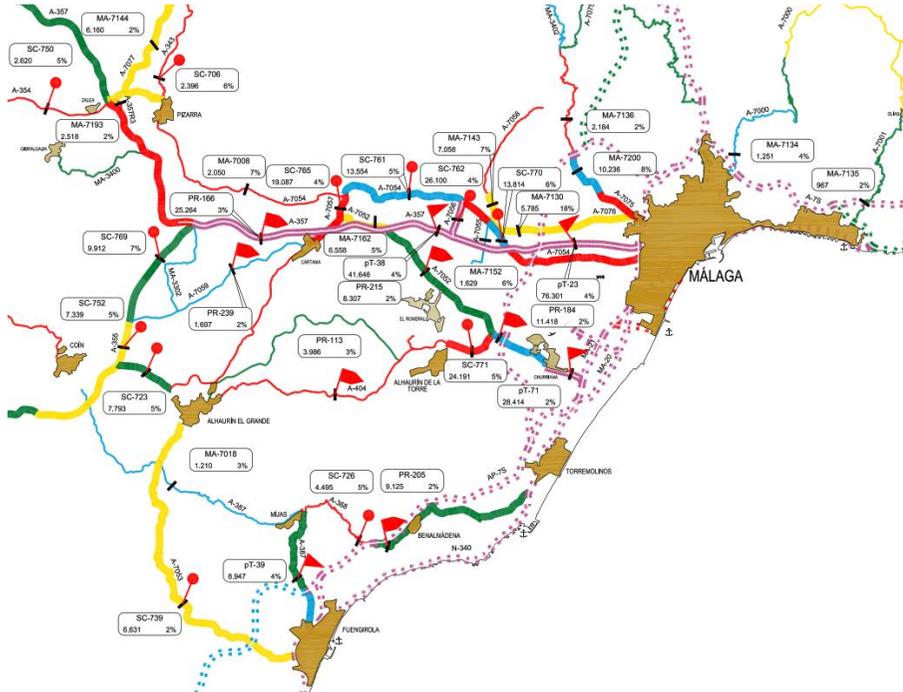


Figura 7-3: Aforos de tráfico en el ámbito. Ayuntamiento de Málaga



Los datos de aforos se han incorporado al modelo como atributos de arco, comparables de esta forma a los tráficos modelizados en los arcos con los que concuerda la localización del aforo. En este caso se han incorporado a la red los aforos en 87 arcos de las tres fuentes disponibles para el ámbito del estudio.

En la siguiente imagen se muestra el análisis de regresión para el nivel de ajuste del modelo.

Figura 7-6: Análisis de regresión lineal para la calibración de la red viaria en EMME4. Día laborable. Octubre 2017

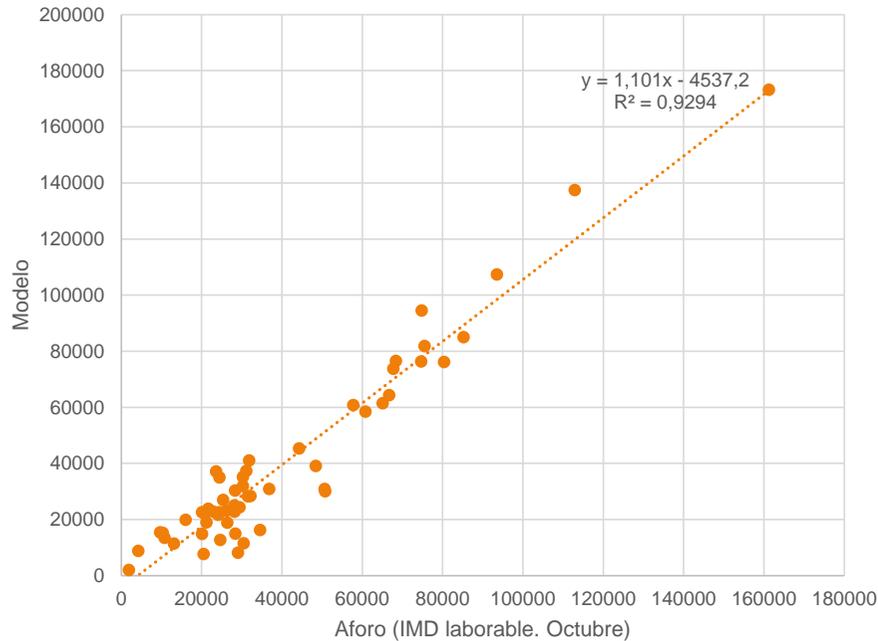
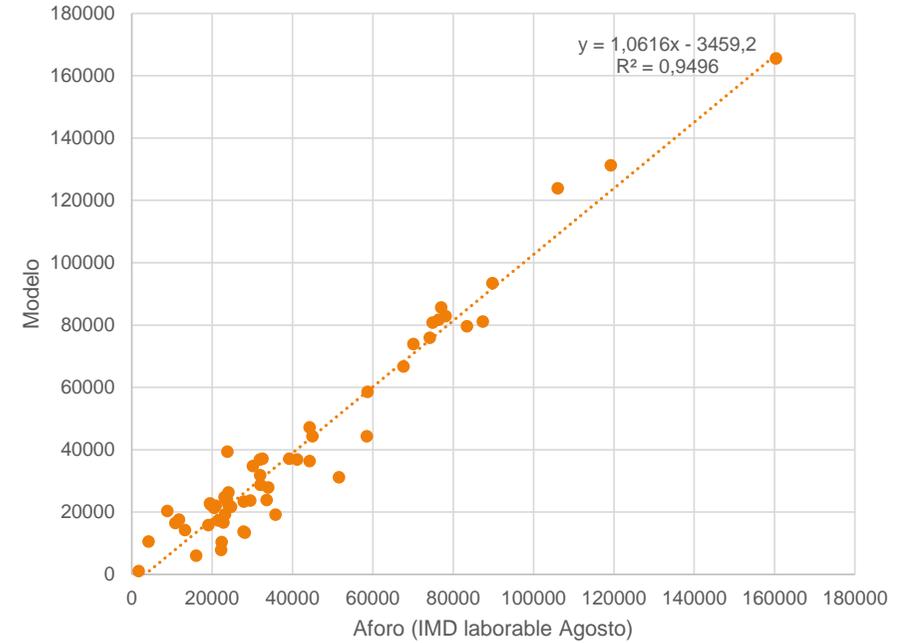


Figura 7-7: Análisis de regresión lineal para la calibración de la red viaria en EMME4. Día laborable. Agosto 2017



Se observa un ajuste satisfactorio y, por lo tanto, se puede dar por calibrada la red vial modelizada. De esta forma, la siguiente figura muestra la asignación de volúmenes de tráfico a la red actual definitiva.

Figura 7-8: Esquema de asignación de tráfico en EMME4. Día laborable. Octubre



Figura 7-9: Esquema de asignación de tráfico en EMME4. Día laborable. Agosto

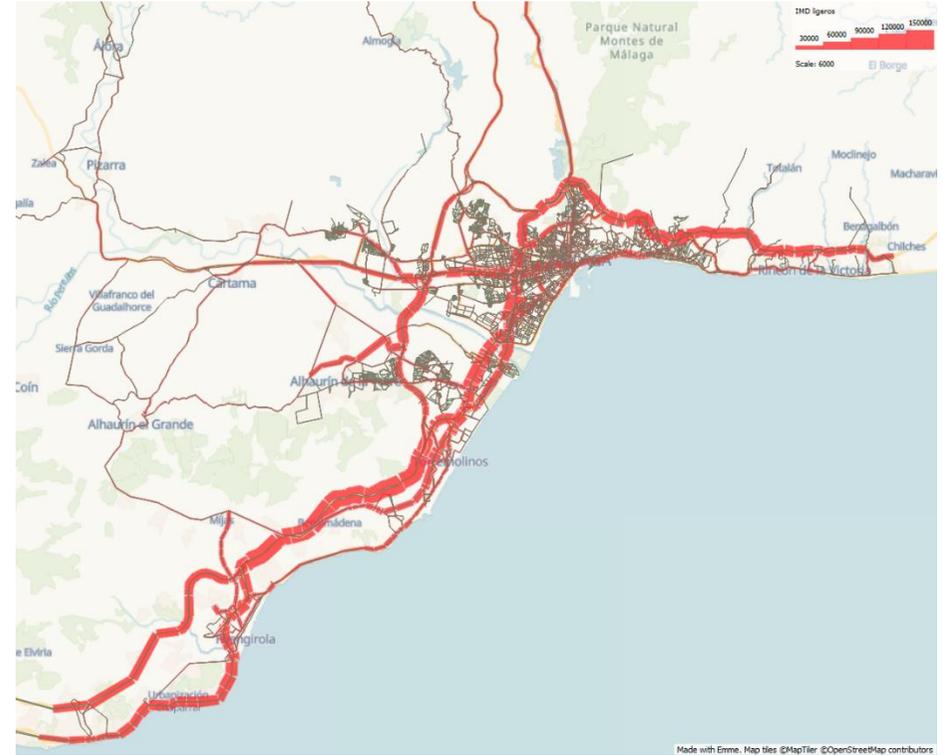


Figura 7-10: Variación de la IMD. Día laborable. Agosto frente Octubre

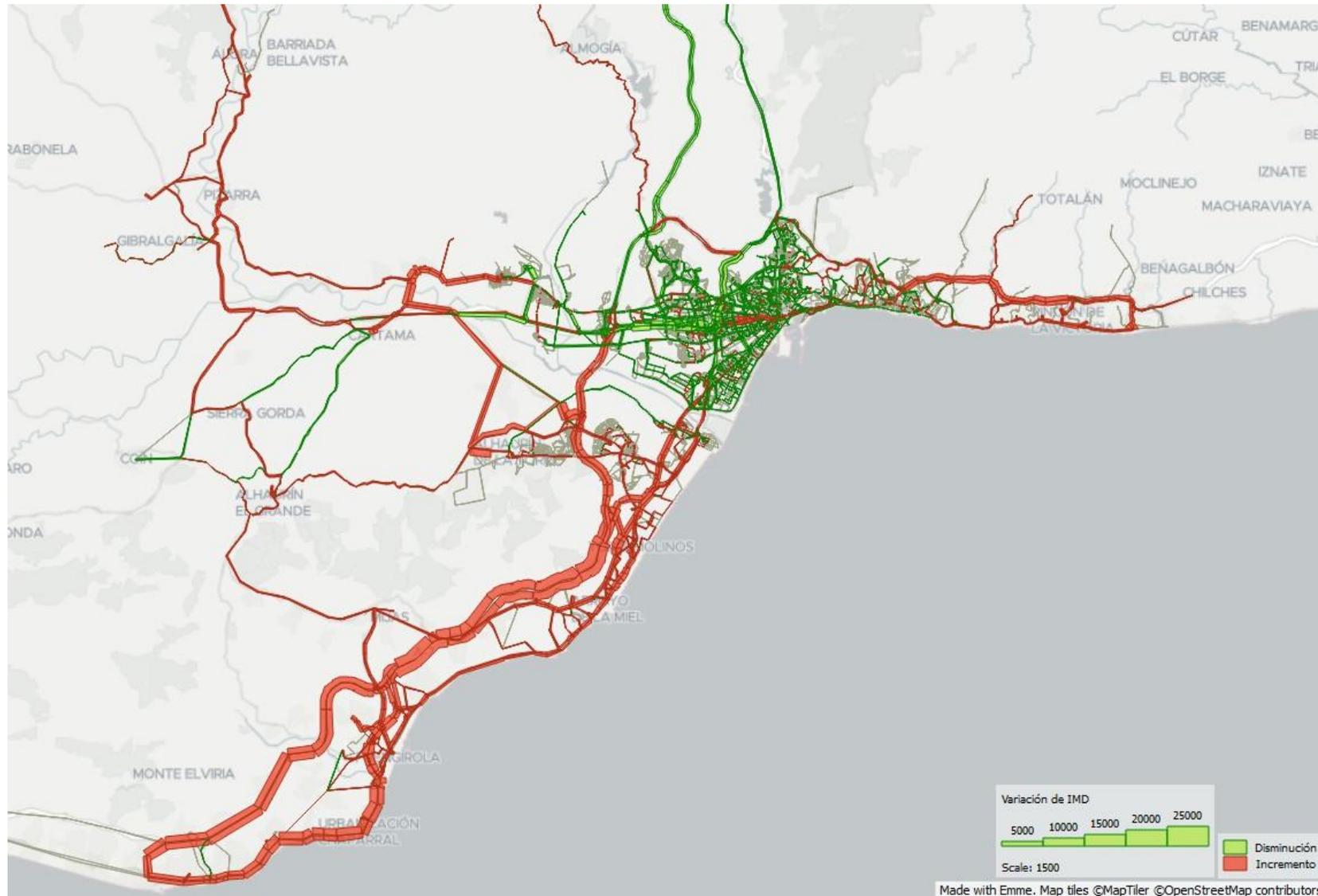


Figura 7-11 Análisis V/C. Día laborable. Octubre



Figura 7-12 Análisis V/C. Día laborable. Agosto



7.2 Calibrado del modelo de transporte público

Para el transporte público, el proceso de ajuste es similar, aunque los valores de contraste son los totales diarios de demanda por línea, para el caso de las cercanías, los autobuses interurbanos y urbanos. En el caso del metro se ha dispuesto de aforos de viajeros subidos por estación. Esta comparación, como

en el caso del vehículo privado, también permite analizar las desviaciones respecto a los datos reales y, por lo tanto, mejorar la codificación de los servicios de transporte público en el modelo. También, en este caso, y como paso final, se ha llevado a cabo un ajuste de las matrices con el método del gradiente. A continuación, se muestra el análisis de regresión para la red de transporte público.

Figura 7-13: Análisis de regresión lineal para la calibración de la red de transporte público en EMME4. Datos por línea. Cercanías y autobuses. Día laborable. Octubre

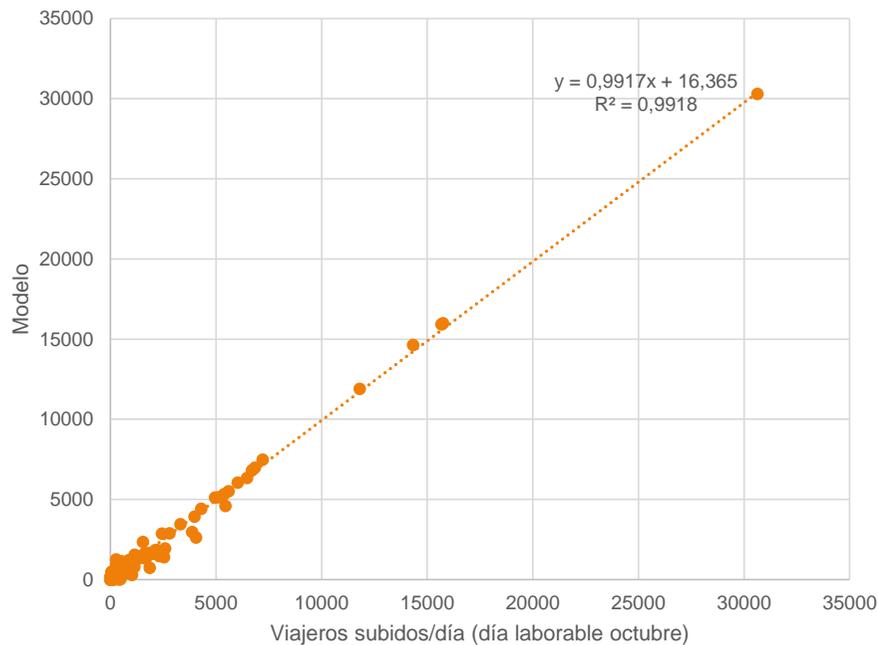


Figura 7-14: Análisis de regresión lineal para la calibración de la red de transporte público en EMME4. Datos por estaciones. Metro. Día laborable. Octubre

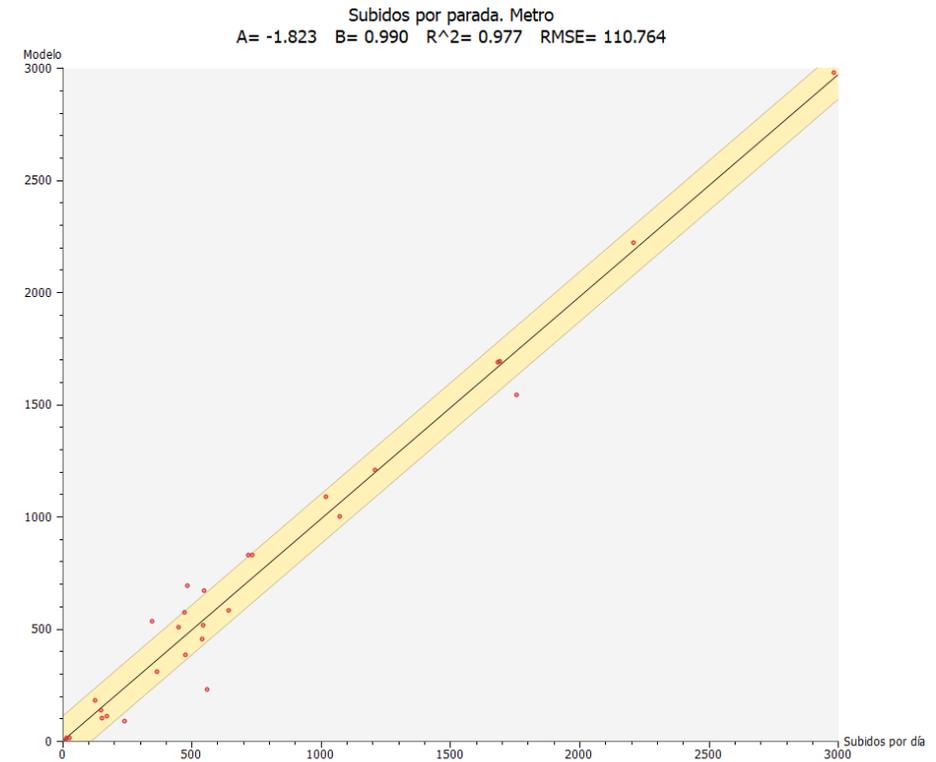


Figura 7-15: Análisis de regresión lineal para la calibración de la red de transporte público en EMME4. Datos por línea. Cercanías y autobuses. Día laborable. Agosto

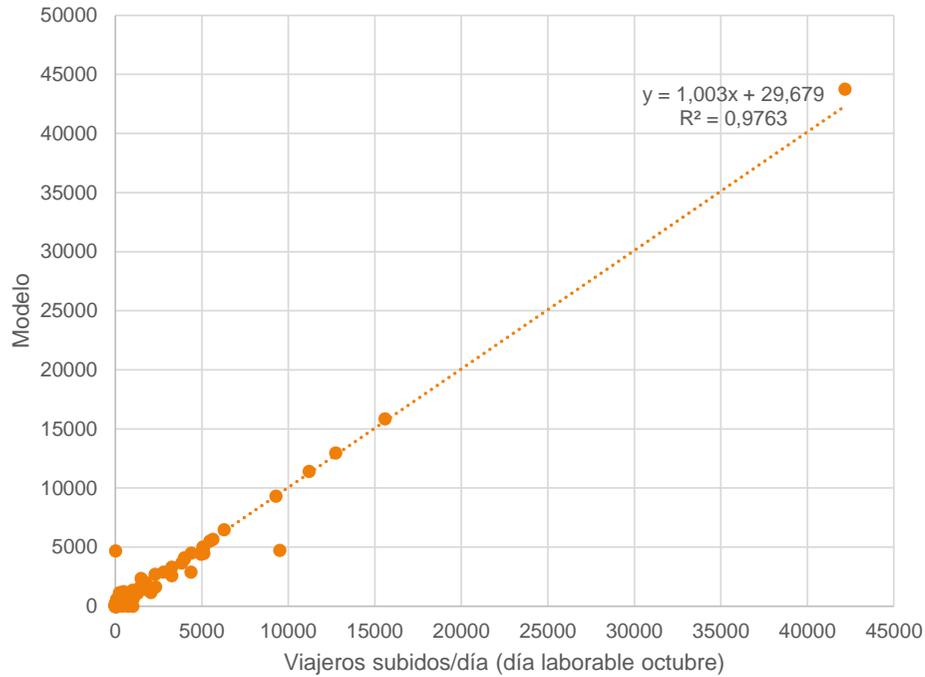


Figura 7-16: Análisis de regresión lineal para la calibración de la red de transporte público en EMME4. Datos por estaciones. Metro. Día laborable. Agosto

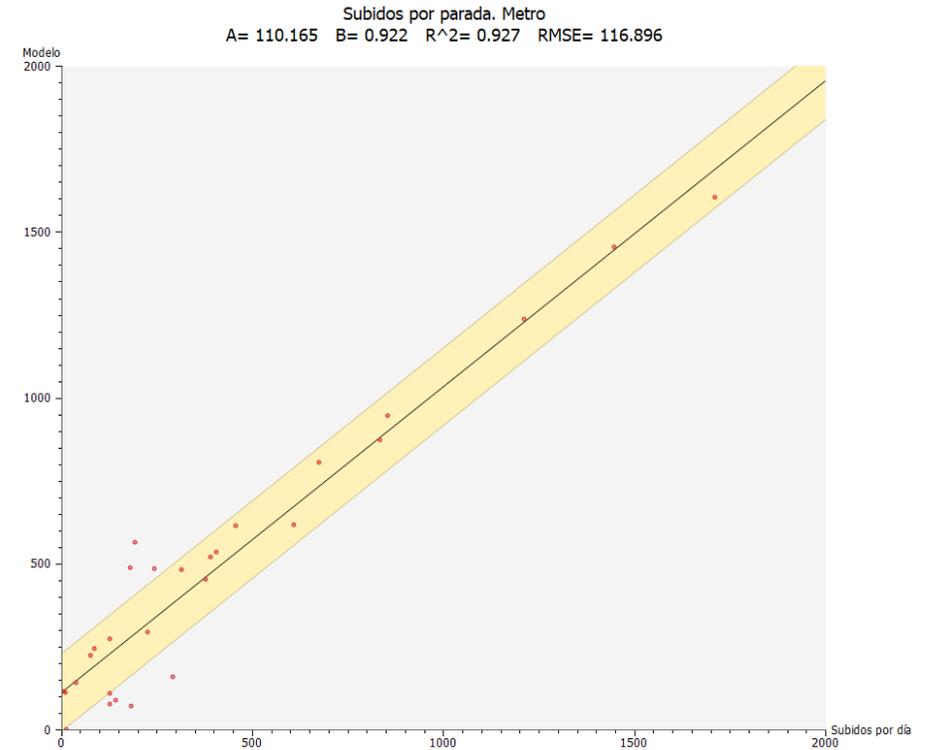


Figura 7-17: V/C de la red de Cercanías. Día laborable. Octubre

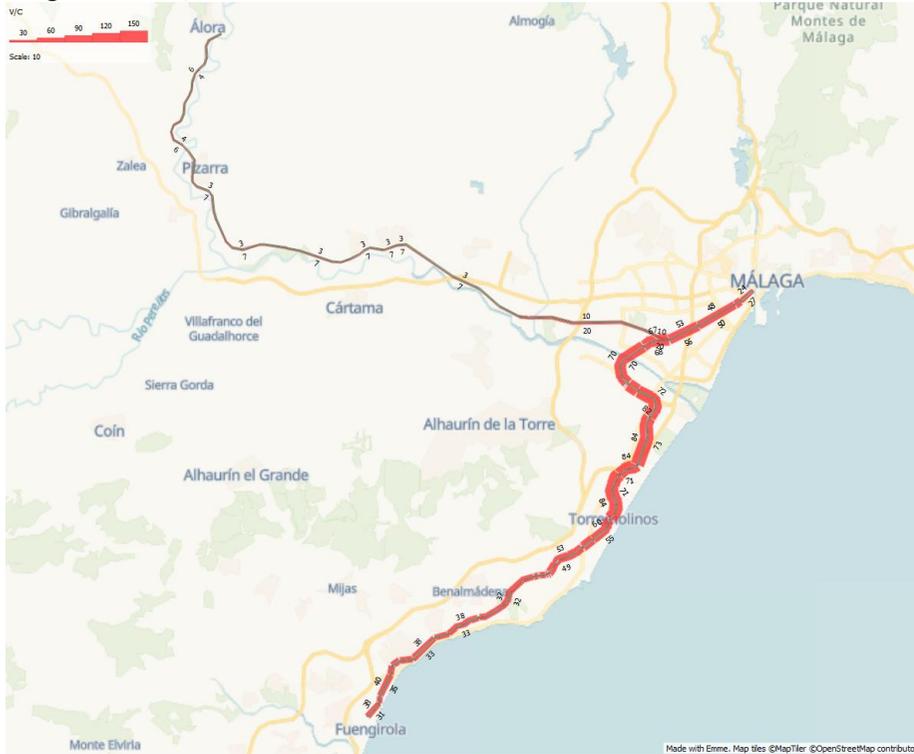


Figura 7-18: V/C de la red de Cercanías. Día laborable. Agosto

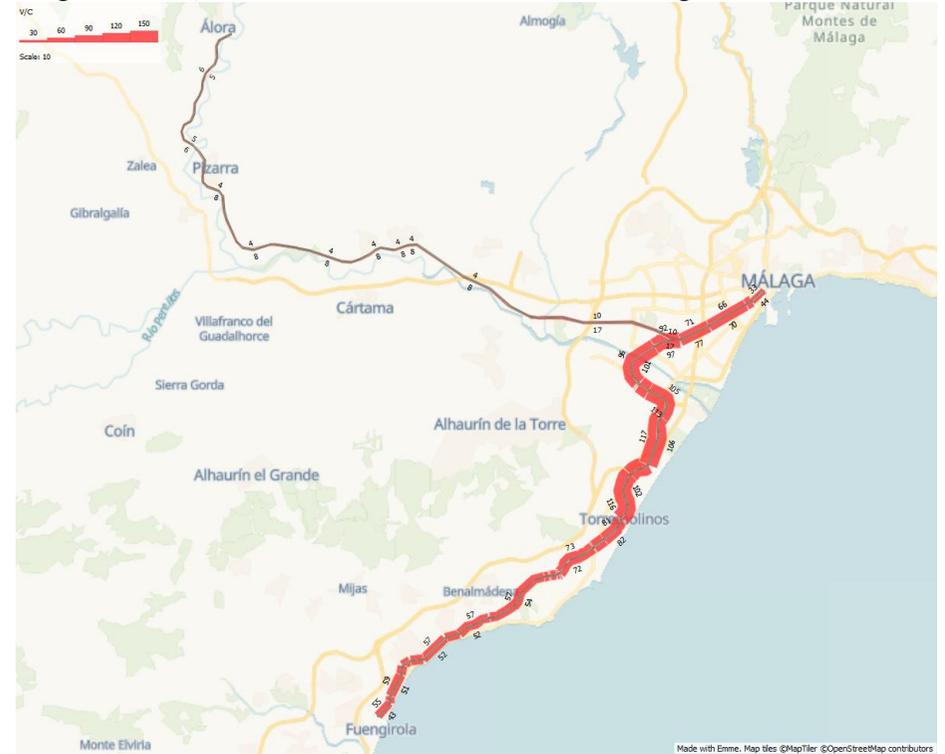


Figura 7-19: V/C de la red de Metro. Día laborable. Octubre

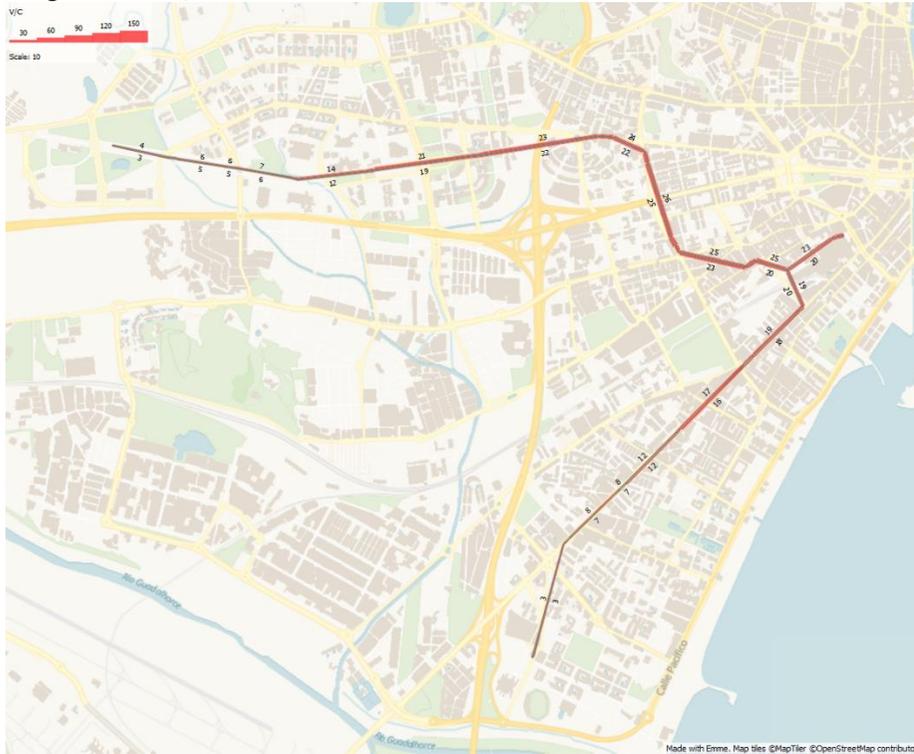


Figura 7-20: V/C de la red de Metro. Día laborable. Agosto

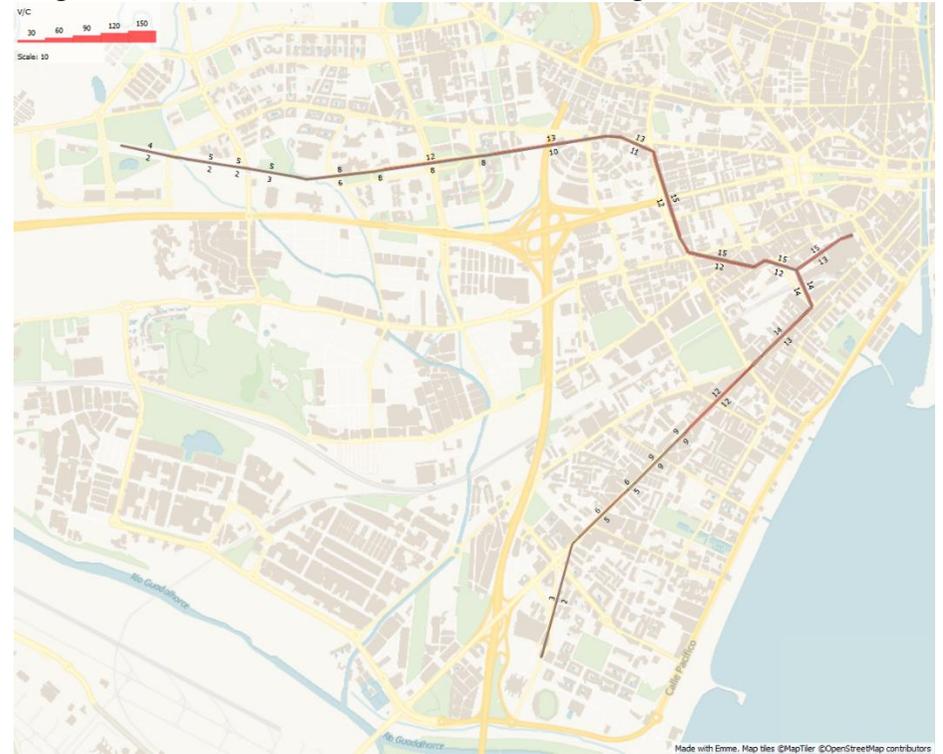


Figura 7-21: V/C de la red de EMT. Día laborable. Octubre

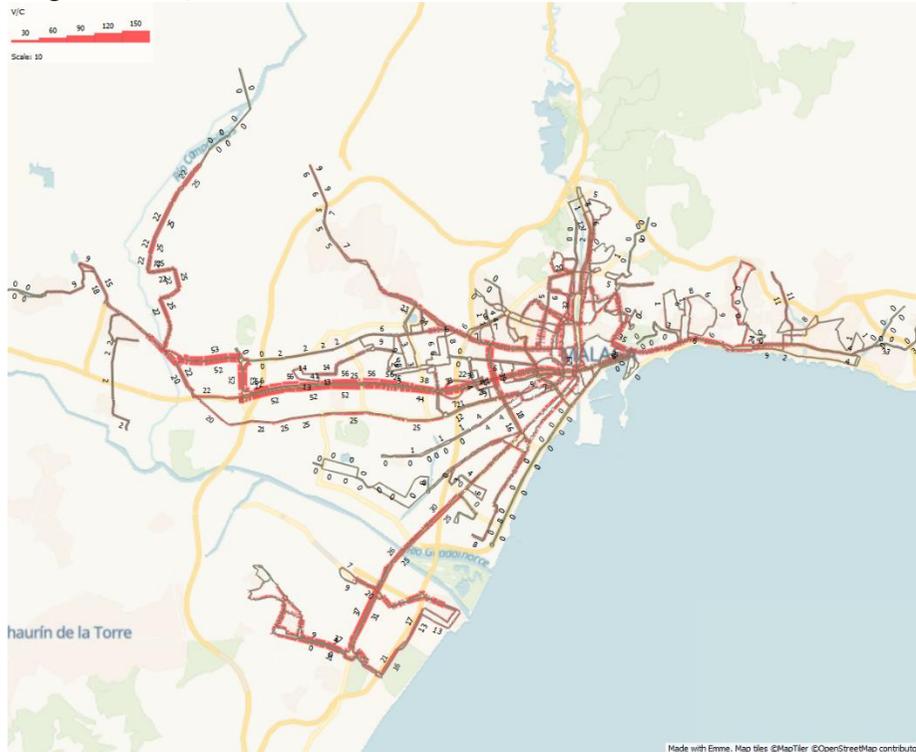


Figura 7-22: V/C de la red de EMT. Día laborable. Agosto

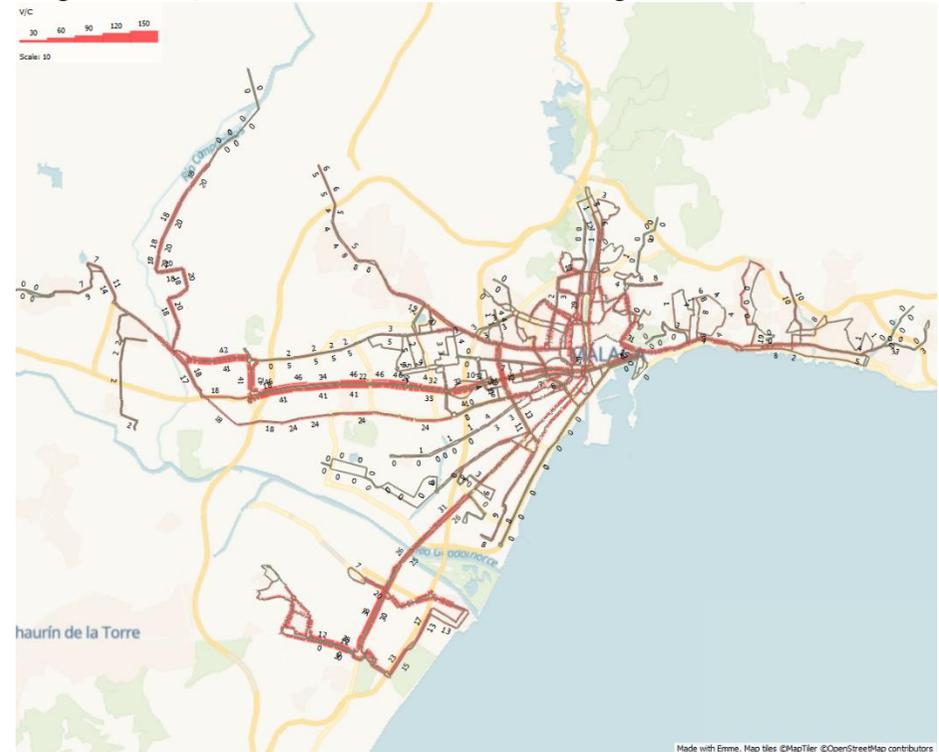


Figura 7-23: V/C de la red de autobuses interurbanos. Día laborable. Octubre

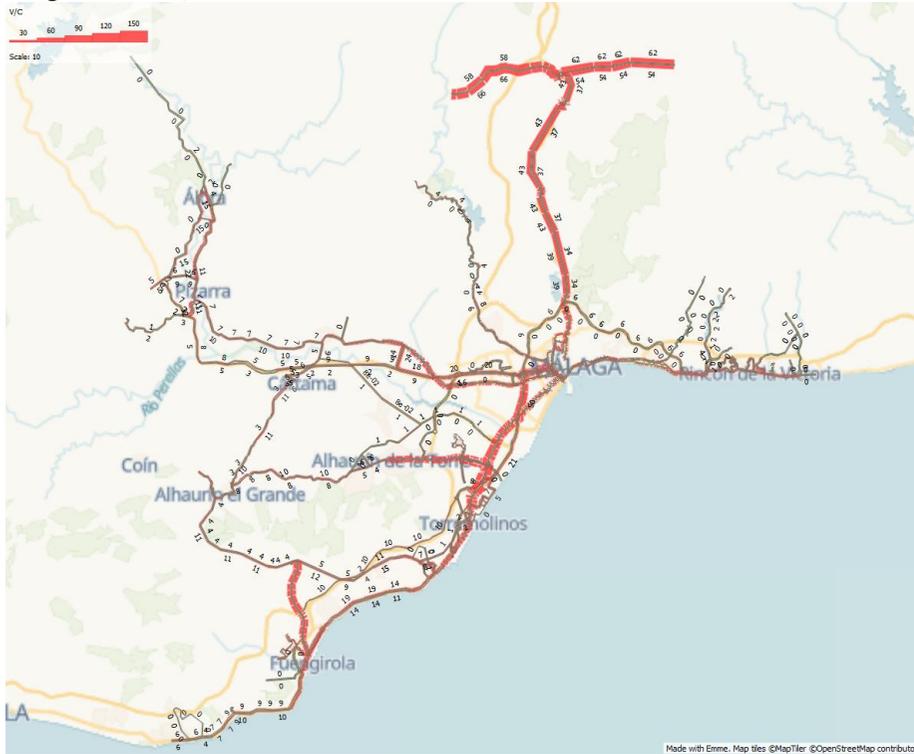
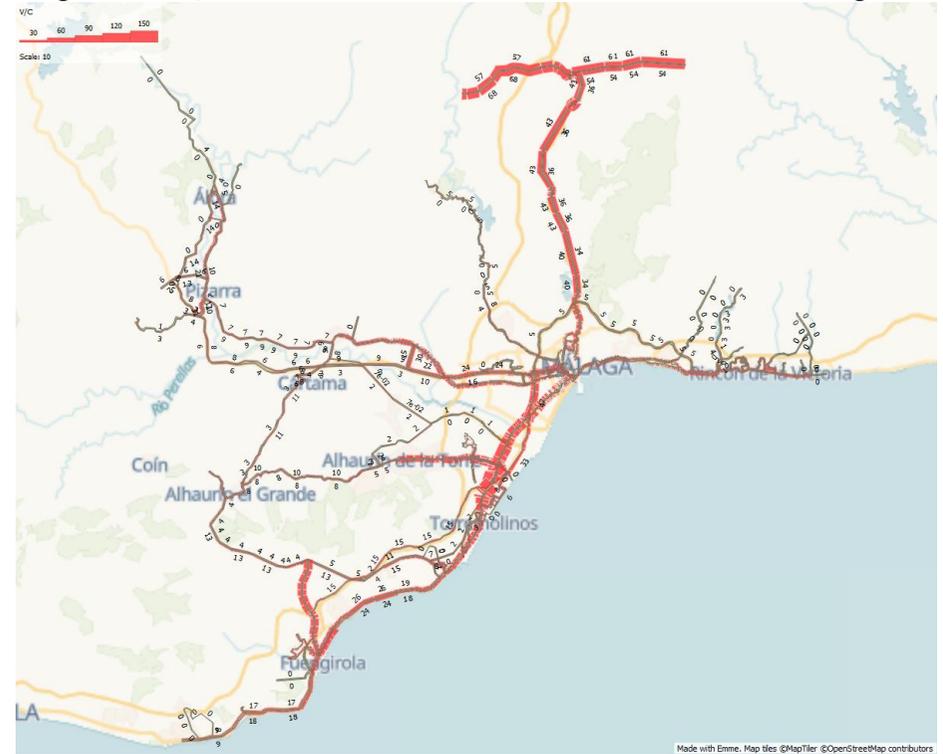


Figura 7-24: V/C de la red de autobuses interurbanos. Día laborable. Agosto



Por último, si bien no es necesaria su calibración, se ha asignado al modelo la matriz del modo pie. Esto permite obtener los datos de distancias en la red los desplazamientos en modos blandos; pie y bicicleta.

8. Aplicación de los modelos

Los modelos de generación, atracción/distribución y reparto modal se han aplicado de forma incremental, es decir, los valores estimados para los escenarios analizados siempre parten de la situación actual observada. De esta forma los modelos únicamente estiman la variación con respecto a la situación de base.

8.1 Modelos de generación

En el caso de los modelos de generación, se determina para cada zona de transporte:

- La demanda generada para cada motivo en la situación base
- La variación del número de habitantes en cada uno de los segmentos del modelo de clasificación cruzado

Posteriormente se obtiene la demanda generada en el año horizonte, como suma entre la demanda en situación actual, y el producto de la variación de población de cada segmento con su tasa de generación de viajes correspondiente.

8.2 Modelos de atracción/distribución

Para estos modelos, se determina, para cada par origen-destino la variación de la utilidad¹⁵ ΔU entre la situación base y la situación tendencial. Posteriormente la demanda se obtiene como

$$V_{ij}^* = G_i^* \cdot \frac{p_{ij} \cdot e^{\Delta U_{ij}}}{\sum_k p_{ik} \cdot e^{\Delta U_{ik}}}$$

Donde p_{ij} es la proporción de la demanda entre las zonas i y j (V_{ij}) y el total de la demanda generada G_i en la zona i . G_i^* es la demanda generada en situación tendencial, obtenida en el paso anterior. Con ello, el volumen total de la demanda en situación tendencial es únicamente resultado del modelo de generación, mientras el de atracción/distribución la reparte entre las zonas destino.

Posteriormente, se calculan, para cada motivo y par O/D, factores de crecimiento V_{ij}^*/V_{ij} que se aplican a las matrices de demanda globales, tanto de verano, como de invierno.

8.3 Modelos de reparto modal

Su aplicación se lleva a cabo de forma incremental o pivot. De esta forma, el reparto modal en situación con proyecto se obtiene como resultado de las

¹⁵ combinación lineal de tiempo, distancia y variables socioeconómicas

variaciones de utilidad o coste generalizado entre la situación base y el escenario con proyecto, así como del reparto modal observado en el año base:

$$p_m = \frac{p_m^0 \exp(\theta \Delta U_m)}{\sum_q p_q^0 \exp(\theta \Delta U_q)}; m \in M, q \in M$$

Donde

p_m, p_m^0 son las cuotas modales del modo m en el escenario a investigar y en la situación base

$\Delta U_m = U_m - U_m^0$ es la variación de utilidad del modo m entre el escenario a investigar y la situación de base/referencia

M es el conjunto de modos de transporte

Adicionalmente, y aunque los modelos de reparto modal se han calibrado únicamente con los datos de invierno, su aplicación diferencia entre verano e invierno. Para ello se utilizan, tanto en situación de base, como en situación con proyecto, los datos de coste generalizado del escenario de red correspondiente al periodo analizado (invierno o verano), y la aplicación incremental parte del reparto modal observado en situación base, también del mismo periodo analizado.

8.4 Modelos de asignación

Los modelos de asignación han sido calibrados de forma diferenciada para los periodos de invierno y verano. Como resultado de esta calibración, se

obtienen, tanto para las matrices de vehículo privado, como de transporte público, factores de ajustes mediante la división de las matrices calibradas entre las matrices sin calibrar.

Para las asignaciones de los escenarios a evaluar, las matrices por modo obtenidas del proceso de modelización (generación, atracción/distribución y reparto modal) se multiplican con los factores de calibración correspondientes al modo y al periodo de análisis (invierno/verano), antes de su asignación a las redes de cada escenario.

En el caso de las asignaciones de transporte público, también se reflejan, en los parámetros de la asignación, cambios en el sistema de transporte, como las tarifas en transbordo entre los diferentes modos de transporte público.

9. Proyecciones de demanda

Una vez construido el modelo para el año base de 2017, con el fin de elaborar las proyecciones de demanda, se han realizado las proyecciones de las variables población y empleo. Para ello, se ha partido de las proyecciones de población del INE, disponibles a nivel provincial al año 2035, según género y edad, y de las tendencias de evolución de población observadas en los últimos años en el ámbito.

Se ha procedido como sigue:

- De las proyecciones de población del INE, se ha identificado la variación de la población en cada segmento definido por el cruce de grupo de edad y género, a nivel provincial, entre los años 2017 y 2030
- Estas variaciones se han aplicado a los segmentos correspondientes en cada municipio, modulándolos según la evolución observada en cada municipio y segmento entre los años 2015 y 2019.
- Adicionalmente, en el municipio de Málaga, se ha tenido en cuenta una redistribución de la población, principalmente desde los distritos céntricos, hacia el distrito de Teatinos, donde se prevé un incremento de la población de 5.100 habitantes en nuevos desarrollos urbanos.

Así, por municipios, las proyecciones de población se recogen en la tabla siguiente.

Tabla 9-1 Proyecciones de población

Municipio	Mujeres		Hombres		Totales		
	2017	2030	2017	2030	2017	2030	c.a.a.
Alhaurín de la Torre	19.695	23.179	19.458	22.934	39.153	46.113	1,3%
Alhaurín el Grande	12.370	12.944	12.350	12.922	24.720	25.867	0,3%
Almogía	1.828	1.632	1.937	1.732	3.765	3.364	-0,9%
Álora	6.397	6.431	6.527	6.497	12.924	12.928	0,0%
Benalmádena	34.777	36.780	34.082	36.191	68.859	72.972	0,4%
Cártama	12.545	15.639	12.772	15.897	25.317	31.536	1,7%
Casabermeja	1.636	1.835	1.806	2.016	3.442	3.851	0,9%
Coín	10.738	11.967	10.824	12.035	21.562	24.002	0,8%
Colmenar	1.641	1.541	1.742	1.619	3.383	3.161	-0,5%
Fuengirola	38.287	45.573	36.642	43.549	74.929	89.122	1,3%
Málaga	295.366	309.878	273.636	282.263	569.002	592.141	0,3%
Mijas	38.602	46.408	38.549	46.651	77.151	93.059	1,5%
Pizarra	4.493	4.717	4.580	4.756	9.073	9.473	0,3%
Rincón de la Victoria	23.022	30.645	22.116	29.336	45.138	59.981	2,2%
Totalán	337	402	373	458	710	860	1,5%
Torremolinos	33.860	36.275	33.841	36.086	67.701	72.362	0,5%
Total	571.518	624.394	546.208	592.561	1.117.726	1.216.955	0,7%

En el caso del empleo, a falta de proyecciones de otras fuentes, y de datos históricos desagregados, se ha asumida continuidad en la funcionalidad de cada zona de transporte y se ha proyectada en función del crecimiento de la población. Se ha descartado recoger un macro-desarrollo comercial en Torremolinos, tanto por la quiebra reciente de la empresa promotora, como

por las crecientes dudas sobre la viabilidad a medio plazo de nuevos centros comerciales por el auge de las ventas online, acelerado todavía más por la crisis Covid.

Tabla 9-2 Proyecciones de empleo

Municipio	2017	2030	c.a.a.
Alhaurín de la Torre	8.802	10.250	1,2%
Alhaurín el Grande	3.352	3.476	0,3%
Almogía	408	364	-0,9%
Álora	639	638	0,0%
Benalmádena	13.557	14.505	0,5%
Cártama	677	836	1,6%
Casabermeja	495	549	0,8%
Coín	3.280	3.651	0,8%
Colmenar	904	839	-0,6%
Fuengirola	16.790	19.923	1,3%
Málaga	186.923	192.007	0,2%
Mijas	10.095	12.329	1,5%
Pizarra	1.022	1.074	0,4%
Rincón de la Victoria	3.645	4.813	2,2%
Totalán	32	39	1,5%
Torremolinos	12.792	13.898	0,6%
Total	263.414	279.189	0,4%

Según estas proyecciones, la estructura general de demanda, por años horizonte, queda recogida en las siguientes tablas.

Tabla 9-3: Resumen de demanda por motivo. 2030

Motivo	Invierno	Verano	Variación Verano/Invierno
Residentes			
trabajo	519.965	417.238	-19,8%
estudios	430.755	309.768	-28,1%
otros	1.808.907	2.117.384	17,1%
Total Residentes	2.759.627	2.844.391	3,1%
Residentes en el extranjero			
trabajo			
estudios			
otros	102.203	141.020	38,0%
Total Extranjeros	102.203	141.020	38,0%
Total	2.861.830	2.985.410	4,3%

Tabla 9-4: Crecimiento anual acumulado de la movilidad. 2017 - 2030

Motivo	Invierno	Verano
Residentes		
trabajo	0,3%	0,3%
estudios	0,0%	0,2%
otros	1,4%	1,9%
Total Residentes	1,0%	1,5%
Residentes en el extranjero		
Total Extranjeros	2,7%	1,8%
Total	1,0%	1,5%

10. Evaluación de escenarios

10.1 Introducción

Las actuaciones a evaluar se han agrupado en tres escenarios. Para ello, se han elegido, entre las actuaciones evaluadas de forma preliminar, aquellas que aporten mayor rentabilidad social y que son complementarias con el resto de las actuaciones de cada escenario.

Con estas condiciones, se han diseñado tres escenarios de análisis, que se detallan en el apartado 10.3. Las actuaciones de cada uno de ellos han sido introducidas para dos periodos (invierno y verano) en el modelo de redes, y se ha evaluado su impacto en el reparto modal con la aplicación incremental de los modelos de reparto modal.

Adicionalmente, y como referencia para las evaluaciones, se ha conformado un escenario tendencial (ver apartado siguiente).

Dado que una de las actuaciones consiste de la introducción de un sistema de aparcamientos disuasorios (park&ride), se ha introducido un submodelo para estimar la demanda de este modo combinado:

- Mediante las herramientas correspondiente del software emme, se determina, para cada par OD, el aparcamiento que minimiza el coste generalizado de un viaje park&ride, así como el coste generalizado correspondiente.

- Se asume, que solo se produce captación, si el coste generalizado en un par OD es significativamente menor que el de un viaje en transporte público.
- En las relaciones donde es el caso, se estima, con el coste generalizado del park&ride un nuevo reparto entre transporte público y vehículo privado.
- La demanda park&ride se obtiene como el diferencial entre la demanda del transporte público con y sin park&ride.

Para la evaluación de las Zonas de Bajas Emisiones (ZBE, ver Figura 10-1) a establecer, en situación con proyecto, en los centros urbanos de Málaga, Torremolinos, Fuengirola y Mijas, se ha adoptado un procedimiento ad-hoc, y se ha supuesto, en línea con experiencias similares, una reducción de la demanda en vehículo privado de un 15%, para los viajes con origen o destino en las ZBE. Se ha supuesto que esta demanda será captada por el transporte público.

Figura 10-1: Zonas de Bajas Emisiones

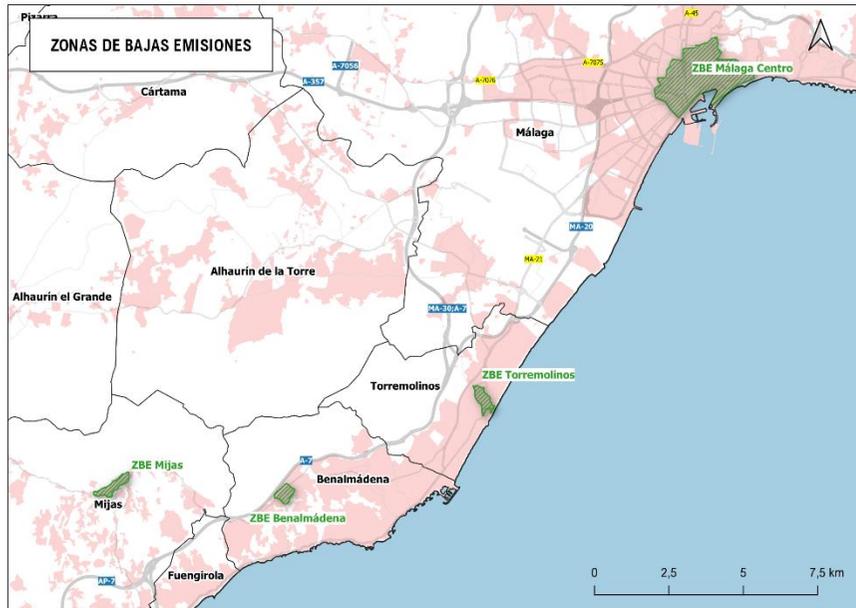
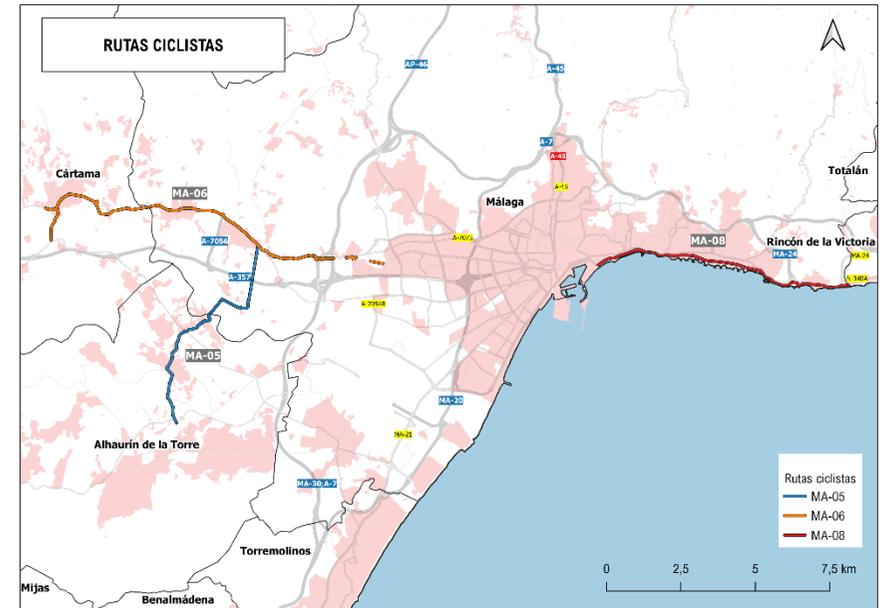


Figura 10-2: Ciclovías proyectadas



Para la evaluación de las tres ciclovías proyectadas (ver figura siguiente), se ha supuesto una captación de demanda al vehículo privado en función de la distancia (<5 km : 5%; 5-10 km: 2,5%; 10-20 km: 1,5%; >20k: sin captación), para los pares OD servidas (a hasta 1 km de la vía) por la nueva infraestructura. La captación máxima aquí utilizada (5%) está en línea con la hallado en análisis¹⁶ de impacto de rutas ciclistas en el reparto modal.

Para mantener la estimación en el lado conservador, se ha supuesto una rápida disminución con la distancia, y no se ha supuesto captación ninguna desde el transporte público.

¹⁶ Ver Sustainability 2018,10, 4768 y The Journal of Transportation and Land Use, 2017, Vol. 10 No.1, paginas 695-713

10.2 Escenario Tendencial

Las actuaciones sobre las infraestructuras de transporte en el escenario tendencial son las siguientes:

- Prolongación de la L1 de Metro hasta Atarazanas (prevista para 2022)
- Prolongación de la L1 de Metro hasta Hospital Civil (soterrado)
- Carretera Campillos-Málaga por Valle del Guadalhorce (A-357), con duplicación de la vía desde el enlace a Villafranco del Guadalhorce hasta Zalea. (7)
- Nueva carretera de conexión A-357-Pizarra
- La mejora de la carretera de conexión entre Coín y Alhaurín el Grande, la variante Norte de Alhaurín el Grande y la mejora de la carretera entre Alhaurín el Grande y Alhaurín de la Torre

Introducidas estas actuaciones en los escenarios de red de verano e invierno, se obtienen, de la aplicación de los modelos de reparto modal, las siguientes demandas según modo de transporte:

Tabla 10-1: Resumen de demanda por modo. 2030

Modo	Invierno	Verano	Variación Verano/Invierno
Residentes			
a Pie	977.782	972.660	-0,5%
Tte. Público	262.010	248.551	-5,1%
Coche Conductor	1.097.873	1.175.472	7,1%
Coche Acompañante	386.134	402.373	4,2%
Bicicleta	35.829	45.335	26,5%
Total Residentes	2.759.627	2.844.391	3,1%
Residentes en el extranjero			
a Pie	29.587	45.362	53,3%
Tte. Público	46.004	54.069	17,5%
Coche Conductor	16.143	25.426	57,5%
Coche Acompañante	8.395	13.124	56,3%
Bicicleta	2.075	3.039	46,5%
Total Extranjeros	102.203	141.020	38,0%
Total	2.861.830	2.985.410	4,3%

Tabla 10-2: Crecimiento anual acumulado de la movilidad según modos.
2017 - 2030

Modo	Invierno	Verano
Residentes		
a Pie	0,6%	1,1%
Tte. Público	2,3%	2,6%
Coche Conductor	1,1%	1,6%
Coche Acompañante	0,7%	1,3%
Bicicleta	0,6%	1,8%
Total Residentes	1,0%	1,5%
Residentes en el extranjero		
a Pie	1,0%	1,0%
Tte. Público	5,6%	3,3%
Coche Conductor	1,0%	1,1%
Coche Acompañante	1,0%	1,0%
Bicicleta	1,0%	1,0%
Total Extranjeros	2,7%	1,8%
Total	1,0%	1,5%

10.3 Escenarios con proyecto

10.3.1 Escenario 1

Tabla 10-3: Actuaciones incluidas en el Escenario 1

Código actuación	Nombre	Tipo de actuación	Año de puesta en servicio
M6 (2)	BRT II hasta El Palo	Bus: Plataforma reservada	2030
C6	Prolongación de las líneas C-1 y C-2 hasta Plaza de la Marina	Cercanías subterráneo	2030
M2 (3)	Cobertura mediante la implantación de lanzadera desde el Hospital Civil hasta Ciudad Jardín	Bus: Plataforma reservada	2030
C1 (1)	Cobertura mediante la implantación de lanzadera entre la estación de Campanillas y el PTA	Bus: carril Bus	2030
C1 (6)	Establecimiento de bicicletas públicas/patinetes eléctricos en el PTA	Otros	2030
A1 (1)	Incluir prioridad semafórica para el transporte público en los tramos urbanos	Bus: carril Bus	2030
A14	Acceso desde la MA-20 por Bulevar Adolfo Suárez	Bus: Plataforma reservada	2030
C7	Fomento de la intermodalidad cercanías/metro/bus interurbano o urbano	Cercanías superficie	2030
V1	Enlace MA-20 con la A-7	Enlace entre autovías (IMD > 40.000)	2030
V7 (1)	Ampliación A-387 hasta Fuengirola	Autovía/autopista	2030
C5	Duplicación de la línea C-1	Cercanías	2030
V6 (1)	Mejora del acceso a la zona de Churriana/Aeropuerto mediante vial distribuidor	Autovía/autopista	2030
V7	Nuevo trazado de conexión Alhaurín el Grande – Cártama – A357 (MA-3304)	Carretera convencional	2030
V9 (1)	Ampliación de la A-404 hasta Churriana	Autovía/autopista	2030
V9 (3)	Conexión desde la A-357 con el PTA	Autovía/autopista	2030
U1	Desdoblamiento Avda. Jiménez Fraud	Carretera convencional	2030
A17	Carril bus en la Explanada de la Estación	Bus: carril Bus	2030
A18	Plataforma bus al Norte	Bus: carril Bus	2030
U2	Park & Ride en zona oeste de la ciudad	Otros	2030
ZBE	Zonas de Bajas Emisiones en Málaga, Torremolinos, Fuengirola y Mijas	Otros	2030
CV	Ciclovías MA-5, MA-6 y MA-8	Bicicleta: ciclovías	2030

10.3.2 Escenario 2

Tabla 10-4: Actuaciones incluidas en el Escenario 2

Código actuación	Nombre	Tipo de actuación	Año de puesta en servicio
M6 (2)	BRT II hasta El Palo	Bus: Plataforma reservada	2030
C6	Prolongación de las líneas C-1 y C-2 hasta Plaza de la Marina	Cercanías subterráneo	2030
M2 (3)	Cobertura mediante la implantación de lanzadera desde el Hospital Civil hasta Ciudad Jardín	Bus: Plataforma reservada	2030
C1 (2)	Modificación del trazado de la línea C-2 entre Campanillas y Estación de Cártama	Cercanías superficie	2030
C1 (3)	Cobertura del PTA mediante prolongación de la línea 1 de metro	Metro en superficie	2030
C1 (1)	Cobertura mediante la implantación de lanzadera entre la estación de Campanillas y el PTA	Bus: carril Bus	2030
A4	Cobertura mediante la ejecución de un carril BUS-VAO entre la Avda. Andalucía) y la A-7	Bus: Mixto	2030
C1 (6)	Establecimiento de bicicletas públicas/patinetes eléctricos en el PTA	Otros	2030
A1 (1)	Incluir prioridad semafórica para el transporte público en los tramos urbanos	Bus: carril Bus	2030
A14	Acceso desde la MA-20 por Bulevar Adolfo Suárez	Bus: Plataforma reservada	2030
C7	Fomento de la intermodalidad cercanías/metro/bus interurbano o urbano	Cercanías superficie	2030
V1	Enlace MA-20 con la A-7	Enlace entre autovías (IMD > 40.000)	2030
V7 (1)	Ampliación A-387 hasta Fuengirola	Autovía/autopista	2030
C5	Duplicación de la línea C-1	Cercanías	2030
V6 (1)	Mejora del acceso a la zona de Churriana/Aeropuerto mediante vial distribuidor	Autovía/autopista	2030
V7	Nuevo trazado de conexión Alhaurín el Grande – Cártama – A357 (MA-3304)	Carretera convencional	2030
V9 (1)	Ampliación de la A-404 hasta Churriana	Autovía/autopista	2030
V9 (3)	Conexión desde la A-357 con el PTA	Autovía/autopista	2030
U1	Desdoblamiento Avda. Jiménez Fraud	Carretera convencional	2030
A17	Carril bus en la Explanada de la Estación	Bus: carril Bus	2030
A18	Plataforma bus al Norte	Bus: carril Bus	2030
U2	Park & Ride en zona oeste de la ciudad	Otros	2030
ZBE	Zonas de Bajas Emisiones en Málaga, Torremolinos, Fuengirola y Mijas	Otros	2030
CV	Ciclovías MA-5, MA-6 y MA-8	Bicicleta: ciclovías	2030

Debe tenerse en cuenta, que los modelos de asignación son modelos diarios. Por ello no pueden captar problemas de capacidad en las horas punta, y por tanto podrían sobreestimar la captación de actuaciones donde la demanda en las horas punta supere la oferta de transporte, como podría ser el caso de la prolongación de la línea 1 de metro hasta el PTA (código C1 (3)).

10.3.3 Escenario 3

Tabla 10-5: Actuaciones incluidas en el Escenario 3

Código actuación	Nombre	Tipo de actuación	Año de puesta en servicio
M6 (3)	Aumento de la frecuencia de bus urbano zona Este	Bus: Mixto	2030
M5 (3)	Incrementar la oferta actual de líneas interurbanas zona Este	Bus: Mixto	2030
M4 (3)	Aumento de la frecuencia de bus urbano zona Centro	Bus: Mixto	2030
C1 (5)	Incrementar/establecer oferta de líneas urbanas/interurbanas	Bus: carril Bus	2030
A4 (1)	Aumento de capacidad de la A-357	Autovía/autopista	2030
A2	Acceso norte al PTA desde la estación de RENFE Campanillas	Bus: carril Bus	2030
V9 (2)	Conexión Hiperronda con el PTA sobre el río Campanillas	Carretera convencional	2030
C1 (6)	Establecimiento de bicicletas públicas/patinetes eléctricos en el PTA	Otros	2030
A1 (1)	Incluir prioridad semafórica para el transporte público en los tramos urbanos	Bus: carril Bus	2030
A14	Acceso desde la MA-20 por Bulevar Adolfo Suárez	Bus: Plataforma reservada	2030
C7	Fomento de la intermodalidad cercanías/metro/bus interurbano o urbano	Cercanías superficie	2030
V1	Enlace MA-20 con la A-7	Enlace entre autovías (IMD > 40.000)	2030
V7 (1)	Ampliación A-387 hasta Fuengirola	Autovía/autopista	2030
C5 (1)	Incrementar la oferta de la línea M-113	Bus: Mixto	2030
V6 (1)	Mejora del acceso a la zona de Churriana/Aeropuerto mediante vial distribuidor	Autovía/autopista	2030
V7	Nuevo trazado de conexión Alhaurín el Grande – Cártama – A357 (MA-3304)	Carretera convencional	2030
V9	Duplicación de la carretera A-7052 desde Cártama a Alhaurín de la Torre	Carretera convencional	2030
V9 (1)	Ampliación de la A-404 hasta Churriana	Autovía/autopista	2030
V9 (3)	Conexión desde la A-357 con el PTA	Autovía/autopista	2030
U1	Desdoblamiento Avda. Jiménez Fraud	Carretera convencional	2030
V11	Conexión desde Cártama a Alhaurín de la Torre	Carretera convencional	2030
A17	Carril bus en la Explanada de la Estación	Bus: carril Bus	2030
A18	Plataforma bus al Norte	Bus: carril Bus	2030
V10	Nueva vía perimetral del Á. M. de Málaga	Autovía/autopista	2030
V12	Conexión Alhaurín de la Torre-Autovía de la Costa	Carretera convencional	2030
U2	Park & Ride en zona oeste de la ciudad	Otros	2030
ZBE	Zonas de Bajas Emisiones en Málaga, Torremolinos, Fuengirola y Mijas	Otros	2030
CV	Ciclovías MA-5, MA-6 y MA-8	Bicicleta: ciclovías	2030

10.4 Resultados de la evaluación

La tabla siguiente recopila los datos más significativos de demanda y oferta para cada uno de los escenarios. Cabe resaltar, que los datos de demanda aquí reflejados incluyen la calibración llevada al cabo con el modelo de redes, por lo que son algo más elevados que los datos sin aplicar la calibración.

Tabla 10-6: Comparación de datos de demanda y oferta. Escenarios Tendencial y Con proyecto (E1, E2 y E3).

	Modo	Tendencial 2030		E1 2030		E2 2030		E3 2030	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Demanda	Transporte público	277.521	261.824	326.030	311.270	331.678	316.944	331.638	315.003
	Vehículo privado - conductor	1.181.128	1.284.424	1.135.697	1.235.696	1.131.766	1.232.007	1.132.104	1.232.061
	Vehículo privado - acompañante	416.154	448.197	401.660	432.175	400.842	431.360	400.781	431.040
	Pie	1.007.368	1.018.022	1.008.621	1.020.598	1.008.004	1.020.120	1.005.857	1.020.120
	Bicicleta	37.904	48.374	39.284	51.059	39.263	51.032	39.137	50.996
	Park&ride			7.191	7.636	6.994	7.486	7.162	7.486
	TOTAL		2.920.075	3.060.841	2.919.885	3.060.617	2.918.547	3.058.949	2.916.680
Viaj.-km	Bus urbano	673.024	568.351	782.612	672.109	734.577	635.379	757.702	653.478
	Bus interurbano	627.991	615.133	694.017	692.818	665.309	659.337	686.769	696.780
	Metro	111.367	78.718	132.123	100.169	205.842	155.616	201.947	154.105
	Cercanías	600.060	761.619	814.780	1.058.645	889.275	1.155.956	804.041	1.036.526
	Vehículo privado	14.472.770	17.304.712	13.901.915	16.611.579	13.834.089	16.540.968	13.856.336	16.572.017
	TOTAL		16.485.211	19.328.533	16.476.936	19.316.702	16.329.091	19.147.256	16.306.795
Veh.-km	Bus urbano	30.669	30.303	30.669	30.303	30.669	30.303	30.669	30.303
	Bus interurbano	24.065	23.674	24.140	23.749	24.140	23.749	24.140	23.749
	Metro	3.445	3.445	5.666	5.666	7.193	7.193	7.193	7.193
	Cercanías	4.218	4.218	5.324	5.324	7.459	7.459	7.459	7.459
	Vehículo privado	11.031.909	13.002.588	10.585.606	12.476.205	10.529.428	12.418.036	10.552.126	12.454.238
	TOTAL		11.094.306	13.064.228	11.090.365	13.058.055	10.598.889	12.486.740	10.621.587
Viaj.-	Transporte público	200.806	193.135	233.307	228.106	234.472	228.555	233.025	227.932
	Vehículo privado	508.281	596.643	475.426	555.680	473.240	553.505	474.200	555.061
	TOTAL		709.087	789.779	703.337	786.232	707.712	782.060	707.225
Etapas Tte.	Bus urbano	190.079	162.080	227.446	196.928	221.940	192.588	227.490	196.869
	Bus interurbano	70.544	68.515	78.696	77.514	76.283	74.676	77.937	77.553
	Metro	29.302	21.482	36.564	28.746	44.877	35.022	44.272	34.824
	Cercanías	40.811	53.713	55.350	73.351	63.392	82.959	56.511	73.583
	TOTAL		330.736	305.789	331.594	306.669	406.492	385.245	406.210

10.5 Resultados de la evaluación con actuaciones incorporadas en el proceso de alegaciones

Durante el proceso de alegaciones, al escenario E1 se incorporaron dos actuaciones adicionales: una línea de autobús que une Alhaurín de la Torre con el aeropuerto, y una plataforma reservada para autobuses en la A-357. Adicionalmente se amplió la actuación de Park&Ride en dos instalaciones adicionales en Ciudad Jardín y Arroyo de Totalán. Con estas actuaciones los datos más significativos de demanda y oferta del Escenario E1 son los siguientes:

Tabla 10-7: Comparación de datos de demanda y oferta. Escenarios Tendencial y Con proyecto (E1 con alegaciones).

	Modo	Tendencial 2030		E1 con alegaciones 2030	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano
Demanda	Transporte público	277.521	261.824	327.002	312.869
	Vehículo privado - conductor	1.181.128	1.284.424	1.133.415	1.232.161
	Vehículo privado - acompañante	416.154	448.197	401.247	431.449
	Pie	1.007.368	1.018.022	1.008.336	1.020.139
	Bicicleta	37.904	48.374	39.247	50.801
	Park&ride			7.890	7.841
	TOTAL		2.920.075	3.060.841	2.917.137
Viaj.-km	Bus urbano	673.024	568.351	783.774	669.681
	Bus interurbano	627.991	615.133	702.832	721.445
	Metro	111.367	78.718	129.640	97.832
	Cercanías	600.060	761.619	820.139	1.064.537
	Vehículo privado	14.472.770	17.304.712	13.861.139	16.527.532
	TOTAL		16.485.211	19.328.533	16.297.524
Veh.-km	Bus urbano	30.669	30.303	30.669	30.303
	Bus interurbano	24.065	23.674	25.646	25.255
	Metro	3.445	3.445	5.666	5.666
	Cercanías	4.218	4.218	5.324	5.324
	Vehículo privado	11.031.909	13.002.588	10.548.463	12.403.133
	TOTAL		11.094.306	13.064.228	10.615.768
Viaj.-	Transporte público	200.806	193.135	233.405	228.251
	Vehículo privado	508.281	596.643	474.060	553.147
	TOTAL		709.087	789.779	707.464
Etapas Tte.	Bus urbano	190.079	162.080	228.156	196.822
	Bus interurbano	70.544	68.515	79.646	78.760
	Metro	29.302	21.482	36.223	28.305
	Cercanías	40.811	53.713	56.090	73.959
	TOTAL		330.736	305.789	400.115