

Plan de Transporte Metropolitano de Jaén

Plan de Movilidad Sostenible



ANEXO 6: Modelización



Contenido

1.	Introducción	1
1.1.	Objetivos	1
1.2.	Metodología.....	1
2.	Modelización	3
2.1.	Modelo de Generación	3
2.2.	Modelo de Atracción.....	4
2.3.	Modelo de Distribución.....	6
2.4.	Reparto Modal	8
2.4.1.	Calibrado del Modelo	8
2.5.	Modelo de Asignación de Transporte Público	13
2.5.1.	Red de Transporte Público.....	13
2.5.2.	Matriz de Viajes	16
2.5.3.	Proceso de Asignación	16
2.5.4.	Calibrado del Modelo	16
2.5.5.	Escenarios Futuros.....	20
2.5.6.	Escenarios Considerados	21
2.5.7.	Análisis Comparativo entre Escenarios.....	26
2.6.	Modelo de Asignación de Vehículo Privado.....	29
2.6.1.	Metodología	29
2.6.2.	Matrices Origen – Destino	34
2.6.3.	Calibración	34
2.6.4.	Validación del Modelo	35

Índice de Tablas

Tabla 1.	Análisis de sensibilidad del modelo de generación	3
Tabla 2.	Análisis de sensibilidad del modelo de atracción.....	5
Tabla 3.	Coste del viaje en vehículo privado.....	9
Tabla 4.	Aplicación del proceso de regresión logística	9
Tabla 5.	Hipótesis consideradas en el calibrado del modelo de reparto modal..	10
Tabla 6.	Probabilidad de elección de modo en función de las hipótesis consideradas	11
Tabla 7.	Análisis de elasticidad del modelo de reparto modal	12
Tabla 8.	Oferta actual de transporte público	15
Tabla 9.	Resultados de demanda a nivel corredor.....	18
Tabla 10.	Resumen de la demanda diaria en líneas urbanas y metropolitanas ..	19
Tabla 11.	Resumen de la demanda por corredores metropolitanos	19
Tabla 12.	Resultados del escenario 1	21
Tabla 13.	Resumen de los resultados del escenario 1	22
Tabla 14.	Resultados del escenario 2	23
Tabla 15.	Resumen de los resultados del escenario 2	23
Tabla 16.	Resultados del escenario 3.....	24
Tabla 17.	Resumen de los resultados del escenario 3	24
Tabla 18.	Remodelación de la red de transporte urbana en el escenario 4	25
Tabla 19.	Resultados del escenario 4.....	26
Tabla 20.	Resumen de los resultados del escenario 3	26
Tabla 21.	Matrices utilizadas en cada escenario.....	26
Tabla 22.	Desglose de viajes de la matriz futura.....	27
Tabla 23.	Aumento del número de etapas en los distintos escenarios	27

Tabla 24. Aumento del número de etapas en valores porcentuales en los distintos escenarios	27
Tabla 25. Distribución porcentual de viajes por modo.....	27
Tabla 26. Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 4	28
Tabla 27. Clasificación Modelos de Asignación	30
Tabla 28. Tipología de Arcos de Red.....	32
Tabla 29. Capacidad en v/h de vías urbanas de doble sentido de circulación.	32
Tabla 30. Parámetros según tipología de arcos.....	33
Tabla 31. Aforos en la red viaria general.	35
Tabla 32. Aforos Realizados para el PTMAJ en la ciudad de Jaén.....	35
Tabla 33. Valores GEH.....	37

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Elasticidad del modelo de reparto modal.	12
Ilustración 2: R2 obtenido para el modelo obtenido contabilizando exclusivamente líneas urbanas.	20
Ilustración 3: R2 obtenido para el modelo obtenido contabilizando líneas urbanas y metropolitanas.	20
Ilustración 4: Plan Reordenación del Tráfico del Centro de Jaén.	29
Ilustración 5: Detalle de Red.	31
Ilustración 6: Detalle de Red.	32
Ilustración 7: Representación Funciones Volumen – Demora.	33
Ilustración 8: Ajuste del Modelo.	36
Ilustración 9: Volúmenes de Vehículos en Hora Punta.....	38
Ilustración 10: Relación Intensidad / Capacidad en hora punta.	40

1. Introducción

El presente anexo recoge la modelización realizada en el marco del PTMAJ correspondiente a la **implantación del nuevo modo de transporte: Tranvía de Jaén**.

1.1. Objetivos

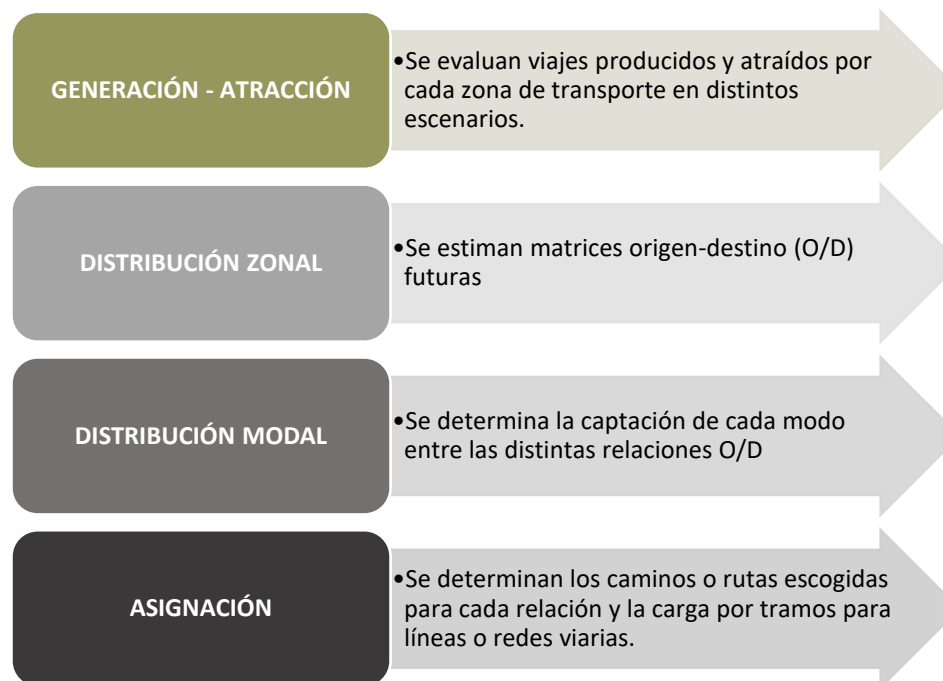
Esta fase de trabajo atiende a la finalidad específica de poner a disposición del planificador una herramienta que permita alcanzar los dos objetivos siguientes:

- Estimar la movilidad asociada a los desarrollos socioeconómicos, urbanísticos y territoriales previstos en el área de estudio.
- Evaluar los efectos sobre la movilidad de la puesta en funcionamiento del tranvía de Jaén.

Es decir, se trata, por un lado, de conocer cuáles serán las demandas nuevas de movilidad que aparecerán como consecuencia del proceso de desarrollo socioeconómico y urbanístico previsto durante el horizonte temporal del Plan y, por otro, simular cómo reaccionará la demanda ante la propuesta de incorporar el tranvía al sistema de transporte en el área de Jaén, para, mediante simulaciones sucesivas de estrategias alternativas (escenarios considerados) optimizar el sistema desde el punto de vista de la eficiencia social, de los recursos públicos comprometidos y de la sostenibilidad.

1.2. Metodología

La metodología utilizada para construir los modelos de demanda consta de las siguientes fases: En primer lugar, se obtiene la matriz Origen/Destino de transporte público diaria, para el año base a partir de la información recopilada en la EDJ18. Una vez obtenida se procede a la realización del **modelo de cuatro etapas** siguiendo el siguiente **esquema metodológico**:



Se ha considerado 2018 como año base. Para ello con la zonificación propuesta, se obtiene la matriz de transporte derivada de la EDJ18 que constituye la base para determinar la demanda de la red y las relaciones O/D en el ámbito de estudio.

La demanda de un día laborable tipo alcanza los **23.989 viajes/día en transporte público**.

A partir de las matrices de viajes y de los datos socioeconómicos existentes se elaboran los **modelos de generación y atracción** de viajes de cada una de las zonas de transporte definidas.

El siguiente paso es definir un **modelo de distribución** de viajes, de forma que se puedan obtener los viajes en escenarios sucesivos en función de las variables socioeconómicas apropiadas de funcionamiento.

Con las encuestas de Preferencias Declaradas se ha calibrado el **modelo de reparto modal**, de tal forma que hace posible evaluar el trasvase de usuarios del vehículo privado al nuevo modo de transporte.

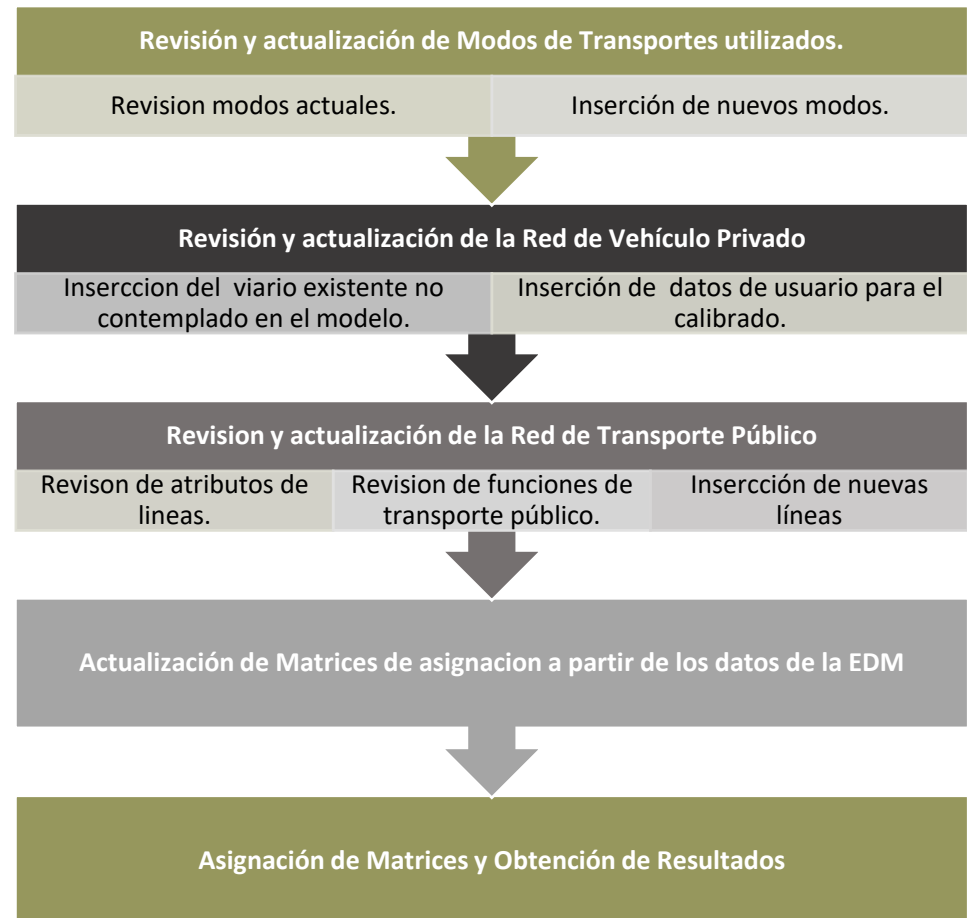
Con toda la información anterior, se ha construido el **modelo de asignación**, que constituye la cuarta etapa del modelo, este se realiza sobre un **modelo de redes**, que permite definir la demanda final de viajeros para el Sistema de Transporte Masivo para los diferentes años horizontes. La construcción del grafo de red se realiza utilizando para ello datos GIS y de modelos anteriores de la red viaria añadiéndole las rutas de transporte público más actuales.

El soporte lógico utilizado para simular el comportamiento de la red ha sido **PTV VISUM** que permite almacenar, visualizar, tratar y analizar datos, teniendo aplicaciones para todos los modos de transporte y para cualquier escala o nivel de detalle para la asignación a la red y la obtención de los datos futuros de demanda.

El modelo elaborado permite estimar los repartos de la demanda según las diferentes configuraciones de dicha red en escenarios futuros, en los que se contempla la reordenación de la red de transporte público tanto urbana como metropolitana, esta última por la creación de la estación intermodal al norte de la ciudad.

En el esquema adjunto se muestra el proceso realizado para la modelización:

Plan de Transporte Metropolitano de Jaén. Plan de Movilidad Sostenible



2. Modelización

2.1. Modelo de Generación

La formulación general de esta tipología de modelos es:

$$G_i^n = k + \sum a_i * V_i^n$$

Dónde:

- G_i^n : Viajes generados por la zona **i** por el motivo **n**
- V_i^n : Variables explicativas a introducir según motivos **n**
- k, a_i : Son los parámetros a ajustar

Los valores de las variables explicativas se han obtenido de la EDJ18 y se ha considerado como variable dependiente los viajes generados y las columnas con las variables explicativas de generación: **población** (mayor de 15 años) y **motorización** de forma que se obtienen los siguientes resultados:

Regression Analysis

OVERALL FIT			
Multiple R	0,99873956	AIC	167,176588
R Square	0,99748071	AICc	171,176588
Adjusted R Square	0,99685088	BSC	167,781758
Standard Error	3906,51579		
Observations	10		

ANOVA		Alpha		0,05		
	df	SS	MS	F	p-value	sig
Regression	2	48338703572	2,4169E+10	1583,74711	4,0282E-11	yes
Residual	8	122086924,8	15260865,6			
Total	10	48460790496				

	coeff	std err	t stat	p-value	lower	upper	vif
POB_2017	1,68136687	1,730065919	0,97185133	0,3595879	-2,30817229	5,67090603	593,151907
MOTO EDM	0,93516681	2,068794872	0,45203457	0,66324864	-3,83548272	5,70581634	593,151907

Con estos datos, la expresión matemática que representaría los viajes generados por cada zona quedaría de la siguiente forma:

$$G_i = 1,68136687 * P_i + 0,93516681 * M_i$$

Dónde:

- G_i : Viajes generados por la zona **i** en un día laborable.
- P_i : Población residente en la zona **i** mayor de 15 años
- M_i : número de vehículos privados de los residentes en la zona **i** de la EDM

Conclusiones de los análisis llevados a cabo:

El valor de R2 ajustado resulta = 0,99.

Análisis de sensibilidad: si se aumenta la población un 2% y se mantiene el nivel de motorización, el número de viajes aumenta un 0,52%. Si se aumenta el nivel de motorización un 2% y se mantiene constante la población, el número de viajes aumenta un 1,48%. Si se aumentan las dos variables un 2%, el número de viajes crece un 2%, lo que demuestra la correcta sensibilidad del modelo.

	VIAJES	POB_2016 >15 años EDM	MOTORIZACI ON EDM	TODAS LAS VARIABLES
Total general	591.670	241.677	203.813	
Mas 2%		246.510	207.890	
Viajes total		605.074	600.759	608.886
Diferencia		1,36%	0,64%	2,00%
TOTAL VIAJES MODELO	596.947			

Tabla 1. Análisis de sensibilidad del modelo de generación

Fuente: Elaboración propia

2.2. Modelo de Atracción

En este caso la formulación general de estos tipos de modelos es:

$$A_i^n = k + \sum a_i * V_i^n$$

Dónde:

- A_i^n : Viajes atraídos por la zona i por el motivo n
- V_i^n : Variables explicativas a introducir según motivos n
- k, a_i : Son los parámetros a ajustar

Los valores de las variables explicativas se han obtenido de tres fuentes principales: la Encuesta Domiciliaria de Movilidad 2018, el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y la Universidad de Jaén. Se ha considerado como variable dependiente los viajes atraídos y las columnas con las variables explicativas de atracción: **alumnos matriculados en centros educativos y universidad**, del IECA y la Universidad y **lugar de trabajo** declarado en la EDM. En el caso de la variable alumnos, esta se ha distribuido porcentualmente en el ámbito interno de Jaén en función de la distribución del lugar de estudios declarado en la EDM; de forma que se obtienen los siguientes resultados:

Regression Analysis

OVERALL FIT

Multiple R	0.98106587	AIC	193.248744
R Square	0.96249024	AICc	197.248744
Adjusted R Square	0.95311281	BSC	193.853914
Standard Error	14385.9739		
Observations	10		

ANOVA

	df	SS	MS	F	p-value	sig
Regression	2	42483533063	2.1242E+10	102.638925	1.9796E-06	yes
Residual	8	1655649955	206956244			
Total	10	44139183018				

	coeff	std err	t stat	p-value	lower	upper	vif
LUGAR DE TRABAJO	9.2782743	2.107690271	4.4021052	0.00228033	4.41793182	14.1386168	3.10920875
ALUMNOS MATRICULADOS	0.22640636	1.710234495	0.13238322	0.8979503	-3.71740146	4.17021418	3.10920875

La formulación final del modelo seleccionado es:

$$A_j = 9,2782 * E_{mj} + 0,2264 * E_{sj}$$

Dónde:

- A_j : total de viajes atraídos por la zona j
- E_{mj} : lugar de trabajo en la zona j
- E_{sj} : número de alumnos matriculados en la zona j

Conclusiones de los análisis llevados a cabo:

El valor de R2 ajustado resulta = 0,95.

Análisis de sensibilidad: si se aumenta el número de lugares de trabajo un 2% y se mantiene el número de alumnos matriculados, el número de viajes aumenta un 1,94%. Si se aumenta el número de alumnos matriculados un 2% y se mantiene constante el número de lugares de trabajo, el número de viajes aumenta un 0,06%. Si se aumentan las dos variables un 2%, el número de viajes crece un 2%, lo que demuestra la correcta sensibilidad del modelo.

	VIAJES ATRAIDOS	LUGAR DE TRABAJO	ALUMNOS MATRICULADOS	TODAS LAS VARIABLES
Total general	569.469	59.161	69.943	
Mas 2%		60.344	71.342	
Viajes total		575.725	565.063	576.042
Diferencia		1,94%	0,06%	2,00%
TOTAL VIAJES MODELO	564.747			

Tabla 2. Análisis de sensibilidad del modelo de atracción

Fuente: Elaboración propia

2.3. Modelo de Distribución

El modelo de distribución se basa en el principio de que el flujo de viajes V_{ij} entre una zona origen i y una zona destino j , es proporcional a la generación de viajes de la zona origen i , a la atracción de la zona destino j e inversamente proporcional a la distancia que les separa o coste de transporte:

$$V_{ij} = G_i * A_j * f(c_{ij})$$

Dónde:

- V_{ij} : Flujo de viajes entre el origen i y el destino j
- G_i : Viajes generados por la zona i
- A_j : Viajes atraídos por la zona j
- $f(c_{ij})$: Función decreciente de la fricción, dificultad o coste de relación entre i y j

En los modelos aplicados a un sólo modo de transporte, el factor fricción, habitualmente empleado, es el denominado coste generalizado de transporte:

$$C_{ij} = a * t_{ij} + b * d_{ij} + c * p_{ij}$$

Dónde:

- C_{ij} : Costo generalizado del transporte entre i y j
- t_{ij} : Tiempo de transporte entre i y j
- d_{ij} : distancia de viaje entre i y j
- p_{ij} : Precio del viaje entre i y j

Mientras que, si el modelo se aplica a varios modos de transporte, el factor fricción será el coste generalizado ponderado:

$$C_{ij} = \sum p_k * C_{ij}^k$$

Dónde:

- C_{ij} : Costo generalizado ponderado del transporte entre i y j
- p_k : Porcentaje de viajes en el modo k
- C_{ij}^k : Coste generalizado de transporte en la relación i - j en el modo k

Las formulaciones más habituales son:

A. Función potencial (también llamados gravitatorios)

$$V_{ij} = \alpha * \frac{g_i * a_j}{C_{ij}^\beta}$$

B. Función exponencial

$$V_{ij} = \alpha * g_i * a_j * e^{-\beta * C_{ij}} * C_{ij}^{-\gamma}$$

O su simplificada:

$$V_{ij} = \alpha * g_i * a_j * e^{-\beta * C_{ij}}$$

Los valores calculados no satisfacen las condiciones de borde, pues en principio:

$$g_i \neq \sum_j V_{ij}$$

$$a_j \neq \sum_i V_{ij}$$

Por lo que es preciso proceder a correcciones:

- 1) Método de los mínimos cuadrados
- 2) Por sucesivas iteraciones

Hasta asegurar que sean mínimas las diferencias, a nivel zona, entre los viajes generados y atraídos observados y los derivados del modelo.

El modelo empleado está basado en los modelos gravitatorios, siendo la expresión de los mismos de la forma:

$$V_{ij} = \alpha_1 * \frac{G_i^{\alpha_2} * A_j^{\alpha_3}}{t_{ij}^{\alpha_4}}$$

Las variables utilizadas en este modelo son:

- V_{ij} : viajes realizados entre la zona i y la zona j del ámbito de estudio. Es la variable dependiente del modelo
- Constante α_1 : se considera para recoger los efectos insensibles a variaciones en el número de viajes de cada zona. Es el número de viajes que se realizaría si ninguna variable tuviese efecto en los viajes generados y atraídos.
- G_i : variable explicativa, relacionada directamente con la población y la motorización de la zona de origen i.
- A_j : variable explicativa, relacionada directamente con el número de empleos y de plazas educativas de la zona destino j.
- t_{ij} : Se ha incluido la variable tiempo de viaje en vehículo privado entre las zonas i y j, obtenido del modelo de asignación, como indicador del coste que supone a los individuos desplazarse de una zona a otra.

Para poder llevar a cabo la estimación de los diferentes parámetros que influyen en cada una de las variables mencionadas anteriormente (α_i), se especifica un modelo lineal mediante transformación logarítmica. De esta forma, se consiguen los siguientes aspectos:

- Aumentar la sencillez operativa del modelo sin perder capacidad explicativa de la misma.
- Los valores estimados se corresponden con el valor de la elasticidad de la variable explicativa y la variable dependiente, indicando la variación unitaria de la variable dependiente frente a la variable independiente.

Por lo tanto, el modelo a estimar finalmente resulta ser el siguiente:

$$\ln(V_{ij}) = a + \alpha_2 * \ln(G_i) + \alpha_3 * \ln(A_j) + \alpha_4 * \ln(t_{ij})$$

Los datos utilizados en el modelo se han obtenido de la encuesta domiciliaria realizada ad-hoc para el presente estudio de movilidad. De dicha encuesta se han obtenido, mediante los correspondientes coeficientes de expansión, los datos necesarios para cada par de zonas con viajes realizados mayores que 0. La base que se ha utilizado son los modelos de Generación y Atracción ya obtenidos en la etapa anterior. De esta manera, se pueden obtener los valores de las variables utilizadas.

En cuanto a los costes a utilizar, se ha empleado el tiempo de viaje a partir de los datos que ofrece el servicio Google Maps Distance Matrix API que proporciona la distancia y el tiempo de viaje para una matriz de orígenes y destinos, según la ruta recomendada entre el comienzo y los puntos finales, esta aplicación se explica con más detalle en modelo de reparto modal.

El número de observaciones utilizadas para su estimación es de 1491 casos, siendo el resultado el que se presenta a continuación:

Regression Analysis

OVERALL FIT

Multiple R	0.990619961	AIC	-1077.73103
R Square	0.981327907	AICc	-1077.70412
Adjusted R Square	0.981290262	BSC	-1061.80943
Standard Error	0.695991958		
Observations	1491		

ANOVA

	df	SS	MS	F	p-value	sig
Regression	3	37881.9669	12627.3223	26067.7065	0	yes
Residual	1488	720.79435	0.48440481			
Total	1491	38602.7612				

	coeff	std err	t stat	p-value	lower	upper	vif
Ln (Generacion)	0.364722854	0.01379253	26.443506	1.24E-126	0.33766798	0.39177772	1.15091901
Ln(Atraccion)	0.323179055	0.01318944	24.5028567	1.154E-111	0.29730718	0.34905093	1.07406356
Ln(Tiempo viaje ij)	-0.390852705	0.02884078	-13.5520872	1.5399E-39	-0.4474256	-0.33427981	1.18324982

Analizando los coeficientes, se observa como la elasticidad de la variable de generación es de 0,364, frente a la elasticidad de la variable de atracción, con un valor de 0,323. Tal y como se esperaba, los signos son positivos en ambos casos. El coeficiente de la variable tiempo es negativa (a mayor tiempo de viaje, menos viajes se producen) de valor 0,39.

Así, el modelo de distribución final queda:

$$V_{ij} = \frac{G_i^{0,3647} * A_j^{0,3231}}{t_{ij}^{0,3908}}$$

2.4. Reparto Modal

El objetivo de este modelo es **estimar las alteraciones producidas en la demanda de los modos de transporte al modificarse las condiciones de oferta del sistema**, mediante un enfoque desagregado. Estos modelos suponen que la demanda de cada modo es el resultado de la elección de cada individuo de la población considerada entre un conjunto finito de alternativas, seleccionando cada individuo la alternativa asociada con el máximo de utilidad.

Para el calibrado y ajuste del modelo de reparto modal que permita estimar el trasvase de viajeros, en alguna de sus etapas, del vehículo privado al tranvía, se ha tomado como principal fuente de datos los resultados de la EPD a usuarios del vehículo privado realizada al efecto. El modelo se ha calibrado a partir de estos resultados a nivel individual, considerado como variables independientes los tiempos de viajes y costes medios de desplazamiento en los modos considerados entre los municipios que configuran el ámbito de estudio.

2.4.1. Calibrado del Modelo

Del total de encuestas realizadas se han tenido que eliminar respuestas a nivel individuo que pudiesen introducir anomalías y que, por lo tanto, los resultados del modelo no sean apropiados. Entre los motivos por lo que se hace necesario dejar fuera de la muestra a estos individuos destacan los siguientes:

- Encuestados que no han entendido el experimento o no lo haya tomado en serio.
- Respuestas sesgadas (sesgo de justificación, sesgo de política, etc.)
- Elección siempre del mismo modo de transporte aunque los niveles de los distintos atributos varíen significativamente.

Debido a ello, y a partir de una primera estimación, se han eliminado fundamentalmente respuestas que resultan incoherentes entre sí, de modo que tras su eliminación se empiezan a obtener los signos esperados en los coeficientes.

En este primer ensayo, objeto del presente documento, el número final de registros utilizados para la calibración del modelo es de 2.124 registros satisfactorios.

Classification Table

	Suc-Obs	Fail-Obs	
Suc-Pred	1321	803	2124
Fail-Pred	0	0	0
	1321	803	2124

A partir de los datos de la EPD, en el que se indica el origen y destino del viaje, el modo que el individuo declara que utilizaría en función de las hipótesis planteadas y el tiempo de viaje en modo privado; se han calculado para las distintas alternativas las diferencias de costo y de tiempo entre modos.

El costo del transporte en ambos modos se obtiene de la siguiente forma:

Para el transporte público el coste base es de 1€ que oscila al alza o a la baja en función de las alternativas analizadas.

El coste del viaje en vehículo privado, dado que es un valor subjetivo de cada encuestado, se estima teniendo en cuenta los costes por kilómetro que supone la utilización de un vehículo privado a partir de los siguientes valores de referencia:

COSTE DEL VIAJE EN VEHÍCULO PRIVADO		
Costo Medio Combustible	1,19	€/litro

Consumo	8	l/100km
Mantenimiento	0,3	€/km
Costo x km aplicado	0,40	€/km

Tabla 3. Coste del viaje en vehículo privado

Fuente: Elaboración propia

A partir del tiempo de viaje declarado se estima la distancia recorrida tomando como velocidad media, 18 Km/h obtenida esta cifra a partir de los datos que ofrece el servicio Google Maps Distance Matrix API que proporciona la distancia y el tiempo de viaje para una matriz de orígenes y destinos, según la ruta recomendada entre el comienzo y los puntos finales.

La información de tráfico de Google se obtiene por medio de crowdsourcing, una tendencia que en la actualidad lidera el tema de obtención de grandes volúmenes de información, a partir de la información disponible en dispositivos móviles. Google obtiene la información de ubicación de cada uno de los dispositivos móviles (aquellos con sistema operativo Android o con aplicaciones de Google maps) que se encuentran en funcionamiento.

Google almacena la información de localización de los usuarios de Android y de aplicaciones de Google maps. Con esta información de localización, Google puede determinar la velocidad a la que se están moviendo sus usuarios, así como el tramo vial en el que se están moviendo. Luego de esto, Google calcula la velocidad promedio para cada tramo en cada instante de tiempo (la información se actualiza cada segundo).

De este modo el modelo que permite unos mejores resultados, obteniendo un coste del tiempo razonable, se presenta con una velocidad de 18 km/h y un coste en vehículo de 0,40 €/km.

Una vez obtenidos todos los valores necesarios se obtienen las diferencias de tiempo a partir de las respuestas dadas a las alternativas ofrecidas en la EPD y de costos entre modos. De esta forma se obtiene una tabla, que permite aplicar el proceso de regresión logística, en la que se presenta una primera columna con la diferencia de coste, otra columna con la diferencia de tiempo de viaje y una

tercera columna con la opción que haya elegido el encuestado, siendo el valor 0, si el usuario ha elegido el vehículo privado, y, el valor 1, si su elección es el tranvía.

ID Contacto	Diferencia Tiempos	Diferencia Costes	OPINION
13499416	-2,2500	-0,4784	1
13499756	-1,5000	-0,1856	1
13500013	0,0000	-2,2640	0
13500040	0,0000	-0,4856	1
13500054	-1,5000	-0,1856	0
13500304	0,0000	-0,4856	0
13500444	-1,5000	-0,1856	0
13500490	-1,5000	-0,1856	1
13500584	-2,2500	-0,4784	0
13500602	0,0000	-0,4784	1
13500624	-1,5000	-0,1856	1
13500629	0,0000	-0,4856	1

Tabla 4. Aplicación del proceso de regresión logística

Fuente: Elaboración propia

Empleando como herramienta estadística el complemento de Excel Real Statistics, se ha realizado una serie de regresiones logísticas de las cuales se recibe la información necesaria para crear esos modelos y conocer su fiabilidad. El modelo se basa en la idea que las variables independientes tratan de predecir la probabilidad que ocurra algo sobre la probabilidad que no-ocurra, que utilice un modo TP en vez del otro VP. Para decidir cuál es el modelo mejor, se ha procedido a analizar los porcentajes de acierto que pronostica el modelo creado, así como los coeficientes del mismo.

A continuación, se presentan los datos más interesantes del modelo que se ha considerado más apropiado, elegido por el buen funcionamiento, valores de los estimadores y elasticidades analizadas.

	coeff b	s.e.	Wald	p-value	exp(b)	lower	upper
Intercept	-0,166	0,106	2,438	0,118	0,847		
Dif Tiempo	-0,068	0,026	7,054	0,008	0,934	0,889	0,982
Dif Coste	-0,584	0,108	29,134	0,000	0,558	0,451	0,689

La relación de las variables independientes con la variable dependiente se explica a través del valor p, la diferencia de tiempo y coste explican la elección del modo (significación menor de 0,05).

Con todo ello modelo que explica el reparto modal entre el vehículo privado (VP) y el tranvía (TR) se define con las siguientes utilidades:

$$U_{TR} = -0.166 - 0.584 * C_{TR} - 0.068 * T_{TR}$$

$$U_{VP} = -0.584 * C_{VP} - 0.068 * T_{VP}$$

Dónde:

- U_{TR} , U_{VP} : Son la utilidad de viaje en tranvía y vehículo privado respectivamente
- C_{TR} , C_{VP} : Son el coste económico del viaje en transporte público y vehículo privado respectivamente.
- T_{TR} , T_{VP} : Son el tiempo del viaje en transporte público y vehículo privado respectivamente.

Del modelo se puede determinar que el reparto modal es favorable al uso del vehículo privado frente al transporte público, esto es así por el signo negativo que presenta la constante, lo que indica la preferencia de uso del vehículo privado frente al transporte público. Del mismo modo los signos negativos de los coeficientes operan penalizando la utilidad del modo, un incremento en los tiempos de viaje y/o coste del mismo afectara a la elección de uno u otro modo.

El valor del tiempo que se obtiene del modelo es el siguiente:

$$V_T = \frac{C_T}{C_c} = \frac{-0.068}{-0.584} = 0.116$$

Lo que significa que el valor del tiempo para los usuarios es de 0.116 €/min, siendo para una hora de 6,966 €.

El modelo se comprueba, a partir de los tiempos y costes promedios, mediante el análisis de sensibilidad para observar la probabilidad de decantarse por uno de los modos frente a incrementos de tiempo o coste; una vez comprobado la veracidad del modelo este se aplica a la totalidad de la matriz obtenida en la encuesta domiciliaria.

Las hipótesis consideradas son las mismas que las mostradas a los encuestados en la EPD:

HIPÓTESIS	TIEMPO	TARIFA
ALTERNATIVA 1	0%	0%
ALTERNATIVA 2	0%	30%
ALTERNATIVA 3	0%	-30%
ALTERNATIVA 4	-15%	0%
ALTERNATIVA 5	-15%	30%
ALTERNATIVA 6	-15%	-30%
ALTERNATIVA 7	-30%	0%
ALTERNATIVA 8	-30%	30%
ALTERNATIVA 9	-30%	-30%

Tabla 5. Hipótesis consideradas en el calibrado del modelo de reparto modal

Fuente: Elaboración propia

La tabla adjunta muestra la **probabilidad de elección de modo en función de las hipótesis consideradas**:

			TIEMPO VP	COSTE VP	TIEMPO TP	COSTE TP	UTILIDAD VP	UTILIDAD TP	VIAJES A-B	CAPTADOS VP	CAPTADOS TR
BASE	TIEMPO	TARIFA	15,00	1,78	20,00	1,00	-2,06	-2,11	100	51,23	48,77
ALTERNATIVA 1	0%	0%	15,00	1,78	20,00	1,00	-2,06	-2,11	100	51,23	48,77
ALTERNATIVA 2	0%	30%	15,00	1,78	20,00	1,30	-2,06	-2,28	100	55,59	44,41
ALTERNATIVA 3	0%	-30%	15,00	1,78	20,00	0,70	-2,06	-1,93	100	46,85	53,15
ALTERNATIVA 4	-15%	0%	15,00	1,78	17,00	1,00	-2,06	-1,90	100	46,15	53,85
ALTERNATIVA 5	-15%	30%	15,00	1,78	17,00	1,30	-2,06	-2,08	100	50,52	49,48
ALTERNATIVA 6	-15%	-30%	15,00	1,78	17,00	0,70	-2,06	-1,73	100	41,84	58,16
ALTERNATIVA 7	-30%	0%	15,00	1,78	14,00	1,00	-2,06	-1,70	100	41,15	58,85
ALTERNATIVA 8	-30%	30%	15,00	1,78	14,00	1,30	-2,06	-1,87	100	45,45	54,55
ALTERNATIVA 9	-30%	-30%	15,00	1,78	14,00	0,70	-2,06	-1,52	100	36,98	63,02

Tabla 6. Probabilidad de elección de modo en función de las hipótesis consideradas

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra como cualquier tipo de incremento en los costes o el tiempo de viaje sobre el escenario base produce un cambio en la probabilidad de elección del modo. Se observa que la probabilidad de elección del tranvía aumentaría a medida que se reducen los tiempos y costes del viaje respecto a los del vehículo privado; por tanto:

La Alternativa 9 en la que se reducen tanto los tiempos de viaje como el coste es la que posibilitaría una mayor captación de viajeros.

El análisis del modelo de reparto modal se completa con un **análisis de elasticidad**, del mismo se desprende que un descenso de coste y/o tiempo de desplazamiento provocaría un aumento de la demanda.

VARIACION DEMANDA	VARIACION TIEMPO	VARIACION COSTE	ELASTICIDAD
5,08	-15,00		-0,34
10,08	-30,00		-0,34
19,47	-60,00		-0,32
2,19		-15,00	-0,15
4,38		-30,00	-0,15
8,71		-60,00	-0,15

Tabla 7. Análisis de elasticidad del modelo de reparto modal
Fuente: Elaboración propia

Plan de Transporte Metropolitano de Jaén. Plan de Movilidad Sostenible

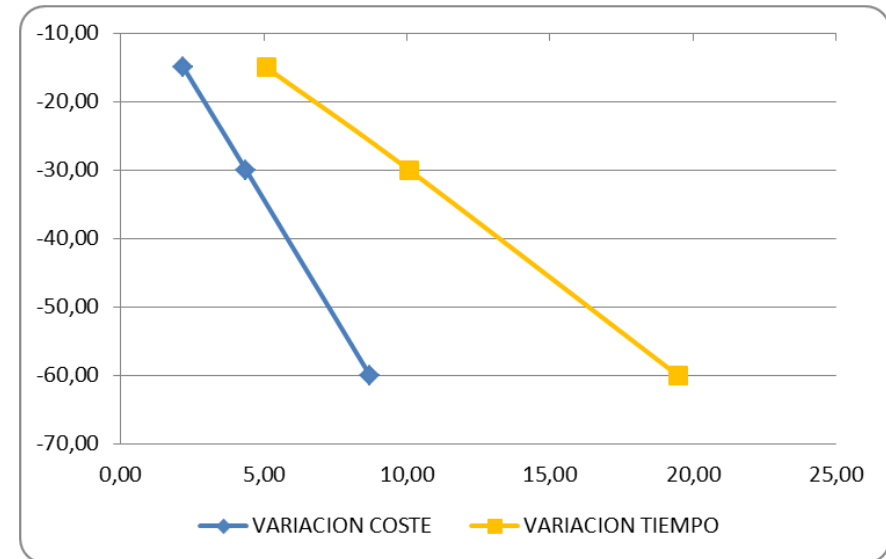


Ilustración 1: Elasticidad del modelo de reparto modal.
Fuente: Elaboración propia

2.5. Modelo de Asignación de Transporte Público

En este apartado se trabaja en la calibración de un modelo de transporte público que reproduzca suficientemente bien la situación en día laborable del año base y que posibilite realizar proyecciones que permita evaluar el comportamiento futuro de la demanda en diferentes escenarios de desarrollo y transformación de la red de transporte público de Jaén y su área metropolitana.

El soporte lógico utilizado para simular el comportamiento de la red ha sido VISUM de PTV AG que permite almacenar, visualizar, tratar y analizar datos, teniendo aplicaciones para todos los modos de transporte y para cualquier escala o nivel de detalle para la asignación a la red y la obtención de los datos futuros de demanda. Dicho software de modelación se encuentra entre los más extendidos siendo la versión 17 de PTV VISUM la elegida para el desarrollo del mismo.

Se trata de un modelo que asigna la matriz de transporte público en día laborable medio a la red de transporte, tal y como se configura en la actualidad, con un escenario base en el que coexisten líneas urbanas y metropolitanas. El modelo permite estimar los repartos de la demanda según las diferentes configuraciones de dicha red en escenarios futuros, en los que se contempla la reordenación de la red de transporte público tanto urbana como metropolitana, esta última por la creación de la estación intermodal al norte de la ciudad.

Dentro del proceso seguido para el ajuste del modelo, y con objeto de reproducir lo mejor posible las diferentes características del sistema, son destacables los siguientes elementos:

- Se han ajustado las velocidades en toda la red para reproducir las velocidades comerciales medias de cada una de las líneas.
- La demanda de transporte público (matriz de viajes) se ha obtenido de la EMD realizada en el marco del presente estudio de movilidad.
- En las líneas con frecuencias de paso muy bajas, es un hecho constatado que sus usuarios conocen los horarios de paso de los autobuses por las paradas, no siendo realista considerar, como se viene realizando habitualmente en el ajuste de este tipo de modelos, el tiempo de espera como la mitad del intervalo. Así, se ha establecido un peso para la

ponderación de los tiempos de espera, ajustándose para cada una de las líneas mediante un proceso iterativo.

- A la matriz inicial, para los escenarios futuros, se han agregado viajes mediante la aplicación del modelo de reparto modal obtenido a partir de las encuestas de preferencias declaradas realizadas.

2.5.1. Red de Transporte Público

La red en PTV VISUM es una estructura de datos que almacena las características importantes de todos los nodos, arcos y centroides (representación de la zona de transporte).

Sobre esta red base, se codifica la oferta de transporte público considerada.

La red modelada comprende las líneas de autobús urbano y metropolitanos que actualmente prestan servicio en Jaén. Su definición cuenta con los siguientes elementos específicos:

- Itinerarios
- Paradas de la red de transporte público
- Frecuencia del servicio
- Otra característica importante del servicio, como son las velocidad y tiempos de viaje

La red de transporte público se define sobre una red viaria base y puede tratarse explícitamente la relación entre ambas: se puede incorporar en el viario la carga de tráfico que originan las líneas de transporte público y, al contrario, los tiempos de circulación en la red de transporte público pueden basarse en los tiempos calculados en el viario.

La tabla adjunta presenta la definición realizada de la oferta actual de transporte público, codificadas por sentido. Se incluyen los intervalos de paso, como frecuencia media diaria.

COD	DENOMINACION	FRECUENCIA MEDIA (min)
Urbanos	Línea 01_ Peñamefecit - Centro	10
Urbanos	Línea 02_ Polígono de Los Olivares - Centro	15
Urbanos	Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	120
Urbanos	Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - Centro Comercial	30
Urbanos	Línea 05_ Tiro Nacional - Glorieta - Centro	30
Urbanos	Línea 06_ Cementerio - Centro	30
Urbanos	Línea 07_ Polígono El Valle - Universidad - Centro	10
Urbanos	Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	30
Urbanos	Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - Polígono El Valle - Universidad	30
Urbanos	Línea 10_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono El Valle - Polígono Los Olivares	30
Urbanos	Línea 11_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono Los Olivares	10
Urbanos	Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	30
Urbanos	Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	60
Urbanos	Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	60
Urbanos	Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - Centro Comercial	60
Urbanos	Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	30
Urbanos	Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	30
Urbanos	Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	60
Urbanos	Línea 18_ Azahar - Fuentezuelas - Centro	30
Urbanos	Línea 19_ Bulevar - Paseo de la Estación - Renfe - Centro	20
Urbanos	Línea 20_ Bulevar - Avda._ Andalucía - Peñamefecit - Universidad - C_C_ La Loma	45
Urbanos	Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial - Centro	60
Urbanos	Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	120
Urbanos	Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	150

Urbanos	Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	60
Urbanos	Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	120
Urbanos	Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	180
Metropolitanos C2	M01-09 Mancha Real - Jaén	70
Metropolitanos C3	M01-10 Jaén - La Guardia de Jaén por Puente Nuevo	60
Metropolitanos C3	M01-11 Jaén - La Guardia de Jaén por Puente Jontoya	350
Metropolitanos C2	M01-14 Albánchez de Magina - Jaén	120
Metropolitanos C2	M01-21 Torres - Jaén	180
Metropolitanos C5	M02-01 Jaén - Martos	30
Metropolitanos C5	M02-02 Jaén - Jamilena	60
Metropolitanos C5	M02-03 Jaén - Villadompardo	45
Metropolitanos C5	M02-06 Jaén - Martos Directo	60
Metropolitanos C5	M02-18 Jaén - Torredelcampo	60
Metropolitanos C5	M02-19 Fuensanta de Martos - Jaén	60
Metropolitanos C1	M04-15 Jaén - Mengíbar	60
Metropolitanos C1	M10-01 Jaén - Sotogordo por Vados de Torralba	40
Metropolitanos C1	M10-02 Jaén - Villargordo	120
Metropolitanos C1	M10-04 Villargordo - Mengíbar	180
Metropolitanos C1	M10-06 Jaén -Torreblascopedro	70
Metropolitanos C3	M11-02 Jaén - Pegalajar	70
Metropolitanos C6	M15-01 Jaén - Fuerte del Rey	350
Metropolitanos C6	M15-02 Andújar - Jaén por Fuerte del Rey	50
Metropolitanos C4	M17-01 Jaén - Los Villares	120

Tabla 8. Oferta actual de transporte público

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Matriz de Viajes

Se ha tomado como año base 2018, para ello con la zonificación propuesta, se ha obtenido la matriz de transporte derivada de la Encuesta Domiciliaria que constituye la base para determinar la demanda de la red y las relaciones O/D en el ámbito de estudio.

La demanda día laborable tipo alcanza los 23.989 viajes/día en transporte público.

2.5.3. Proceso de Asignación

Se realiza una asignación tipo Headway-Based. Este procedimiento, basado en frecuencias, es ideal para zonas urbanas no muy extensas y para la planificación de la misma a largo plazo. Para este tipo de asignación cada línea se describe mediante la ruta de la línea, los tiempos de recorrido entre las paradas, y la frecuencia.

El procedimiento basado en frecuencias determina el tiempo de espera en transbordos en paradas para una frecuencia media de las sucesivas líneas. Los tiempos de espera en transbordos son generalmente considerados a nivel global, lo que significa que las salidas de las diferentes líneas son independientes entre sí.

La asignación tipo Headway-based, se compone de dos pasos: Búsqueda y elección de ruta y Cargado de rutas.

En la búsqueda y elección de la ruta, se detectan los posibles caminos entre dos zonas de tráfico y simultáneamente se especifica una distribución entre ellos. Los caminos no representan conexiones, sino rutas, ya que el cálculo se refiere al tiempo de viaje y las frecuencias. En el Cargado de Rutas, las rutas encontradas en la búsqueda se cargan con la demanda de la matriz y se almacenan en memoria. Este procedimiento no sólo determina las rutas óptimas, sino también aquellas que son lo suficientemente buenas.

Por lo tanto, en el proceso de asignación intervienen:

- La matriz de viajes en transporte público de 2018 y futuras.

- Itinerarios considerados en el escenario base 2018 y futuros.
- La frecuencia media de cada línea
- Los pesos para los componentes del tiempo de viaje, que cuantifican la percepción y el valor que cada usuario da al tiempo de espera, tiempo en los modos auxiliares, la tarifa y el tiempo de transbordo.

En PTV Visum para la búsqueda y elección de rutas, los caminos se evalúan por su impedancia o costes generalizados respectivamente, que constituyen los pesos para los componentes del tiempo de viaje de viaje percibido (Perceived Journey Time, PJT) y un componente en base a la tarificación (tarifa o cuota de puntos de tarifas).

El Tiempo de Viaje percibido tiene como unidad de tiempo el "Minuto" y consta de los siguientes factores:

$$\text{Impedancia} = \text{PJT} \times 1.0 + \text{número de puntos tarifarios} \times 0.0$$

Donde PJT (min) = Tiempo en vehículo x FacIVT x peso a calibrar

- + Tiempo en modo auxiliar x FacAXT
- + Tiempo de Acceso x FacACT
- + Tiempo de Egreso x FacEGT
- + Tiempo de caminata para transbordo x FacWT
- + Tiempo de espera en origen x FacOWT
- + Tiempo de espera en transbordo x FacTWT x peso a calibrar
- + Tiempo Máximo para transbordo x FacNTR
- + Penalización por embarque PuT
- + Penalización por embarque en modo auxiliar PuT-Aux
- + Demora media de las rutas

2.5.4. Calibrado del Modelo

Para el calibrado del modelo de red se cuenta con toda la información ya mencionada, grafo, red de transporte público y matriz de demanda.



Los resultados de la asignación en el año base han sido contrastados con los datos de demanda disponibles siguiendo un proceso de reajuste iterativo, hasta alcanzar un ajuste adecuado. Se considera la calibración del modelo tomando en consideración únicamente las líneas urbanas, aunque en el mismo se incorporan las líneas metropolitanas que prestan servicio en el ámbito de estudio considerado en la EDJ18, presentándose los resultados de demanda a nivel corredor tal y como se encuentran clasificadas en el Consorcio Metropolitano.

Plan de Transporte Metropolitano de Jaén. Plan de Movilidad Sostenible

COD	DENOMINACION	PASAJEROS DÍA MEDIO	ASIGNACIÓN	DIFERENCIA	ABS	% DIF
Urbanos	Línea 01_ Peñamefecit - Centro	3.511	3.014	-497	497	14,16
Urbanos	Línea 02_ Polígono de Los Olivares - Centro	179	345	166	166	92,74
Urbanos	Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	86	76	-10	10	11,63
Urbanos	Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - Centro Comercial	1.569	2.056	487	487	31,04
Urbanos	Línea 05_ Tiro Nacional - Glorieta - Centro	20	183	163	163	815,00
Urbanos	Línea 06_ Cementerio - Centro	0	109	109	109	SD
Urbanos	Línea 07_ Polígono El Valle - Universidad - Centro	1.376	1.812	436	436	31,69
Urbanos	Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	2.250	1.817	-433	433	19,24
Urbanos	Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - Polígono El Valle - Universidad	1.311	1.074	-237	237	18,08
Urbanos	Línea 10_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono El Valle - Polígono Los Olivares	1.106	854	-252	252	22,78
Urbanos	Línea 11_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono Los Olivares	1.816	1.803	-13	13	0,72
Urbanos	Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	1.144	1.007	-137	137	11,98
Urbanos	Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	485	459	-26	26	5,36
Urbanos	Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	0	143	143	143	SD
Urbanos	Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - Centro Comercial	1.144	1.381	237	237	20,72
Urbanos	Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	755	974	219	219	29,01
Urbanos	Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	1.703	1.310	-393	393	23,08
Urbanos	Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	1.009	1.180	171	171	16,95
Urbanos	Línea 18_ Azahar - Fuentezuelas - Centro	1.020	1.093	73	73	7,16
Urbanos	Línea 19_ Bulevar - Paseo de la Estación - Renfe - Centro	955	686	-269	269	28,17
Urbanos	Línea 20_ Bulevar - Avda._ Andalucía - Peñamefecit - Universidad - C_C_ La Loma	0	1.106	1.106	1.106	SD
Urbanos	Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial - Centro	475	584	109	109	22,95
Urbanos	Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	0	168	168	168	SD
Urbanos	Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	0	0	0	0	SD
Urbanos	Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	0	562	562	562	SD
Urbanos	Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	0	0	0	0	SD
Urbanos	Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	0	0	0	0	SD
TOTALES		24.129	31.284	7.155	11.762	29,65

Tabla 9. Resultados de demanda a nivel corredor

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los valores anteriores, la suma de los valores absolutos de las diferencias entre la demanda real y estimada de cada línea asciende a 11.762 etapas, lo que representa un error de calibración del 8,5% de la demanda total de Líneas Urbanas en laborable, lo que confiere al modelo características de representatividad suficientes, teniendo en cuenta la inexistencia de datos de demanda actualizados.

A modo resumen se muestra la demanda diaria en líneas urbanas y metropolitanas:

	PASAJEROS DIA MEDIO	ASIGNACIÓN
BUS URBANOS	21.914	23.796
METROPOLITANOS	2.215	7.488
TOTAL RED	24.129	31.284

Tabla 10. Resumen de la demanda diaria en líneas urbanas y metropolitanas
Fuente: Elaboración propia

Hay que señalar que la demanda del día medio de las líneas metropolitanas que se muestra se corresponde únicamente con las líneas que han sido modelizadas debido a las características del ámbito de estudio y de la red elaborada acorde con la zonificación del ámbito. La demanda asignada en la realidad dispone de una oferta mayor de transporte que la recogida en el modelo y que se distribuye por toda ella, es por lo que se presenta agrupada por corredores.

	DENOMINACION	ASIGNACIÓN
Metropolitanos C1	Corredor 1 Jaén - Mengíbar	1.475
Metropolitanos C2	Corredor 2 Jaén - Mancha Real	2.057
Metropolitanos C3	Corredor 3 Jaén - La Guardia - La Cerradura - Pegalajar	927
Metropolitanos C4	Corredor 4 Jaén - Los Villares - Valdepeñas de Jaén	168

Metropolitanos C5	Corredor 5 Jaén - Torredelcampo - Torredonjimeno - Jamilena - Martos	2.105
Metropolitanos C6	Corredor 6 Jaén - Fuente del Rey	756
		7.488

Tabla 11. Resumen de la demanda por corredores metropolitanos
Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, para verificar la bondad del calibrado del modelo y poder considerarlo como una reproducción fiel del estado actual, se ha optado por calcular el parámetro estadístico GEH, aceptado por la mayoría de los consultores como un indicador de calibración sobre la red, cuya formulación es:

$$GEH_i = \sqrt{\frac{(C_i - A_i)^2}{(C_i + A_i) / 2}}$$

Dónde: Ci es el dato observado y Ai es el dato asignado por el modelo en el enlace i

Uno de los criterios de aceptación es que al menos el 90% de casos posea un $GEH \leq 12$

En el caso del presente estudio la mayor parte de las líneas presentan valores inferiores a 12 (95%), lo que, junto a los indicadores habituales de calibración indican que modelo representa de forma fehaciente la realidad. Un GEH mayor todavía puede ser aceptado, siempre y cuando estos estén muy lejanos de la zona de mayor interés de estudio.

Respecto al estadístico R^2 , mediante el cual se mide la correlación existente entre 2 fuentes de datos (asignado – observado), con unos criterios de aceptación para el modelo general es estadístico $R^2 > 0,80$ en el gráfico adjunto se muestra el R^2 obtenido para el modelo analizado, que es de 0,90, solo contabilizando líneas urbanas, y un R^2 de 0,80, incluyendo en el análisis las metropolitanas.

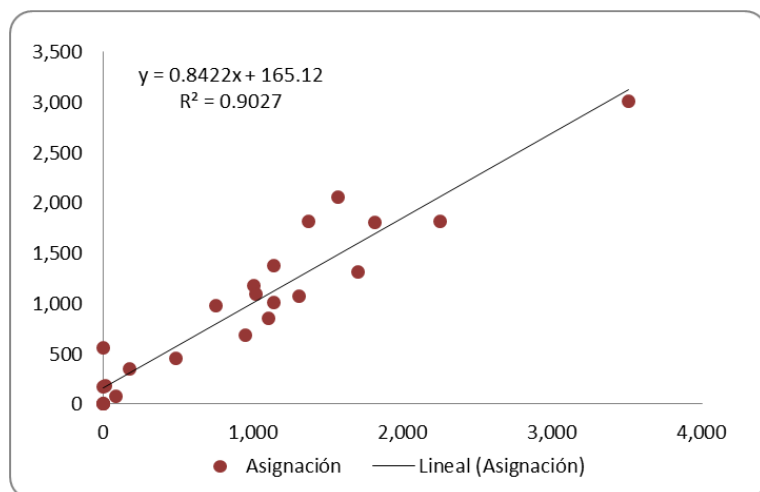


Ilustración 2: R^2 obtenido para el modelo obtenido contabilizando exclusivamente líneas urbanas.

Fuente: Elaboración propia

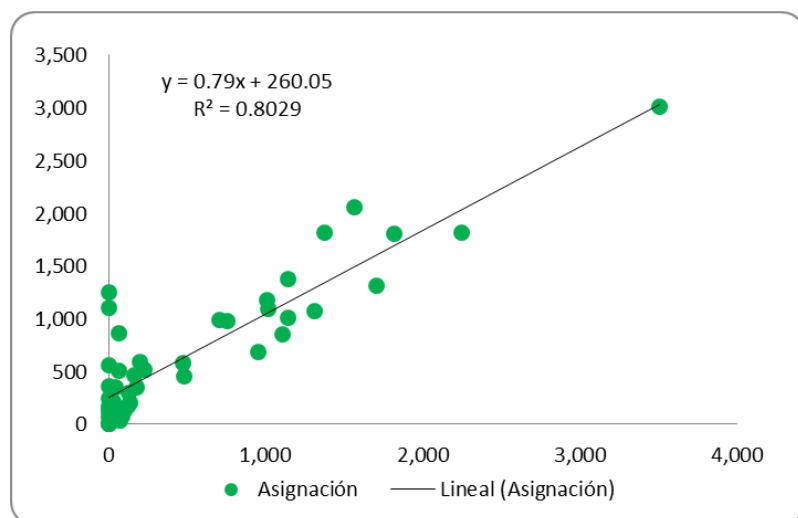


Ilustración 3: R^2 obtenido para el modelo obtenido contabilizando líneas urbanas y metropolitanas.

Fuente: Elaboración propia

2.5.5. Escenarios Futuros

Con el fin de comprender el impacto más inmediato de una transformación de la red de transporte público actual, se han elaborado **cuatro escenarios futuros** que surgen de la creación y/o combinación de hipótesis de evolución de la red de transporte en el Área Metropolitana tomando en consideración dos hitos de gran relevancia, como son:

Tranvía de Jaén

- Puesta en servicio del Tranvía de Jaén

Nueva Estación Intermodal

- Traslado de las estaciones de tren y autobuses a la nueva estación intermodal que se localizará al norte de la ciudad, en Vaciacostales

Se realiza una simulación completa de cuáles serían sus efectos en día laborable del año base y futuro.

Para ello, además de emplear los diferentes componentes del sistema de simulación elaborado (día laborable) se introduce una nueva matriz que incluye viajes captados al vehículo privado y una demanda inducida por las nuevas infraestructuras previstas:

- Demanda actual (matriz O/D 2018)
- Demanda futura (matriz O/D 2020)
- Modelo de oferta (incluyendo nuevos servicios)
- Modelo de demanda (transporte público)

2.5.6. Escenarios Considerados

2.5.6.1. Escenario 1

En este escenario analiza la puesta en servicio del tranvía considerando para su análisis la matriz actual (Escenario Base) y **sin contemplar ninguna transformación de la red de transporte, ni de las infraestructuras** ligadas a la misma. Tras la asignación se obtienen los siguientes resultados:

DENOMINACION	ESCENARIO 01	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 01_ Peñamefecit - Centro	2.848	3.014	-166
Línea 02_ Polígono de Los Olivares - Centro	345	345	0
Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	76	76	0
Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - Centro Comercial	1.660	2.056	-396
Línea 05_ Tiro Nacional - Glorieta - Centro	183	183	0
Línea 06_ Cementerio - Centro	142	109	33
Línea 07_ Polígono El Valle - Universidad - Centro	1.812	1.812	0
Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	1.817	1.817	0
Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - Polígono El Valle - Universidad	1.074	1.074	0
Línea 10_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono El Valle - Polígono Los Olivares	854	854	0
Línea 11_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono Los Olivares	1.803	1.803	0
Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	1.007	1.007	0

DENOMINACION	ESCENARIO 01	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	476	459	17
Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	123	143	-20
Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - Centro Comercial	1.381	1.381	0
Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	974	974	0
Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	1.310	1.310	0
Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	1.165	1.180	-15
Línea 18_ Azahar - Fuentezuelas - Centro	1.063	1.093	-30
Línea 19_ Bulevar - Paseo de la Estación - Renfe - Centro	595	686	-91
Línea 20_ Bulevar - Avda._ Andalucía - Peñamefecit - Universidad - C_C_ La Loma	1.106	1.106	0
Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial - Centro	584	584	0
Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	168	168	0
Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	0	0	0
Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	562	562	0
Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	0	0	0
Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	0	0	0

Tabla 12. Resultados del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

DENOMINACION	ESCENARIO 01	ESCENARIO BASE	DIF
BUS URBANOS	23.128	23.796	-668
METROPOLITANOS	7.488	7.488	0
TRANVIA	780	0	780
TOTAL RED	31.396	31.284	112

Tabla 13. Resumen de los resultados del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

2.5.6.2. Escenario 2

En este escenario analiza la puesta en servicio del tranvía considerando para su análisis la matriz futura (Matriz 2020) en la que **se incorporan nuevos viajes por captación del tranvía al vehículo privado, inducción de la nueva infraestructura** (2% de incremento en las zonas de influencia del tranvía) y por **evolución de la movilidad general** (0,5% anual hasta 2020), como en el caso anterior, en este escenario, **no se contempla ninguna transformación de la red de transporte**, ni de las infraestructuras ligadas a la misma. Tras la asignación se obtienen los siguientes resultados:

DENOMINACION	ESCENARIO 02	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 01_ Peñamefecit - Centro	3.114	3.014	100
Línea 02_ Polígono de Los Olivares - Centro	727	345	382
Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	77	76	1
Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - C.C La Loma	2.052	2.056	-4
Línea 05_ Tiro Nacional - Glorieta - Centro	184	183	1
Línea 06_ Cementerio - Centro	146	109	37
Línea 07_ Polígono El Valle - Universidad - Centro	2.913	1.812	1.101

DENOMINACION	ESCENARIO 02	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	1.879	1.817	62
Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - P.I El Valle - Univ.	1.408	1.074	334
Línea 10_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - P.I. El Valle - Los Olivares	881	854	27
Línea 11_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono Los Olivares	1.931	1.803	128
Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	1.419	1.007	412
Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	522	459	63
Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	125	143	-18
Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - CC La Loma	1.405	1.381	24
Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	989	974	15
Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	1.346	1.310	36
Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	2.097	1.180	917
Línea 18_ Azahar - Fuentezuelas - Centro	1.132	1.093	39
Línea 19_ Bulevar - Paseo de la Estación - Renfe - Centro	1.522	686	836

DENOMINACION	ESCENARIO 02	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 20_ Bulevar – Av. Andalucía - Peñamefecit – Univ. – C.C La Loma	3.032	1.106	1.926
Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial - Centro	807	584	223
Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	172	168	4
Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	0	0	0
Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	830	562	268
Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	0	0	0
Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	0	0	0

Tabla 14. Resultados del escenario 2

Fuente: Elaboración propia

DENOMINACION	ESCENARIO 02	ESCENARIO BASE	DIF
BUS URBANOS	30.710	23.796	6.914
METROPOLITANOS	7.571	7.488	83
TRANVIA	1.753	0	1.753
TOTAL RED	40.034	31.284	8.750

Tabla 15. Resumen de los resultados del escenario 2

Fuente: Elaboración propia

2.5.6.3. Escenario 3

En este escenario se analiza, además de la puesta en servicio del tranvía con la matriz futura (Matriz 2020), como en el caso anterior, la **creación de la nueva estación intermodal al norte de la ciudad** y, por consiguiente, la **reordenación de la red de transporte metropolitanos** adaptando sus itinerarios a la nueva ubicación de la terminal. Tras la asignación se obtienen los siguientes resultados:

DENOMINACION	ESCENARIO 03	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 01_ Peñamefecit - Centro	2.718	3.014	-296
Línea 02_ P.I Los Olivares - Centro	698	345	353
Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	1.073	76	997
Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - Centro Comercial	2.120	2.056	64
Línea 05_ Tiro Nacional - Glorieta - Centro	0	183	-183
Línea 06_ Cementerio - Centro	261	109	152
Línea 07_ Polígono El Valle - Universidad - Centro	2.373	1.812	561
Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	1.677	1.817	-140
Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - Polígono El Valle - Universidad	1.408	1.074	334
Línea 10_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono El Valle - Polígono Los Olivares	873	854	19
Línea 11_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono Los Olivares	2.432	1.803	629
Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	1.290	1.007	283
Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	570	459	111
Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	125	143	-18
Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - Centro Comercial	1.473	1.381	92
Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	929	974	-45

DENOMINACION	ESCENARIO 03	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	1.266	1.310	-44
Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	2.476	1.180	1.296
Línea 18_ Azahar - Fuentezuelas - Centro	1.116	1.093	23
Línea 19_ Bulevar - Paseo de la Estación - Renfe - Centro	1.602	686	916
Línea 20_ Bulevar - Avda._ Andalucía - Peñamefecit - Universidad - C_C_ La Loma	2.937	1.106	1.831
Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial - Centro	1.942	584	1.358
Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	0	168	-168
Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	0	0	0
Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	733	562	171
Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	0	0	0
Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	0	0	0

Tabla 16. Resultados del escenario 3

Fuente: Elaboración propia

DENOMINACION	ESCENARIO 03	ESCENARIO BASE	DIF
BUS URBANOS	32.092	23.796	8.296
METROPOLITANOS	8.373	7.488	885
TRANVIA	4.798	0	4.798
TOTAL RED	45.263	31.284	13.979

Tabla 17. Resumen de los resultados del escenario 3

Fuente: Elaboración propia

2.5.6.4. Escenario 4

En este escenario se analiza el resultado de **la transformación de todo el conjunto del sistema de transporte de Jaén y su área metropolitana**, en él se tienen en cuenta las actuaciones contempladas en el escenario anterior y a ellas se agrega la **remodelación de la red de transporte urbana** mediante la eliminación de las líneas que poseen un trazado similar al del tranvía en casi su totalidad o la modificación del itinerario para hacerlas compatibles con el nuevo sistema.

Las actuaciones que se han contemplado son **conservadoras** manteniéndose líneas que, aun coincidiendo con el trazado del tranvía, se entiende que deben de seguir manteniendo la cobertura actual. La tabla siguiente muestra las líneas que se consideran deben de ser eliminadas o modificadas teniendo en cuenta criterios de trazado y/o demanda asignada en anteriores escenarios.

DENOMINACIÓN	REMODELACIÓN
Línea 01_ Peñamefecit - Centro	Se Mantiene
Línea 02_ Polígono de Los Olivares - Centro	Se Elimina por coincidencia de trazado
Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	Se Mantiene
Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - Centro Comercial	Se Mantiene
Línea 05_ Tiro Nacional - Glorieta - Centro	Se Elimina por baja demanda
Línea 06_ Cementerio - Centro	Se Mantiene
Línea 07_ Polígono El Valle - Universidad - Centro	Se Elimina por coincidencia de trazado
Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	Se Mantiene
Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - Polígono El Valle - Universidad	Se Mantiene
Línea 10_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono El Valle - Polígono Los Olivares	Se Elimina por coincidencia de trazado

Línea 11_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Polígono Los Olivares	Se Elimina por coincidencia de trazado
Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	Se Mantiene
Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	Se Mantiene
Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	Se Mantiene
Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - Centro Comercial	Se Mantiene
Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	Se Mantiene
Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	Se Mantiene
Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	Se Mantiene
Línea 18_ Azahar - Fuentezuelas - Centro	Se Elimina por coincidencia de trazado
Línea 19_ Bulevar - Paseo de la Estación - Renfe - Centro	Se Elimina por coincidencia de trazado
Línea 20_ Bulevar - Avda._ Andalucía - Peñamefecit - Universidad - C_C_ La Loma	Se Mantiene
Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial - Centro	Se Mantiene recortando su itinerario
Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	Se Mantiene
Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	Se Mantiene
Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	Se Mantiene
Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	Se Mantiene
Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	Se Mantiene

Tabla 18. Remodelación de la red de transporte urbana en el escenario 4

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, en el escenario a simular se contempla la **eliminación de siete líneas** y la **modificación de una de ellas**, la INF que pasaría a tener uno de sus extremos en el polígono de los Olivares y conectaría con el tranvía.

Tras la asignación se obtienen los siguientes resultados:

DENOMINACION	ESCENARIO 04	ESCENARIO BASE	DIF
Línea 01_ Peñamefecit - Centro	3.651	3.014	637
Línea 03_ Cerro Molina - Palacio Congresos - Centro	1.073	76	997
Línea 04_ Alcantarilla - Glorieta - Centro - Universidad - Centro Comercial	3.101	2.056	1.045
Línea 06_ Cementerio - Centro	326	109	217
Línea 08_ Alcantarilla - Centro - Avda._ Andalucía - Fuentezuelas	2.495	1.817	678
Línea 09_ Tiro Nacional - Circunvalación - Polígono El Valle - Universidad	2.368	1.074	1.294
Línea 12_ Centro - Universidad - Centro Comercial	3.240	1.007	2.233
Línea 13 A_ Urbanización Azahar - Centro - Cementerio	896	459	437
Línea 13 B_ Urbanización Azahar - Centro - Puente Jontoya	201	143	58
Línea 14_ Avda._ Andalucía - Urbanización Azahar - Centro Comercial	1.500	1.381	119
Línea 15_ Magdalena - Centro - Polígono El Valle	980	974	6
Línea 16_ Tiro Nacional - San Felipe - Centro - Avda._ Andalucía	2.137	1.310	827
Línea 17_ Azahar - Fuentezuelas - Universidad - Polígono Los Olivares	2.737	1.180	1.557
Línea 20_ Bulevar - Avda._ Andalucía - Peñamefecit - Universidad - C_C_ La Loma	3.830	1.106	2.724
Línea-INF_ Las Infantas - Prisión Provincial	9	584	-575
Línea-JAB_ Jabalcuz - Centro	151	168	-17

Línea-NEV_ Hospital Dr._ Sagaz - Centro	0	0	0
Línea-PT_ Puente Tablas - Santa Teresa - Centro	1.895	562	1.333
Línea-PTS_ Puente La Sierra - Centro	0	0	0
Línea-VAL_ Valdeastillas - Centro	12	0	12

Tabla 19. Resultados del escenario 4

Fuente: Elaboración propia

DENOMINACION	ESCENARIO 04	ESCENARIO BASE	DIF
BUS URBANOS	30.602	23.796	6.806
METROPOLITANOS	7.222	7.488	-266
TRANVIA	7.597	0	7.597
TOTAL RED	45.095	31.284	14.137

Tabla 20. Resumen de los resultados del escenario 3

Fuente: Elaboración propia

2.5.7. Análisis Comparativo entre Escenarios

A modo de resumen se indica que la incorporación en el sistema de transporte de la línea de tranvía, la construcción de una nueva Estación Intermodal y la remodelación de líneas que lleva aparejado, **produce un incremento en el número de etapas totales.**

Como se ha indicado anteriormente se parte de un Escenario Base (00) en el que se utiliza como matriz, la resultante de la encuesta con un total de 23.989 viajes en transporte público, y se finaliza el análisis en el Escenario futuro (04) en el que el total de la matriz asignada alcanzaría la cifra de 32.030 viajes en transporte público.

	VIAJES TOTALES EN TP	ESCENARIOS
MATRIZ ACTUAL	23.989	00 – 01
MATRIZ FUTURA	32.030	02 – 03 – 04

Tabla 21. Matrices utilizadas en cada escenario

Fuente: Elaboración propia

El desglose de viajes de la matriz futura es el siguiente:

	VIAJES	%
MATRIZ ACTUAL	23.989	74,90
CAPTACIÓN AL VP	7.521	23,48
INDUCCIÓN Y CRECIMIENTO	520	1,62
TOTAL	32.030	100,00

Tabla 22. Desglose de viajes de la matriz futura

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos, como se observa en la tabla siguiente, se produce un **aumento en el número de etapas** proviene fundamentalmente del incremento de los transbordos entre modos y, en menor media, pero no menos importante, de un incremento en el número de viajes en transporte público captado del vehículo privado y/o inducido por el nuevo sistema.

	ESCENARI O 00	ESCENARI O 01	ESCENARI O 02	ESCENARI O 03	ESCENARI O 04
BUS URBANOS	23.796	23.128	30.710	32.092	30.602
METROPOLITANOS	7.488	7.488	7.571	8.373	7.222
TRANVIA	0	780	1.753	4.798	7.597
TOTAL RED	31.284	31.396	40.034	45.263	45.421

Tabla 23. Aumento del número de etapas en los distintos escenarios

Fuente: Elaboración propia

En términos porcentuales el escenario 4 es el que presenta un mayor número de etapas frente al escenario base incrementándose en un 45% el total.

	ESCENARI O 00	ESCENARI O 01	ESCENARI O 02	ESCENARI O 03	ESCENARI O 04
BUS URBANOS		-2,81%	29,06%	34,86%	28,60%
METROPOLITANOS		0,00%	1,11%	11,82%	-3,55%

TRANVIA			124,74%	515,13%	873,97%
TOTAL RED		0,36%	27,97%	44,68%	45,19%

Tabla 24. Aumento del número de etapas en valores porcentuales en los distintos escenarios

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la **distribución por tipología y/o modo** el tranvía va adquiriendo mayor valor porcentual a medida que se implementan acciones encaminadas a la racionalización de la red de transporte, es por ello que en el Escenario 4, de mayor transformación, la cuota del tranvía respecto al resto de modos asciende al 16,73%.

	ESCENARI O 00	ESCENARI O 01	ESCENARI O 02	ESCENARI O 03	ESCENARI O 04
BUS URBANOS		73,67%	76,71%	70,90%	67,37%
METROPOLITANOS		23,85%	18,91%	18,50%	15,90%
TRANVIA		2,48%	4,38%	10,60%	16,73%
TOTAL RED		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabla 25. Distribución porcentual de viajes por modo

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se observa como la **puesta en funcionamiento del nuevo sistema de transporte reajustaría el reparto modal** perdiendo cuota el vehículo privado frente al modo público, pasando del 92% al 89%, considerando el total de viajes. Respecto al número de etapas el tranvía supondría un porcentaje del 2% del total de modos.

	ESCENARIO BASE		ESCENARIO 04	
	VIAJES	%	VIAJES	%
VIAJES VP	288.329	92,32	280.808	89,76
VIAJES TP	23.989	7,68	32.030	10,24

TOTAL VIAJES	312.318	100,00	312.838	100,00
	ETAPAS	%	ETAPAS	%
VEHÍCULO PRIVADO	288.329	90,21	280.808	86,16
URBANOS	23.796	7,45	30.602	9,38
METROPOLITANOS	7.488	2,34	7.222	2,21
TRANVIA	0	0,00	7.597	2,33
TOTAL ETAPAS	319.613	100,00	326.229	100,00

Tabla 26. Comparativa entre el escenario 0 y el escenario 4

Fuente: Elaboración propia

2.6. Modelo de Asignación de Vehículo Privado

El presente apartado tiene como principal objetivo dar a conocer el proceso seguido para la **evaluación de los flujos de tráfico y el impacto que sobre la red viaria**, soporte de los mismos, puede ocasionar las diferentes alternativas de actuación en el ámbito de estudio.

Para ello, la primera etapa a seguir la constituye el **ajuste del modelo de tráfico** en un Escenario Base, el cual representa las condiciones actuales de movilidad en la red viaria del entorno de estudio en la hora punta de la mañana; una vez ajustado y validado el modelo se dispone de una herramienta que permite desarrollar la etapa de análisis en la que se procede a la simulación de la red viaria tomando en consideración las propuestas de infraestructuras propuestas para la mejora de la movilidad.

Se trata, por tanto, de un Modelo de Asignación con el que se **explica el itinerario que elige cada viajero en vehículo privado en cada relación origen-destino**. Para este modelo se requiere software especializado, siendo el empleado en el presente estudio **PTV VISUM**.

2.6.1. Metodología

El objetivo principal es poder **analizar el funcionamiento actual de la red de transporte** y su posterior evaluación de propuestas y/o modificaciones del sistema, por ejemplo: Reformulación del sistema, parcial o totalmente; restricción de paso de vehículos por áreas determinadas; modificación de itinerarios de líneas de transporte público, etc. Por tanto, en los capítulos siguientes, se describe la etapa de modelización en la cual se utiliza como herramienta el software PTV VISUM, y que se resume en los siguientes puntos:

- Para la elaboración de la red se considera la **infraestructura vial existente**, considerando: el número de carriles, los sentidos de circulación, giros prohibidos, etc.
- A partir de los datos de **aforo** y datos de las **encuestas** facilitadas se calibra la **matriz origen - destino** para la hora punta considerada. Por la

metodología de las encuestas, no se recoge información de todos los viajes que realizan los habitantes del área. En general los viajes no basados en el hogar suelen estar infravalorados en las encuestas, que tampoco recogen algunos tipos de viajes (taxistas, vehículos pesados, furgonetas de reparto, etc.). Por lo tanto, es necesario utilizar algún método para transformar las matrices de viajes para que al asignarlas a la red reproduzcan los flujos observados en la realidad.

- Asimismo, se ha tenido la **configuración viaria actual** del entorno del centro histórico de la ciudad de Jaén, en base a la información existente en la propia web del consistorio.

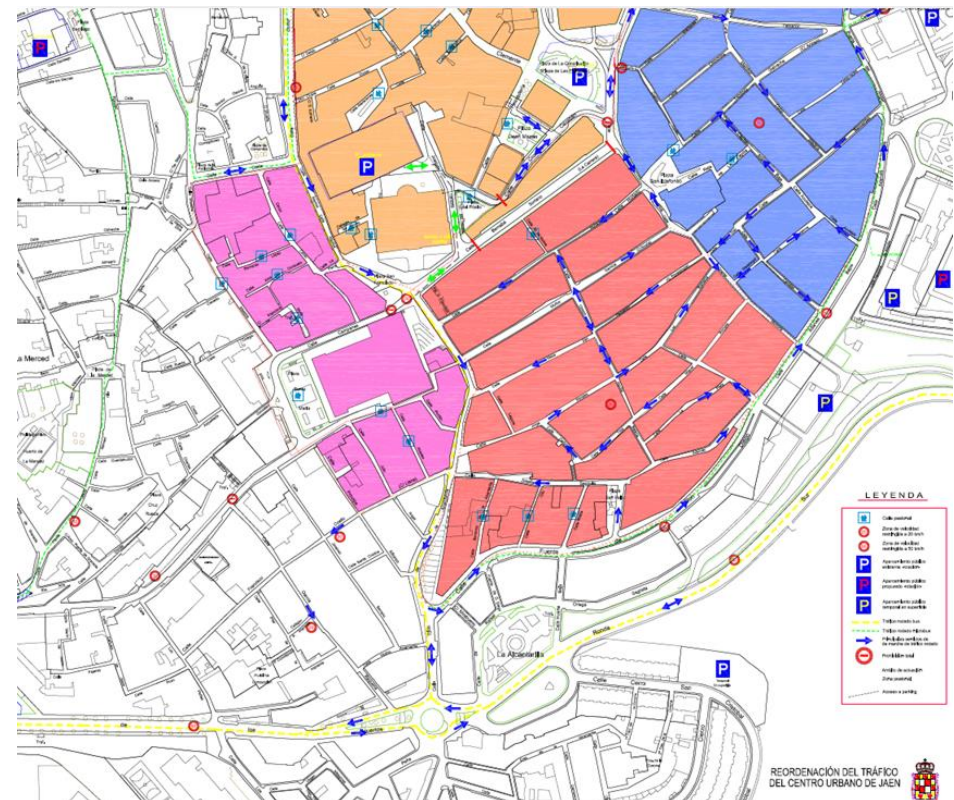


Ilustración 4: Plan Reordenación del Tráfico del Centro de Jaén.

Con la red preparada y verificada se está en disposición de realizar la asignación de viajes contenidos en una matriz, los diferentes métodos de asignación existentes tienen en cuenta que la elección de diferentes recorridos entre un mismo par O/D responde a dos **factores** que son:

- Las **diferencias individuales de los usuarios**, cada individuo puede percibir el costo generalizado de distinta forma, por ejemplo, usuarios de mayor poder adquisitivo pueden preferir la utilización de una autopista de peaje frente a una libre.
- Los **efectos de la congestión** provocan la elección de itinerarios más largos y, por lo tanto, menos atractivos a priori, debido al aumento de los costes en el itinerario más corto y atractivo.

Las diferencias individuales de los usuarios de una red de transporte influyen en la distribución de los vehículos en la red, cada usuario tiene unas preferencias subjetivas que le harán tomar opciones de recorrido menos favorables teóricamente pero más atractivas desde el punto de vista perceptual, este hecho se denomina **componente estocástico** de la elección de la ruta o recorrido.

De este modo, los modelos de asignación de la red de vehículo privado se pueden **clasificar** según se indica en el siguiente cuadro:

INCLUYE EFECTOS ESTOCÁSTICOS		NO	SI
Restricción de la Capacidad	NO	Todo o Nada	Puramente Estocástico
	SI	Equilibrio de Wardrop	Equilibrio Estocástico del Usuario

Tabla 27. Clasificación Modelos de Asignación

Fuente: Modelos de Transporte. Juan de Dios Ortúzar – Luis G. Willumsen.

El proceso de asignación consta de varias **fases**, según sea la tipología del mismo, las funciones fundamentales son:

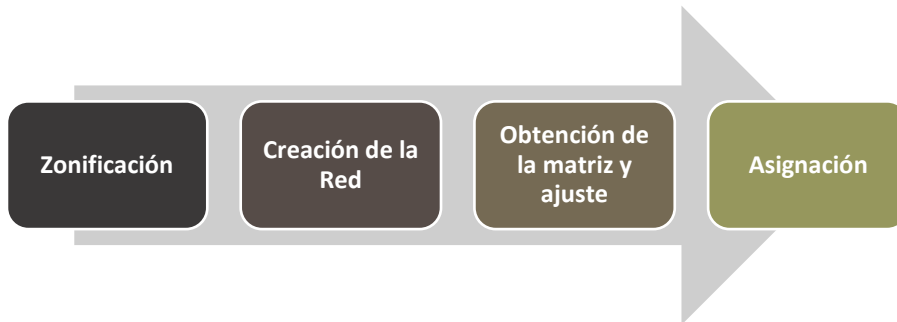
- La identificación de un conjunto de recorridos
- La asignación de un porcentaje adecuado de la matriz O/D a los recorridos previamente identificados
- Alcanzar la convergencia generalmente mediante procedimientos iterativos de sucesivas aproximaciones a la solución óptima. El control de la misma permitirá decidir cuándo detener el proceso.

Para el análisis de la red que es objeto de estudio se han empleado, para la obtención de la matriz y su posterior asignación a la red, los siguientes **algoritmos de asignación**:

Asignación “Equilibrio del Usuario” (UE): Esta asignación realiza iteraciones hasta lograr una solución convergente en la que los viajeros no pueden mejorar su tiempo de viaje cambiando de ruta. El proceso de asignación considera los costes de cada uno de los arcos como pueden ser la restricción de la capacidad y los tiempos de viaje dependientes del flujo. En algunos casos, muchos de los arcos de los que se compone la red no mostrarán viajes algunos tras la asignación pues se trataría de rutas poco atractiva y de mayor coste y que, por tanto, no son utilizadas en la asignación como posibles.

Asignación “Equilibrio del Usuario Estocástico” (SUE): A diferencia del anterior en este algoritmo se tiene en cuenta el componente estocástico en la elección del camino por parte del usuario. Como se ha tratado anteriormente, el usuario de la red puede no tener un conocimiento exhaustivo de la misma y/o percibir el costo de viaje de forma distinta, eligiendo por tanto un recorrido de mayor costo aunque sea menos atractivo. Esta consideración del componente estocástico da lugar a asignaciones más realista en la que la mayor parte de la red captará algún viaje aun tratándose de una alternativa de recorrido poco atractiva; caso contrario al anterior Equilibrio del Usuario en el que existen flujos iguales a cero en los arcos.

Los siguientes puntos detallan el procedimiento seguido en el modelo de asignación empleado para el presente estudio y que se resume el esquema adjunto.



2.6.1.1. Creación de la Red

A partir de modelos de red utilizados para el desarrollo de diversos estudios y el elaborado para el transporte público, se ha procedido a su actualización insertando en la misma los **principales elementos de la red viaria** del conjunto del área metropolitana de Jaén.

Una vez se ha revisado la red de arcos completa que va a constituir la red viaria modelada, se ha procedido a la introducción de la información requerida por el modelo y a la identificación de cada uno de los arcos que la componen, para poder diferenciarlos según la funcionalidad de los mismos.

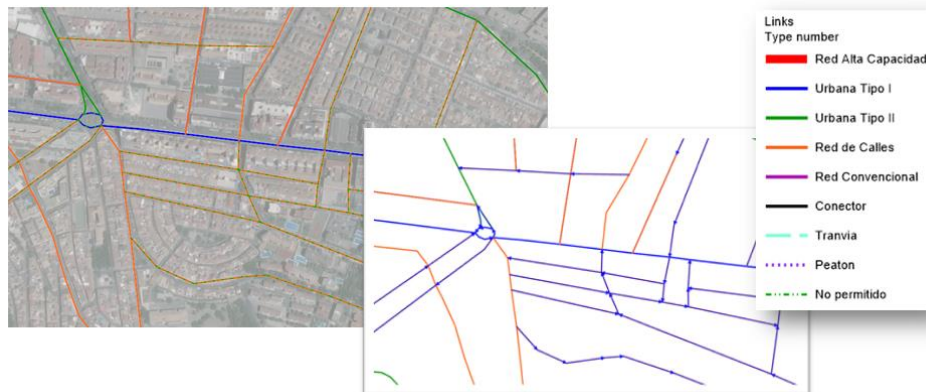


Ilustración 5: Detalle de Red.

Fuente: Elaboración Propia. PTV Visum.

Dependiendo del método de asignación que vaya a ser utilizado, los campos que como mínimo recomienda añadir a la red, para poder realizar la asignación de la matriz y posterior análisis de resultados son los siguientes:

- **ID:** identificador interno del sistema o “Id” asignado por PTV VISUM de manera automática, determinado por el modelo según orden de construcción.
- **Length:** Longitud real del arco expresado en kilómetros.
- **Jerarquía:** Clasificación viaria según funcionalidad.
- **Capacidad:** Capacidad viaria total de cada segmento.
- **Velocidad:** Se define en función de las características de las vías. Las unidades para introducir la velocidad son los Km/h.
- **Tiempo:** El tiempo a flujo libre, expresado en minutos, se calcula para cada arco en función de la longitud real de los arcos y de la velocidad asignada. Las unidades para introducir el tiempo son minutos.
- **Alpha:** Valor del parámetro alfa que opera en la función BPR (Bureau of Publics Roads) del arco.
- **Beta:** Valor del parámetro beta que opera en la función BPR (Bureau of Publics Roads) del arco.

2.6.1.2. Descripción de la Red Viaria Modelizada

A la hora de modelar es necesario tener en cuenta algunos atributos necesarios para alimentar la red vial iniciando con los arcos y nodos, seguido se algunas características asociadas a ellos. La estructura de la red vial área metropolitana jienense la constituye un conjunto de vías que actúan de soporte a los modos de transporte existentes para el desplazamiento de la población.

En el modelo se ha clasificado esta red, que sirve como base para la implementación sobre la misma de las características asociadas a cada tipología y que son fundamentales en el proceso de asignación, atendiendo a los siguientes criterios:

CÓDIGO

CLASIFICACIÓN

0	Red de Alta Capacidad
1	Arteria Urbana, Tipo 1
2	Arteria Urbana, Tipo 2
3	Red de Calles
4	Red Convencional
5	Conectores
6	Arcos de tranvía
7	Arcos solo peatonales
8	Arcos circulación no permitida

Tabla 28. Tipología de Arcos de Red

Fuente: Elaboración propia.

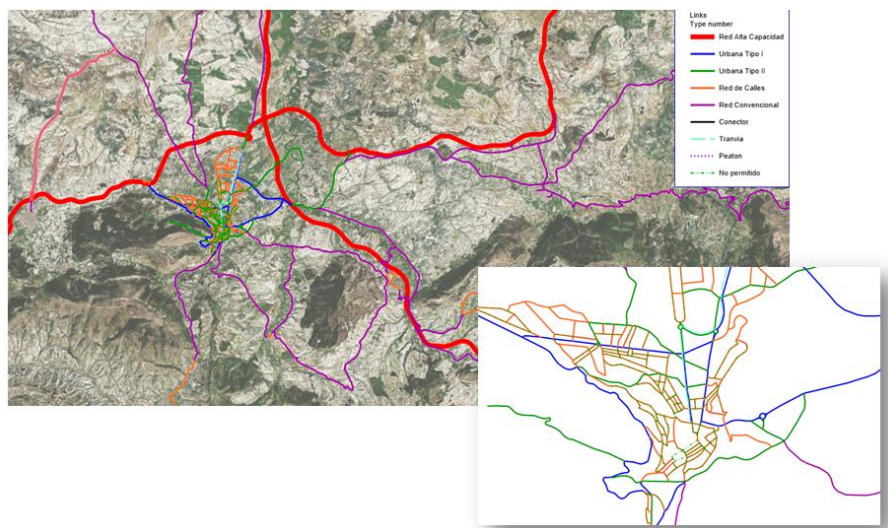


Ilustración 6: Detalle de Red.

Fuente: Elaboración Propia. PTV Visum.

2.6.1.3. Capacidad de la red viaria

En la red elaborada se ha dotado para cada uno de los viales una **capacidad teórica**, utilizando como referencia la tabla adjunta donde se puede comprobar la capacidad teórica del viario en función del ancho del mismo:

Anchura (m)	6	7	7,5	9	10	12	13,5	15	18	20	22
Autovía Vía Urbana								300 0		450 0	
	120 0	135 0	150 0	200 0	220 0	200 0	220 0	240 0	300 0	330 0	360 0
Calle	500 a 800	600 a 100 0	750 a 120 0	900 a 160 0	110 0 180 0	800 a 120 0	900 a 135 0	100 0 150 0	130 0 210 0	150 0 230 0	160 0 260 0
	6	7	7,5	9	10	12	13,5	15	18	20	22

Tabla 29. Capacidad en v/h de vías urbanas de doble sentido de circulación.

Fuente: Manchón, F.; Santamera, J., 1995.

2.6.1.4. Funciones Volumen – Demora

A partir de la clasificación y la capacidad de cada uno de los arcos de la red se procede a otorgarles una **función de congestión** que permita al modelo representar el comportamiento real del viario.

La función volumen-tiempo del Bureau of Public Roads (BPR) son las encargadas de llevar a cabo la citada tarea. Estas funciones de demora relacionan la intensidad, es decir el volumen de vehículos asignados, con el tiempo de recorrido para cada arco. La formulación genérica adoptada es la siguiente:

$$T = l \left[t_0 + a \left(\frac{i}{c} \right)^b \right]$$

Siendo:

- T Tiempo medio de recorrido del arco (min)
- l Longitud del arco (km)
- t_0 Tiempo medio de recorrido de 1 km a flujo libre (min/km)
- i Volumen o intensidad de vehículos (veh/h).
- c Capacidad teórica del arco (veh/h por carril)
- a,b Parámetros de ajuste

La velocidad media de recorrido en un tramo no sólo depende de la interacción entre los distintos vehículos que comparten una misma vía, sino también de diversos factores tanto de la oferta (ancho de calzada, pendiente, existencia o no de obstáculos laterales, tipo de llegada a las intersecciones, tipo de regulación semafórica, etc.) como de la demanda (porcentaje de pesados, número de autobuses, etc.), lo que hace complejo su estudio y análisis de tipologías. La necesaria simplificación para abordar el problema lleva a determinar expresiones como la indicada, que cumplen además con la condición de ser continua, diferenciable y monótonamente creciente exigida por el algoritmo de equilibrio en el modelo de asignación.

En la práctica, la tarea de ajustar la función anterior no es sencilla. Sería necesario llevar a cabo un gran número de medidas en arcos representativos de diferentes tipologías, para calcular los parámetros de la relación. En este caso se ha realizado la **estimación de expresiones de tiempo-intensidad**, a partir de relaciones velocidad-intensidad recogidas en el Manual de Capacidad, de acuerdo a las características básicas del segmento tipo.

Por ello para cada una de las seis tipologías de arcos señaladas en el punto anterior se les asignan los siguientes **parámetros**:

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN	CAPACIDAD POR CARRIL	VELOCIDAD	ALPHA	BETA
0	Red de Alta Capacidad	2000	110	4,60	2,40

1	Arteria Urbana, Tipo 1	1600	50	4,60	2,40
2	Arteria Urbana, Tipo 2	1500	40	0,38	5,00
3	Red de Calles	900	30	1,00	5,00
4	Red Convencional	1200	70	4,60	2,40

Tabla 30. Parámetros según tipología de arcos.
Fuente: Elaboración propia PTV Visum.

El gráfico representa cada una de las funciones utilizadas para los diferentes tipos de arcos de la red modelizada.

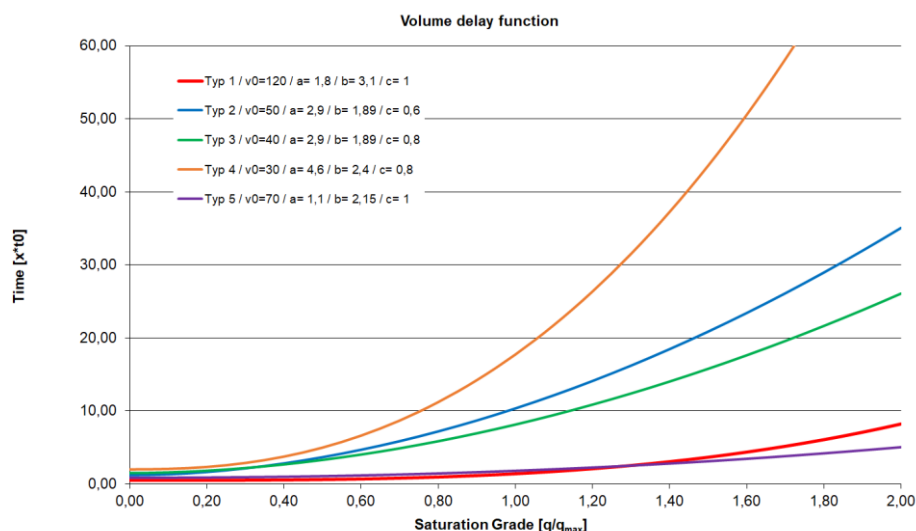


Ilustración 7: Representación Funciones Volumen – Demora.
Fuente: Elaboración Propia.

2.6.2. Matrices Origen – Destino

Dentro de la metodología, la parte más importante es la **calibración de la matriz origen-destino** que se realiza a partir de los volúmenes contabilizados en los aforos. Es importante tener en cuenta que el uso de este método requiere un **perfecto conocimiento de la red**.

Las matrices de viajes son la representación matemática de la movilidad entre cada par de zonas origen/destino. Estas matrices están basadas en encuestas de movilidad que permiten valorar el número de viajes que se producen entre una determinada zona de origen y destino.

Las **matrices de viajes** vienen condicionadas por los siguientes aspectos:

- Zonificación que determina el nivel de detalle de la matriz.
- Modos de transporte considerados: modos públicos y/o privados.
- Periodos horarios ya que se pueden generar matrices independientes para la hora punta y valle o una matriz diaria.

Los viajes procedentes de la matriz de vuelcan a la red mediante los centroides y conectores.

Tal y como se ha descrito en la metodología general del estudio, se ha de partir de una matriz Origen-Destino inicial que se denomina matriz semilla, y que posteriormente se calibrará con los aforos disponibles. Es por ello que cuanto mayor sea la calidad de esta matriz inicial, más rápida será la convergencia a la matriz final obtenida (ODME).

La matriz semilla que se ha considerado para el ajuste se ha extraído de la encuesta domiciliaria atendiendo únicamente a los registros de encuestados que declaran hacer su viaje en la hora punta de la mañana. De este modo se cuenta con una matriz semilla representativa de la hora punta de la mañana cuyo total de viajes en vehículo privado asciende a 38.789.

2.6.3. Calibración

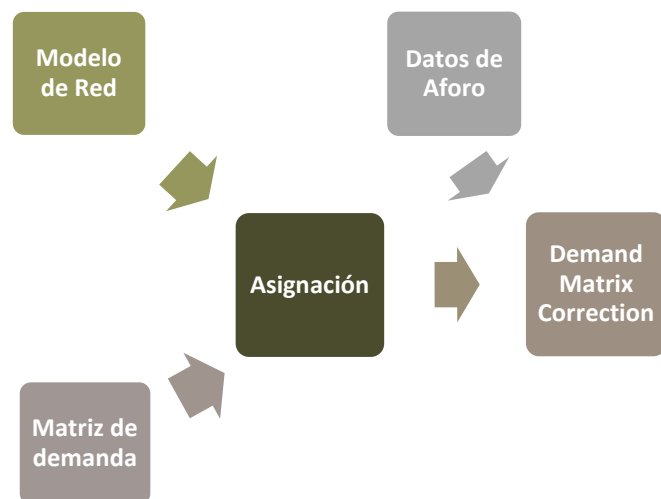
La metodología empleada para la corrección de la matriz previa de viajes se basa en la regeneración o “actualización” de una matriz base a partir de unos aforos. Desde los años ochenta, principalmente en los países de habla inglesa, las llamadas técnicas de corrección de la matriz (o actualización de la matriz) se han utilizado para producir una matriz de demanda actual a partir de una matriz de demanda previa (matriz semilla) utilizando los valores actuales de conteo de tráfico. Basada en la investigación de Van Zuyten/Willumsen (1.980), Bosserhoff (1.985) y Rosinowski (1.994), tradicionalmente esta metodología se ha aplicado a **matrices de transporte privado**.

Para el ajuste de la matriz de vehículo privado, se realiza una primera asignación de la matriz a la red y se comprueba la bondad del mismo mediante la comparación de las intensidades resultantes del modelo con los datos de aforos de tráfico observados en la realidad. El desarrollo de esta actividad implica al menos los siguientes puntos:

- I. Revisión de la estructura de las matrices analizando los pares origen destino.
- II. Asignar estas matrices y ajustarlas de acuerdo con los volúmenes observados, comparando con los resultados de la asignación.
- III. Comprobar la distribución geográfica resultante del ajuste anterior y verificar que se mantiene la estructura inicial de las matrices.

Este último punto es de gran importancia pues se deben evitar cambios sustanciales en la matriz original dado que pueden ofrecer resultados erróneos que no correspondan con las actividades propias de cada zona.

La **secuencia del proceso** es la siguiente:



La calibración se ha realizado con una **matriz única de transporte privado en hora punta de la mañana** y con los puntos de control que cubren toda la red viaria del área metropolitana, estos puntos de control provienen de diversas fuentes, como son: Plan de Aforos de la junta de Andalucía, Mapa de Tráfico del ministerio de Fomento y trabajos de campo realizados ex profeso para el PTMAJ.

Aforos de Junta de Andalucía y Ministerio de Fomento:

Carretera	Aforo	Localización	PK	IMD 2016	% Pesados
A-44	J-5-5	Norte	33,8	23.996	14
	J-6-2	Sureste	42,7	21.638	15
A-4	J-52/5	Andújar	318,08	18.829	24
N-323a	J-331-1	Norte	30,8	2.374	8
	J-332-1	Sur	40,8	3.864	3
A-316	PT-43	Martos - Torredonjimeno		15.937	7
	PR-192	Torredonjimeno-Torredelcampo		22.381	6
	SC-633	Torredelcampo-Jaén	57	18.105	7
	PT-42	Jaén-Mancha Real		10.531	7

A-311	SC-608	Fuerte del Rey-Higuera de Arjona	16,3	3.539	3
	J-6079	Higuera de Arjona-Andújar		3.642	3
	SC-612	Entrada de Andújar		7.377	9
A-6050	PR-222	Jaén-Los Villares		4.613	2
	J-6077	Los Villares-Valdepeñas de Jaén		1.015	4
A-320	PR-193	Mancha Real		1.136	3

Tabla 31. Aforos en la red viaria general.

Fuente: Plan de Aforos Junta de Andalucía y Mapa de Tráfico Ministerio de Fomento.

Aforos realizados en el marco del PTMAJ:

Punto de Aforo	Vehículos	% Pesados
P1 Av. De Madrid / UJa	2.822	25
P2 Av. Antonio Pascual Acosta / C/Patrocinio de Viedma	1.807	16
P3 Av. Granada / Camino de las Cruces	1.890	17
P4 Ctra. Jabalcuz / Eras de Sta. Ana	908	8
P5 Ctra. Córdoba-Valencia (Colegio Altocastillo)	2.808	25
P6 C/ Fuerte del Rey / Av. De Barcelona	847	8
Total	11.082	100

Tabla 32. Aforos Realizados para el PTMAJ en la ciudad de Jaén.

Fuente: Plan de Transporte Metropolitano de Jaén.

2.6.4. Validación del Modelo

Una vez realizada la asignación en la red objeto de estudio se procede a **contrastar** los resultados obtenidos en la misma con los observados en la realidad, este proceso es fundamental dado que constituye el principal indicador de si el modelo responde de forma fidedigna al comportamiento de la movilidad observada y se realiza de dos formas, que son:

- Grado de ajuste mediante regresión lineal que muestra las variaciones que presenta el modelo respecto a los aforos de tráfico considerados.
- Mediante el parámetro estadístico GEH, aceptado por la mayoría de los consultores y académicos como un indicador de calibración sobre la red y cuya formulación es:

$$GEH_i = \sqrt{\frac{(C_i - A_i)^2}{(C_i + A_i)/2}}$$

Dónde:

- C_i es el dato observado y A_i es el dato asignado por el modelo en el arco i

$$\%T = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Modelado}_j}{\sum_{j=1}^n \text{Observado}_j}$$

Dónde:

- j representa cada arco individual con aforo, tomando n como el total de los arcos con aforo en la red.

Mediante este parámetro estadístico valores con alto porcentaje de diferencia que podrían ser considerados no válidos, pueden ser aceptados. Esto demuestra, y de ahí su uso, que ante un amplio rango de flujos las diferencias absolutas o relativas pueden conducir a un error de ajuste que tiene su repercusión en la toma de decisiones apoyadas en el modelo.

El **gráfico de dispersión** que se adjunta a continuación muestra la relación entre los datos de aforo considerados y los flujos resultantes del modelo. Como se puede observar resultan unos coeficientes de correlación en la hora punta de: $R^2=91\%$ por lo que **se considera que el modelo representa de forma fidedigna el tráfico del escenario base en el ámbito metropolitano.**

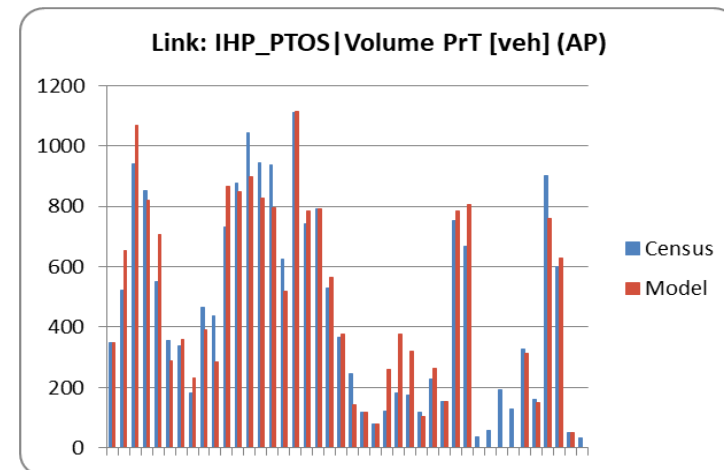
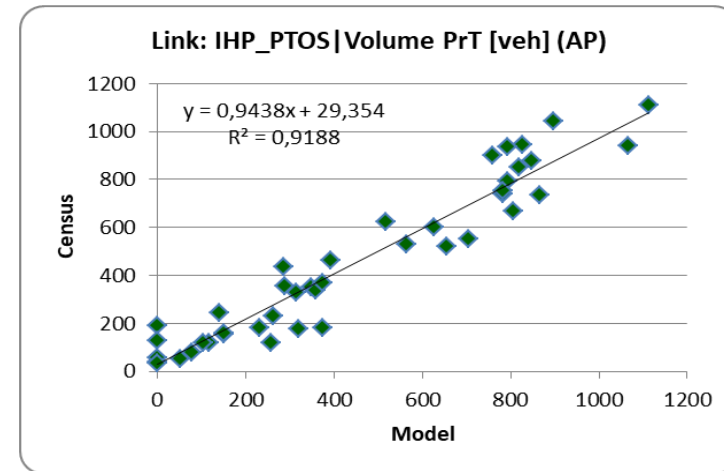


Ilustración 8: Ajuste del Modelo.

Fuente: Elaboración Propia.PTV Visum

Para la hora punta analizada el número de arcos que reproducen los datos observados con un GEH inferior a 5% asciende al 69% lo que se considera un buen ajuste, dadas las características del ámbito de estudio.

Evaluation aggregate	
GEH: Avg	4,3
GEH:<5.0	0,69
Deviation: Avg	0,24
Deviation: Avg weighted	0,14
Deviation:<10	0,4

Tabla 33. Valores GEH.

Fuente: Elaboración propia GEH.

Una vez obtenida y calibrada la **matriz objetivo**, en base a los aforos obtenidos en los trabajos de campo realizados, se puede estimar los efectos que se producirán en la red viaria por la introducción de cambios en la misma, creando para ello nuevos escenarios de red en la que se representen estos cambios.

La imagen adjunta muestra la **red viaria**, asignada con la matriz objetivo, en la que se puede comprobar la distribución de los flujos en hora punta por los principales ejes viarios de la ciudad, los **ejes en los que se observa una mayor carga** son:

- Avenida de Madrid (Sentido norte).
- Avenida de Andalucía (Sentido Este)
- Los viales de acceso a la zona universitaria como la carretera de la Torrequebradilla.

Con menor carga pero con relativa importancia por ser ejes distribuidores de la zona suroeste de la ciudad, la avenida del Ejército Español y la carretera de Circunvalación.

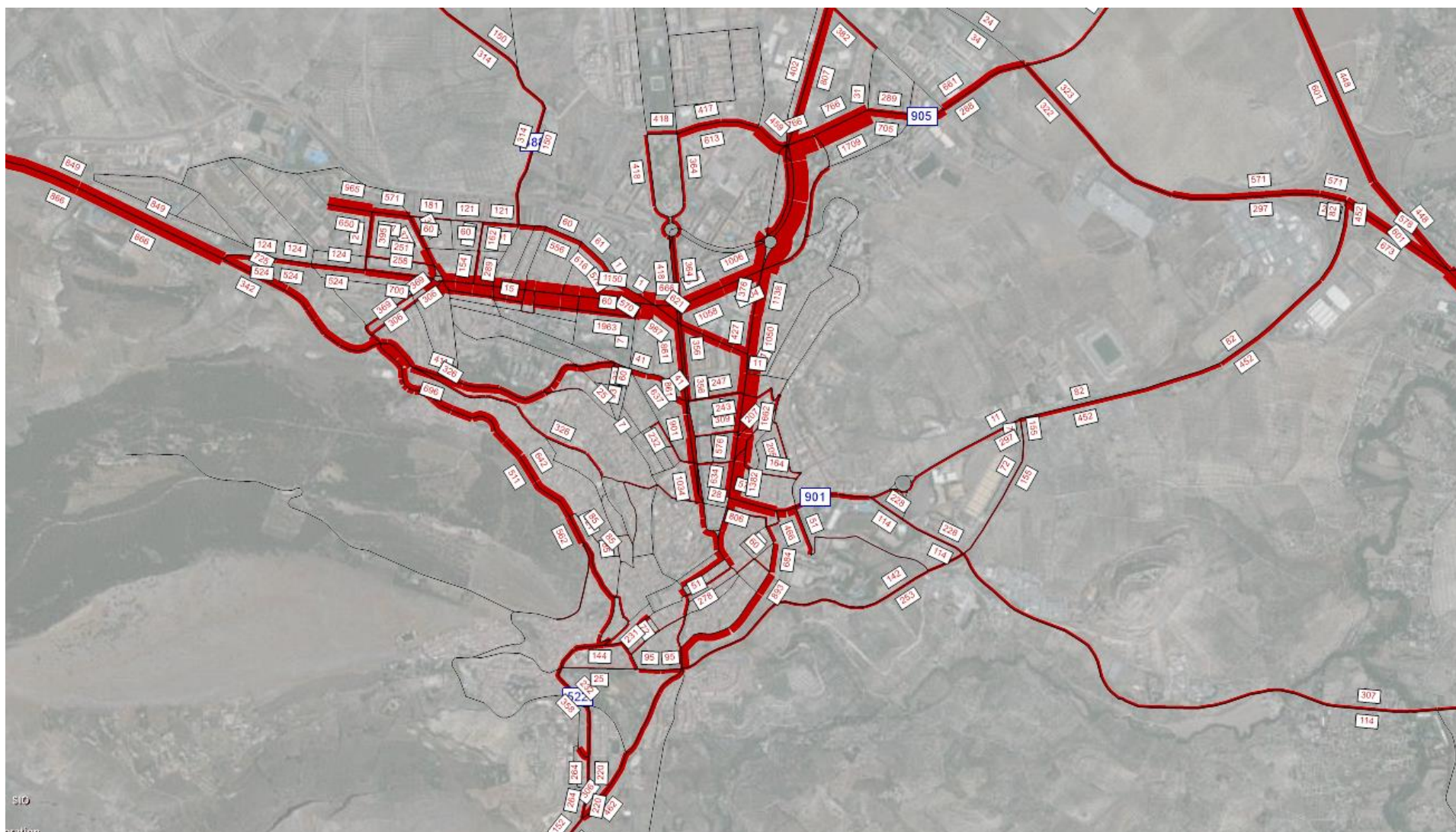


Ilustración 9: Volúmenes de Vehículos en Hora Punta.
Fuente: Elaboración Propia.PTV Visum

El análisis de los volúmenes en la red viaria no es indicador del funcionamiento de la misma, para ellos es necesario el **análisis de la capacidad**, es por lo que se procede a obtener el **parámetro de intensidad/capacidad (I/C)** que permite evaluar el funcionamiento del tráfico en los principales tramos viarios.

Los valores con I/C menores que la unidad, es decir, una capacidad mayor que la intensidad prevista, se consideran viables, mientras que para intensidades superiores a las capacidades se prevén situaciones de congestión-saturación del tráfico que requerirán de propuestas de mejoras de reordenación. Se considera que valores superiores a 0,8 pueden producir problemas puntuales de congestión en dichos tramos, no obstante, hay que tener en cuenta que influyen un mayor número de factores que pueden interceder en el I/C y que no son recogidos con suficiente detalle en un modelo de macrosimulación como la existencia de vehículos en doble fila, paradas de autobús, regulación de intersecciones no semaforizadas, etc.

En la siguiente ilustración se muestran los segmentos en los que se detectan **problemas de capacidad** en la hora punta de análisis, como es el caso de:

Carretera de Torrequebradilla que da acceso a la zona universitaria.

En el centro, las calles que circundan al mismo presentan ratios elevados debido a la disminución de capacidad y restricciones al paso de vehículos con objeto de la peatonalización del entorno del centro urbano.

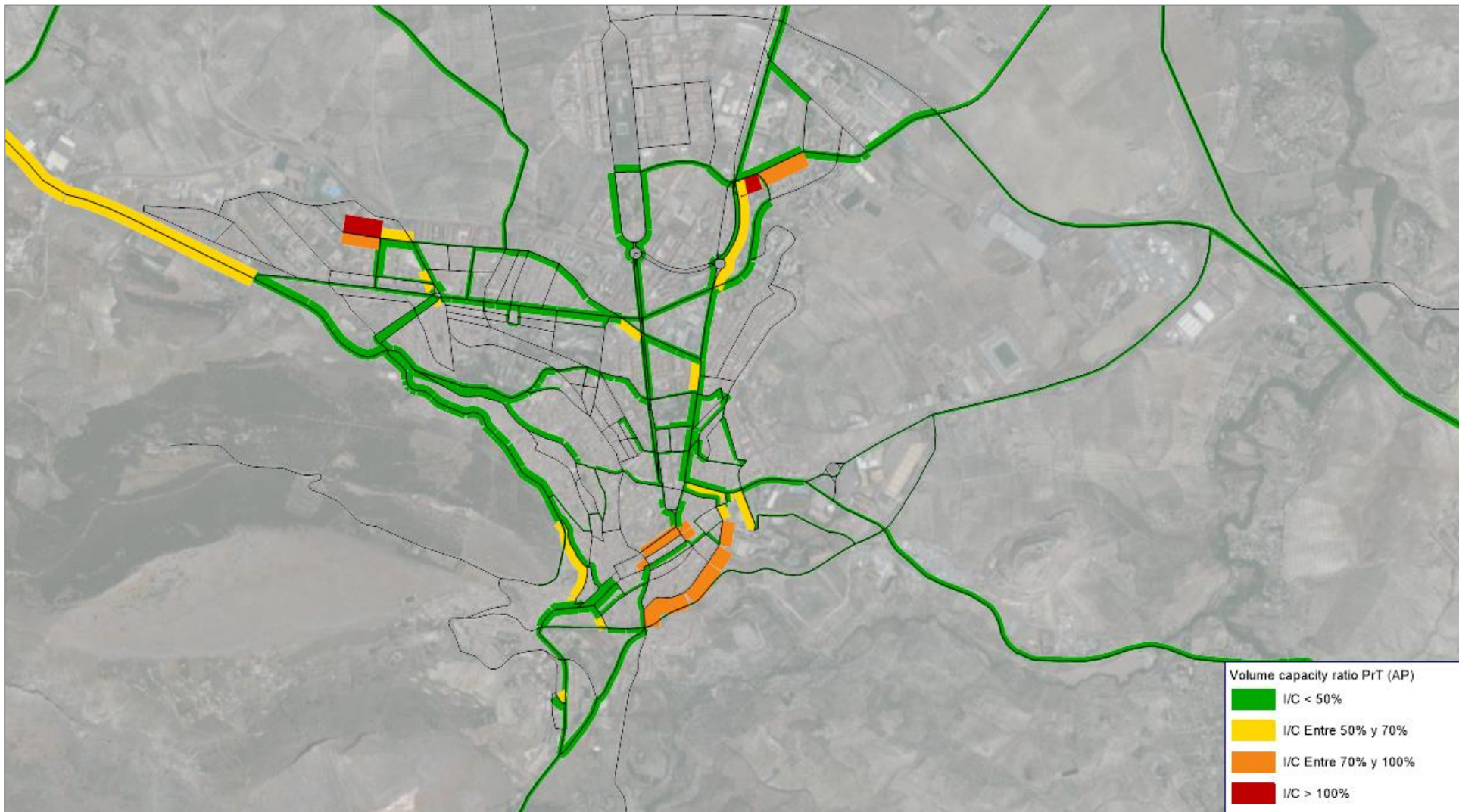


Ilustración 10: Relación Intensidad / Capacidad en hora punta.
Fuente: Elaboración Propia.PTV Visum