

Trabajo Fin de Máster  
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y  
Puertos

Microsimulación del impacto en el tráfico de la  
apertura del centro comercial de Palmas Altas

Autor: Juan Carlos Sánchez Bellas

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

Antonio Reyes Gutierrez

Dep. Ing. y Ciencia de los Materiales y del Transporte  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018





Proyecto Fin de Carrera  
Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

# **Microsimulación del impacto en el tráfico de la apertura del centro comercial de Palmas Altas**

Autor:

Juan Carlos Sánchez Bellas

Tutor:

Luis Miguel Romero Pérez

Antonio Reyes Gutiérrez

Dep. de Ing. y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Máster: Microsimulación del impacto en el tráfico de la apertura del centro comercial de  
Palmas Altas

Autor: Juan Carlos Sánchez Bellas

Tutor: Luis Miguel Romero Pérez

Tutor Antonio Reyes Gutiérrez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A mi familia y amigos*



# Resumen

---

El objetivo de este Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos es el de realizar una simulación del tráfico a escala microscópica en el entorno del enlace de la SE-30 con la autovía A-4 en Palmas Altas, con el fin de evaluar el impacto del futuro centro comercial que se abrirá en dicha zona.

Para ello se realizará un estudio de tráfico, por medio de herramientas de microsimulación, del entorno de Palmas Altas en Sevilla, con el fin de analizar el impacto que tendrá en el tráfico el futuro centro comercial que se construirá en la zona.

El centro comercial Palmas Altas promovido por la multinacional LAR España, con una superficie total de 123.000 m<sup>2</sup> y cerca de 200 locales comerciales, constituirá un importante centro atractor de viajes, cuya influencia requerirá de un estudio pormenorizado, ya que generará importantes alteraciones en los flujos de tráfico en las inmediaciones del centro, y en toda el área metropolitana de Sevilla.

Por tanto, será necesario realizar una evaluación del tráfico actual en la zona de estudio y analizar las características del sistema viario existente, con el objetivo de comprobar si la red es capaz de asumir el tráfico. Se revisarán también las actuaciones propuestas en el proyecto del centro comercial, comprobando si influyen positivamente en el tráfico, y en caso necesario, se propondrán actuaciones alternativas con el objetivo de solucionar los posibles problemas que se puedan presentar.



# Índice

---

Resumen .....	ix
Índice .....	i
Índice de Tablas .....	v
Índice de Figuras .....	vii
<b>1 Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Objetivo y Antecedentes .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objeto del documento.....	11
2.2 Antecedentes .....	11
2.3 Herramientas de trabajo.....	12
2.3.1 TransModeler.....	12
2.4 Objetivos.....	12
2.5 Metodología.....	13
<b>3 Localización y emplazamiento .....</b>	<b>15</b>
3.1 Definición del área de estudio.....	15
3.1.1 Características del área de estudio.....	17
3.1.1.1 Elementos generadores de tráfico .....	17
3.1.1.1.1 Abengoa Campus Palmas Altas – Universidad Loyola Andalucía .....	17
3.1.1.1.2 Puerto de Sevilla .....	17
3.1.1.2 Sistema viario .....	17
3.1.1.2.1 Avenida de la Raza.....	18
3.1.1.2.2 Avenida de Dinamarca .....	18
3.1.1.2.3 Avenida de Palmas Altas .....	19
3.1.1.2.4 Carretera de El Copero .....	20
3.1.1.2.5 Autovía A-4.....	20
3.1.1.2.6 Circunvalación SE-30 .....	21
3.1.1.2.7 Resumen de características del sistema viario.....	22
3.1.1.3 Límites de la zona de estudio.....	23
3.1.2 Conflictos generados en el área de estudio.....	25
<b>4 El Centro Comercial de Palmas Altas.....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Características del centro comercial .....	27
4.1.2 Centros comerciales en la ciudad y su influencia en la movilidad .....	29
4.1.3 Posibles afecciones sobre el tráfico.....	30
4.1.4 Estudio de tráfico existente .....	31
4.1.5 Soluciones al tráfico propuestas por el promotor.....	31
4.1.5.1 Mejoras propuestas en los accesos de vehículos.....	32
4.1.5.2 Otras propuestas de movilidad.....	33
<b>5 Generación de viajes.....</b>	<b>35</b>
5.1 Estimación de viajes diarios atraídos por la zona de estudio .....	36
5.1.1 Experiencia española .....	36

5.1.1.1	Obtención de datos – EDM.....	36
5.1.1.2	Caracterización de los centros comerciales en la Comunidad de Madrid .....	37
5.1.1.3	Variables explicativas de la movilidad de los centros comerciales.....	37
5.1.1.4	Cálculo del número de viajes que atrae un Centro Comercial.....	38
5.1.2	Trip Generation Manual .....	41
5.1.2.1	Procedimiento .....	41
5.1.2.2	Usos de suelo contemplados.....	41
5.1.2.2.1	820 – Shopping Center .....	41
5.1.2.2.2	550 – University.....	42
5.1.2.2.3	710 – General Office Building.....	42
5.1.3	Plan de Transporte Metropolitano de Sevilla .....	43
5.1.4	Comparación de los resultados de demanda obtenidos.....	46
5.2	<i>Estimación de las intensidades de tráfico en hora punta</i> .....	47
5.2.1	Trip Generation Manual .....	47
5.2.2	Experiencia Española.....	48
5.3	<i>Conclusiones</i> .....	50
<b>6</b>	<b>Intensidades de Tráfico en la Zona de estudio</b> .....	<b>51</b>
6.1	<i>Análisis de la red</i> .....	51
6.2	<i>Obtención de intensidades de tráfico actuales</i> .....	53
6.2.1	Datos de aforos existentes .....	54
6.2.1.1	Datos de aforos del Mapa de Tráfico de la DGT.....	54
6.2.1.2	Procedimiento de obtención de las intensidades de cálculo.....	55
6.2.1.3	Intensidades obtenidas de los sensores .....	55
6.2.1.3.1	A-4 PK 546,27 Creciente (Sentido hacia Cádiz) .....	58
6.2.1.3.2	A-4 Pk 546,07 Decreciente (Sentido hacia Sevilla) .....	59
6.2.1.3.3	SE-30 Pk 12.0 Creciente (Puente V Centenario hacia Huelva) .....	59
6.2.1.3.4	SE-30 Pk 10.0 Decreciente (Puente V Centenario sentido hacia Córdoba) .....	60
6.2.1.3.5	SE-30 Pk 8.7 Decreciente (Enlace con la N-IV) .....	60
6.2.1.3.6	SE-30 Pk 8.05 Creciente (Sentido hacia Huelva) .....	61
6.2.1.3.7	SE-30 Pk 8.05 Decreciente (Sentido hacia Córdoba) .....	61
6.2.1.4	Actualización de las intensidades obtenidas de los sensores .....	62
6.2.2	Conteos manuales.....	63
6.2.3	Intensidades de vías no aforadas .....	66
<b>7</b>	<b>Matrices Origen/Destino</b> .....	<b>73</b>
7.1.1	Cálculos previos – Vectores de Generación-Atracción.....	73
7.1.2	Distribución de viajes .....	74
7.1.2.1	Método de Furness .....	74
7.1.2.2	Ajuste de viajes de la matriz mediante restricciones en pares .....	76
7.1.3	Matriz Origen/Destino escenario actual.....	78
7.1.4	Matriz Origen/Destino con el centro comercial.....	79
<b>8</b>	<b>Modelado en TransModeler</b> .....	<b>81</b>
8.1	<i>Modelado</i> .....	81
8.1.1	Creación del mapa base.....	81
8.1.2	Creación del archivo de simulación .....	82
8.1.3	Creación de la red viaria .....	82
8.1.3.1	Tipo de vía .....	82
8.1.3.2	Creación o eliminación de vías .....	83
8.1.3.2.1	Añadir o eliminar carriles.....	83
8.1.3.2.2	Carriles de aceleración o deceleración .....	83
8.1.3.3	Nodos y “Lane Connector” .....	83
8.1.3.4	Centroides.....	84
8.1.3.5	Elevación .....	84
8.1.3.6	Sensores .....	84

8.1.4	Composición final del modelo .....	85
8.2	<i>Calibración del modelo</i> .....	85
8.2.1	Problemas de comportamiento detectados.....	85
8.2.2	Comprobación del Network.....	87
8.2.3	Calibración de la geometría .....	87
8.2.4	Ajuste de parámetros.....	88
8.2.4.1	Parámetros generales .....	88
8.2.4.1.1	Mecánicas del modelo .....	88
8.2.4.1.2	Parámetros microscópicos.....	89
8.2.4.1.3	Velocidad deseada .....	90
8.2.4.2	Flota de vehículos .....	90
8.2.4.3	Elección de ruta .....	90
8.2.4.4	Comportamiento del conductor.....	90
<b>9</b>	<b>Microsimulación de la Zona de Estudio.....</b>	<b>91</b>
9.1	<i>Configuración de simulación</i> .....	91
9.2	<i>Configuración de los parámetros</i> .....	92
9.3	<i>Escenarios de simulación</i> .....	92
9.3.1	Escenario Base .....	92
9.3.1.1	Configuración del escenario.....	93
9.3.1.2	Análisis de funcionamiento del escenario .....	93
9.3.1.3	Resultados de la simulación .....	95
9.3.2	Escenario Intermedio .....	95
9.3.2.1	Configuración del escenario.....	95
9.3.2.2	Análisis de funcionamiento del escenario .....	96
9.3.2.3	Resultados de la simulación .....	97
9.3.3	Escenario Futuro .....	98
9.3.3.1	Configuración del escenario.....	98
9.3.3.2	Análisis de funcionamiento del escenario .....	99
9.3.3.3	Resultados de la simulación .....	101
9.3.4	Escenario Solución propuesta.....	101
9.3.4.1	Configuración del escenario.....	101
9.3.4.2	Análisis de funcionamiento del escenario .....	103
9.3.4.2.1	Carril reversible abierto en sentido Córdoba .....	103
9.3.4.2.2	Carril reversible abierto en sentido Huelva .....	105
9.3.4.3	Resultados de la simulación .....	106
9.3.4.3.1	Carril reversible abierto en sentido Córdoba .....	106
9.3.4.3.2	Carril reversible abierto en sentido Huelva .....	107
9.4	<i>Comparativa de resultados</i> .....	107
9.4.1	Estadísticas generales de los viajes .....	107
9.4.2	Mapas de flujo en los segmentos.....	110
9.4.3	Mapas de velocidades en los segmentos .....	112
9.4.4	Mapas de demoras medias en los segmentos .....	114
<b>10</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>117</b>
10.1	<i>Desarrollo del trabajo</i> .....	117
10.2	<i>Escenarios de microsimulación</i> .....	118
10.3	<i>Líneas futuras</i> .....	120
<b>ANEXO I: PLANOS</b> .....		<b>121</b>
<i>Listado de planos</i> .....		121
<b>Bibliografía</b> .....		<b>123</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Resumen de características del sistema viario de la zona de estudio. Elaboración propia	22
Tabla 2 Resumen de características de las glorietas más importantes de la zona de estudio. Elaboración propia	23
Tabla 3: Caracterización de los Centros Comerciales en la Comunidad de Madrid [1]	37
Tabla 4 Ratios de generación en función de la tipología del espacio comercial [1]	39
Tabla 5 Distribución semanal de viajes al centro comercial [1]	39
Tabla 6 Ratios de generación de viajes de interés en centros comerciales [1]	39
Tabla 7 Resultados de generación de viajes del centro comercial Palmas Altas. Elaboración propia	40
Tabla 8 Resultados de generación de viajes del Campus Palmas Altas. Elaboración propia	40
Tabla 9 Ratios de movilidad según uso de suelo del Plan de Transporte metropolitano [3]	45
Tabla 10 Resultados de generación de viajes con los ratios del Plan de Transporte Metropolitano. Elaboración propia	46
Tabla 11 Resultados de generación de viajes de las distintas metodologías. Elaboración propia	46
Tabla 12 Distribución horaria de los viajes a los centros comerciales en España [4]	49
Tabla 13 Intensidades registradas de los aforos de Infocar. Elaboración propia	57
Tabla 14 Resultados obtenidos del conteo manual. Elaboración propia	64
Tabla 15 Vectores de Generación-Atracción. Elaboración propia	73
Tabla 16 Matriz base utilizada	75
Tabla 17 Matriz de viajes resultante de la distribución doblemente acotada	76
Tabla 18 Matriz base para la aplicación del Método de Furness con restricciones	77
Tabla 19 Restricciones adoptadas en la nueva aplicación del método de Furness	78
Tabla 20 Matriz de viajes definitiva utilizada en la situación actual	78
Tabla 21 Matriz de viajes en la situación futura con el centro comercial	79
Tabla 22 Resultados numéricos del escenario base	95
Tabla 23 Resultados numéricos del escenario intermedio	97
Tabla 24 Resultados numéricos del escenario futuro	101
Tabla 25 Resultados numéricos del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Córdoba	107
Tabla 26 Resultados numéricos del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Huelva	107
Tabla 27 Estadísticas de los viajes de todos los escenarios de simulación	108
Tabla 28 Estadísticas de los viajes completos de todos los escenarios de simulación	109



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Ilustración 3-1. Localización del área de estudio	16
Ilustración 3-2 Vista aérea del área de estudio	16
Ilustración 3-3 Sistema viario en el área de estudio. Elaboración propia	17
Ilustración 3-4 Avenida de la Raza	18
Ilustración 3-5 Avenida de Dinamarca	18
Ilustración 3-6 Avenida de Palmas Altas	19
Ilustración 3-7 Avenida de Palmas Altas	19
Ilustración 3-8 Carretera de El Copero	20
Ilustración 3-9 Autovía A-4	20
Ilustración 3-10 Tramo de la SE-30 sobre el puente del V Centenario	21
Ilustración 3-11 Tramo de la SE-30 antes del puente	21
Ilustración 3-12 Localización de las principales vías de la zona de estudio. Elaboración propia	22
Ilustración 3-13 Límites del viario de la zona de estudio considerados. Elaboración propia	24
Ilustración 4-1 Infografía de la zona de estudio con el futuro centro comercial Palmas Altas. LAR España	27
Ilustración 4-2 Distribución de espacios en planta del centro comercial. El Correo	28
Ilustración 4-3 Principales centros comerciales de la ciudad de Sevilla. El Correo	29
Ilustración 4-4 Mejoras propuestas sobre el tráfico por el promotor. Diario de Sevilla	32
Ilustración 5-1 Principales accesos con respecto al sistema de transporte público [3]	44
Ilustración 6-1 Mapa de tráfico típico de Sevilla durante la hora punta de 14:00 a 15:00. Google Maps	52
• Ilustración 6-2 Mapa de tráfico típico de Google Maps durante la hora punta de 14:00 a 15:00	53
Ilustración 6-3 Distribución diaria del tráfico durante un viernes en uno de los aforos de la zona de estudio.	53
Ilustración 6-4 Localización de los aforos de Infocar. Elaboración propia	56
Ilustración 6-5 Intensidades consideradas en cada punto de aforo de Infocar. Elaboración propia	58
Ilustración 6-6 Intensidades mensuales del aforo A-4 PK 546,27 C	58
Ilustración 6-7 Intensidades mensuales del aforo A-4 Pk 546,07 D	59
Ilustración 6-8 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 12.0 C	59
Ilustración 6-9 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 10.0 D	60
Ilustración 6-10 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 8.7 D	60
Ilustración 6-11 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 8.05 C	61
Ilustración 6-12 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 8.05 D	61
Ilustración 6-13 Intensidades consideradas para el desarrollo del modelo en los aforos de Infocar. Elaboración propia	62

Ilustración 6-14 Localización de los puntos donde se han realizado conteos manuales. Elaboración propia	63
Ilustración 6-15 Intensidades de tráfico obtenidas del conteo manual. Elaboración propia	65
Ilustración 6-16 Intensidades de tráfico en las avenidas de la Raza y de Dinamarca. Elaboración propia	65
Ilustración 6-17 Intensidades de tráfico en la avenida de Palmas Altas. Elaboración propia	66
Ilustración 6-18 Intensidades de tráfico en dirección a la A-4. Elaboración propia	69
Ilustración 6-19 Intensidades de tráfico en los accesos de la SE-30 y A-4 a la Glorieta Norte. Elaboración propia	69
Ilustración 6-20 Intensidades de tráfico procedentes de la A-4. Elaboración propia	70
Ilustración 6-21 Intensidades de tráfico en la SE-30. Elaboración propia	71
Ilustración 7-1 Localización de los centroides del modelo. Elaboración propia	74
Ilustración 9-1 Mapa de velocidades del escenario base	93
Ilustración 9-2 Formación de cola en la SE-30 en el escenario base	94
Ilustración 9-3 Mapa de velocidades del escenario intermedio	96
Ilustración 9-4 Mapa de velocidades del escenario futuro	99
Ilustración 9-5 Mapa de velocidades del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Córdoba	103
Ilustración 9-6 Mapa de velocidades del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Huelva	105
Ilustración 9-7 Mapa de flujo del Escenario Base	111
Ilustración 9-8 Mapa de flujo del Escenario Futuro	111
Ilustración 9-9 Mapa de Flujo del Escenario Solución con el carril reversible en sentido Huelva	111
Ilustración 9-10 Mapa de la velocidad del tráfico típico de Google Maps de la zona de estudio	112
Ilustración 9-11 Mapa de velocidades del Escenario Base	113
Ilustración 9-12 Mapa de velocidades del Escenario Futuro	113
Ilustración 9-13 Mapa de velocidades del Escenario Solución con el carril reversible en sentido Huelva	113
Ilustración 9-14 Mapa de demoras medias del Escenario Base	115
Ilustración 9-15 Mapas de demoras medias del Escenario Futuro	115
Ilustración 9-16 Mapa de Demoras Medias del Escenario Futuro	115

# 1 INTRODUCCIÓN

---

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo la evaluación del impacto de tráfico producido por la construcción del futuro centro comercial de Palmas Altas en Sevilla, por medio del empleo de herramientas de microsimulación.

El trabajo consistirá en el desarrollo de modelos de microsimulación que permitirán simular el comportamiento del tráfico en la zona de estudio para evaluar el impacto del centro comercial sobre el viario del entorno.

Una vez analizada la influencia del centro comercial sobre el área de estudio, se realizarán propuestas para minimizar dicho impacto y optimizar la entrada y salida de vehículos al centro comercial.

Se partirá de un análisis de la zona de estudio, examinando los principales viarios que estarán afectados por el desarrollo del centro comercial, así como realizando una previsión de los problemas de tráfico existentes en la zona antes de la implantación del centro comercial.

Posteriormente se ha realizado un estudio del centro comercial y sus principales características básicas, identificando las actuaciones principales del proyecto del centro comercial, los problemas que puede generar su implantación, así como las medidas de tráfico propuestas por el promotor para mitigar los problemas potenciales que generará sobre el tráfico.

En el siguiente punto comienza el desarrollo del modelo, con los cálculos previos realizados para determinar la demanda de transporte atraída por el nuevo centro comercial. Para ello se han aplicado varios procedimientos usuales en estos tipos de estudios que permiten realizar esta previsión.

A continuación, se ha realizado un estudio del tráfico que discurre actualmente por la zona, analizando los aforos existentes, así como con la realización de aforos manuales que han permitido recoger datos de interés del trabajo de campo. Se ha realizado con ello una caracterización del tráfico actual en el viario del entorno del centro comercial.

En relación con la caracterización del tráfico, un paso importante para el desarrollo del modelo fue la caracterización de la demanda, consistente en la obtención de las distintas matrices de orígenes y destinos que se emplearán en las simulaciones, calculadas a partir de los datos obtenidos de la caracterización del tráfico.

El siguiente paso desarrollado en este trabajo fue la modelización en si misma de los distintos escenarios de simulación que se han considerado, partiendo del escenario base y contemplando las futuras medidas que se desarrollarán con la construcción del centro comercial. Como herramienta de trabajo se ha empleado el software de microsimulación TransModeler, que permite asignar las distintas matrices de demanda construidas sobre la geometría de la zona de estudio para evaluar el comportamiento del tráfico.

Una vez con el modelo desarrollado, se han analizado las distintas características de los diferentes escenarios de microsimulación planteados, observando las diferencias de comportamiento entre cada uno de ellos, y comparando los distintos resultados proporcionados por el programa.

Por último, con los resultados obtenidos anteriormente, se ha procedido a evaluar la influencia de la actuación en todo el viario del entorno, alcanzando las conclusiones finales del estudio realizado acerca del impacto producido por el centro comercial en el tráfico de la zona de estudio.



# 2 OBJETIVO Y ANTECEDENTES

---

## 2.1 Objeto del documento

El presente Trabajo de Fin de Master del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos tiene como objeto el estudio de tráfico, por medio de herramientas de microsimulación, del entorno de Palmas Altas en Sevilla, para analizar el impacto que tendrá en el tráfico el futuro centro comercial que se construirá en la zona.

El centro comercial Palmas Altas promovido por la multinacional LAR España, con una superficie total de 123.000 m<sup>2</sup> y cerca de 200 locales comerciales, constituirá un importante centro atractor de viajes, cuya influencia requerirá de un estudio pormenorizado, ya que generará importantes alteraciones en los flujos de tráfico en las inmediaciones del centro, y en toda el área metropolitana de Sevilla.

Por tanto, será necesario realizar una evaluación del tráfico actual en la zona de estudio y analizar las características del sistema viario existente, con el objetivo de comprobar si la red es capaz de asumir el tráfico. Se revisarán también las actuaciones propuestas en el proyecto del centro comercial, comprobando si influyen positivamente en el tráfico, y en caso necesario, se propondrán actuaciones alternativas con el objetivo de solucionar los posibles problemas que se puedan presentar.

## 2.2 Antecedentes

Este Trabajo de Fin de Máster queda enmarcado en una de las líneas de investigación del departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, en el Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la ETSI (Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla).

La principal motivación para la realización del presente trabajo dentro del campo de la Ingeniería del Transporte es el análisis de la repercusión que puede tener en el tráfico, a distintas escalas, el desarrollo del futuro centro comercial de Palmas Altas. La construcción de un elemento tan relevante en cuanto a la generación y atracción de viajes, en un entorno donde actualmente existen importantes conflictos y problemas de congestión del tráfico, motiva la realización de un estudio pormenorizado de su impacto.

## 2.3 Herramientas de trabajo

Las herramientas empleadas en el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Máster han sido proporcionadas por el Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes del Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte. Las principales herramientas empleadas en este trabajo son las mostradas a continuación:

- **TransModeler:** Herramienta informática de microsimulación desarrollado por Caliper Corporation.
- **TransCAD:** Herramienta informática de macrosimulación desarrollado por Caliper Corporation
- **ArcGIS:** SIG (Sistema de Información Geográfica)
- **AutoCAD:** Software de edición gráfica

Como fuentes de información utilizadas para la obtención de datos relativos al tráfico se han utilizado las siguientes:

- **EDM2007:** Encuesta domiciliaria del área metropolitana de Sevilla del año 2007
- **Aforos de la Dirección General de Tráfico (DGT)**
- **Trip Generation Manual**

### 2.3.1 TransModeler

TransModeler aplica una serie de modelos matemáticos del comportamiento de los conductores y de la teoría de flujos para simular fenómenos del tráfico. Sus modelos hacen uso de una amplia y variada cantidad de datos de entrada sobre el sistema de transporte, son capaces de generar un amplio número de estadísticas y resultados, y dependen de un diverso conjunto de parámetros.

Para facilitar el desarrollo y la gestión de los datos requeridos por los modelos de simulación del tráfico, TransModeler organiza todos los elementos en un proyecto de simulación. Estos son una combinación de datos de entrada, los datos de salida que permiten evaluar los resultados de la simulación, y los parámetros que definen completamente el estudio de simulación y lo calibran para parecerse a las observaciones del mundo real.

## 2.4 Objetivos

El principal objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster es analizar el impacto que supondrá la implantación del centro comercial que se construirá en Palmas Altas en el tráfico de la zona, el entorno de la entrada al puente del V Centenario en los Bermejales, una zona que ya presenta importantes problemas de congestión en la actualidad.

Para ello se realizarán varios modelos de microsimulación comparando la situación actual con el estado futuro para ver la repercusión que tiene sobre el tráfico el desarrollo del centro. Se evaluarán también la efectividad de las medidas correctoras que serán tomadas sobre el viario, así como con un escenario con posibles soluciones a los problemas que puedan existir.

En total se considerarán 4 modelos:

- El escenario base calibrado para representar adecuadamente la situación actual del tráfico en la zona de estudio
- Un escenario intermedio para analizar los problemas que generaría la implantación del centro comercial sin adoptar medidas adicionales para asegurar la correcta fluidez del tráfico
- El escenario futuro con el centro comercial y las medidas que se llevarán a cabo sobre el tráfico, para analizar el impacto de este y el comportamiento en la situación definitiva
- Un escenario con propuestas de mejora, fruto del análisis del escenario futuro, con diversas medidas adoptadas para intentar mejorar las condiciones del tráfico en la situación futura

## 2.5 Metodología

La metodología a emplear en el presente Trabajo de Fin de Master consiste en la realización de un estudio de impacto de tráfico de un centro comercial.

Se evaluará por tanto la situación actual, realizando una caracterización del Centro Comercial y de su entorno, incluyendo la red viaria existente. Con ello se obtendrá la situación de tráfico actual en las vías próximas al Centro Comercial.

La caracterización del tráfico en la situación actual es de vital importancia, ya que es imprescindible para la calibración de los modelos. El escenario actual es el único que cuenta con datos reales, por lo que con él puede calibrarse el modelo para que se parezca a la realidad. Con la confianza de que el modelo calibrado es realista, pueden introducirse cambios en él para configurar los distintos escenarios futuros esperando que la respuesta de estos refleje de forma adecuada el comportamiento futuro

Posteriormente se realizará un modelo de generación de tráfico, con el que se evaluará el tráfico generado por el centro comercial.

Por último, se analizará la situación futura tras la implantación del centro comercial, revisando los nuevos accesos que se construirán para analizar la capacidad máxima de tráfico admisible en la red viaria en ese nuevo estado, proponiendo nuevas actuaciones en caso de que sea necesario.

Para todo ello, se realizarán modelos de microsimulación, que permitirán evaluar el tráfico tanto en la situación actual como en las situaciones futuras.



# 3 LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

---

El primer paso para el desarrollo del modelo es identificar la zona de actuación del centro comercial y su área de influencia desde el punto de vista del análisis del tráfico.

En el presente capítulo se identificará el área de estudio que se desarrollará posteriormente en los modelos de microsimulación, se realizará un análisis de sus características más importantes, se identificarán los viales por los que está compuesto y se presentaran los conflictos referentes al tráfico que existen en la actualidad en la zona.

## 3.1 Definición del área de estudio

La ciudad de Sevilla se encuentra localizada en la Comunidad Autónoma de Andalucía, limitando al noreste con Córdoba, al oeste con Huelva y al sur con Cádiz.

Sevilla cuenta con una población de 690.566 habitantes (2016). A nivel de área metropolitana, esta se compone de 46 municipios con una población de 1.535.379 habitantes (2016) en una extensión de 4.905,04 km<sup>2</sup>, lo que proporciona una densidad de población de unos 313,02 habitantes por km<sup>2</sup><sup>1</sup>

El área de estudio sobre la que se desarrollarán los distintos modelos de simulación se localiza sobre las coordenadas 37° 20' 33,1'' N; 5°59' 11,7'' O, en las inmediaciones del nudo de la SE-30 con la A-4, entre la SE-30 y la avenida de Palmas Altas.

Esta zona se encuentra localizada en la zona sur de la ciudad de Sevilla, entre el barrio de Los Bermejales y Bellavista, una zona destinada en un futuro a ser zona residencial.

Desde el punto de vista del sistema viario dentro del área metropolitana, la zona se encuentra localizada en un importante nodo, ya que confluyen en la zona importantes viarios que conforman la salida sur de la ciudad de Sevilla, a su vez que se encuentra al comienzo del puente del V Centenario, con el que la ronda de circunvalación SE-30 sobrepasa el Guadalquivir.

---

<sup>1</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadística

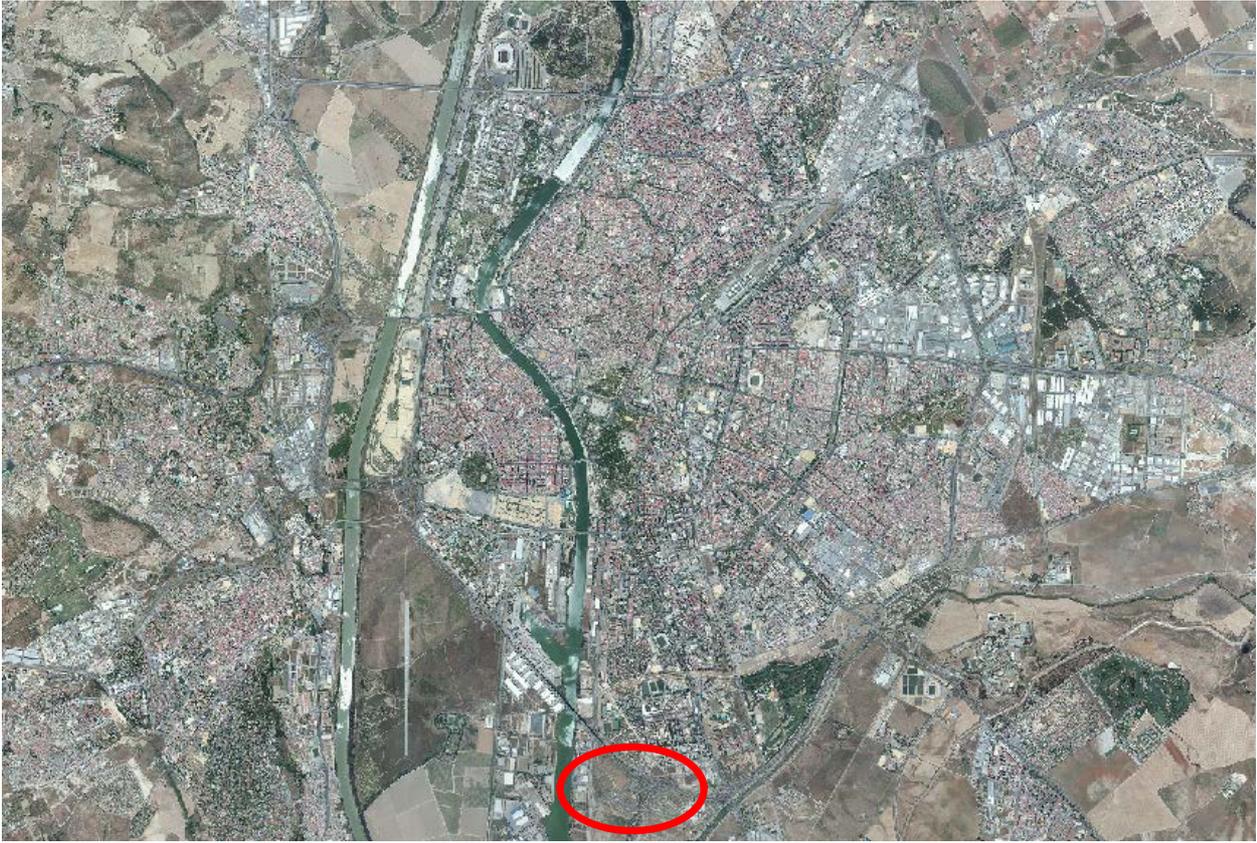


Ilustración 3-1. Localización del área de estudio



Ilustración 3-2 Vista aérea del área de estudio



Se puede observar que la red viaria existente en la zona de estudio presenta la confluencia de dos vías de vital importancia para la ciudad de Sevilla, como son la ronda urbana SE-30, además de la autovía A-4 que conecta Sevilla con Cádiz. Junto a estos viarios principales, aparecen otros más secundarios en cuanto a capacidad, pero vitales para el funcionamiento interno de la zona, con todo el conjunto de avenidas presentes en la zona.

El sistema viario de la zona de estudio se encuentra formado por las siguientes calles y carreteras:

#### 3.1.1.2.1 Avenida de la Raza



Ilustración 3-4 Avenida de la Raza

La avenida de la Raza se trata de un viario de amplia longitud, que conecta la glorieta de Méjico, en las inmediaciones del acceso al Puente de las Delicias, con la glorieta que da acceso a la SE-30 al comienzo del puente del V Centenario.

Se trata de una avenida de capacidad elevada, con dos carriles por sentido de circulación de 4 metros de ancho en el tramo de la zona de estudio. La velocidad de la vía es de 50 km/h.

En la zona de estudio cuenta con dos tramos separados por la glorieta localizada bajo el puente del V Centenario que da acceso a las instalaciones del puerto y a Palmas Altas.

#### 3.1.1.2.2 Avenida de Dinamarca



Ilustración 3-5 Avenida de Dinamarca

La avenida de Dinamarca recorre perimetralmente el barrio de Los Bermejales, conectando la avenida de la Raza en su tramo intermedio con la glorieta de acceso a la SE-30 al comienzo del puente del V Centenario.

Su tramo final, incluido en el área de estudio, presenta tipología de bulevar con mediana y dos carriles por sentido de 4 metros de ancho. La velocidad está limitada a 40 km/h.

### 3.1.1.2.3 Avenida de Palmas Altas

La avenida de Palmas Altas recorre toda la zona sur del área de estudio, enlazando la glorieta que conecta la avenida de la Raza con la carretera de El Copero y la zona de aparcamientos del Campus Palmas Altas. A través de esta avenida se dará acceso al futuro centro comercial. Presenta varias tipologías de sección transversal en su recorrido. La velocidad límite es de 50 km/h



Ilustración 3-6 Avenida de Palmas Altas

El primer tramo que bordea la parcela del futuro centro comercial presenta dos carriles, uno para cada sentido de la circulación



Ilustración 3-7 Avenida de Palmas Altas

En el tramo más cercano al Campus Palmas Altas, la vía pasa a tener dos carriles por sentido de circulación.

#### 3.1.1.2.4 Carretera de El Copero



Ilustración 3-8 Carretera de El Copero

Un pequeño tramo de la carretera de El Copero se encuentra situado en el área de estudio. Conecta la glorieta localizada en la avenida de la Raza bajo el puente del V Centenario con la avenida de Palmas Altas. Cuenta con dos carriles por sentido y una velocidad límite de 50 km/h

#### 3.1.1.2.5 Autovía A-4



Ilustración 3-9 Autovía A-4

La autovía A-4 o Autovía del Sur es la autovía radial que conecta Cádiz con Madrid pasando por Sevilla. En la zona de estudio se localiza la entrada a Sevilla desde Cádiz de esta autovía.

En los tramos cercanos a la zona de estudio, la autovía presenta dos calzadas separadas por una mediana, con tres carriles cada una para cada sentido de circulación, mientras que la velocidad máxima se encuentra limitada a 80 km/h.

Acaba llegando a la zona de estudio entroncando con la SE-30 en un complejo nudo. En el, el tráfico procedente de la A-4 se divide en 3 con un carril para cada destino. En primer lugar, a través del carril de la derecha, los vehículos accederán a la SE-30 en sentido Córdoba. Por el carril central discurren todos aquellos vehículos que salgan de la A-4 hacia el interior de la ciudad, desembocando en la glorieta de acceso de la SE-30 que conecta

con Palmas Altas, la avenida de la Raza y el barrio de los Bermejales. Por último, por medio del carril de la izquierda los vehículos de la A-4 se incorporan a la SE-30 en sentido Huelva.

#### 3.1.1.2.6 Circunvalación SE-30

La SE-30 es una autovía de circunvalación que rodea la ciudad de Sevilla. En la zona de estudio destaca en su constitución del nudo con la A-4 antes de la entrada en el puente del V Centenario. En el ámbito de estudio pueden diferenciarse varias zonas



Ilustración 3-10 Tramo de la SE-30 sobre el puente del V Centenario

Destaca en primer lugar el tramo del puente del V Centenario, que cuenta con dos carriles por sentido y la particularidad de que presenta un carril central reversible. La velocidad en el puente se encuentra limitada a 60 km/h.



Ilustración 3-11 Tramo de la SE-30 antes del puente

El tramo de SE-30 antes del puente dispone de 3 carriles para cada sentido de la circulación. La velocidad límite en la zona de estudio es de 80 km/h

### 3.1.1.2.7 Resumen de características del sistema viario

A modo de síntesis, se recogen a continuación las principales características de todas las carreteras que forman parte del sistema viario de la zona de estudio

Carretera	Nº Carriles	Ancho carril	Velocidad Límite
Avenida de la Raza	2 carriles por sentido	3,4 m	50 km/h
Avenida de Dinamarca	2 carriles por sentido	3,1 m	40 km/h
Avenida de Palmas Altas	1 carril por sentido	3,3 m	50 km/h
Carretera de El Copero	2 carriles por sentido	4 m	50 km/h
Autovía A-4	3 carriles por sentido	4,5 m	100 km/h
Circunvalación SE-30	3 carriles por sentido	3,3 m	80 km/h
SE-30 Puente del V Centenario	2 carriles por sentido más un carril reversible	2,9 m	60 km/h

Tabla 1 Resumen de características del sistema viario de la zona de estudio. Elaboración propia

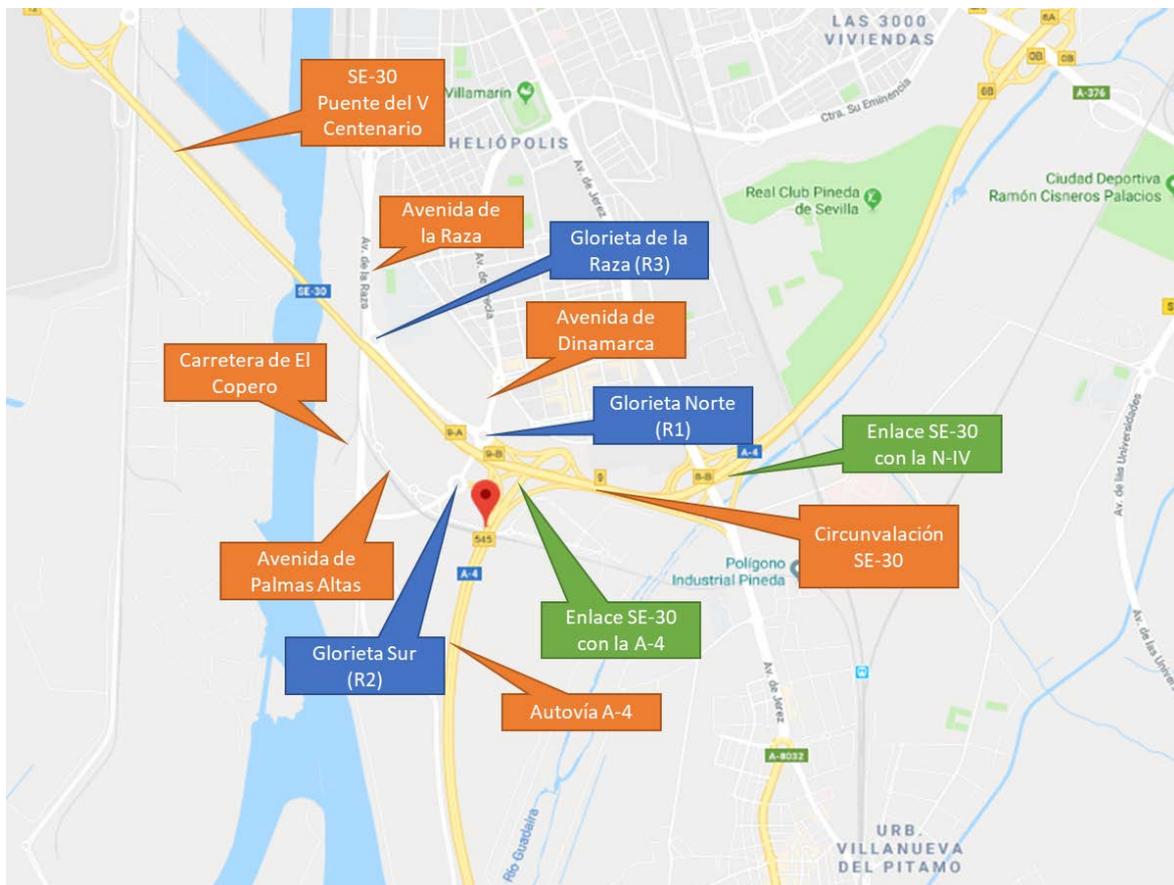


Ilustración 3-12 Localización de las principales vías de la zona de estudio. Elaboración propia

<b>Glorieta</b>	<b>Nº Carriles</b>	<b>Ancho carril</b>	<b>Accesos</b>
<b>Glorieta Norte (R1)</b>	3 carriles	4 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avenida de la Raza</li> <li>- Avenida de Dinamarca</li> <li>- SE-30, A-4</li> <li>- Glorieta Sur</li> </ul>
<b>Glorieta Sur (R2)</b>	3 carriles	4 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glorieta Norte</li> <li>- Avenida de Palmas Altas</li> <li>- SE-30, A-4</li> </ul>
<b>Glorieta de la Raza (R3)</b>	2 carriles	5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avenida de la Raza</li> <li>- Carretera de El Copero</li> </ul>

Tabla 2 Resumen de características de las glorietas más importantes de la zona de estudio. Elaboración propia

### 3.1.1.3 Límites de la zona de estudio

Para poder realizar el modelo de microsimulación, es preciso establecer unos límites en el área de estudio, de forma que pueda identificarse de forma clara el tráfico que entra y sale de la zona. Teniendo en cuenta la localización de la parcela donde irá ubicado el futuro centro comercial, los elementos más importantes del viario de la zona de estudio son las Glorietas Norte y Sur del acceso a la SE-30. Será preciso por tanto conocer el tráfico que atraviesa por dichas rotondas, así como establecer unos límites razonables de los puntos que se considerarán como orígenes y destinos de los viajes en la zona de estudio.

En la decisión sobre la adopción de estos límites se ha considerado también la disponibilidad de aforos existentes en la zona, así como la posibilidad de realizar aforos manuales en los puntos de corte, ya que será preciso conocer las intensidades que entran y salen por cada límite establecido para poder desarrollar el modelo con el que realizar las simulaciones.



Ilustración 3-13 Límites del viario de la zona de estudio considerados. Elaboración propia

Con el objetivo de acotar la simulación dentro de unos límites manejables y acordes al estudio que se pretende realizar, se han establecido los siguientes límites de la zona de estudio:

- En la avenida de la Raza se establece el corte antes de la salida a la avenida Padre García Tejero para evitar modelar esta entrada que supondría conocer un flujo adicional de tráfico.
- Al norte de la Glorieta Norte el corte se establece en la avenida de Dinamarca, justo antes de la glorieta que da acceso al barrio de Los Bermejales. Con ello se evita el modelado del viario interior del barrio, simplificando el modelo.
- Al este se ha considerado finalizar la zona de estudio antes del nudo de la SE-30 con la N-IV. En este caso esta decisión ha venido motivada por la inexistencia de aforos suficientes en el nudo de la N-IV, así como la dificultad de acceso a la zona para realizar aforos manuales.
- En cuanto a la avenida de Palmas Altas, el límite se ha establecido en la glorieta de acceso al parking del campus Palmas Altas, con el fin de evitar el modelado del viario interior del parking.
- En la carretera de El Copero se ha decidido establecer el corte a la altura de la salida de la avenida de Palmas Altas en dicha carretera, ya que como se verá más adelante, su influencia es escasa en el estudio.
- El límite del modelo por el sur se establece en la autovía A-4, en un punto intermedio entre la salida del nudo de la A-4 con la SE-30, y la próxima salida de la autovía en las inmediaciones de Bellavista.
- En el oeste el límite se establece en la SE-30 una vez superado el puente del V Centenario, y el estrechamiento que este supone, antes de la salida de la SE-30 a la carretera de la Esclusa.

Con estos cortes realizados sobre el área de estudio, el tráfico en el interior del sistema viario quedaría confinado, por lo que conociendo las entradas y salidas que se producen por dichos puntos, puede conocerse el tráfico en cualquier punto del interior y puede ser desarrollado el modelo.

### 3.1.2 Conflictos generados en el área de estudio

Ambos sentidos de la SE-30, así como la A-4 ya presentan en la actualidad problemas importantes de congestión de tráfico. La SE-30 presenta frecuentemente situaciones de retención y de alta congestión, sobre todo en las horas punta de mañana y mediodía.

Ambas carreteras se encuentran prácticamente al límite de su capacidad en la zona de estudio, y aunque por lo general todo el sistema funciona adecuadamente, cualquier perturbación que se produzca sobre el tráfico presenta graves consecuencias, al generarse considerables retenciones en los viarios principales que se acaban propagando a los viarios secundarios a través de sus accesos.

El momento más crítico de congestión en la zona se produce principalmente de 14:00 a 15:00, horario en el que muchos trabajadores finalizan su jornada laboral y retornan al hogar. Aunque la punta de mañana suele ser en principio la más importante, en este caso los viernes a medio día se junta las salidas del trabajo con aquellos viajes de salida de la ciudad por motivos de fin de semana.

En este horario, el carril reversible del Puente del V Centenario funciona en sentido a Córdoba, provocando con ello una reducción de la capacidad en sentido a Huelva (y por tanto en sentido de vuelta al Aljarafe). La SE-30 pasa de tener 3 carriles a únicamente 2 sobre el puente, constituyendo un auténtico cuello de botella en el que se produce el colapso del tráfico. La congestión que se produce en el puente, provoca que se generen colas que se acaban trasladando el problema del tráfico hasta el acceso de la SE-30, colapsando a su vez la glorieta Norte.

El colapso de la glorieta norte que da acceso a la SE-30 provoca que las retenciones que se producen en la SE-30 se extiendan al resto de viarios de la zona de estudio generando colas cuya desaparición puede llegar a demorarse durante varias horas.

Se ha evidenciado también que existe cierta variabilidad en cuanto al momento concreto en el que se produce la hora punta, debido en gran parte a que cuando el sistema colapsa los vehículos dejan de moverse. Cuando esto ocurre, la situación de congestión puede llegar a prolongarse en el tiempo al quedar los vehículos almacenados en el sistema viario.

Otro aspecto a destacar sobre la variabilidad de la hora punta, es que tras analizar los datos de los aforos existentes en la zona de estudio, se ha comprobado que existen viernes en las que las intensidades superan ampliamente los valores medios. Durante estos días, la congestión de la zona será mucho más probable.

Existe también una importante variabilidad estacional en cuanto a los valores de la intensidad de la hora punta en la zona, ya que cerca de periodos vacacionales suele incrementarse de forma importante el número de vehículos en la hora punta.

Todas estas variaciones que se producen sobre la hora punta, en un escenario que está marcado por estar muy cerca de su capacidad límite, y en el que cualquier variación puede acabar provocando importantes problemas de congestión, condicionaran el estudio realizado sobre el tráfico del centro comercial. La hora punta de entrada y salida al centro comercial se produce durante la tarde del viernes, evitando en principio el tráfico de la hora punta del sistema. Sin embargo, la variabilidad de esta última hará que haya que considerar la posibilidad de que ambas puedan llegar a cruzarse.



# 4 EL CENTRO COMERCIAL DE PALMAS ALTAS

El motivo de la realización del presente trabajo es el desarrollo en Palmas Altas de un centro comercial de 100.000 metros cuadrados de zonas comerciales y de entretenimiento familiar, integrado en espacios verdes, cuya apertura está prevista para el primer cuatrimestre de 2019

A continuación, se realiza un estudio de la actuación que se llevará a cabo, analizando sus características principales, realizando una comparativa con otros centros comerciales, y exponiendo las posibles afecciones que pudiera tener sobre el tráfico



Ilustración 4-1 Infografía de la zona de estudio con el futuro centro comercial Palmas Altas. LAR España

## 4.1.1 Características del centro comercial

El promotor del futuro centro comercial es la empresa Lar España. El Centro Comercial Palmas Altas es considerado por la empresa promotora como un centro comercial regional cuya localización en el sur de Sevilla le permitirá tener un área de influencia de aproximadamente 1,5 millones de habitantes, lo que le otorgaría la capacidad de atraer visitantes de toda el área metropolitana de Sevilla.

Las previsiones de Lar España, dado que no existe un centro comercial de gran envergadura dominante en Sevilla, es que pueda captar clientes de toda el área metropolitana, aunque predominando con un potencial mayor en los distritos del centro y sur de la ciudad, así como en los municipios cercanos del sur de Sevilla como Dos Hermanas.

El Centro Comercial Palmas Altas ocupará una superficie total de 123.000 m<sup>2</sup> de zonas comerciales y de entretenimiento familiar, integrados en espacios verdes, lo que supone la mayor de España en un complejo de este tipo. La superficie bruta alquilable que quedará destinada locales de tiendas y restauración supone unos

100.000 m<sup>2</sup> del total, distribuidos a lo largo de 200 establecimientos comerciales. Todo el complejo se edificará alrededor de un lago artificial de 6.000 metros cuadrados que irá destinado a actividades recreativas. Cerca del 60% de la superficie total se destinará a espacios comerciales mientras que el 40% irá destinado a restauración, ocio, deporte y zonas verdes

La inversión total realizada por LAR ESPAÑA alcanza los 145 millones de euros, alcanzando los 250 millones al incluir la compra del terreno, la promoción y el desarrollo. Con ello, se convertiría en la mayor inversión urbanística de los últimos años en Sevilla

El proyecto generará 1.500 empleos directos durante la fase de construcción, 1.500 directos en la gestión del centro comercial, y 1.800 indirectos de las contrataciones de personal de las tiendas. Ello supone un total de 4.800 empleos, de los cuales 3.300 acudirán diariamente al complejo tras la apertura de este.

El edificio contará con una planta de sótano en la que se habilitarán plazas de aparcamiento. De las 3.300 plazas de aparcamiento con las que contará el centro comercial, 2.700 irán en sótano y 600 en superficie.

Como grandes operadores en el centro comercial, que pueden suponer un incentivo a la hora de incrementar el número de clientes que acudirá al complejo, pueden destacarse marcas importantes como Mercadona, que contará con un hipermercado, MediaMarkt en cuanto a electrónica e informática, o Primark entre las marcas de moda.

En cuanto a las empresas de restauración que se instalarán en Palmas Altas pueden citarse McDonalds, 100 Montaditos, o Starbucks entre otros

La distribución de los distintos tipos de espacios en planta del centro comercial se muestra en la siguiente imagen:

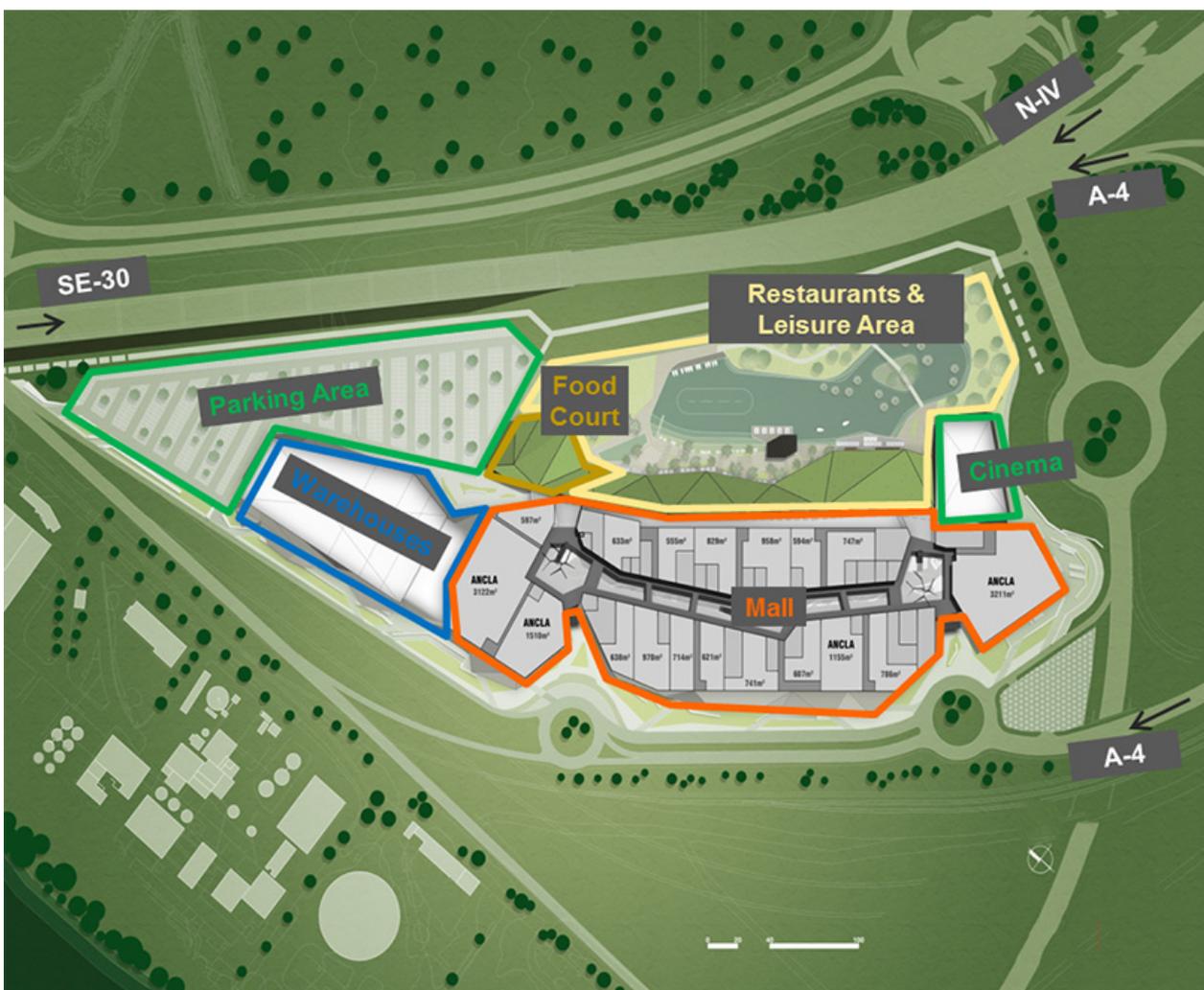


Ilustración 4-2 Distribución de espacios en planta del centro comercial. El Correo

#### 4.1.2 Centros comerciales en la ciudad y su influencia en la movilidad

Sevilla y su área metropolitana cuentan con un gran número de áreas comerciales, la mayoría de ellas localizadas en la periferia urbana. Existen en la actualidad hasta 31 centros comerciales, a los que se sumarán 7 grandes centros comerciales que se están promoviendo actualmente. Entre ellos se encuentra el futuro centro comercial de Palmas Altas, en construcción actualmente, y que se convertirá en el centro comercial más grande de España

No existe un centro comercial dominante en Sevilla, ya que la oferta comercial de gran tamaño está dispersa y es de baja calidad.

Actualmente el centro comercial de mayores dimensiones existente en la ciudad de Sevilla es el centro comercial de Los Arcos. Cuenta con 43.000 metros cuadrados construidos y 1.800 plazas de aparcamiento

La implantación de grandes superficies comerciales suele conllevar la destrucción de parte del tejido comercial de cercanía, lo que conlleva una pérdida de calidad de vida de los barrios, al desaparecer servicios y el comercio local que influyen en la cohesión social de los mismos

La localización de los grandes centros comerciales en la periferia de las ciudades suele tener importantes incidencias sobre el tráfico que deben tenerse en cuenta en los modelos de ciudad para planificar políticas de movilidad coherentes y una red de transporte público funcional. Cuando no existen esos planes de movilidad suelen aparecer de forma recurrente problemas en la circulación del tráfico, como ocurre por ejemplo en el acceso a IKEA de Castilleja de la Cuesta desde la autovía A-49.

Además de los centros comerciales existentes, existen también otras superficies comerciales que abrirán sus puertas en fechas próximas además del centro comercial de Palmas Altas, que sin duda afectarán a las tendencias de comportamiento de los clientes de toda la ciudad. Entre estos nuevos centros se destaca sobre todo el centro comercial localizado en las inmediaciones de la Torre Pelli, por su localización en una zona céntrica de la ciudad.

En comparación con los tamaños del resto de centros comerciales de la ciudad, el centro comercial de Palmas Altas presenta una superficie mucho mayor, lo cual incentivará a que gran parte de la población se interese por acudir a éste por encima de restos de centros comerciales, dada la mayor oferta comercial que proporcionará.

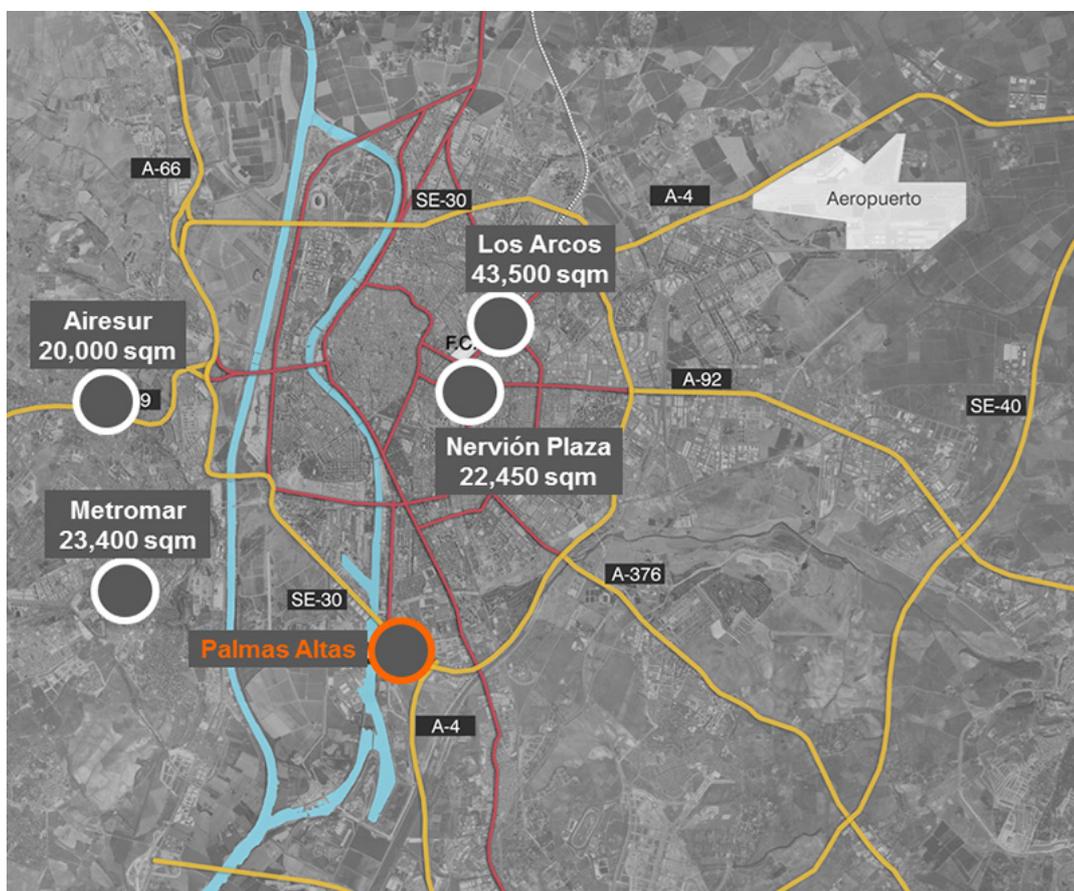


Ilustración 4-3 Principales centros comerciales de la ciudad de Sevilla. El Correo

### 4.1.3 Posibles afecciones sobre el tráfico

Una gran superficie comercial como la que supondrá el centro comercial en Palmas Altas promoverá una gran atracción del tráfico incentivando la movilidad motorizada y privada. En concreto, según las estimaciones del promotor, 450.000 personas viven a 10 minutos en coche del centro comercial, mientras que un millón está localizado a aproximadamente media hora del complejo. Por ello será preciso realizar un estudio de la afección que pueda producir la nueva dotación, así como una estimación de cómo afectará al tráfico existente en la zona y en la ciudad

El centro comercial se situará en el sur de la ciudad entre el Puerto de Sevilla y el canal del Río Guadaíra, en el distrito Bellavista-Palmera, en una zona de buena visibilidad y cuyo acceso sería bastante rápido al contar con varias vías urbanas en sus inmediaciones y estar localizado junto a la autopista de circunvalación SE-30.

Esta zona soporta ya en la actualidad un tráfico bastante considerable, destacándose sobre todo las horas punta en las que el sistema viario colapsa provocando importantes conflictos y restricciones. La capacidad de absorber el tráfico inducido por la apertura del centro comercial deberá ser por tanto analizada, ya que en la actualidad ya existen situaciones en las que prácticamente llega al límite de su capacidad.

Ambos sentidos de la SE-30, así como la A-4, ya presentan importantes problemas de congestión, con unos niveles de tráfico muy importantes, presentando situaciones de retención y alta congestión, especialmente en horas punta de la mañana y del mediodía.

La SE-30 en dicho tramo presenta un punto bastante sensible con el nudo con la A-4, existiendo en dicha zona diversas incorporaciones que finalizan en la desaparición de dos carriles, además del propio estrechamiento de la SE-30 en el Puente del V Centenario con el tramo de carril reversible. El puente del V Centenario es la única opción que presenta la SE-30 para cruzar el río Guadalquivir, por lo que se trata del principal punto negro de toda el área metropolitana en cuanto a congestión y peligrosidad.

El momento más crítico desde el punto de vista del funcionamiento del viario se produce el viernes aproximadamente a las 15:00, cuando el carril reversible del puente del Centenario funciona en sentido Córdoba, provocando una falta de capacidad en el puente en sentido Huelva, que se traslada al acceso a la SE-30 desde la glorieta Norte, llegándola a colapsar por completo

La localización junto a la SE-30 puede, por tanto, suponer un problema más que una ventaja, ya que el tramo de la SE-30 junto al que se situará es uno de los puntos de mayor conflictividad del tráfico de la ciudad, al presentarse un cuello de botella en el puente del V Centenario como consecuencia del carril reversible, que provoca importantes congestiones que se prolongan hasta el nudo con la A-4, donde se localizaría el centro comercial.

Dicho nudo, además, da servicio también al Campus Palmas Altas, que concentra un gran número de entradas y salidas en horas punta, durante las cuales suele colapsar. Los accesos previstos para el transporte privado motorizado han demostrado ser insuficientes, ya que tanto la Rotonda de Las Razas como las del nudo de la SE-30 están al límite de su capacidad y su colapso puntual afecta a todo el enlace

El sector urbano de Los Bermejales también ha evolucionado bastante hacia el sur, con amplios desarrollos residenciales y deportivos que generan conflictos en sus accesos. Esto se hace evidente en días de partido del Real Betis Balompié, donde se genera una importante capacidad de afluencia hacia el estadio Benito Villamarín que provoca considerables conflictos en el tráfico de toda la zona

Su localización puede además suponer un incentivo al tráfico privado con respecto a otros modos de transporte, al estar situada al sur de la SE-30, constituyendo esta carretera una importante barrera de separación con respecto a las zonas habitables, pudiendo disuadir a potenciales usuarios de bicicleta o peatones de elegir dichos modos de transporte.

Por otra parte, los accesos de entrada y evacuación de la parcela recogidos en la documentación de la “Modificación de Estudio de Detalle Parcela ZE N1 del SUNP-GU-1 “PALMAS ALTAS” Sevilla” parecen insuficientes para recoger todo el volumen de tráfico captado, además de ineficaces algunos de ellos al canalizar el tráfico en dirección a la Avenida de Las Razas por la carretera del Copero, o a la SE-30 a través de la Rotonda Sur. En la Avenida de Las Razas, pese a ser un viario urbano, el límite de velocidad es superado habitualmente, pudiendo considerarse un vial de alta capacidad. La carretera del Copero por el contrario presenta poca capacidad y da servicio a empresas del puerto que transportan sustancias peligrosas, por lo que no conviene encauzar el

tráfico del centro comercial por ella.

El incremento del número de vehículos en la zona puede provocar además de los problemas intrínsecos de congestión en el tráfico, otros problemas derivados como son la contaminación acústica y la contaminación ambiental del aire

Toda esta problemática viene contemplada en el estudio de tráfico realizado por el promotor, que considera que la situación más crítica se prevé en la hora punta del mediodía con el corte del carril reversible del puente en sentido hacia Huelva. Este cierre genera una retención de vehículos que acaba provocando el colapso de la glorieta Norte de la SE-30 en la entrada de los Bermejales.

Su correcto análisis será preciso para establecer unas medidas que puedan garantizar unos accesos acordes a la zona y evitar problemas de colapso que puedan afectar a escala regional (enlace de la A-4 con la SE-30), metropolitana (acceso al puerto y a todo el Sureste) y a escala local (accesos a los Bermejales).

#### 4.1.4 Estudio de tráfico existente

Atendiendo a la información obtenida de diversos medios de comunicación, el estudio de tráfico realizado por el promotor para la obtención de todos los permisos y licencias pertinentes contaría con los datos y conclusiones que se muestran a continuación.

En primer lugar, el estudio estima el número de viajes que provocaría la puesta en marcha del centro comercial, concluyendo que el total de viajes provocados en un día laborable (viernes) sería de 34.167 viajes en vehículo privado. A este número se llega partiendo de datos sacados de la experiencia de otros centros comerciales. Estos son:

- Se considera que el número de clientes por cada 100m<sup>2</sup> es de 30, con lo que se tendrían 30.000 clientes al día de media
- Por cada 60m<sup>2</sup> se considera un empleo, mientras que se producen 2,5 viajes por empleo. Ello daría 4167 viajes de empleados al día

Para obtener el número de vehículos que irían al centro comercial, se asumen unos coeficientes de ocupación por vehículos, de la siguiente forma:

- Trabajadores: 1,2 viajeros por vehículo
- Clientes: 2,3 viajeros/vehículo

Tomando estos valores, tomando la hipótesis de que los viajes fueran únicamente en vehículo privado, el Centro Comercial provocaría un total de 74.000 desplazamientos de personas en un día laborable.

La siguiente estimación que realiza el estudio es la distribución modal del total de viajes, para determinar realmente cuantos desplazamientos tendrán lugar en autobús o en medios no motorizados. Dentro de las suposiciones realizadas, se afirma que un 30% de los desplazamientos desde Nervión o el Casco Antiguo se realizarán en autobús, además de un 20% desde el Distrito Sur, San Pablo o la Macarena. En cuanto a viajes en bicicletas, el estudio asume que un 50% de los viajes procedentes de La Palmera y los Bermejales se producirá a pie o en bicicleta.

En cuanto a los viajes que tengan su origen en Dos Hermanas, Utrera y Los Palacios, estos tres municipios supondrían un 2,5% de los viajes totales. Dada la carencia de transporte público desde Montequinto y Dos Hermanas, todos estos viajes se realizarían en vehículo privado.

Como conclusión, se estima que unos 53.923 usuarios acudirían al centro comercial en vehículos privado. Asumiendo que el 50% de los viajes será de entrada y el 50% de salida, el número de vehículos diario que acudiría al centro comercial sería de 26.961 vehículos

#### 4.1.5 Soluciones al tráfico propuestas por el promotor

El PGOU 2006 ya preveía, para mejorar las condiciones del tráfico en la zona, la necesidad de incorporar una ronda urbana que conectase con el campus de Palmas Altas, que no se ha ejecutado aún.

El estudio de tráfico y movilidad que presentó la empresa Lar España para superar el trámite ambiental del

proyecto del centro comercial de Palmas Altas plantea una serie de propuestas con el objetivo de superar los problemas de tráfico que podría provocar un complejo de tal envergadura en un punto tan sensible de la red, como son los alrededores del puente del V Centenario. El objetivo previsto con todas ellas es el de garantizar una correcta accesibilidad al centro comercial minimizando al máximo el impacto que este pudiera tener sobre el tráfico existente

El Ministerio de Fomento informó favorablemente acerca de la “Viabilidad de la propuesta de accesibilidad de la parcela ZE-12 del sector Palmas Altas para la promoción de un centro comercial”. A continuación, se analizarán las medidas adoptadas en el informe, consideradas técnicamente viables y que bajo su criterio lograrían evitar grandes impactos en el tráfico.

En los siguientes apartados se describirán las distintas medidas que se adoptarán para permitir la implantación del centro comercial con el mínimo impacto posible sobre el tráfico



Ilustración 4-4 Mejoras propuestas sobre el tráfico por el promotor. Diario de Sevilla

#### 4.1.5.1 Mejoras propuestas en los accesos de vehículos

El promotor se compromete a construir nuevos accesos además de los contemplados en la modificación puntual del PGOU a través de tres puntos: la avenida de Las Razas, la SE-30 y los terrenos del Puerto.

Se creará un carril de incorporación directo desde la SE-30 a la salida del puente del V Centenario, que conecte directamente con el centro comercial mediante un paso inferior bajo la rotonda Sur. De esta forma, los vehículos llegarían directamente al centro comercial por medio de un túnel. Una alternativa descartada por la administración de Carreteras era la de crear un carril de incorporación directa al centro comercial desde la

rotonda Sur, ya que el introducir un importante número de vehículos a la glorieta favorecería que esta alcanzara su capacidad antes y por tanto colapsara, inutilizando toda la intersección. Mediante el túnel subterráneo se evita que el tráfico procedente de la SE-30, que es el de mayor volumen, tenga incidencia sobre las glorietas del nudo y pueda acceder de forma directa al complejo sin interactuar con el resto de los flujos.

En la avenida de la Raza las medidas contempladas plantean realizar un acceso de entrada y de salida en superficie en el carril colindante a la parcela, así como una entrada y una salida mediante un paso inferior sumadas a las anteriores para dar acceso directo a los vehículos que circulen por el carril contrario evitando que tengan que emplear las glorietas para realizar un cambio de sentido para poder acceder al complejo.

Como medidas añadidas para mejorar la movilidad de los vehículos se contempla también el desdoble del viario local en la avenida de Palmas Altas, la mejora de las intersecciones en rotonda en toda la zona de estudio, así como la construcción de un tercer carril en la rotonda de la avenida de la Raza.

Se propone que el actual viario que recorre perimetralmente la parcela por la parte sur se duplique mediante la construcción de una calzada de dos carriles como la existente. El desdoble sería realizado cumpliendo varias directrices como la conservación del arbolado y la vegetación, el no invadir el cerramiento que delimita la vía del ferrocarril de acceso al puerto o tener una mínima afección a las instalaciones existentes en el acerado. Para cumplir con ello, el nuevo viario se realizaría en dirección hacia el acerado que linda con la parcela del futuro centro comercial. Las rotondas localizadas en la avenida de Palmas Altas serían adecuadas a este desdoblamiento.

Se actuará también sobre las principales glorietas de la zona de estudio, con la ampliación de un carril de la glorieta de la avenida de Las Razas, la creación de un carril deflector que permita la entrada directa a los Bermejales en la Rotonda Norte, un carril adicional en la Rotonda Sur en la salida hacia Cádiz por la A-4, así como la creación de un nuevo acceso directo a la Avenida de Palmas Altas desde la SE-30. Con estos carriles adicionales se pretende mejorar la capacidad de todo el sistema viario. Al facilitar los giros a la derecha con el carril deflector, además se evita que parte del tráfico entre a una de las rotondas del sistema, que son los elementos más sensibles de la red viaria.

Para favorecer que parte de los usuarios del centro comercial accedan al mismo andando o en bicicleta, y con ello reducir el número de vehículos que entren al centro comercial, se construirá también una pasarela peatonal/ciclista que conecte el centro comercial con el barrio de los Bermejales.

Para reducir los tiempos de búsqueda de plazas de aparcamiento, optimizar los tiempos de recorrido, y se reduzca el tiempo de entrada al centro evitando colas en los accesos, el promotor ha propuesto instalar un sistema guiado de ayuda al aparcamiento. De igual forma, el promotor se ha ofrecido también a tener personal dedicado al control de los accesos, para dirigir el tráfico exterior a las zonas que presenten mayor fluidez para optimizar los recorridos de los vehículos en función de las necesidades que se pudieran presentar y reducir las colas en los accesos. Como última medida en la zona de aparcamientos, se plantea también implantar un carril de acumulación de vehículos en el recorrido interior del centro comercial, con el objetivo de evitar en la medida de lo posible que se trasladen las colas que puedan producirse al exterior

#### 4.1.5.2 Otras propuestas de movilidad

El promotor Lar España propone también otras medidas en materia de movilidad para que sean estudiadas en conjunto con la administración para reducir el número de clientes que acudan al centro comercial en vehículo privado y opten por otros medios de transporte. Entre las posibles medidas que se podrían plantear están:

- Promover la movilidad ciclista estableciendo una red extensa de aparcamientos para bicicletas, colocando tres o cuatro estaciones del servicio de bicicleta pública de la ciudad Sevici, establecer un servicio de bicicleta compartida en todo el recinto de Palmas Altas, o incentivar las ayudas económicas para la adquisición y renovación de bicicletas. Esta medida, que suele tener a priori un carácter popular y ser bastante reclamada, en un centro comercial tan periférico podría tener en principio poco impacto real, ya que su localización tan alejada impediría transportar las compras de vuelta de forma cómoda. Solo podría tener cierta relevancia en los viajes producidos por ocio.
- Mejorar el transporte público hacia la zona de Palmas Altas ampliando el recorrido de la línea 34 de Tussam Prado-Bermejales, de forma que cruce al lado sur de la SE-30 y pueda dar servicio tanto al centro comercial como al Campus Palmas Altas.

- Como suma a la anterior medida, establecer una línea de autobús privada que comunique el centro comercial con la ciudad de forma directa.
- Para reducir el número de vehículos que accedan al centro comercial, otra medida consistiría en habilitar un sistema de coche compartido para el vehículo privado que permita disminuir el número de clientes que llegan con su vehículo solos al centro, mediante el desarrollo de una web que ponga en contacto a los clientes y incentivándolos con la reserva de aparcamientos para estos coches compartidos
- Para mejorar el nivel de servicio en el sistema viario de la zona de estudio se propone además la creación de carriles deflectores en las dos glorietas del enlace con la SE-30, facilitando los giros a la derecha en las rotondas
- Se cita a largo plazo como posibles medidas para la reducción de usuarios que empleen el vehículo privado en la zona de estudio, la construcción de la línea 3 del Metro, que captaría un número importante de usuarios, y la finalización de la SE-40, que contribuiría a mejorar la capacidad del enlace actual de la SE-30 ya que permitiría quitar los camiones del tráfico de la ciudad. A pesar de que la SE-40 se encuentra alejada del centro comercial y puede que ningún cliente utilice esta infraestructura, puede tener gran impacto en la zona de estudio, ya que como se verá en la memoria, el sistema de transporte presenta un régimen de funcionamiento muy próximo a la capacidad. Una reducción significativa del tráfico de pesados en la zona de estudio, captado por la SE-40, puede mejorar el comportamiento global del sistema.

# 5 GENERACIÓN DE VIAJES

---

El objetivo de la generación de viajes es predecir el número de viajes que son generados y atraídos por cada zona del área de estudio. Esta etapa de la planificación del transporte solo concierne al número de viajes que comienzan y acaban en cada zona, no a las conexiones entre orígenes y destinos.

Para la generación de viajes se aplican diversos métodos con el objetivo de obtener los viajes producidos/atraídos o los orígenes/destinos. Los viajes se producen en zonas residenciales, al estar los modelos basados en viajes producidos en el hogar. Las zonas de destino, con usos de suelo diversos, serán consideradas como atractoras de los viajes procedentes del hogar.

Con el objetivo de obtener los viajes que se producen atendiendo a los distintos usos de suelos que se presenten en la zona de estudio, será preciso examinar las variables que se adecuen y definan mejor el comportamiento de los viajes generados.

Estas variables se emplean en la generación de viajes para indicar por medio de un ratio la relación existente entre los viajes generados y las diferentes variables explicativas.

Los centros comerciales y de ocio constituyen uno de los principales atractores de movilidad, comportándose como polos muy activos de atracción de viajeros y mercancías. El tráfico generado por ellos es difícil obtenerlo directamente.

Las variables más influyentes a la hora de caracterizar los viajes generados por un centro comercial son las siguientes:

- **Uso de suelo:** Esta variable depende de la naturaleza del uso en sí mismo, de la intensidad del uso (que expresa el nivel de actividad de una zona) y de la localización de las actividades dentro del entorno urbano. Al depender de varias características, cada uso de suelo presenta perfiles muy distintos en cuanto a la movilidad que genera
- **Características socioeconómicas y geográficas:** Conjunto de características relativas al hogar, nivel de renta, densidad de población, disponibilidad de automóvil... que condicionan la elección del modo de transporte a utilizar en el viaje
- **Oferta de transporte:** Disponibilidad del transporte, frecuencia y calidad del modo... condicionan el reparto y la forma de utilizar el transporte

El modelo de generación y atracción de viajes que se emplea en este trabajo está basado en ratios de movilidad asignados para cada uso de suelo concreto. Existen diversas metodologías basadas en los usos de suelo. En el presente apartado se describirán diversos métodos empleados para el cálculo de la movilidad generada por el nuevo centro comercial

Debido a que en España no existe en la actualidad experiencia en cuanto a recopilar datos de la generación de viajes, se suelen tomar como referencia los datos americanos del Institute of Transportation Engineering (ITE). Estos datos y la metodología de cálculo propuesta por el ITE quedan recogidos en su publicación Trip Generation Manual (TGM).

En los últimos años, se han realizado ciertos estudios en cuanto a la experiencia española sobre polos generadores de viajes, y la relación existente entre la producción de viajes y los usos urbanísticos en Madrid y otras ciudades españolas. Se emplearán en primer lugar algunos de estos valores obtenidos de la experiencia española de generación de viajes para obtener una primera magnitud de la movilidad generada en la zona de estudio. Estos datos serán contrastados posteriormente con los datos americanos del ITE, que es la fuente de mayor tradición

histórica para este tipo de estudios. Esta comparación permitirá también evaluar la aplicabilidad del TGM a casos españoles, a pesar de las diferencias existentes en cuestiones de movilidad con respecto a Estados Unidos.

Por último, a nivel de Sevilla, la experiencia y estudios de generación de viajes es escasa. A pesar de ello, el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla incluye ciertos valores de generación de viajes motorizados en función de los usos de suelo, con los que puede realizarse una comparativa con el resto de los estudios con valores considerados a nivel local.

## 5.1 Estimación de viajes diarios atraídos por la zona de estudio

En primer lugar, se valorará la experiencia española existente en cuanto al estudio de generación de viajes producidos por los centros comerciales y se realizará un modelo de generación según el procedimiento propuesto con el objetivo de obtener las intensidades de tráfico que se producirán tras su implantación, para introducir éstas en los modelos microscópicos que permitirán valorar la movilidad.

Analizada la experiencia española en cuanto al estudio de la producción de viajes, se observa que se encuentra basada en estudios de los usos de suelo, observando la experiencia internacional y la experiencia nacional que queda recogida en la planificación vigente.

Atendiendo a estos aspectos, se realizará un modelo de generación basado en el Trip Generation Manual, al ser este uno de los modelos de generación más prestigiosos y con un uso bastante extendido en los Estados Unidos, y se analiza la planificación existente en Sevilla y las herramientas que dispone para valorar la producción de viajes.

Por último, se extraerán las conclusiones necesarias de los distintos modelos realizados para valorar la producción de viajes a adoptar por el centro comercial con el objetivo de obtener las intensidades de tráfico que se producirán tras su implantación, para introducir estas en los modelos microscópicos que permitirán valorar la movilidad.

### 5.1.1 Experiencia española

Como primera opción para obtener un valor de los viajes que generará el centro comercial de Palmas Altas, se realizará un análisis basado en los datos sacados de la experiencia y el estudio de centros comerciales y polos generadores de viajes situados en España.

Los polos generadores de viajes se definen como locales o instalaciones de muy diversa naturaleza que desarrollan actividades capaces de producir un número significativo de viajes. Esta definición depende de las condiciones locales de cada emplazamiento.

En España, los polos generadores de viajes, y entre ellos los centros comerciales, se encuentran incluidos en el uso urbanístico del suelo, por lo que su estudio y análisis suele realizarse atendiendo al planeamiento territorial a nivel regional, y al planeamiento urbanístico a nivel municipal.

La metodología que se emplea a la hora de valorar los viajes que se producirán en los centros comerciales en España sigue los siguientes pasos:

- Obtención de datos: por medio de encuestas domiciliarias de movilidad, encuestas in situ, conteos y aforos...
- Caracterización del centro comercial en función de sus características principales
- Elección de una variable explicativa en función de la cual se estimarán los viajes: podrá ser propia del centro que se estudie, sociodemográfica, propia del viaje...
- Cálculo de la Generación/Atracción de viajes del centro comercial estudiando para ello la experiencia internacional y nacional

#### 5.1.1.1 Obtención de datos – EDM

Las encuestas domiciliarias de movilidad permiten medir el comportamiento medio del viajero. Solo se puede

estudiar una parte de la movilidad de las personas, ya que son encuestas caras y difíciles de llevar a cabo con precisión.

Del análisis de la EDM 2004 del Consorcio Regional de Transportes de Madrid, atendiendo al motivo de viaje y los usos de cada zona, se pudo realizar un estudio de la movilidad de los centros comerciales, estudiando las zonas de transporte donde estén ubicados estos. Se observa que es difícil obtener de forma directa el tráfico atraído por los grandes establecimientos comerciales

### 5.1.1.2 Caracterización de los centros comerciales en la Comunidad de Madrid

Analizando la tasa de ocupación de locales de los centros comerciales, se observa que los que presentan una mayor tasa de locales sin ocupar son los de tamaño pequeño. Teniendo en cuenta algunas excepciones, se puede concluir que actualmente los centros comerciales de mayor tamaño son los más demandados por los consumidores

Estas nuevas formas comerciales con grandes superficies generan importantes cambios en la organización urbana y comercial. Provocan un importante desplazamiento de la actividad comercial hacia la periferia de las ciudades, liberando progresivamente los centros históricos.

En función de la superficie comercial, en la Comunidad de Madrid se han caracterizado los centros comerciales de la siguiente forma

TIPOLOGÍA		SBA (m <sup>2</sup> )
<b>MG</b>	Muy grande	>79.999
<b>GR</b>	Grande	40.000 a 79.999
<b>ME</b>	Mediano	20.000 a 39.999
<b>PE</b>	Pequeño	5.000 a 19.999
<b>HI</b>	Hipermercado	GC fundamentada en hipermercado
<b>GC</b>	Galería comercial	Hasta 4.999
<b>CE</b>	Centro Especializado	Centros de fabricantes/ocio

Tabla 3: Caracterización de los Centros Comerciales en la Comunidad de Madrid [1]

La tendencia observada a lo largo de los años muestra un aumento del número de centros comerciales en zonas cada vez más periféricas, y a su vez se observa un incremento en las superficies de estos.

Atendiendo a la caracterización de los centros comerciales en función de la superficie comercial, el centro comercial de Palmas Altas presentaría una tipología de “Muy grande” al contar con una superficie bruta alquilable de 100.000 m<sup>2</sup>

### 5.1.1.3 Variables explicativas de la movilidad de los centros comerciales

El **uso de suelo** es la principal variable explicativa la hora de realizar un estudio sobre la producción de viajes de los centros comerciales. Cada uso urbanístico tiene un perfil muy diferente de movilidad. Dependen de:

- Calificación urbanística: residencial, terciario, industrial...
- Intensidad de uso: edificabilidad, densidad...
- Localización: urbano, periurbano, periférico...

Los centros comerciales se encuentran enmarcados dentro del uso terciario comercial. El perfil comercial de este

uso urbanístico destaca porque en él se producen viajes a lo largo de todo el día sin una hora punta muy marcada, produciéndose el mayor número de viajes durante los fines de semana. Los motivos de viaje que se producen hacia los centros comerciales pueden ser variados: ocio, compras, trabajo...

La variable explicativa que adoptar para valorar la producción depende de varios factores:

- Características socioeconómicas y geográficas (número de vehículos por hogar, tamaño del hogar, ingresos, tipo de desarrollo): El nivel de renta condiciona la posibilidad de uso del vehículo motorizado, por lo que incide en el índice de motorización
- Oferta de transporte disponible (frecuencia y calidad, localización de orígenes y destinos, tiempos de viaje): El transporte público suele caracterizarse por ser principalmente radial sobre todo a zonas periféricas, lo que condiciona la elección del modo de transporte cuando los viajes son de carácter transversal.

La variable explicativa más utilizada para valorar la producción de viajes en centros comerciales es la **superficie bruta alquilable**, aunque no siempre existe una correlación entre el tamaño del centro comercial y el número de visitas que se producen. Otras que suelen emplearse son el número de empleos, el número de plazas de parking, distancia de la población al centro comercial más cercano...

La atracción de viajes producida por un centro comercial está influenciada por múltiples factores, no solo la superficie comercial. Le afectan también la localización, el área de influencia, el tipo de producto de venta, la existencia de otros centros comerciales en competencia, la época del año, el clima...

El tipo de superficies comerciales existentes en el interior del centro comercial también afecta a la movilidad:

- En este sentido, la existencia de un hipermercado en el interior de un centro comercial favorece el incremento del número de viajes que se realiza hacia el centro comercial en vehículo privado, ya que las compras que se realizan en estos comercios suelen ser de gran volumen.
- Otro aspecto que considerar de acuerdo con la tipología de los comercios que alojen los centros comerciales es la posible incorporación de tiendas influyentes de escasa implantación, que por si solas pueden ejercer de atracción en los centros comerciales
- La presencia de cines en el centro comercial favorecerá también un incremento del número de viajes que se produzcan por motivo de ocio

En cuanto al análisis de la influencia de las variables sociodemográficas, no siempre existe una relación entre la superficie comercial y la población del municipio en que se encuentre. Para valorar la producción de viajes del centro comercial, es preciso considerar además de la superficie bruta alquilable, y la población, el número de centros comerciales que estén presentes en el municipio.

Estudiando estas variables socioeconómicas es posible determinar un perfil tipo del viajero, en el que se observa que predominan ligeramente las mujeres, mayores de 30 años, en situación profesional activa y nivel de estudio alto

#### 5.1.1.4 Cálculo del número de viajes que atrae un Centro Comercial

Los ratios de generación de viajes indican numéricamente la relación existente entre los viajes diarios realizados por persona o vehículo, por unidad explicativa independiente, que en el caso de los centros comerciales suele suponerse la superficie comercial.

Para estudio de la generación de viajes lo más habitual es utilizar modelos agregados de regresiones lineales. Habitualmente se utiliza el Trip Generation Manual del Institute of Transportation Engineers, ya que en España no existe un organismo que recopile los estudios de movilidad para disponer de datos o emplear una metodología común.

Los datos que se emplearán en este apartado proceden del informe “La experiencia española en el estudio de los polos generadores de viajes” desarrollado por Cristina López García de Leániz durante el Congreso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte de Joinville (2012)

De los estudios realizados en España, con una muestra de 30 centros comerciales se han obtenido los siguientes valores que resultan de interés para evaluar la generación del tráfico en grandes centros comerciales:

<b>TIPOLOGÍA COMERCIAL</b>	<b>RATIO</b>
<b>Pequeña galería comercial + Hipermercado</b>	55-70 veh/100 m2 superficie
<b>Gran Centro Comercial</b>	25-30 veh/100 m2 superficie

Tabla 4 Ratios de generación en función de la tipología del espacio comercial [1]

<b>DIA DE LA SEMANA</b>	<b>DISTRIBUCIÓN %</b>
<b>Lunes</b>	16
<b>Martes</b>	11
<b>Miércoles</b>	11
<b>Jueves</b>	11
<b>Viernes</b>	16
<b>Sábado</b>	35 (hora punta 19 a 21)

Tabla 5 Distribución semanal de viajes al centro comercial [1]

<b>Uso</b>	<b>Categoría</b>	<b>Unidad</b>	<b>Viajes diarios (personas)</b>	<b>Viajes diarios (vehículos)</b>	<b>Ratio Ocupación Vehículos</b>	<b>% H.P.</b>
<b>Comercial</b>	Grandes superficies comerciales	100 m2	62,52-138	51,98-52,4	1,3-1,6	12,9-17,2
<b>Terciario Recreativo</b>	Comida y bebida	100 m2	53,09-67,7	11,58-21,45	2-2,2	43,5-66,7
<b>Terciario oficinas</b>	Motivo de trabajo	22,5 m <sup>2</sup> /empleo	2,17 viajes/empleo	-	-	-
<b>Terciario oficinas</b>	Estudio	22,5 m <sup>2</sup> /empleo e	1,20 viajes/estudiante	-	-	-

Tabla 6 Ratios de generación de viajes de interés en centros comerciales [1]

A partir de los datos mostrados en las tablas anteriores, se ha podido realizar una estimación de los viajes generados por el futuro Centro Comercial de Palmas Altas.

De los diferentes usos que analiza el estudio, se ha considerado que el centro comercial estará compuesto por un 60% de uso Comercial con la categoría de grandes superficies comerciales, y un 40% de uso Terciario Recreativo con categoría de Comida y bebida, habiendo obtenido esta distribución de los datos de los futuros alquileres de los establecimientos que compondrán el centro comercial. Teniendo en cuenta esto, se ha realizado el cálculo de los vehículos generados por el centro comercial analizando todo el rango posible de valores:

Uso	Categoría	Viajes de vehículos diarios por cada 100 m <sup>2</sup>		
		Mínimos	Media	Máximos
<b>Comercial</b>	Grandes superficies	51,98	52,19	52,40
<b>Terciario recreativo</b>	Comida y bebida	11,58	16,52	21,45
<b>Centro comercial - TOTAL</b>		35,82	37,92	40,02
Viajes generados		Viajes totales		
Dia medio		<b>35820</b>	<b>37920</b>	<b>40020</b>
Viernes (16%)		<b>34387</b>	<b>36403</b>	<b>38419</b>

Tabla 7 Resultados de generación de viajes del centro comercial Palmas Altas. Elaboración propia

Dado que los valores obtenidos son para un día medio, mediante la tabla 3 se ha obtenido también el valor de los viajes de vehículos para el viernes atendiendo a la distribución semanal de viajes. Se observa, por tanto, que el centro comercial producirá más de 34.000 viajes al día atendiendo a los datos utilizados

En cuanto a los viajes generados por el Campus Palmas Altas, la estimación de la demanda se ha realizado con los datos expuestos en la tabla 5 para uso de suelo de terciario de oficinas, distinguiendo los viajes producidos por motivo de trabajo de los viajes realizados por los estudiantes de la Universidad Loyola.

Como variable explicativa se ha tomado en este caso el número de empleados y el número de estudiantes, al desconocer la distribución por superficie del campus. De fuentes de prensa consultadas, se ha podido deducir que en la sede de Abengoa trabajan unos 2.000 empleados, mientras que a la Universidad Loyola acuden unos 1200 estudiantes. Atendiendo a estos datos, se han obtenido los siguientes resultados:

Uso	Categoría	Viajes diarios por persona	Empleados/Estudiantes	Viajes totales
<b>Terciario oficinas</b>	Motivo de trabajo	2,17 viajes/empleo	2000	<b>4340</b>
<b>Terciario oficinas</b>	Estudio	1,20 viajes /estudiante	1200	<b>1440</b>

Tabla 8 Resultados de generación de viajes del Campus Palmas Altas. Elaboración propia

De esta forma, los viajes que atrae el Campus Palmas Altas atendiendo a los datos utilizados serían de unos 5.780 vehículos, realizando la suposición de que todos los viajes se producirían en coche dada las malas comunicaciones de la zona para el resto de modos de transporte, y a que no se cuenta con datos de ocupación de vehículos.

## 5.1.2 Trip Generation Manual

En el Trip Generation Manual del ITE se analiza la generación de viajes por medio de regresiones lineales o múltiples en función de las distintas variables independientes más representativas de cada uso de suelo. Todas sus fórmulas y variables están basadas en datos de movilidad de Estados Unidos, por lo que su extrapolación a casos españoles puede generar ciertas distorsiones con la realidad. En la mayor parte de los casos, los resultados obtenidos suelen proporcionar un mayor número de vehículos, al ser mayor el uso de vehículos en la vida diaria en Estados Unidos

### 5.1.2.1 Procedimiento

El Trip Generation Manual realiza un estudio de los viajes que son atraídos por una multitud bastante diversa de usos de suelo recogidos en diferentes códigos. Para cada código de uso de suelo, se proponen una serie de variables representativas,

El Trip Generation Manual indica también que la toma de decisión sobre la variable explicativa a elegir a la hora de calcular la generación de viajes es una de las elecciones más relevantes del modelo. En caso de que existan varias, las recomendaciones para elegir las más adecuadas son:

- Aquella variable que guarde una relación más directa en la variación del viaje generado por un determinado uso del suelo.
- La que se obtenga de una primera medida y no derivada de una segunda.
- La que presente un mejor ajuste de los datos, representado por el coeficiente de correlación  $R^2$ . Si  $R^2$  es mayor que 0,75 se considera un buen ajuste
- Aquellas que sean estables y no puedan cambiar con el tiempo
- En caso de que exista igualdad de ajuste entre dos variables, se elegirá la que tenga un mayor tamaño de muestra.

### 5.1.2.2 Usos de suelo contemplados

A continuación, se exponen los usos de suelo que se definen en el TGM (ITE, 1998) [2] que se han contemplado para determinar la demanda de los distintos puntos de generación de tráfico existente en la zona de estudio.

#### 5.1.2.2.1 820 – Shopping Center

El uso de suelo 820 del ITE (Institute of Transportation Engineers) “Shopping Center” será el considerado para modelar la atracción del centro comercial que se llevará a cabo en Palmas Altas.

El Trip Generation Manual define los “shopping center” como un grupo integrado de establecimientos comerciales desarrollados y dirigidos como una unidad. Se relacionan con su área de mercado en función de su tamaño, localización y tipos de tienda. Se encuentran provistos de aparcamientos.

En el desarrollo de los modelos de atracción del Trip Generation Manual fueron analizados más de 500 centros comerciales de diferentes tamaños y tipos, localizados en zonas urbanas de los Estados Unidos. Los centros pueden incluir usos distintos al comercial enfocados al ocio, o usos de oficinas.

Los viajes generados por el centro comercial se basan en la superficie alquilable del centro, que en ciertos casos puede coincidir con la superficie de este.

Los datos indican que el ratio de creación de viajes decrece a la vez que el tamaño del centro aumenta de forma exponencial.

El método más preciso para estimar el volumen de viajes que se produce hasta el centro comercial es utilizar ecuaciones de regresión para estimar el volumen total de viajes que se producen en un día de la semana medio,

y el total de viajes producidos en las puntas horarias de mañana y tarde. Una vez hecho esto, se aplica la distribución direccional para determinar los volúmenes de entrada y salida en la hora punta

Las ecuaciones se han desarrollado para el rango completo de tamaños de tipos de centro comercial, permitiendo adoptar la ecuación más precisa para cada caso

La variable explicativa que empleará para determinar el número de viajes generados es el área en 1.000 pies cuadrados de superficie alquilable. La superficie bruta alquilable del futuro centro comercial Palmas Altas será de 100.000 metros cuadrados. Al ser un manual estadounidense, las ecuaciones desarrolladas en el mismo valoran la superficie en pies cuadrados, por lo que habrá que convertir las unidades:

Superficie bruta alquilable: **100.000 m<sup>2</sup>** → **1.076.391 ft<sup>2</sup>**

De entre todas las ecuaciones contempladas en el manual, se emplearán las ecuaciones de los viajes de vehículos que genera el centro comercial en un día medio para obtener el número de viajes que se producirán por el desarrollo del centro comercial. Esta ecuación presenta dos formas, en función de si la superficie bruta alquilable es superior o no a 200.000 ft<sup>2</sup>. En este caso se emplea la siguiente ecuación:

#### Viajes en vehículo en un día medio

$$T = 6371 + 2,58 X$$

Siendo:

- T: Número de viajes producidos o el volumen total del tráfico en ambos sentidos
- X: Superficie por cada 1000 ft<sup>2</sup>

La distribución por sentidos es de un 50% de entradas y un 50% de salidas.

El valor de R<sup>2</sup> (Coeficiente de determinación) es de 0,59.

Dada la superficie del centro comercial de 1.076.391 ft<sup>2</sup> → X=1.076,39

$$T = 6371 + 2,58 X = 6371 + 2,58 \times 1076,39$$

$$T = 35508,9 \frac{\text{vehículos}}{\text{día}}$$

#### 5.1.2.2.2 550 – University

El uso de suelo 550 del ITE (Institute of Transportation Engineers) “University” sería el más adecuado para modelar la atracción del campus localizado en Palmas Altas de la Universidad Loyola Andalucía, al englobar este uso a todas las instituciones del tipo universidad

En principio este uso no cuenta con datos suficientes disponibles para realizar un modelo lo suficientemente satisfactorio. Considera que se producirían entre 1,40 y 3,89 viajes por número de estudiantes, lo que genera un amplio rango de viajes producidos

Teniendo en cuenta esta situación, y aprovechando el hecho de que la Universidad Loyola se encuentra dentro del mismo edificio que las oficinas de Abengoa, se estudiará de forma conjunta el Campus Palmas Altas teniendo en cuenta que la media de viajes por empleado en edificios de oficinas está en torno al rango superior del valor de los viajes por estudiante. Esto permitiría estar del lado de la seguridad al acotar superiormente los viajes de los estudiantes, siendo una forma de modelar este uso de suelo al no contar con datos suficientes para un modelo aceptable.

#### 5.1.2.2.3 710 – General Office Building

El uso de suelo 710 del ITE (Institute of Transportation Engineers) “General Office Building” será el considerado para modelar la atracción de la sede de oficinas de Abengoa que se encuentra localizada en Palmas Altas.

Un “General Office Building” aloja a una o más empresas comerciales, organizaciones industriales, agencias... siendo el lugar donde se producen reuniones y al que se dirigen los profesionales de dichas empresas.

La densidad del número de empleados en un edificio de oficinas general tiende a disminuir cuando el tamaño del edificio se incrementa. Para el caso del número de viajes, la relación es similar.

El modelo realizado se basa en estudios de 50 casos de edificios de oficinas de distintas densidades de empleado, que van desde los 2,15 hasta los 8 empleados por cada 1000 ft<sup>2</sup>

En el caso de la sede de Abengoa, contando con la Universidad Loyola, el edificio dispone 50.000 m<sup>2</sup> construidos, lo que lleva el rango entre 2,63-7,46 estando la media en 4,8. Este valor de la densidad del número de empleados varía en función de diversos factores, como por ejemplo el tiempo que lleva la empresa en el edificio

El método más preciso para estimar el volumen de viajes que se produce hasta el Campus Palmas Altas, al igual que en el caso del centro comercial, es utilizar ecuaciones de regresión para estimar el volumen total de viajes que se producen en un día de la semana medio, y el total de viajes producidos en las puntas horarias de mañana y tarde. Una vez hecho esto, se aplica la distribución direccional para determinar los volúmenes de entrada y salida en la hora punta.

La variable explicativa que empleará para determinar el número de viajes generados es el área en 1.000 pies cuadrados de superficie construida. La superficie construida del Campus Palmas Altas es de 50.000 metros cuadrados. Al ser un manual estadounidense, las ecuaciones desarrolladas en el mismo valoran la superficie en pies cuadrados, por lo que habrá que convertir las unidades:

Superficie construida: **50.000 m<sup>2</sup>** → **538.196 ft<sup>2</sup>**

De entre todas las ecuaciones contempladas en el manual, se emplearán las ecuaciones de los viajes de vehículos que genera un edificio general de oficinas en un día medio para obtener el número de viajes que son producidos por el Campus Palmas Altas. En este caso se emplea la siguiente ecuación:

Viajes en vehículo en un día medio

$$\ln(T) = 0,75\ln(A) + 3,77$$

Siendo:

- T: Número de viajes producidos o el volumen total del tráfico en ambos sentidos
- A: Superficie por cada 1000 ft<sup>2</sup>

La distribución por sentidos es de un 50% de entradas y un 50% de salidas.

El valor de R<sup>2</sup> (Coeficiente de determinación) es de 0,85.

Dada la superficie del Campus Palmas Altas de 538.196 ft<sup>2</sup> → A=538,196

$$T = 4.847,2 \frac{\text{vehículos}}{\text{día}}$$

### 5.1.3 Plan de Transporte Metropolitano de Sevilla

En cuanto a un modelo de generación basado en datos proporcionados por la planificación vigente en la zona de estudio, se va a plantear otro estudio con datos provenientes del Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla: Plan de Movilidad Sostenible, ya que este es el documento de planificación encargado de analizar la movilidad y garantizar que esta sea sostenible dentro del área metropolitana de Sevilla.

Dentro de su capítulo 7 de Determinaciones de Carácter General, el Plan de Transporte Metropolitano incluye un punto destinado a garantizar la funcionalidad de los elementos nodales del sistema de transporte público frente a actuaciones urbanísticas.

El Plan contempla que ya haya planteadas, o que puedan plantearse en el futuro grandes operaciones urbanísticas cuyo impacto potencial sobre alguno de los elementos básicos del sistema de transporte pueda ser muy negativo. Una actuación de la envergadura del centro comercial previsto en Palmas Altas queda sin duda incluida dentro de las actuaciones de esta categoría, sobre todo teniendo en cuenta su proximidad a uno de los nodos de la red de transporte de Sevilla más conflictivos, como es el Puente del Quinto Centenario y la entrada sur a Sevilla.

Con el fin de proteger los elementos nodales del sistema y garantizar la propia funcionalidad de las actuaciones



- Viario actual y previsto en el entorno de la actuación, así como los que sirvan de conexión con los ejes de alta capacidad previstos para el acceso de los usuarios a la actuación
- Oferta de transporte público actualmente existente potencialmente utilizable para el acceso a la actuación
- Demanda de viajes actual y cargas de tráfico existentes en la red viaria del entorno
- Cálculo de la demanda de movilidad motorizada actual y futura, como resultado de aplicar los valores de generación/atracción de viajes asociados a los distintos usos de suelo
- Reparto modal y asignación al sistema de transporte durante la puesta en servicio de la actuación y la puesta en carga total de todos los usos del entorno considerado
- Detección de problemas derivados del anterior análisis:
  - Congestión /Bajo nivel de servicio del viario o del transporte público
- Medidas correctoras propuestas
  - Nuevas infraestructuras viarias o de transporte público
  - Mejoras de servicio o gestión del transporte público
  - Modificación de usos en el planeamiento urbanístico para reducir la intensidad de la atracción

En cuanto al cálculo de la demanda por medio de la generación/atracción de viajes en función de usos de suelo, el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla proporciona una tabla de valores unitarios de movilidad motorizada según el uso del suelo. Estos valores son los que se muestran en la siguiente tabla.

VALORES UNITARIOS DE MOVILIDAD MOTORIZADA SEGÚN USO DE SUELO	
Tipología de Uso de Suelo	Movilidad Motorizada unitaria (Viaj motor/m <sup>2</sup> y día)
Residencial	0,05
Comercial	0,3
Terciario general	0,08
Industrial	0,06
Equipamiento	0,1

Tabla 9 Ratios de movilidad según uso de suelo del Plan de Transporte metropolitano [3]

El Plan contempla la posibilidad de establecer de forma justificada unos valores distintos a los proporcionados atendiendo a la experiencia o a partir de trabajos de campo específicos.

Se realizará por tanto un modelo de generación como los realizados en los apartados anteriores atendiendo a estos valores, que son los contemplados en los documentos de planificación de Sevilla, y cuyo desarrollo permitirá a partir de la comparación con los modelos previos, valorar la idoneidad de estos valores.

Atendiendo a la tipología de Usos de Suelo contemplada en el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla, se realizan las siguientes consideraciones a la hora de plantear el modelo de generación del entorno de Palmas Altas con los valores del Plan:

- Se considerarán como elementos generadores de tráfico en la zona de estudio el futuro centro comercial Palmas Altas, y el Campus Palmas Altas (CPA), que alberga uno de los campus de la Universidad Loyola Andalucía y la sede de la multinacional Abengoa
- El centro comercial Palmas Altas, con una superficie alquilable de 100.000 m<sup>2</sup>, se considerará con un uso de suelo de suelo comercial, uso que a la vez es el que presenta un mayor valor de movilidad motorizada generada
- En cuanto al Campus Palmas Altas, se contabilizará la superficie total del mismo, unos 50.000 m<sup>2</sup>,

considerando de forma conjunta los usos de este como universidad y sede empresarial. El uso de suelo contemplado es el de terciario general

Teniendo en cuenta estos aspectos, los valores de movilidad generada aplicando lo contemplado en el Plan son los siguientes:

Elemento generador de tráfico	Uso de suelo	Viajes motorizados/m <sup>2</sup> y día	Superficie (m <sup>2</sup> )	Viajes generados/día
Centro comercial	Comercial	0,3	100.000	30.000
Campus Palmas Altas	Terciario general	0,08	50.000	4.000

Tabla 10 Resultados de generación de viajes con los ratios del Plan de Transporte Metropolitano. Elaboración propia

#### 5.1.4 Comparación de los resultados de demanda obtenidos

A modo de conclusión, se muestra la siguiente tabla resumen que recoge los viajes que generará el futuro centro comercial en un día medio atendiendo a las distintas tipologías de cálculos realizados, además de los viajes que se producen en la actualidad por el Campus Palmas Altas siguiendo dichas metodologías.

Elemento generador de tráfico	Experiencia española	Trip Generation Manual	Plan de Transporte Metropolitano
Centro comercial	36.403	35.509	30.000
Campus Palmas Altas	5.780	4.847	4.000

Tabla 11 Resultados de generación de viajes de las distintas metodologías. Elaboración propia

En primer lugar, se puede observar que, a pesar de haber empleado distintas metodologías, los resultados acerca de los viajes generados presentan un mismo orden de magnitud en todos los casos.

La única metodología empleada que es más optimista en cuanto a la previsión de los viajes que se producirán es la expuesta en el Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla, que es a su vez, la metodología que habría que tener presente en el estudio de las previsiones de tráfico generado por el centro comercial al estar este inmerso dentro del área metropolitana. Es la metodología que considera un menor número de viajes

Tal y como se observa, las previsiones obtenidas empleando las otras dos metodologías son sensiblemente superiores, por lo que se hará empleo de ellas a la hora de calcular las intensidades en hora punta necesarias para el modelo, ya que se cumplirían las previsiones del Plan de Transporte Metropolitano y se estaría del lado de la seguridad a la hora de realizar los cálculos.

Puede extraerse como conclusión, el elevado tráfico que generará el centro comercial con respecto al tráfico generado ya en la actualidad por el Campus Palmas Altas. El centro comercial generará aproximadamente 30.000 vehículos más diarios, por lo que el impacto que generará sobre el tráfico, en una zona que se encuentra ya cerca de su capacidad y que colapsa en ocasiones, podría ser muy importante.

Dada la variabilidad de los valores que se presentan entre las distintas metodologías, a efectos prácticos de este trabajo se ha decidido establecer un valor medio de 35.000 viajes diarios como el valor de los viajes atraídos diariamente por el centro comercial.

Para analizar la influencia de estos viajes en el sistema de transporte se desarrollan en este trabajo varios modelos de microsimulaciones en el que se contemplan diferentes escenarios. Para estar del lado de la seguridad, el momento de simulación considerado es la hora más desfavorable del día en la zona, que en este caso en la hora punta del mediodía del viernes. Será necesario por tanto estimar la intensidad de tráfico que produce el centro comercial durante la hora punta para poder introducir el efecto del centro comercial dentro de los modelos.

## 5.2 Estimación de las intensidades de tráfico en hora punta

Una vez determinados el número de viajes que serán atraídos por el centro comercial a lo largo del día, es preciso obtener las intensidades de tráfico que producirán estos viajes durante la hora punta de estudio sobre la que se desarrolla el modelo. De esta forma se podrá comprobar la influencia que tiene el centro comercial en el modelo, al añadir a éste las intensidades obtenidas.

Los viajes atraídos por el Campus Palmas Altas no serán estimados de esta forma, ya que el campus se encuentra construido y en servicio. La obtención de las intensidades de tráfico durante la hora punta que tienen como origen o destino el Campus Palmas Altas se obtendrá directamente del estudio de los aforos realizado en la zona que se muestra en capítulos posteriores.

### 5.2.1 Trip Generation Manual

El Trip Generation Manual contempla para cada uso de suelo, además de los viajes que se producen a lo largo del día en función de la variable explicativa que considere en cada caso, varias ecuaciones para determinar el número de vehículos que serán atraídos en ciertos intervalos relevantes para los estudios de tráfico, como es el caso de la hora punta

Para el uso de suelo considerado para el centro comercial “820 – Shopping Center”, el Trip Generation Manual considera una ecuación que permite determinar el número de viajes producidos en un periodo de una hora, en el intervalo de tiempo de la hora punta de tarde, que considera que estará entre las 4 y las 6 de la tarde.

Se realiza una distinción de la ecuación a utilizar en función de la superficie libre alquilable del centro comercial, utilizando para centros comerciales con más de 175.000 pies cuadrados (16.258 metros cuadrados aproximadamente) la siguiente expresión:

$$T = 2,58 X + 381$$

Siendo:

- T: Número de viajes producidos o el volumen total del tráfico en ambos sentidos
- X: Superficie por cada 1000 ft<sup>2</sup>

Para esta ecuación se proporciona también el porcentaje de distribución por sentidos, de forma que un 47% de los viajes serán de entrada al centro comercial y un 53% de salida al mismo

Teniendo en cuenta que la superficie bruta alquilable del nuevo centro comercial de Palmas Altas será de 1.076.391 ft<sup>2</sup> → X=1.076,39

$$T = 2,58 X + 381 = 2,58 \times 1076,39 + 381$$

$$T = 3158,09 \frac{\text{viajes}}{\text{hora}}$$

Atendiendo a la distribución por sentidos, durante la hora punta en el periodo de tiempo entre las 4 y la 6 de la tarde se producirán los siguientes viajes:

- 1484,30 viajes de entrada al centro comercial
- 1673,79 viajes de salida del centro comercial

Estos resultados en principio no son los más indicados para introducirlos en la simulación. Por un lado, son los resultados para una hora punta entre las 4 y las 6 de la tarde, mientras que en este estudio se ha optado por considerar la hora punta la del medio día entre las 2 y las 3 de la tarde del viernes. Esto en principio no supondría un gran obstáculo a la hora de asumir las intensidades del Trip Generation Manual, al haber considerado también la hipótesis de que la situación más desfavorable podría darse en el caso de que la hora punta del medio día se extienda en el tiempo y llegara a coincidir con la del centro comercial.

Sin embargo, por otro lado, la distribución por sentidos que adopta el TGM (ITE,1998) se considera incorrecta para el caso considerado, teniendo en cuenta los hábitos de la población española con respecto a los de la población estadounidense. El TGM adopta una distribución en la que se produce un mayor número de salidas del centro comercial que de entradas, siendo este hecho algo que contrasta bastante con lo que indica la

experiencia, ya que es razonable suponer que en un viernes los consumidores comiencen a llegar al centro comercial a partir del mediodía, una vez ha finalizado su jornada laboral. Debido a que este modelo considera un mayor número de salidas del centro comercial durante esas horas, será preciso analizar otras posibles alternativas para determinar las intensidades generadas por el centro comercial durante la hora punta.

## 5.2.2 Experiencia Española

A partir de los datos sacados de la experiencia y el estudio de centros comerciales y polos generadores de viajes situados en España, puede obtenerse el valor de las intensidades de tráfico de hora punta que entran y salen del centro comercial.

De los datos de generación de viajes obtenidos según estudios realizados en el municipio de Madrid, para el caso del centro comercial de Palmas Altas, puede considerarse la siguiente información:

- Para usos de suelo de clase comercial con categoría de grandes superficies comerciales, la estimación del porcentaje de vehículos que entran o salen en hora punta respecto a los generados a lo largo de todo el día es de 12,9 a 17,2 %. Se considera que estos porcentajes se dan durante la hora punta de la mañana de 11 a 13 horas los días entre semana.

Tomando un valor medio de 15,05% y teniendo en cuenta que el 60% de la superficie total del centro comercial estaría dedicada a usos comerciales, el tráfico durante la hora punta de mañana atendiendo a estos datos sería de 4697 vehículos.

Este valor es bastante elevado, y no podría utilizarse en principio en este estudio, ya que las simulaciones se realizarán en el periodo de 14 a 15 horas, donde el tráfico que acude al centro debería ser considerablemente menor

- En usos de suelo de clase terciario recreativo con categoría comida y bebida, el porcentaje de vehículos va del 43,4 al 45,9 % del total de vehículos generados en el día durante la hora punta del mediodía considerada de 14 a 15 horas.

De esta forma, tomando un porcentaje medio del 44,7% y tomando en consideración que el 40% de la superficie del centro comercial iría destinada a usos de comida y bebidas se tendría que la intensidad de tráfico en hora punta de mediodía sería de 2950 vehículos.

Los datos proporcionados por los estudios sobre centros comerciales en Madrid aportan información sobre la hora punta de mediodía considerada para el caso de usos terciarios recreativos con categoría de comida y bebida y no en el caso de clase comercial.

Además, presentan un amplio rango de valores que pueden llevar a sobredimensionar el tráfico del centro comercial, o a infravalorarlo, ya que no se tiene cuenta con un valor seguro con el que calibrar los resultados obtenidos.

Por ello, se ha optado por emplear datos con otra fuente, pero también basados en la experiencia española. Para el cálculo de intensidades en la hora punta del centro comercial se emplearán los datos de Hipercor y el Corte Inglés [4], que cuentan con la experiencia de estudios similares en muchos de sus centros en funcionamiento. Entre estos datos se encuentra la distribución horaria de entrada y salida media obtenida de datos de todos sus centros comerciales, que se va a utilizar como referencia para obtener la intensidad de tráfico en la hora punta del mediodía de 14 a 15 horas.

Los datos de la distribución de entrada y salida de los vehículos obtenida de la experiencia en centros comerciales Hipercor y el Corte Inglés proporcionan las intensidades horarias de entrada y salida como un porcentaje del total de vehículos atraídos al centro comercial. Como valor de los viajes diarios atraídos por el centro comercial, tras el estudio realizado en el punto anterior, se ha tomado un valor medio de 35.000 viajes diarios, siendo 17.500 de entrada y 17.500 de salida. Los datos con la distribución horaria se muestran en la siguiente tabla:

Horas	Distribución horaria		Viajes totales	
	Entrada %	Salida %	Entradas	Salidas
10-11	8,1	6	1418	1050
11-12	8,1	6,4	1418	1120
12-13	7,4	6,9	1295	1208
13-14	7	5,9	1225	1033
14-15	6,5	5,1	1138	893
15-16	7,4	6	1295	1050
16-17	7,3	4,8	1278	840
17-18	13,4	10	2345	1750
18-19	11,8	14,5	2065	2538
19-20	11,6	15,8	2030	2765
20-21	8,3	11,6	1453	2030
21-22	3,1	7	543	1225
	100%	100%	17.500	17.500

Tabla 12 Distribución horaria de los viajes a los centros comerciales en España [4]

Se ha obtenido en la tabla la distribución de los viajes del centro comercial a lo largo de todo el día. Mediante esta distribución puede obtenerse directamente las intensidades de hora punta que serán introducidas posteriormente en el modelo para representar la demanda del centro comercial.

En este caso, que se va a simular la intensidad de hora punta del mediodía del viernes, de 14 a 15 horas, la intensidad de entrada sería de 1138 vehículos y la intensidad de salida de 840 vehículos.

Como se verá en capítulos posteriores, la hora punta del viernes puede prolongarse durante más de una hora, llegando en los casos más desfavorables a solaparse con la hora punta de tarde. Este efecto se verá incrementado con la construcción del centro comercial, ya que éste llevará asociado un incremento del número de vehículos en el tráfico.

Teniendo en cuenta esta consideración previa, a la hora de modelar el centro comercial en las simulaciones se va a adoptar como intensidad de hora punta de medio día para el centro comercial las intensidades de 16 a 17 horas, con 1278 vehículos entrando al centro comercial y 840 vehículos saliendo de él. Estas intensidades son las más desfavorables dentro de la lógica de que la punta de tráfico pueda atrasarse y la del centro comercial adelantarse dentro de las horas del mediodía.

Son también las que presentan una mayor lógica en cuanto a distribución por sentidos para esta hora, ya que son las que presentan menos salidas del centro comercial, lo que parece tener mayor sentido dada la situación de tráfico en el exterior del centro comercial durante la hora punta, ya que los usuarios tenderían a evitar esa hora para salir del centro comercial.

### 5.3 Conclusiones

Los estudios en los que se definen los ratios de generación de viajes en función de los usos urbanísticos atendiendo a la experiencia española son bastante escasos, por lo que en la mayoría de estudios suele recurrirse al Trip Generation Manual del ITE. A pesar de ello, el uso del TGM presenta varias particularidades:

- Para poder usar los ratios deben coincidir las variables, lo que no ocurre siempre al no haber muchas veces datos disponibles sobre ellas.
- La variable más usada es la superficie bruta, pero suele medirse en otras unidades que no son metros cuadrados, al emplear el sistema anglosajón de medidas.
- Los usos de suelo americanos suelen diferir de los españoles, y aunque puedan existir usos de suelo con denominaciones similares. Pueden existir diferencias significativas entre la definición de ambos, al existir diferencias en los patrones de movilidad de ambos países.
- Los ratios del ITE suelen ser muy altos en comparación con los estudios específicos realizados en España, ya que en el estilo de vida americano se da un mayor uso del vehículo privado.

Tras haber analizado varias metodologías para el cálculo del tráfico generado por la apertura del centro comercial, se han obtenido los siguientes valores, que serán los empleados en el desarrollo de los modelos de microsimulación:

- El tráfico diario generado por el centro comercial se ha estimado en 35.000 vehículos al día
- La intensidad de entrada al centro comercial considerada durante la hora punta será de 1278 vehículos
- Las salidas producidas del centro comercial durante la hora punta será de 840 vehículos

# 6 INTENSIDADES DE TRÁFICO EN LA ZONA DE ESTUDIO

---

Una vez obtenido el tráfico que generará el centro comercial tras su construcción, es prioritario conocer el estado del tráfico actual en la zona de estudio para poder obtener las intensidades de tráfico necesarias para la elaboración del modelo, así como para evaluar el posible impacto del centro comercial en la zona

Se ha realizado un análisis del estado del tráfico en el viario de la zona de estudio, basado en información cualitativa, para conocer en primer lugar de forma general el estado en el que se encuentra el tráfico de la red viaria.

A continuación, este análisis se ha profundizado ya de forma cuantitativa mediante la recopilación y análisis de los datos de los aforos existentes en la zona de estudio. Estos aforos se han complementado con la realización de conteos manuales para obtener las intensidades en puntos de la red que carecían de aforos.

A partir de esta información, se han ido calculando las distintas intensidades que discurren por el sistema viario de la zona de estudio, para acabar obteniendo el tráfico que discurre por las entradas y salidas de la zona de estudio.

## 6.1 Análisis de la red

Una de las principales referencias utilizadas para conocer el estado del tráfico de la zona de estudio ha sido la herramienta de Tráfico de Google Maps. Esta herramienta además de proporcionar información sobre el estado actual del tráfico en tiempo real proporciona información del tráfico típico de cada zona en cualquier día y hora que se desee. El origen de estos valores típicos es la información que Google recaba diariamente, por lo que la representatividad de la información que proporciona está asegurada. A pesar de ser una información no cuantitativa, es muy valiosa para conocer el funcionamiento real del tráfico en la zona de estudio, ya que cualitativamente muestra como es el tráfico en cualquier instante y lugar.

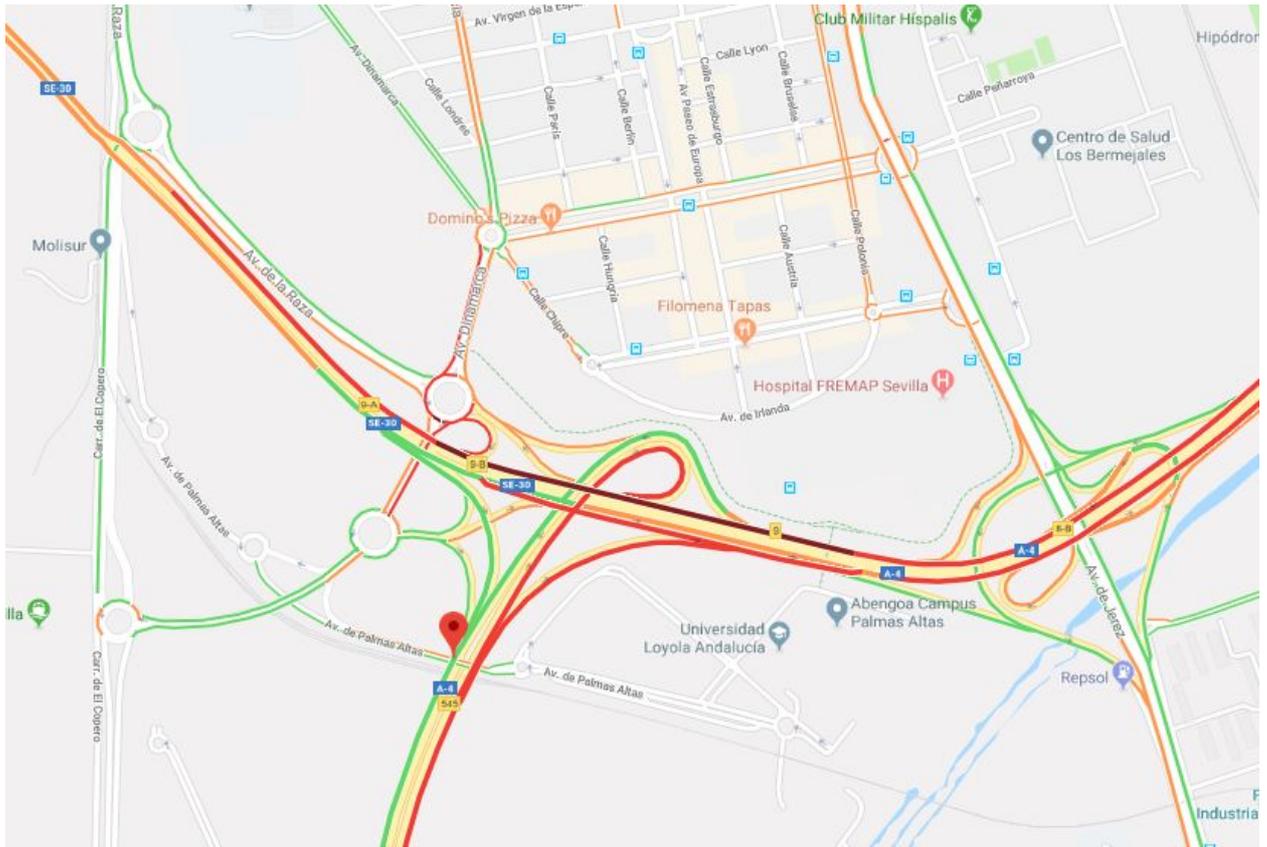
La información que proporciona sirve de base para conocer cómo se comporta el tráfico en el área de estudio, así como para tener una referencia de los resultados que deberá presentar el modelo

Analizando la información del tráfico típico presente en la zona de estudio durante la hora punta considerada de 14 a 15 horas de los viernes, se pueden establecer las siguientes conclusiones:



Ilustración 6-1 Mapa de tráfico típico de Sevilla durante la hora punta de 14:00 a 15:00. Google Maps

- En la zona de estudio, el nudo de la SE-30 con la A-4 constituye uno de los principales enlaces de toda el área metropolitana de Sevilla, y es prácticamente el punto que presenta mayor congestión de toda la SE-30. Esto puede comprobarse en la imagen anterior.
- Los problemas de congestión de la SE-30 vienen motivados principalmente por la reducción del número de carriles que tiene lugar en el puente del V Centenario en sentido Huelva, donde se pasa de 3 a 2 carriles al tener el carril reversible configurado en sentido Córdoba. En la imagen se observa como el punto del estrechamiento provoca un aumento de la congestión que origina colas en la zona.
- El problema de las colas originadas por el estrechamiento en el puente se agrava por la cercanía de dos importantes incorporaciones, desde la Glorieta Norte y desde la autovía A-4. Cuando la longitud de la cola alcanza dichas incorporaciones se provocan retenciones en la SE-30, donde los vehículos acaban prácticamente parados.
- Las retenciones que tienen lugar en la SE-30 provocan a su vez importantes problemas en las incorporaciones citadas en el punto anterior. En primer lugar, la incorporación a la SE-30 desde la Glorieta Norte es muy corta, y en cuanto las retenciones en la SE-30 llegan a ella, los vehículos quedan acumulados en ella y se propaga la cola rápidamente a la Glorieta Norte, que llega a colapsar.
- El colapso de la Glorieta Norte provoca que el sistema de dos glorietas empleado para dar acceso a la SE-30 no funcione correctamente debido a la congestión, y provoca a su vez colas en los accesos a la rotonda desde la avenida de la Raza y la avenida de Dinamarca.
- La otra incorporación problemática a la SE-30 es la que se realiza desde la A-4. Esta autovía se bifurca en 3 direcciones, y presenta problemas de congestión en dos de los sentidos, en la incorporación en sentido Huelva y en la incorporación en sentido Córdoba. En ambos puntos se generan colas que se acaban extendiendo hasta la A-4, donde la cola alcanza longitudes bastante considerables.
- La incorporación en sentido Huelva desde la A-4 presenta problemas de congestión cuando la cola del estrechamiento del puente del V Centenario alcanza dicha incorporación. En sentido Córdoba, la congestión se provoca sin embargo por la existencia de un tramo de trenzado entre los vehículos que se incorporan a la SE-30 desde la A-4 y los vehículos que salen de la SE-30 con sentido hacia la N-IV
- Se observa también que la Avenida de Palmas Altas y la carretera de El Copero prácticamente carecen de tráfico durante la hora de estudio



• Ilustración 6-2 Mapa de tráfico típico de Google Maps durante la hora punta de 14:00 a 15:00

## 6.2 Obtención de intensidades de tráfico actuales

Se ha determinado previamente que el periodo de punta de tráfico más relevante para analizar la influencia que tendrá en el tráfico el futuro centro comercial de Palmas Altas se encuentra entre las 14:00 y las 15:00 de la tarde de los viernes.

En el periodo de punta de tráfico de mañana, en una primera aproximación, se observa mayor intensidad de tráfico que en el de tarde en la mayoría de los viarios de la zona de estudio. A pesar de ello, se ha observado que ciertos viernes a mediodía se produce una punta importante de tráfico que en algunos casos puede llegar a superar a la de mañana.

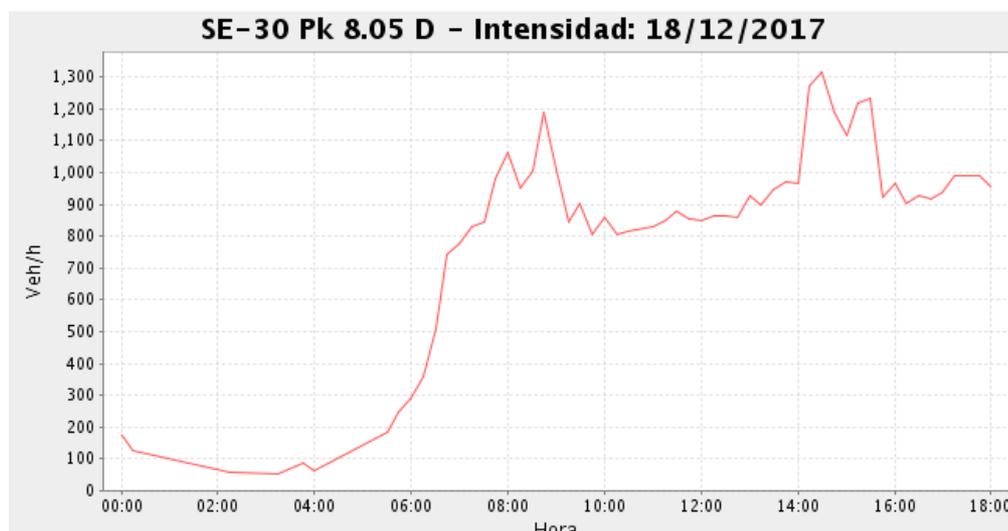


Ilustración 6-3 Distribución diaria del tráfico durante un viernes en uno de los aforos de la zona de estudio.

Este periodo de punta de tráfico es mucho más relevante en el presente estudio, debido a que la movilidad generada por los centros comerciales comienza principalmente en horarios de tarde, y se incrementa en los fines de semana.

Debido a esta característica de los centros comerciales, la punta de tráfico del viernes por la tarde toma especial relevancia, ya que esta podría prolongarse y entrar en conflicto con la punta de tráfico creada por el centro comercial.

El hecho de que puedan coincidir las dos puntas horarias (la punta del sistema viario actual, y la punta de entrada y salida de vehículos al centro comercial) es especialmente relevante en la zona de estudio, pues tras haber realizado un estudio de las intensidades de tráfico en puntos de aforo de la zona, ha evidenciado que la punta del mediodía de los viernes por la tarde presenta una amplia variabilidad. Esto se debe a que el sistema viario que existe en la actualidad está próximo a su capacidad, lo que provoca que se generen importantes atascos en la zona que impiden a los vehículos desplazarse a una velocidad adecuada. El descenso de la velocidad de los vehículos como consecuencia de los atascos hace que disminuya la intensidad de tráfico en los puntos de aforo, a pesar de encontrarse la zona atascada y con un gran número de vehículos concentrados en ella. La concentración de vehículos en el sistema provoca posteriormente, que conforme la situación de atasco vaya siéndose superada, la intensidad de tráfico se vuelva a incrementar, alargando por tanto la punta horaria de tráfico.

Como consecuencia de los aspectos descritos, se opta por establecer los registros de tráfico en la franja horaria de las 14:00 a las 15:00 para encontrar el estado del tráfico en la situación más una vez que el centro comercial ha abierto sus puertas.

El estudio de tráfico realizado por el promotor contempla la hora punta más desfavorable entre las 17:00 y las 18:00 del viernes, que representa la punta mayor de asistencia al centro comercial, pero no evalúa el comportamiento del centro comercial en el momento más crítico para la circulación del tráfico en la zona de estudio.

## 6.2.1 Datos de aforos existentes

Para evaluar las intensidades de tráfico, como punto de partida se ha realizado una recopilación de información existente sobre aforos en la zona. Las fuentes de información consultadas han sido:

- Mapa de aforos de tráfico del Ministerio de Fomento
- Aforos de la Junta de Andalucía
- Mapa de tráfico de la Dirección General de Tráfico

Tras analizar la información disponible de los distintos organismos, se comprobó que no existía ninguna información relevante sobre el tráfico de la zona en la información procedente del Ministerio de Fomento y la Junta de Andalucía.

A pesar de ello, se encontró información relevante en el Mapa de Tráfico de la DGT, ya que en la zona de estudio dicho servicio cuenta con varios puntos de aforo con datos históricos a nivel diario, semanal y mensual.

### 6.2.1.1 Datos de aforos del Mapa de Tráfico de la DGT

El acceso a dicho servicio de información se ha realizado empleando el visor web Infocar. Esta es una aplicación de información de tráfico que permite:

- Obtener una representación gráfica de la información del tráfico
- Consultar las últimas tendencias del tráfico o localizar incidencias en el mismo
- Guardar consultas personalizadas de la información
- Consultar en el mapa las previsiones de futuras incidencias a 15 días vista

La información que proporciona la aplicación procede de paneles, cámaras, sensores, radares y estaciones meteorológicas localizadas por toda la red.

De todas estas fuentes de información, la más relevante para este estudio es la información procedente de los sensores. Estos proporcionan gráficas con información a nivel diario, semanal, y mensual sobre la intensidad del tráfico, la composición en cuanto a porcentajes de vehículos ligeros y pesados, el porcentaje de ocupación o la velocidad.

Realizando diversas consultas en distintos sensores presentes en la zona, se pudo recopilar suficiente información relevante sobre las intensidades de las carreteras principales en el área de estudio.

Una vez recopilados los datos históricos de intensidad de los sensores en el área de estudio, y teniendo en cuenta que la punta de intensidad relevante para este estudio es la punta del viernes al mediodía (se observa que ésta además es la mayor intensidad semanal en varios de los sensores), se procedió a obtener los valores de estas intensidades de los gráficos sacados.

En el proceso de obtener los valores de las intensidades se despreciaron los días correspondientes a festivos, para evitar las variaciones que estos podrían provocar en los resultados.

Teniendo en cuenta que los valores de las intensidades se corresponden con valores de días concretos, para trabajar con valores de un día medio, las intensidades que se utilizarán en el desarrollo del modelo se obtendrán promediando todos los valores recogidos.

#### **6.2.1.2 Procedimiento de obtención de las intensidades de cálculo**

Los datos de información recabados que se han empleado para el estudio de las intensidades de tráfico comprenden el periodo de tiempo entre el 20/11/2017 y el 15/12/2017. En este periodo de un mes se ha analizado la intensidad punta de mañana y de medio día de cada día considerado, realizando posteriormente una distinción entre los días festivos y los días laborales, y caracterizando específicamente los viernes.

Los valores proporcionados por la gráfica de los aforos se corresponden a intensidades de tráfico correspondientes a periodos de 15 minutos, por lo que las intensidades de hora punta se han obtenido multiplicando por 4 los valores observados para extender la intensidad a toda la hora punta. Este procedimiento, como se verá más adelante, puede provocar un sobredimensionamiento de las intensidades, ya que tras los periodos de máxima intensidad de tráfico en las curvas se suelen registrar descensos en las intensidades, posiblemente como consecuencia de que se ha alcanzado la capacidad de la vía y se llega a una situación de congestión, puntos a la derecha de la capacidad del diagrama fundamental de tráfico. En estos puntos la situación del tráfico es inestable y llevan aparejados una menor intensidad.

Finalmente, los valores que se utilizarán posteriormente para representar las intensidades en la hora punta se obtienen promediando los valores de todos los días analizados.

Tras obtener los valores promedio a partir de los datos analizados, se realizó una comparación de los mismos con los datos recabados en el Departamento durante los dos últimos años, observando que prácticamente todas las intensidades obtenidas eran del orden de magnitud de la media del registro histórico. Sin embargo, se observó que la intensidad de tráfico que sube al puente del V Centenario en sentido Huelva presentaba un valor bastante superior al que correspondía durante la mayoría de los días.

Para asegurar la caracterización del tráfico, se optó por seleccionar para el cálculo de las intensidades que introducir posteriormente en el modelo, los valores de aforo de uno de los días del registro histórico que presente valores medios. Dichos valores medidos en un único día medio presentan el mismo orden de magnitud que los valores promediados al principio, pero corrige además el tráfico de la SE-30 en sentido Huelva, que presenta en este caso un valor más acorde al que suele discurrir normalmente por la zona los viernes.

#### **6.2.1.3 Intensidades obtenidas de los sensores**

Los sensores que proporcionan información relevante dentro del área de estudio son los mostrados a continuación:

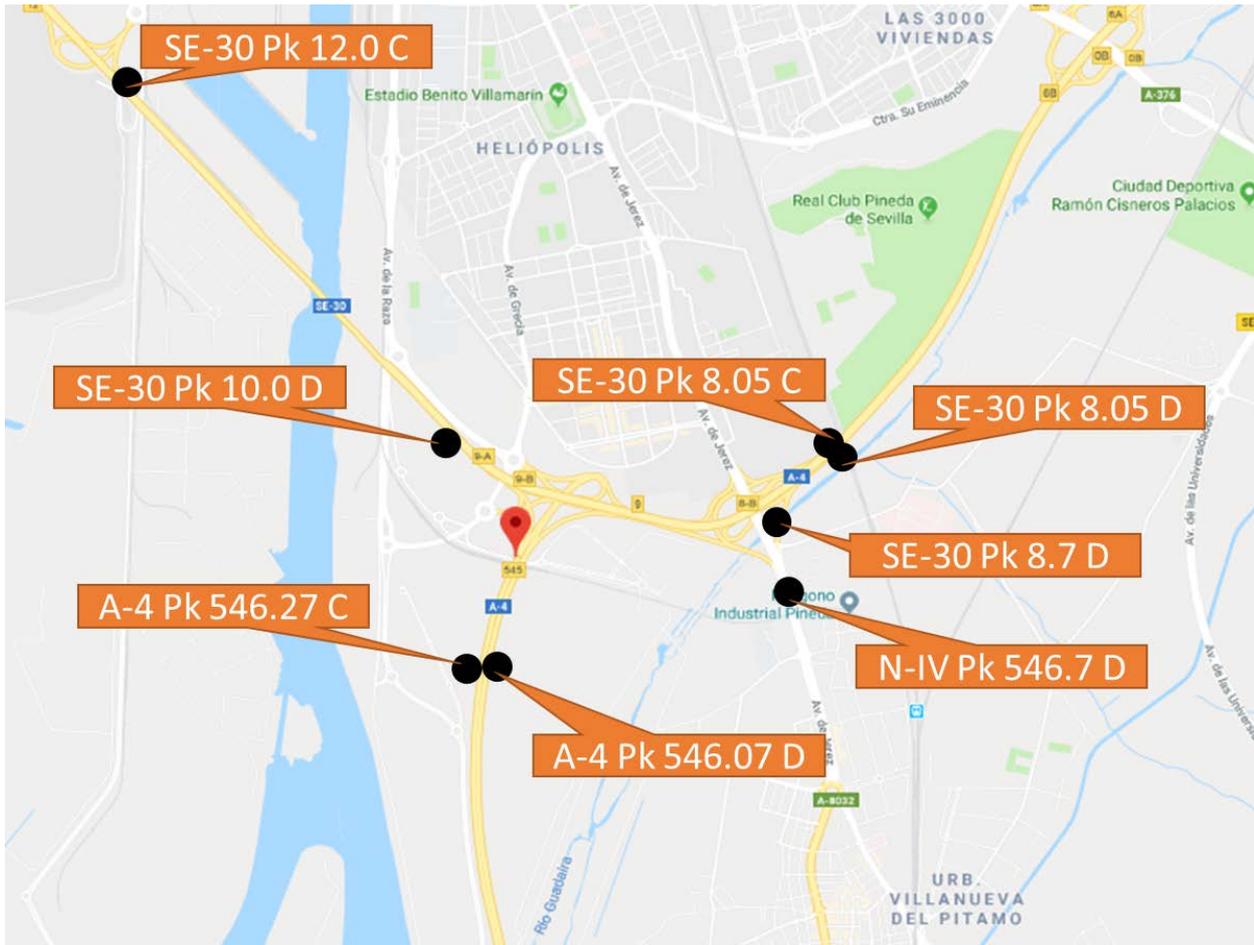


Ilustración 6-4 Localización de los aforos de Infocar. Elaboración propia

Se muestra a continuación una tabla con los valores de las intensidades puntas de periodos de 15 minutos que se han observado en los distintos aforos

<b>Día útil</b>	<b>A-4 546,27C</b>	<b>A-4 546,07D</b>	<b>SE-30 12,0C</b>	<b>SE-30 10,0D</b>	<b>SE-30 8,7D</b>	<b>SE-30 8,05C</b>	<b>SE-30 8,05D</b>
<b>20/11</b>	575	650			630	1120	
<b>21/11</b>	575	650			630	1160	
<b>22/11</b>	550	675			630	1120	
<b>23/11</b>	575	640			630	1120	1390
<b>24/11</b>	625	750			640	1180	1450
<b>27/11</b>	540	640			610	1100	1350
<b>28/11</b>	540	640			620	1100	1400
<b>29/11</b>	550	640			600	1100	1400
<b>30/11</b>	560	675			640	1200	1400
<b>01/12</b>	625	760		1300	610	1080	1430
<b>12/12</b>	575	660		1180	600	1150	
<b>13/12</b>	550	640		1150	610	1120	
<b>14/12</b>	600	630		1220	640	1130	1130
<b>15/12</b>	640	710		1220	630	1120	1300

Tabla 13 Intensidades registradas de los aforos de Infocar. Elaboración propia

Los valores de las intensidades de hora punta obtenidos en cada aforo, promediando las puntas de periodos de 15 minutos observadas en los datos analizados los viernes de 14 a 15 horas, y expandiendo a la hora completa, son las que se muestran en la siguiente ilustración

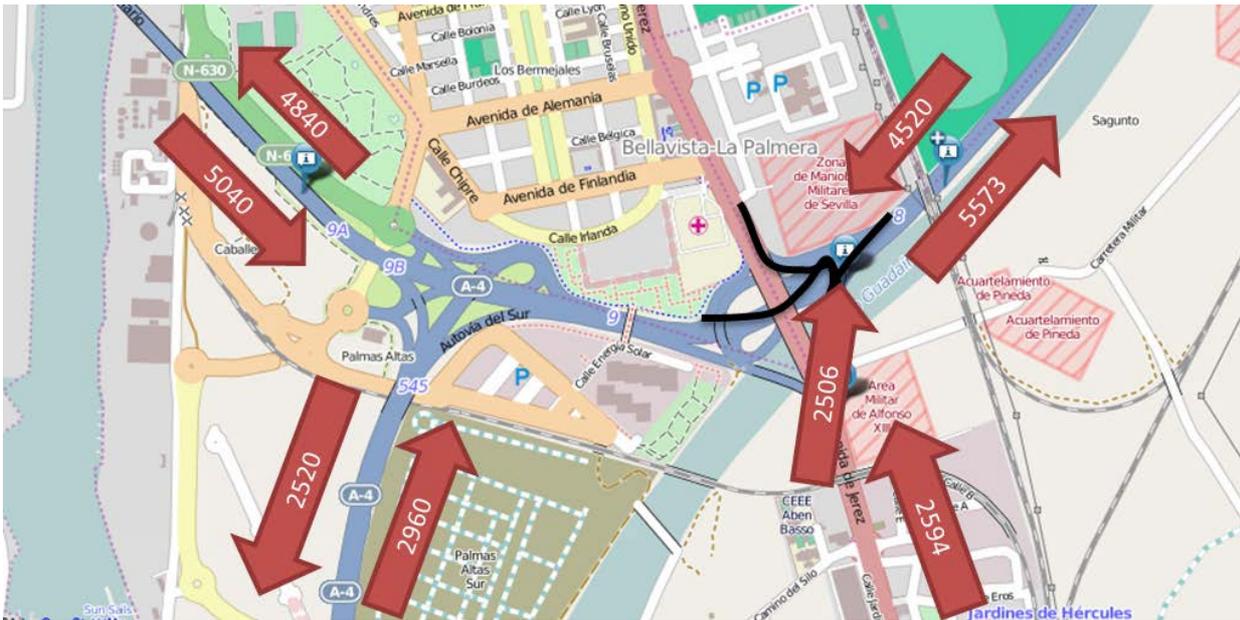


Ilustración 6-5 Intensidades consideradas en cada punto de aforo de Infocar. Elaboración propia

A continuación, se exponen las gráficas de Infocar de las que se han obtenido los datos para cada uno de los aforos. En ellas se pueden comprobar que, aunque diariamente el valor de la hora punta de mañana es superior al de la hora punta de medio día, el máximo observado se produce durante los viernes a medio día.

#### 6.2.1.3.1 A-4 PK 546,27 Creciente (Sentido hacia Cádiz)

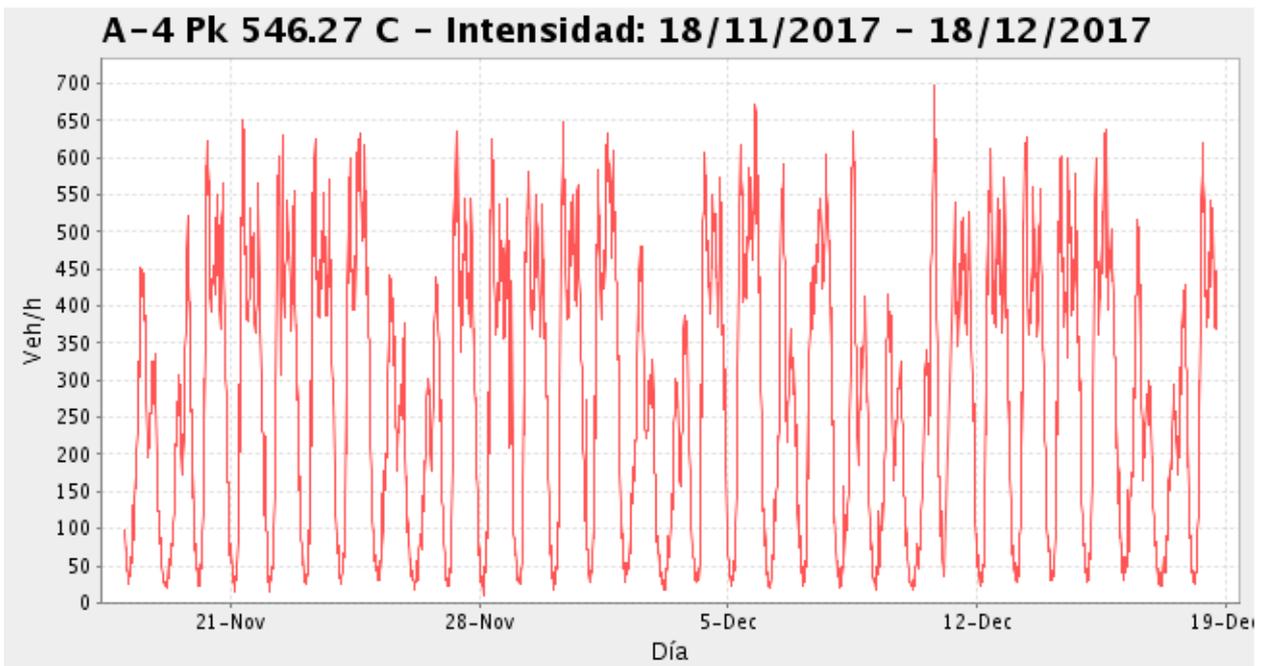


Ilustración 6-6 Intensidades mensuales del aforo A-4 PK 546,27 C

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 630 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **2520 vehículos/hora**.

6.2.1.3.2 A-4 Pk 546,07 Decreciente (Sentido hacia Sevilla)

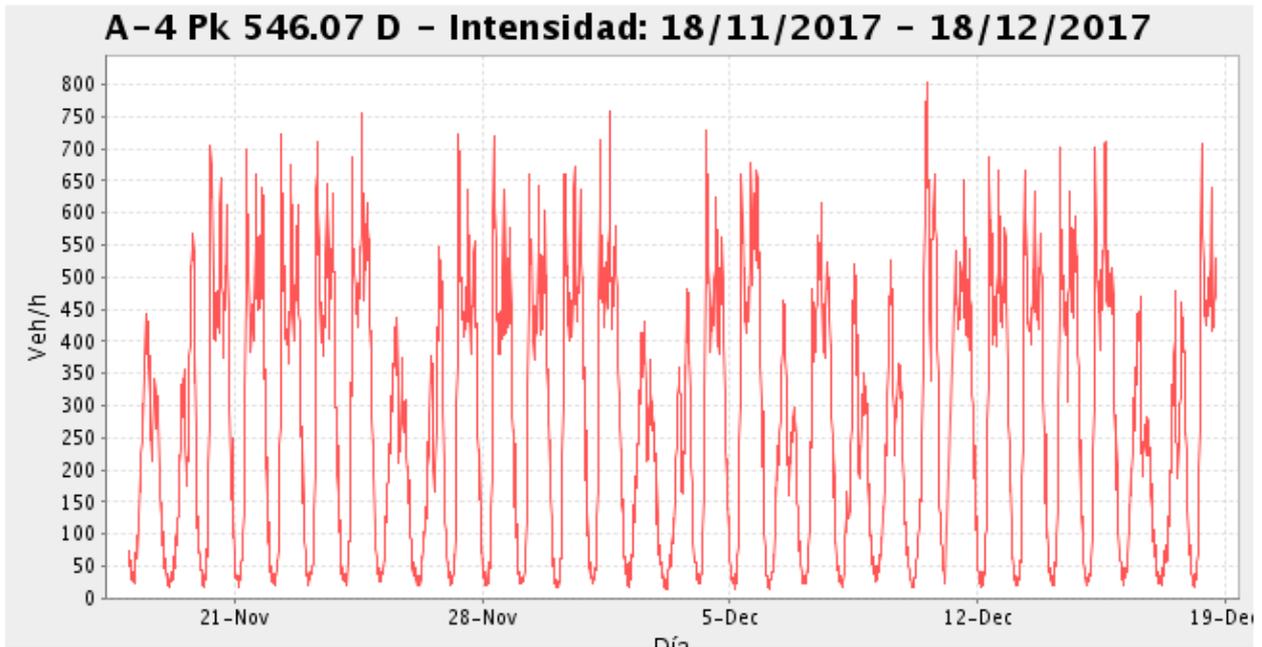


Ilustración 6-7 Intensidades mensuales del aforo A-4 Pk 546,07 D

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 740 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **2960 vehículos/hora**.

6.2.1.3.3 SE-30 Pk 12.0 Creciente (Puente V Centenario hacia Huelva)

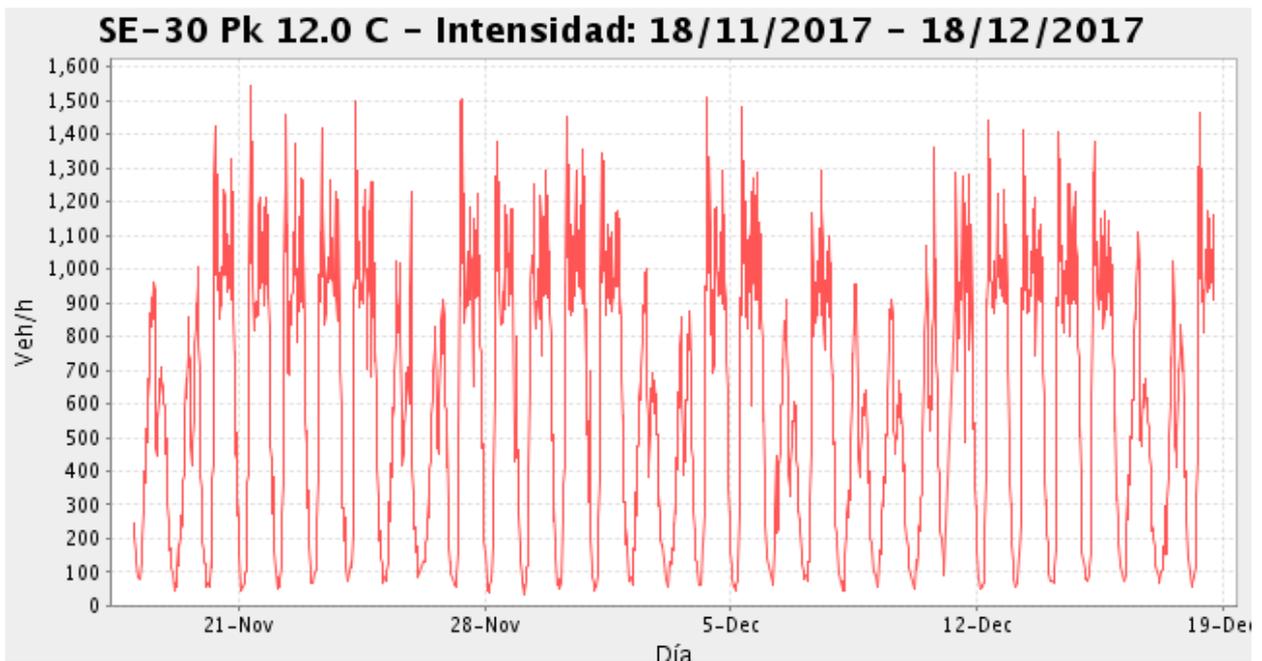


Ilustración 6-8 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 12.0 C

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 1210 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **4840 vehículos/hora**.

6.2.1.3.4 SE-30 Pk 10.0 Decreciente (Puente V Centenario sentido hacia Córdoba)

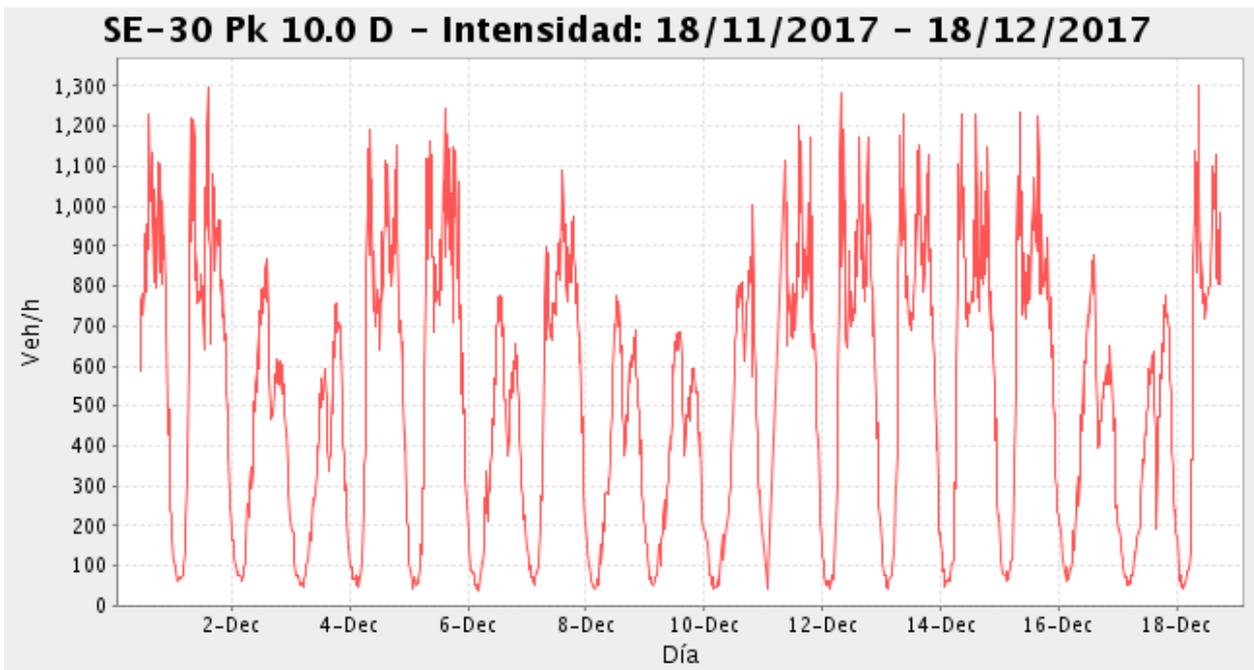


Ilustración 6-9 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 10.0 D

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 1260 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **5040 vehículos/hora**.

6.2.1.3.5 SE-30 Pk 8.7 Decreciente (Enlace con la N-IV)

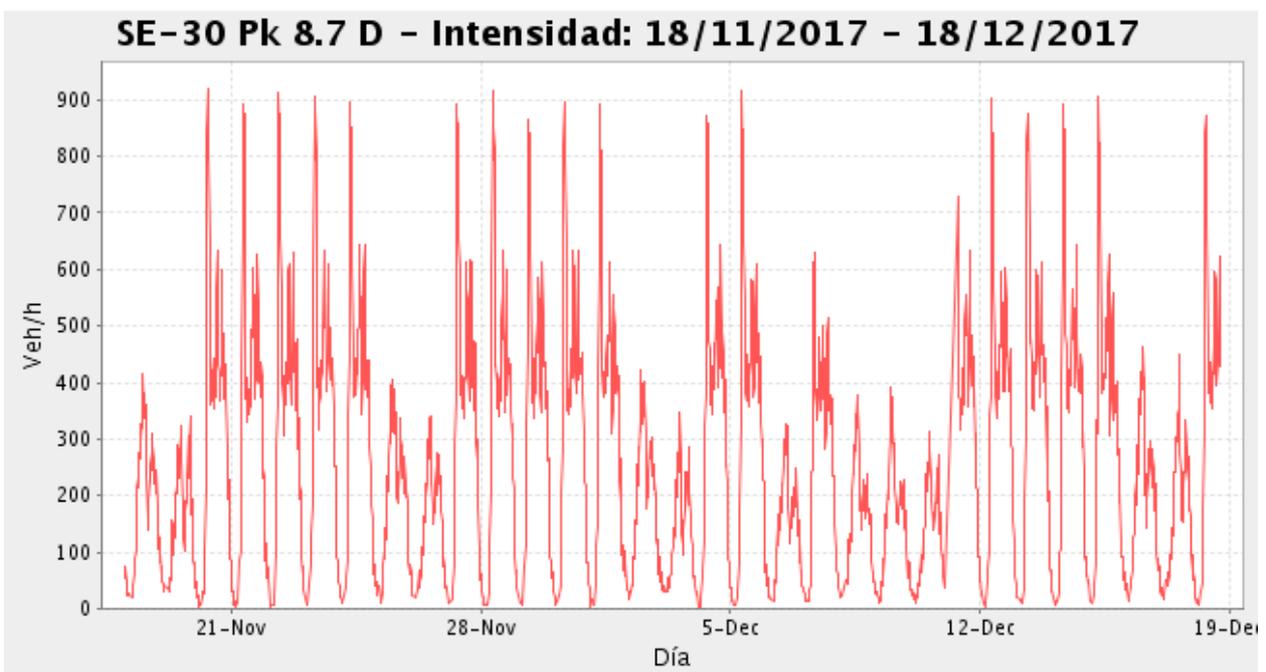


Ilustración 6-10 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 8.7 D

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 626,7 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **2506,7 vehículos/hora**.

6.2.1.3.6 SE-30 Pk 8.05 Creciente (Sentido hacia Huelva)

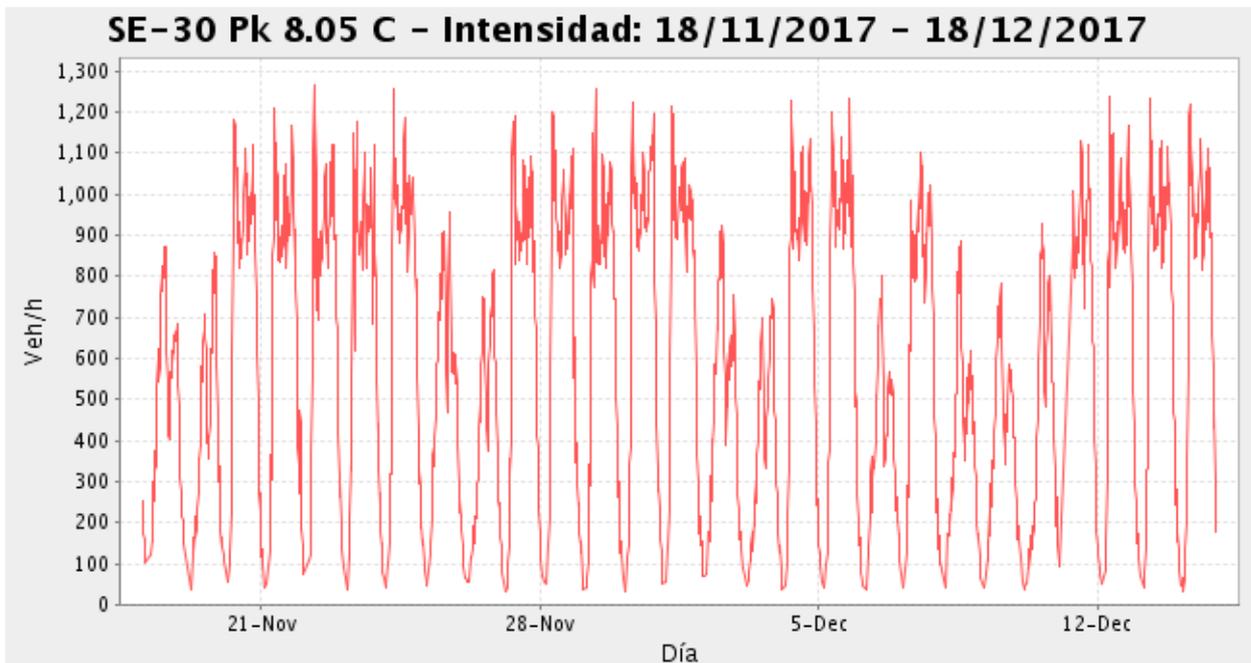


Ilustración 6-11 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 8.05 C

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 1130 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **4520 vehículos/hora**.

6.2.1.3.7 SE-30 Pk 8.05 Decreciente (Sentido hacia Córdoba)

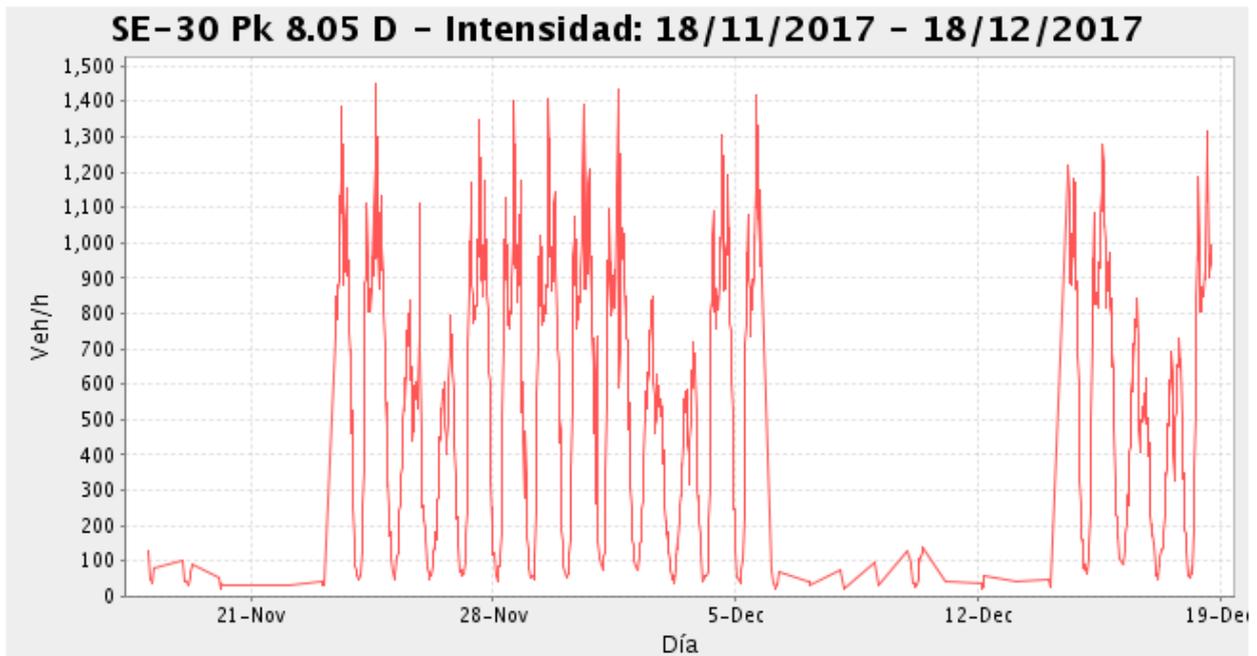


Ilustración 6-12 Intensidades mensuales del aforo SE-30 Pk 8.05 D

El valor de la intensidad punta promedio obtenida en viernes de 14 a 15 horas es de 1193,3 vehículos. La Intensidad de Hora Punta del viernes será por tanto **5573,3 vehículos/hora**.

#### 6.2.1.4 Actualización de las intensidades obtenidas de los sensores

Tras comparar las intensidades observadas en los aforos durante la realización del estudio con los datos recogidos de los mismos aforos de los últimos años proporcionados por el Departamento, se observó que los valores tomados se encontraban bastante sobredimensionados en comparación con la media de los datos históricos registrados. Como se ha comentado, esto se debe a la expansión del valor máximo seleccionado en la escala de 15 minutos a la hora completa. Esta diferencia de magnitudes era sobre todo apreciable en el tráfico que se dirige hacia el puente del V Centenario en sentido Huelva, ya que, aunque el resto de datos tomados presentaban una relación similar por sentidos con respecto a los datos históricos, el valor del puente del V Centenario excedía en 1000 vehículos la media de los datos históricos.

Ante ello, y teniendo en cuenta la mayor representatividad de los datos históricos de los últimos años, al contar con un mayor número de registro de datos, se optó por seleccionar como valores de los aforos para tener en cuenta en el desarrollo del modelo, los registros de los aforos de un único viernes con intensidades similares al día promedio calculado en el anterior apartado. De esta forma se seleccionaron los datos de un mismo día, con lo que se cuenta con mayor coherencia o compatibilidad entre los datos de los distintos aforos, siendo este día uno que presenta valores para los aforos en la media de los valores del registro histórico

Las intensidades obtenidas que se utilizarán para calcular las que se emplearán para obtener la matriz que se introducirá en el modelo son las mostradas en la siguiente imagen:



Ilustración 6-13 Intensidades consideradas para el desarrollo del modelo en los aforos de Infocar. Elaboración propia

De estas intensidades de tráfico, las del puente del V Centenario y las de la autovía A-4 se emplearán directamente en el desarrollo del modelo para los valores de las intensidades de entrada y salida al modelo por dichos puntos.

El límite de la simulación en el este estará entre el nudo de la A-4 y el nudo de la N-IV debido a la falta de datos en el nudo de la N-IV y la imposibilidad de realizar aforos en la zona por la complejidad del nudo y la inaccesibilidad de la zona. Se han desestimado por este motivo los datos de los aforos en la N-IV y en su acceso, aunque se han mantenido los datos de los aforos de la SE-30 para poder tener un orden de magnitud del tráfico que discurre por dicho tramo.

Dado que solo dos de los puntos de entrada y salida del modelo cuentan con datos disponibles, y siendo necesarios los valores de entradas y salidas de vehículos en todos los puntos de corte del modelo, se realizó un conteo manual en la zona de las glorietas de acceso a la SE-30 para poder determinar el resto de las intensidades que completan el modelo.

## 6.2.2 Conteos manuales

El viernes día 1 de diciembre de 2017, viernes, se acudió in situ al área de estudio a las 14:00 para realizar un proceso de conteo con el que estimar de forma aproximada las intensidades en la hora punta del viernes, de los distintos flujos que atraviesan las dos rotondas que dan acceso a la SE-30 en la entrada a los Bermejales en Palmas Altas. La realización de este aforo manual se hizo necesaria para poder conocer ciertos flujos de los que se carecía de datos al contar solo con los puntos de aforo de Infocar.

La campaña de mediciones llevada a cabo es evidentemente insuficiente para garantizar la representatividad de las medidas observadas. Sin embargo, el objetivo de este trabajo no es por supuesto llevar a cabo estas rutinarias mediciones de una forma rigurosa, sino desarrollar un modelo lo más realista posible en un tiempo razonable, ya que una campaña de mediciones adecuada requeriría de un amplio periodo de tiempo. Al ser las magnitudes medidas indispensables para llevar a cabo el modelo, se consideran estas mediciones representativas, equivalentes a las que se tomarían en un proyecto profesional con más medios personales y económicos.

El proceso de aforo consistió en la grabación en video del tráfico de las glorietas durante el período de hora punta con el fin de posteriormente realizar un conteo de los vehículos en los distintos movimientos. Los puntos desde los que se realizaron las grabaciones son los mostrados en la siguiente imagen

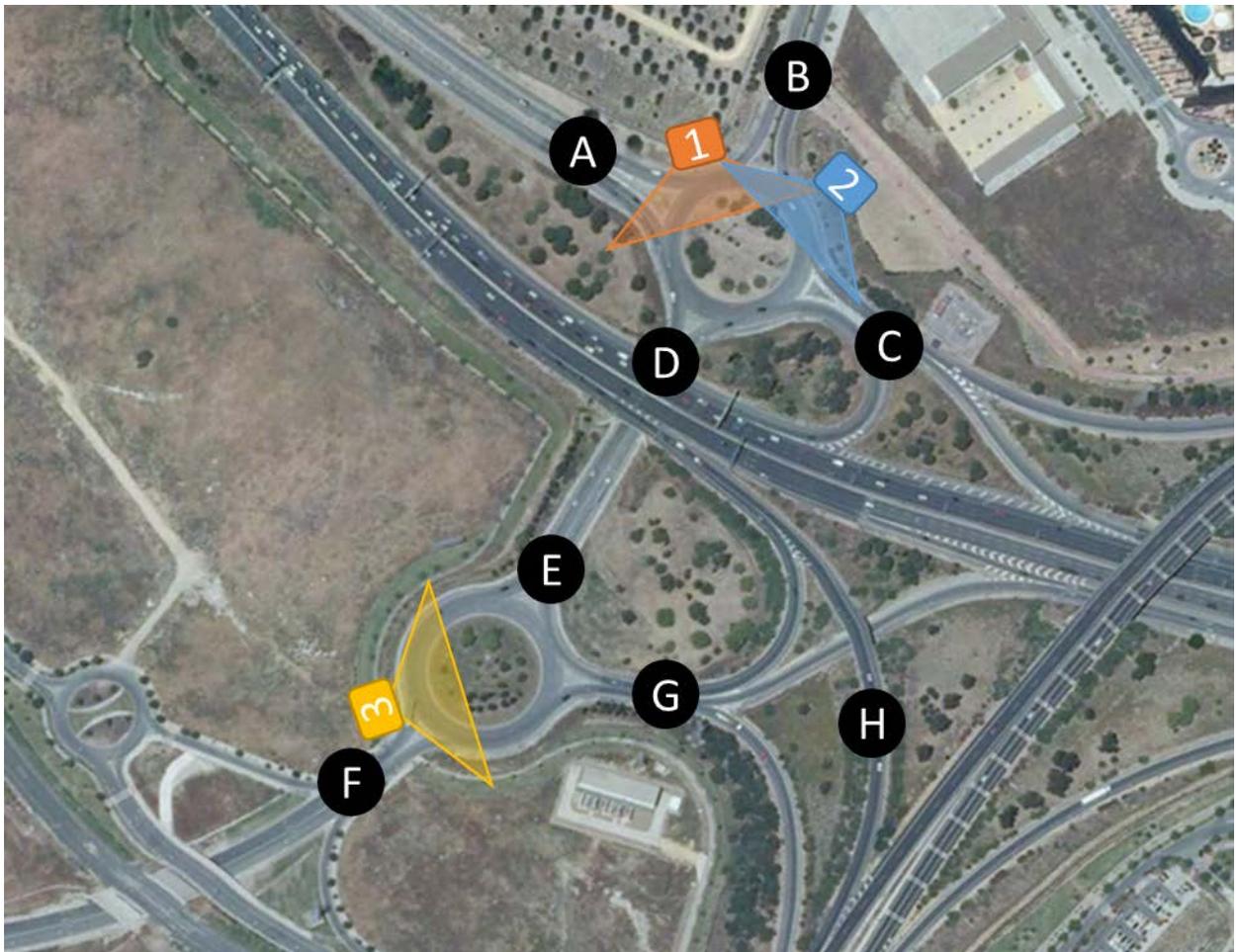


Ilustración 6-14 Localización de los puntos donde se han realizado conteos manuales. Elaboración propia

Desde el punto de aforo 1 se realizó una grabación de 15 minutos de la hora punta que se complementó con dos grabaciones de 6 minutos realizadas desde los puntos de aforo 2 y 3.

Analizando el resultado de las grabaciones realizadas, se pudo obtener el conteo directo de los movimientos de entrada y salida en los puntos A, B, C, D, E, F, G y H mostrados en la imagen anterior. Teniendo en cuenta el periodo de tiempo en el que se realiza el conteo en cada punto, se extendió proporcionalmente el conteo realizado al periodo de una hora para obtener las intensidades de hora punta en cada punto medido.

Punto	Flujo	Conteo	Punto Medida	Tiempo medida	IHP obtenida
A	Entrada	191	1	15	<b>764</b>
	Salida	195	1	15	<b>780</b>
B	Entrada	146	1	15	<b>584</b>
	Salida	186	1	15	<b>744</b>
C	Entrada	304	1	15	<b>1216</b>
	Salida	198	1	15	<b>792</b>
D	Entrada	-	-	-	<b>519</b>
	Salida	179	2	14	<b>767</b>
E	Entrada	-	-	-	<b>767</b>
	Salida	52-	3	6	<b>519</b>
F	Entrada	40	3	6	<b>400</b>
	Salida	20	3	6	<b>200</b>
G	Entrada	25	3	6	<b>250</b>
	Salida	-	-	-	<b>698</b>
H	Salida	87	3	6	<b>870</b>

Tabla 14 Resultados obtenidos del conteo manual. Elaboración propia

En la tabla quedan reflejados los conteos realizados en cada nodo tanto de entrada como de salida, así como la estimación de la Intensidad en Hora Punta. Para estimar las intensidades se ha extendido de forma proporcional el conteo realizado hasta una hora, teniendo en cuenta el tiempo de medida del conteo.

Como puede observarse, en algunos puntos debido a la escasa visibilidad de las grabaciones, o a la imposibilidad de acceder a otro punto de grabación en la hora prevista durante la realización del aforo por cuestiones de seguridad, no se han podido obtener mediciones directas. A pesar de ello, se han podido contabilizar las intensidades de todos los flujos de entrada y salida previstos.

Para calcular las intensidades de los flujos de los que no se ha podido obtener un conteo directo se han realizado las siguientes hipótesis:

- Los puntos D y E están conectados entre sí por un único vial, de forma que las entradas y salidas contabilizadas en cada uno de ellos serán iguales y contrarias. En el punto D pudo contabilizarse la salida, mientras que en el E la entrada.
- Considerando la hipótesis anterior, tan solo la salida por el nodo G quedaría sin contabilizar. Dado que la zona aforada es un recinto cerrado, el flujo de salida en G puede obtenerse de un balance de todas las entradas y salidas que se producen

Teniendo en cuenta estas hipótesis se ha podido obtener utilizando los datos procedentes del aforo realizado el siguiente mapa de intensidades:

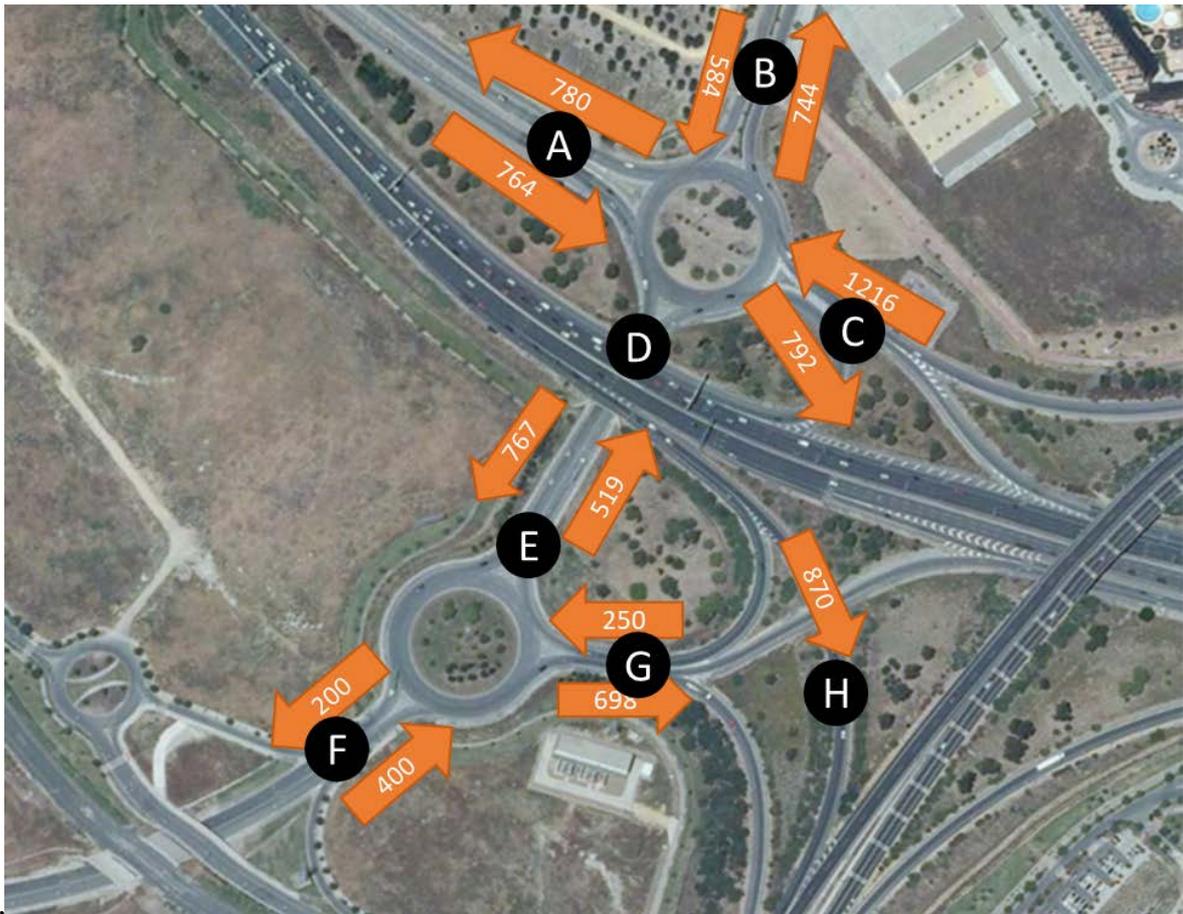


Ilustración 6-15 Intensidades de tráfico obtenidas del conteo manual. Elaboración propia

Con el objetivo de obtener posteriormente las intensidades en todo el ámbito de estudio considerado, a continuación, se realizan una serie de consideraciones de las intensidades obtenidas:

- Las intensidades obtenidas en el nodo A se corresponden con las entradas y salidas que se producen a la glorieta desde la avenida de la Raza. Los vehículos que acceden a esta glorieta proceden de otra rotonda anterior localizada bajo el puente del V Centenario. Desde ésta, nace un vial que conecta con las instalaciones del Puerto de Sevilla, la carretera de El Copero. Esta carretera presenta a su vez un acceso hacia Palmas Altas, que presenta escaso tráfico en la actualidad debido a las obras del centro comercial. Considerando que el tráfico hacia el puerto será nulo a la hora punta del mediodía, se realiza la hipótesis de que el acceso a Palmas Altas no presentará tráfico. De esta forma, las intensidades obtenidas serán procedentes de la Avenida de la Raza en su totalidad, que es uno de los puntos de corte del modelo



Ilustración 6-16 Intensidades de tráfico en las avenidas de la Raza y de Dinamarca. Elaboración propia

- En el punto B podrá considerarse que el tráfico procede únicamente de los Bermejales, siendo también otro de los puntos de entrada y salida del modelo
- La intensidad de entrada a la glorieta obtenida en el punto C procede de dos orígenes distintos. Por un lado, parte del tráfico corresponde a vehículos que han salido de la SE-30 por dos accesos consecutivos que hay en la zona, mientras que por otro se producen entradas con origen en la autovía A-4.
- La salida de la glorieta en el nodo C se incorpora en su totalidad a la SE-30 en dirección al puente del V-Centenario.
- Habiendo realizado anteriormente la consideración de que el tráfico proveniente de la avenida de la Raza no utilizará los accesos de la carretera del Copero para ir hacia el Campus Palmas Altas, ningún vehículo utilizará en la actualidad la avenida de Palmas Altas para dirigirse hacia la avenida de la Raza, ya que accederán a esta última a través de la Glorieta Norte. Esto se certifica observando el mapa de tráfico típico proporcionado por Google Maps, en el que se puede ver que no discurre tráfico por la avenida Palmas Altas. Teniendo en cuenta este hecho, todo el tráfico que sale por el punto F se dirigirá obligatoriamente hacia el Campus Palmas Altas.
- De la misma forma que en el punto anterior, el tráfico que entra en la glorieta por F procederá al completo del Campus Palmas Altas. Con este punto y el anterior se obtienen por tanto las intensidades de tráfico de entrada y salida al modelo por el Campus Palmas Altas



Ilustración 6-17 Intensidades de tráfico en la avenida de Palmas Altas. Elaboración propia

- En cuanto a la entrada de tráfico por el punto G, este se corresponde en su totalidad con vehículos salidos de la SE-30 procedentes del puente del V Centenario.
- El tráfico de la salida de la glorieta en el punto G se bifurca en dos direcciones, la primera hacia la SE-30 en sentido Córdoba, y la segunda hacia la autovía A-4
- Por último, se ha podido contabilizar en H el tráfico que abandona la SE-30 procedente del puente del V Centenario que se dirige hacia la autovía A-4

### 6.2.3 Intensidades de vías no aforadas

Partiendo de la información obtenida de los datos de aforos existentes, y de los valores obtenidos del conteo manual realizado en las dos glorietas principales de la zona de estudio, las intensidades de tráfico de la mayor parte de la zona de estudio han quedado adecuadamente definidas.

A pesar de ello, algunos de los flujos del viario existente que será necesario modelar carecen de información fiable disponible, y su localización en medio de un importante nudo de la red impide la realización de un conteo manual en condiciones de seguridad al estar localizados en puntos bastante inaccesibles. Es especialmente importante conocer el tráfico en la SE-30 entre el enlace con la A-4 y el enlace con la N-IV, ya que éste es el único punto de corte del modelo en el que no se conocen las intensidades de tráfico de entradas y salidas. Es

preciso por tanto determinar estos valores para poder cerrar el modelo.

Por ello, y partiendo de toda la información disponible expuesta anteriormente, se ha requerido establecer una serie de hipótesis razonables para intentar dar un valor adecuado a esos flujos y tener todos los datos de tráfico requeridos para poder cerrar el modelo sobre el que se realizará la simulación.

A continuación, se exponen el resto de las intensidades calculadas, así como las hipótesis que se han adoptado para determinarlas:

- En primer lugar, el tráfico generado por la zona portuaria existente en los alrededores de la carretera de El Copero no se ha considerado. El tráfico portuario presenta una mayor intensidad durante la hora punta de mañana, ya que a primera hora de mañana es cuando se produce el mayor número de movimientos de vehículos en el puerto. Dado que se ha considerado estudiar la hora punta de medio día y de tarde, que son los momentos más críticos para evaluar el impacto del centro comercial, el tráfico del puerto durante esas horas es marginal y supone muy poca aportación en comparación con el resto de los tráficos. Ante ello, se ha optado por despreciar el tráfico que se dirige hacia el puerto simplificando con ello el modelo al no ser necesario modelar la carretera de El Copero y dejando únicamente las rotondas de acceso a Palmas Altas.
- Como consecuencia de la hipótesis anterior, al despreciar el tráfico que se dirige hacia El Copero, en la glorieta de la Raza localizada bajo el puente del V Centenario, el tráfico que proviene de la avenida de la Raza podrá seguir por dicha avenida hacia la zona de las glorietas de acceso a la SE-30, o dirigirse hacia la avenida de Palmas Altas. Con el objetivo de poder obtener el tráfico procedente de la avenida de la Raza para cerrar el modelo partiendo de los datos obtenidos, se ha realizado otra hipótesis considerando que durante la hora de estudio ningún vehículo se dirigiría hacia la avenida Palmas Altas. Los argumentos considerados para establecer esta hipótesis son los siguientes:
  - La avenida de Palmas Altas se encuentra en la actualidad afectada por las obras del centro comercial
  - Se trata de una vía de menor capacidad que la avenida de la Raza, y es en principio un camino más largo hacia el único destino de la avenida que es el Campus Palmas Altas
  - El único tráfico que tendría sentido que tomara este camino sería el que se dirigiera al Campus Palmas Altas desde la avenida de la Raza, cuya relevancia es inferior en comparación con el resto de los tráficos de la zona de estudio durante la hora analizada.
  - En los mapas de tráfico típico de Google Maps se observa que a lo largo de la avenida no hay tráfico contabilizado, o es escaso.
  - Establecer esta hipótesis permite estar del lado de la seguridad al ser más desfavorable y cargar la zona de las glorietas de acceso con la totalidad del tráfico proveniente de la avenida de la Raza

Con ello se obtiene que la totalidad del tráfico que proviene de la Avenida de la Raza entraría en la glorieta y continuaría por dicha avenida hacia la zona de las glorietas de acceso de la SE-30. De esta forma, y con los datos del número de vehículos que entran y salen por el ramal de la Avenida de la Raza a la glorieta Norte obtenidos del conteo manual realizado, se logra estimar que las intensidades de tráfico de los vehículos que entran y salen de la zona de estudio por la avenida de la Raza son 764 y 780 respectivamente

- El dato de las intensidades de tráfico de los vehículos que entran y salen del barrio de los Bermejales se obtiene directamente del conteo manual realizado, al establecer el corte del modelo en la salida norte de la glorieta Norte.

De esta manera, su valor se corresponde con el número de vehículos que entran y salen de la glorieta por el ramal del norte, siendo 584 los vehículos que entran a la zona de estudio considerada desde los Bermejales, y 744 los que salen hacia dicho barrio

- Al igual que en una de las hipótesis previas consideradas, los vehículos que se dirijan hacia la avenida de la Raza que hayan entrado en una de las dos rotondas de acceso a la SE-30 no emplearán la avenida de Palmas Altas. Esta consideración se basa en:

- Un vehículo que haya pasado por la glorieta Norte del acceso a la SE-30 ya ha tenido la oportunidad de salir hacia la avenida de la Raza directamente, por lo que si se dirige hacia la glorieta Sur podemos suponer que no se dirigirá hacia la avenida de Palmas Altas con el objetivo de llegar a la avenida de La Raza.
- Los vehículos que proceden del Campus Palmas Altas que accedan a la glorieta Sur han tenido la oportunidad de salir directamente hacia la avenida de Palmas Altas sin pasar por la rotonda, por lo que se puede realizar el mismo razonamiento previo.
- En cuanto al tráfico que viene del Puente del V Centenario y accede a la glorieta Sur, el camino hacia la avenida de la Raza por la glorieta Norte es más corto, y tomar la hipótesis de que evita la avenida de Palmas Altas está del lado de la seguridad y es más desfavorable, al cargar el sistema en una zona más saturada.

Teniendo en cuenta estas apreciaciones, todos los vehículos que entren o salgan de la glorieta Sur por el ramal que sale hacia el sur, teniendo en cuenta que no accederán a la avenida de Palmas Altas, podrá considerarse que proceden y van hacia el Campus Palmas Altas, que será otro de los puntos de corte del modelo.

Tomando esta hipótesis, las intensidades de tráfico del Campus Palmas Altas se corresponden con las tomadas en el conteo manual en el ramal sur de la glorieta Sur, de tal manera que entrarán al modelo 400 vehículos y saldrán hacia el Campus Palmas Altas 200.

- Otro de los puntos de control del modelo será el puente del V Centenario. En este caso, las intensidades pueden obtenerse directamente de los valores estudiados de puntos de aforo de Infocar. Los vehículos que entran y salen al modelo por este punto son 4825 y 3970 respectivamente.
- En cuanto a la autovía A-4 el caso es similar al anterior y pueden obtenerse las intensidades de tráfico directamente de los datos de los puntos de aforo de Infocar. De esta forma, los vehículos que entran a la zona de estudio por la A-4 son 2753 y los que salen 2343.

Con estas primeras hipótesis, quedan determinadas todas las intensidades de tráfico en todos los puntos considerados, salvo en el corte de la SE-30 entre el nudo de la A-4 y el de la N-IV. Este punto carece de información de aforos existentes y es prácticamente inaccesible para la realización de conteos manuales, por lo que se han tenido que realizar un mayor número de hipótesis partiendo de los datos disponibles para su obtención. Las hipótesis establecidas han sido las siguientes:

- Los vehículos que se dirigen hacia Cádiz por la autovía A-4 provienen de tres ramales distintos: uno con origen en la glorieta Sur, otro procedente del puente del V Centenario y un último ramal procedente de la SE-30 a la salida del enlace de la N-IV.

La intensidad de tráfico del ramal que procede del puente del V Centenario se ha podido obtener directamente de los datos del conteo manual realizado en la zona de estudio. El número de vehículos contabilizados en este ramal sería de 870 vehículos.

Por otra parte, la salida este de la glorieta Sur, donde tiene su origen otro de los ramales, se bifurca en dos sentidos. Por un lado, el de los vehículos que se incorporan a la A-4 con sentido Cádiz, y por otro lado los vehículos que se incorporan a un carril de aceleración que da acceso a la SE-30 y a la N-IV.

Al desconocer la distribución de vehículos que toman cada uno de los sentidos, y con el objetivo de poder cerrar las intensidades del modelo, se ha optado por tomar la hipótesis de que se distribuirán equitativamente, un 50% hacia la A-4 y otro 50% hacia la SE-30. Al ser este reparto razonable, y teniendo en cuenta que ambos flujos son de bastante poca relevancia dentro del sistema, ya que son volúmenes pequeños que resultan ambos flujos de salida del sistema. Partiendo de la medida tomada en el conteo manual se tendría un número de 349 vehículos saliendo hacia la A-4 y 349 vehículos con dirección hacia la SE-30.

Conociendo el valor de la intensidad de tráfico en la A-4 a partir de los datos de Infocar, la intensidad del tercer ramal proveniente de la SE-30 se puede obtener restándole al tráfico de la A-4 las intensidades de los otros dos ramales, lo que daría un total de 1124 vehículos.



Ilustración 6-18 Intensidades de tráfico en dirección a la A-4. Elaboración propia

- En la glorieta Norte se produce por el ramal este una entrada de vehículos que proceden de la SE-30 y de la autovía A-4, cuyo valor se obtuvo en el conteo manual, siendo la suma de ambos flujos 1216 vehículos. La distribución del número de vehículos entre una y otra procedencia no es conocida, por lo que con el objetivo de poder determinar todas las intensidades de entrada y salida al modelo ha sido preciso establecer una hipótesis al respecto

Se ha considerado estimar en este caso, que el 80% de los vehículos que acceden a la glorieta Norte por este ramal proceden de la SE-30, mientras que un 20% procedería de la A-4. Esta distribución se adopta teniendo en cuenta que el acceso a la glorieta Norte tendría como objetivo de viaje acceder al interior de la ciudad por la avenida de la Raza o hacia el barrio de los Bermejales, ya que el resto de las alternativas de viaje hacia otros de los viales existentes carece de sentido al disponer de alternativas más cortas y eficaces para ambas carreteras. Teniendo en cuenta que la SE-30 se trata de una ronda urbana de circunvalación, y que la autovía A-4 es una de las principales carreteras del estado, cuenta con mayor lógica pensar que el mayor número de vehículos que accederán al interior de la ciudad por este punto proceden de la SE-30.

De esta forma, los vehículos que acceden a la glorieta Norte procedentes de la SE-30 son 973 mientras que habría 243 vehículos que entrarían desde la A-4.



Ilustración 6-19 Intensidades de tráfico en los accesos de la SE-30 y A-4 a la Glorieta Norte. Elaboración propia

- El acceso al nudo de la zona de estudio de la autovía A-4 cuenta con tres ramales en función del destino: el acceso a la glorieta Norte comentado en el punto anterior, la incorporación a la SE-30 en sentido Córdoba, y la incorporación a la SE-30 en sentido Huelva antes del puente del V Centenario.

El tráfico procedente de la autovía A-4 se ha obtenido a partir de los datos de tráfico procedentes de aforos de la Dirección General de Carretera en Infocar. Restándole a este valor los vehículos obtenidos en el punto anterior que acceden a la glorieta Norte, quedaría el número de vehículos que se incorpora a la SE-30 en ambos sentidos.

Para poder conocer todas las intensidades de tráfico en la zona, se ha tomado una nueva hipótesis en la que se ha supuesto que los vehículos que acceden a la SE-30 se dirigirán hacia uno u otro sentido en la misma proporción que presenta el tráfico en los puntos de aforo de Infocar estudiados presente en la SE-30. Analizando estos datos, se ha comprobado que, como media, el 47% de los vehículos se dirigen en sentido hacia Huelva, mientras que el 53% lo hace en sentido Córdoba.

De esta forma, el número de vehículos procedentes de la A-4 que se incorporaría hacia el puente del V Centenario sería de 1129, mientras que las incorporaciones a la SE-30 en sentido Córdoba en este punto serían de 1381 vehículos.



Ilustración 6-20 Intensidades de tráfico procedentes de la A-4. Elaboración propia

- Establecidas estas hipótesis previas, el tráfico que circula en la SE-30 en sentido hacia Huelva, en el punto entre los nudos de la A-4 y la N-IV (donde se cortará el modelo), puede conocerse partiendo de los datos de intensidad en el punto de aforo de Infocar en el puente del V Centenario. Teniendo en cuenta que saldrían 3970 vehículos en sentido hacia Huelva por la SE-30, recorriendo el tramo hacia atrás puede obtenerse el valor de los vehículos que accederían a la SE-30 en el punto de corte restando las incorporaciones producidas, y sumando todos los vehículos que hayan salido desde ese vial. Se obtendrían un total de 4146 vehículos accediendo al área de estudio por la SE-30 en sentido Huelva en el punto entre el enlace de la A-4 y el enlace de la N-IV.
- En el otro sentido de la SE-30, el cálculo previo no puede realizarse al desconocer el número de vehículos que sale hacia la N-IV desde la SE-30. Aquí se ha realizado la hipótesis de que los que se dirijan a la N-IV procederán todos del puente del V Centenario y que no accederá ningún vehículo que venga de la A-4, ya que en todo su trazado presenta mejores accesos que el del área de estudio y no tiene sentido que se produzcan viajes en hora punta de esta forma conociendo los problemas de congestión que suele presentar la zona.

Ante la falta de este dato, el tráfico que sale de la zona de estudio por la SE-30 en sentido Córdoba se ha obtenido por proporcionalidad con respecto a los vehículos que entran en sentido Huelva, tomando

la misma distribución de sentidos expuesta en uno de los puntos previos que se ha observado en los aforos de la carretera en la zona. De esta forma, los vehículos que acceden en sentido Huelva calculados en el punto anterior supondrían un 47% del tráfico total de la SE-30, con lo que se obtendría que el 53% que va en sentido Córdoba suponen una intensidad de tráfico de 5067 vehículos.

Con este número, y partiendo del valor de la intensidad que entra al sistema por el puente del V Centenario obtenido de los puntos de aforo de Infocar, analizando las entradas y salidas producidas, se puede obtener operando el número de vehículos que saldría por la N-IV procedentes de la SE-30, cuyo valor sería de 368 vehículos.



Ilustración 6-21 Intensidades de tráfico en la SE-30. Elaboración propia

Planteadas todas estas hipótesis y consideraciones, se consigue determinar de forma estimada el valor de todas las intensidades que entrarán y saldrán de la zona de estudio, pudiendo cerrar de esta forma el modelo con todos los datos necesarios.

En el Anejo N° 1: Planos se incluye un mapa del tráfico en el que se representan las intensidades en cada elemento del sistema viario de la zona de estudio.



# 7 MATRICES ORIGEN/DESTINO

Una vez analizadas las intensidades de tráfico que discurren por la zona de estudio, el siguiente paso imprescindible para el desarrollo del modelo, es la obtención de la matriz origen-destino, que determinan la demanda con la que será cargado.

En este capítulo se analizará la metodología empleada para obtener la matriz origen-destino, la problemática que se presenta y el proceso seguido hasta la obtención de la matriz definitiva.

Además de la matriz del escenario actual, en este capítulo se mostrará también el proceso seguido para la obtención de la matriz de los escenarios futuros con el centro comercial Palmas Altas, teniendo en cuenta los viajes generados y atraídos por éste.

## 7.1.1 Cálculos previos – Vectores de Generación-Atracción

Para obtener la primera matriz que se ha empleado en el modelo se ha partido de los resultados de las intensidades calculadas en el capítulo anterior.

Estas intensidades se corresponderán con los vectores de generación-atracción, que proporcionan las intensidades en los puntos donde se realizará el corte de la zona de estudio. Los centroides que supondrán el origen y destino de los viajes del modelo se corresponderán con estos puntos.

Las intensidades que tienen origen y tienen destino en cada centroide, se corresponden con los vectores de Generación-Atracción del modelo

<b>Localización</b>	<b>Centroide</b>	<b>Oi</b>	<b>Dj</b>
<b>Avenida de la Raza</b>	82, 90	764	780
<b>Avenida de Dinamarca</b>	99, 100	584	744
<b>SE-30 Este</b>	95,97	4146	5067
<b>Campus Palmas Altas</b>	66	400	200
<b>Autovía A-4</b>	93,94	2753	2343
<b>SE-30 V Centenario</b>	101	4825	3970
<b>Salida a la N-IV</b>	98	-	368
<b>Centro Comercial</b>	83	840	1278

Tabla 15 Vectores de Generación-Atracción. Elaboración propia

## 7.1.2 Distribución de viajes

Únicamente se conocen los viajes totales que entran y salen del modelo por cada centroide, pero no se conoce particularmente el destino de cada uno de los viajes que entran al modelo. Es por tanto necesario aplicar un modelo de distribución para la obtención de la matriz Origen-Destino.

A continuación, se muestra una imagen con la disposición de los centroides en el modelo, así como la numeración asignada a cada uno de ellos por el programa:

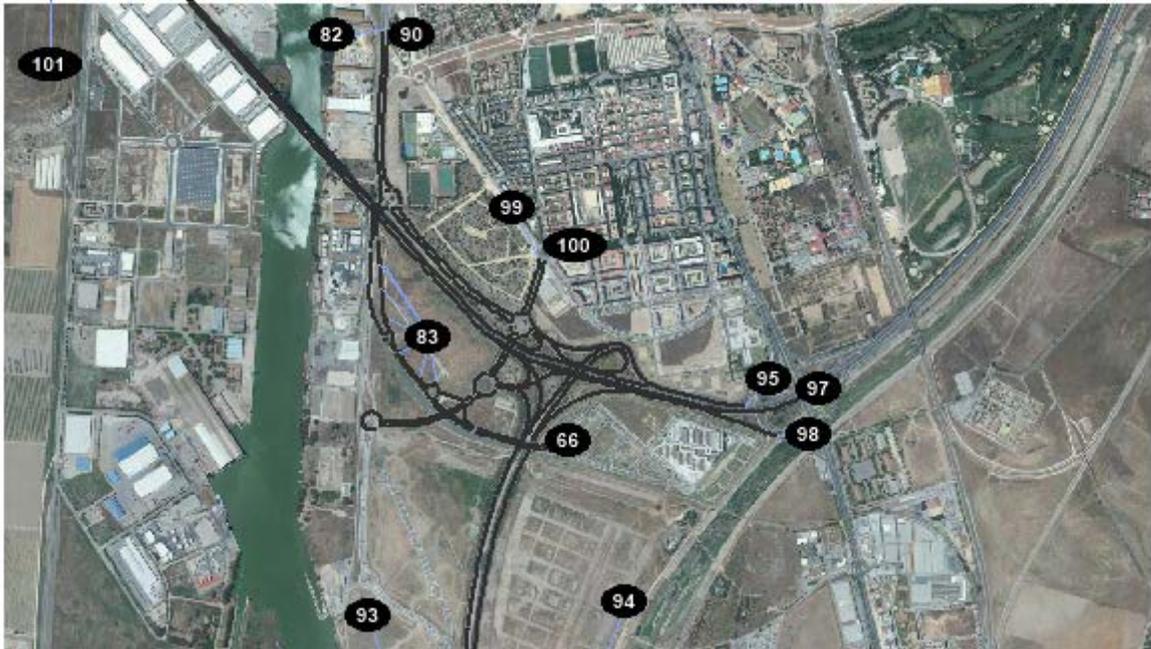


Ilustración 7-1 Localización de los centroides del modelo. Elaboración propia

### 7.1.2.1 Método de Furness

Como modelo de distribución empleado como una primera aproximación para obtener una matriz con la que trabajar con la simulación, se ha empleado el Método de Furness, que es un modelo que se encuentra totalmente contrastado, que ofrece resultados adecuados, y que permite alcanzar siempre una solución.

Se trata de un método iterativo que proporciona la matriz de máxima entropía para un problema de distribución doblemente acotado. El problema es doblemente acotado porque se conoce el sumatorio de los orígenes y los destinos (los vectores de Generación-Atracción).

Los vectores de viajes generados ( $O_i$ ) y de viajes atraídos ( $D_j$ ) se definen de la siguiente forma:

$$\sum_j T_{ij} = O_i$$
$$\sum_i T_{ij} = D_j$$

Para cada origen y para cada destino este método define unos factores de escala que permitan reproducir los valores de  $O_i$  y  $D_j$ :

$$T_{ij} = \alpha_i * \beta_j * t_{ij}$$

El método de Furness consiste en un procedimiento iterativo en el que se fuerza que el número de viajes totales de cada origen y cada destino se corresponda con los valores de los vectores de los viajes generados y atraídos. Para ello se emplean los factores de escala definidos, obligando alternativamente cada paso sucesivo, que el

número de viajes se corresponda con los viajes generados o con los viajes atraídos

Primero se supone un valor inicial para todos los coeficientes  $\beta_j = 1, \forall j$ .

A continuación, se calculan las  $\alpha_i$

$$\alpha_i = \frac{O_i}{\sum_j B_j * t_{ij}} \quad \forall i$$

Posteriormente se recalculan las  $\beta_j$ :

$$\beta_j = \frac{D_j}{\sum_i \alpha_i * t_{ij}} \quad \forall j$$

Ya recalculadas las  $\beta_j$ , será necesario iterar volviendo a calcular  $\alpha$  y  $\beta$  hasta alcanzar la convergencia.

Es necesario en este método partir de una matriz Origen-Destino base para que pueda ser aplicado y pueda comenzarse la realización de iteraciones.

Para la creación de esta matriz base podría considerarse que en el caso en el que todas las combinaciones de viajes en cuanto a orígenes y destinos fueran posibles y existiera la misma posibilidad de que cualquier usuario pudiera dirigirse a cualquier otro centroide. Bajo estas condiciones, todos los términos de la matriz deberían tener un valor de “1”. En este caso, la solución de máxima entropía tiene una expresión analítica muy conocida, en la que T es el número de viajes totales:

$$T_{ij} = \frac{O_i \cdot D_j}{Tiempo}$$

Esta situación no es real en el caso de estudio, debido a varios aspectos.

Dadas las dimensiones de la microsimulación, así como las características de los viales de la zona de estudio, es lógico establecer la hipótesis de que no existirán viajes intrazonales, de forma que un viaje con origen en cierto centroide no podrá tener como destino el mismo centroide. Esta hipótesis conlleva que la diagonal de la matriz base este compuesta por ceros. La futura matriz solución presentará esta misma disposición

0	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

Tabla 16 Matriz base utilizada

Partiendo de esta matriz base, se impone que los orígenes sean iguales a los del vector de viajes generados multiplicando todos los términos de la matriz por el factor de escala correspondiente. A la nueva matriz obtenida se le aplica en el siguiente paso la imposición de que los destinos sean iguales a los del vector de viajes atraídos modificando los factores de escala, y se vuelven a multiplicar todos los términos de la matriz. Se establece así un proceso iterativo hasta alcanzar la convergencia.

Realizadas 30 iteraciones en este caso se obtiene la matriz la matriz  $T_{ij}$ . Los elementos de la matriz son números reales, aceptando TransModeler solo números enteros, por lo que se han redondeado los resultados obtenidos. La matriz obtenida se muestra a continuación:

ORIGENES\DESTINOS	SE30 Cordoba	Loyola + Abengoa	Av de la Raza	Av. Dinamarca	SE30 Huelva	A4 Cadiz	Av. Jerez	TOTAL ENTRADAS
SE30 Cordoba	0	79	316	298	2355	1097	0	4146
Loyola+Abengoa	177	0	17	16	129	60	0	400
Av de la Raza	349	9	0	32	255	119	0	764
Av. Dinamarca	266	7	26	0	195	91	0	584
SE30 Huelva	2863	71	281	266	0	976	368	4825
A4 Cadiz	1413	35	139	131	1035	0	0	2753
Av. Jerez - N-IV	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL SALIDAS	5067	200	780	744	3970	2343	368	13472

Tabla 17 Matriz de viajes resultante de la distribución doblemente acotada

### 7.1.2.2 Ajuste de viajes de la matriz mediante restricciones en pares

Tras introducir la matriz obtenida empleando el método de Furness en el modelo y realizar algunas simulaciones, se pudo comprobar que no se reproducía exactamente el estado actual observado en los mapas de tráfico típico de Google Maps.

Además, aunque la matriz fue construida a partir de datos obtenidos de aforos y conteos realizados, los sensores puestos en la simulación mostraban que solo se reproducían los valores de entrada y salida del modelo, es decir los orígenes y destinos forzados por el método de Furness, mientras que el resto de las intensidades del interior del sistema viario, se alejaban en muchos casos en la simulación del valor observado en los aforos.

También se pudo observar el hecho de que, en algunos casos, no se llegaban a reproducir ciertas colas que si se dan actualmente en la realidad, principalmente por presentar un número insuficiente de vehículos. Por otro lado, se cargaban en otros puntos de la red que deberían presentar un comportamiento fluido por un aumento de vehículos en dicha zona.

Es necesario por tanto adoptar una serie de modificaciones sobre la matriz de viajes para obtener una demanda que se asemeje más fielmente a la realidad. Para ello se han realizado diversos tipos de ajustes.

En primer lugar, la cola provocada por el estrechamiento por el carril reversible del puente del V Centenario presentaba una longitud mucho menor que la real. En las simulaciones previas esta cola solo llegaba a alcanzar ligeramente el acceso desde la Glorieta Norte, cuando en la realidad la cola llega prácticamente hasta las inmediaciones del nudo de la N-IV. En esta situación, el acceso desde la Glorieta Norte no llegaba a saturarse y la Glorieta no colapsaba en ningún momento, cuando esto ocurre frecuentemente en la actualidad.

Para solventar este problema se incrementó el número de viajes que salen del modelo por el puente del V Centenario en sentido Huelva, adoptando un valor de 4295 viajes, obtenido como media de los registros del último año de los datos históricos. Para complementar este cambio, se han realizado algunos ajustes en los viajes de entrada al modelo, ya que varios flujos fueron obtenidos en situaciones de congestión, lo que lleva a que el conteo infravalore el número de vehículos que realmente quieren pasar por una determinada zona

Por otra parte, no todos los trayectos contemplados en el modelo son realizados en la realidad por los usuarios, y llevan a un incorrecto funcionamiento de la simulación, por lo que se establece un valor de cero en el término de la matriz que corresponda a esos viajes.

Esto se da para el caso de los viajes entre la avenida de la Raza y el Campus Palmas Altas. En el aforo manual realizado, así como en los mapas de tráfico de Google Maps se observó que la avenida de Palmas Altas se encuentra en la actualidad sin utilizar. A pesar de ello, en las simulaciones realizadas, varios vehículos utilizan esta avenida al incluirla al calcular sus rutas mínimas, cuando los viajes entre ambos centroides fueron contabilizados en los conteos manuales. De esta forma, parte de los viajes se desviaban por el camino alternativo de la avenida de Palmas Altas y los datos del conteo no se reproducían en los sensores localizados en la simulación.

Ya que, en las simulaciones, la ruta a través de la avenida de Palmas Altas puede ser en ocasiones la mínima, y dado que el flujo entre la Raza y el Campus Palmas Altas no es muy elevado, se ha optado por hacer los viajes entre ambos centroides como nulos. Esto no quita sin embargo vehículos de la red, ya que la medida tiene como objetivo asegurar que se reproduzcan en los sensores los datos observados en el conteo. El fin de esto es asegurar que internamente se reproduzcan los viajes existentes en la actualidad en un punto tan sensible como es el acceso a la SE-30 desde las Glorietas Norte y Sur, evitando que viajes se pierdan por rutas menos relevantes que van a

afectar mucho menos a la simulación.

Otros viajes a los que se ha dado un valor de cero serían los viajes desde la entrada de la SE-30 por el este hacia la salida de la N-IV, ya que los vehículos que tienen

Por último, para asegurar que la matriz representa de manera fiel todos los flujos calculados en el capítulo anterior, se ha optado por restringir los viajes de la matriz con el objetivo de asegurar que al menos se reproduzcan también los flujos de viajes interiores que se obtuvieron en los conteos manuales realizados.

Para forzar que los viajes contabilizados en los conteos manuales se reproduzcan en los sensores durante las simulaciones, es preciso establecer una serie de restricciones en los viajes interiores, además de las restricciones de los viajes que entran y salen del modelo.

Estas restricciones se consiguen forzando que determinados elementos de la matriz sumen los valores observados en los conteos. En el método de Furness esto se ve reflejado como un nuevo paso iterativo para cada restricción adicional que se añade, en los que se toman nuevos coeficientes para cada restricción. De esta forma en estos nuevos pasos, se fuerza que ciertas combinaciones de viajes interiores (varios elementos de la matriz) acaben sumando unos valores determinados que se corresponde con las intensidades obtenidas en los aforos manuales.

Teniendo ya en cuenta los ajustes propuestos comentados en los párrafos anteriores, la matriz base con la que se partirá en esta nueva aplicación del método de Furness con restricciones es la mostrada a continuación:

ORÍGENES/DESTINOS		SE30 Cordob	Loyola+Aber	Av de la Raza	Av. Dinamar	SE30 Huelva	A4 Cadiz	Av. Jerez	TOTAL ENTRADA
		1	2	3	4	5	6	7	
SE30 Cordoba	1	-						0	4646
Loyola+Abengoa	2		-	0					355
Av de la Raza	3		0	-					794
Av. Dinamarca	4				-				654
SE30 Huelva	5					-			4825
A4 Cadiz	6						-		2522
Av. Jerez	7	0	0	0	0	0	0	-	0
TOTAL SALIDA		5067	200	780	744	4295	2343	368	13797

Tabla 18 Matriz base para la aplicación del Método de Furness con restricciones

Las restricciones introducidas en el método de Furness para acabar obteniendo una matriz que represente mejor la demanda de la zona de estudio en la realidad son un total de 19. Son las indicadas a continuación:

- El total de los viajes generados de la matriz debe ser igual al vector generación  $O_i$ , es decir, que la suma de cada fila de la matriz debe ser igual al valor correspondiente del vector.
- El total de los viajes atraídos de la matriz debe ser igual al vector atracción  $D_j$ , es decir, que la suma de cada columna de la matriz debe ser igual al valor correspondiente del vector
- Las dos restricciones previas, son las restricciones aplicadas en el método de Furness en el apartado anterior. A estas dos restricciones se le añaden otras a los viajes interiores, para que reproduzcan los valores de los aforos manuales. Estas restricciones son:
  - Los 792 viajes observados incorporándose a la SE-30 en sentido Huelva deben proceder del Campus Palmas Altas, de la Avenida de la Raza y de la Avenida de Dinamarca. El resto de los orígenes cuenta con rutas alternativas más cortas.
  - El flujo de 1216 vehículos que entran a la Glorieta Norte por el acceso desde la SE-30 desde Córdoba y la A-4, debe estar compuesto por los viajes que tienen como origen ambas carreteras, y como destino el Campus Palmas Altas, la Avenida de la Raza o la Avenida de Dinamarca, que son los posibles destinos a los que da acceso la rotonda.
  - Las entradas a la Glorieta Sur procedentes de la SE-30 desde Huelva, que suponen un total de 250 vehículos, deberán tener como destino el Campus Palmas Altas, la Avenida de la Raza o la Avenida de Dinamarca, ya que para llegar a cualquier otro destino los vehículos habrían tomado otra ruta.
  - Los 698 vehículos que salen de la Glorieta Sur con destino la SE-30 dirección Córdoba, la

autovía A-4 o la salida de la N-IV procederán de la Avenida de la Raza o la Avenida de Dinamarca, ya que, por equilibrio de flujos en la glorieta, no tiene sentido que retornen a la Glorieta Norte.

- Los 519 vehículos que van de la Glorieta Sur a la Glorieta Norte estarán compuestos por los vehículos que proceden de Palmas Altas con dirección la avenida de Dinamarca o la SE-30 en sentido Huelva, y por los vehículos que acceden desde el puente del V Centenario a la glorieta Sur con destino la avenida de Dinamarca. No se consideran los vehículos que se dirigen hacia la avenida de la Raza, al suponer que estos irían hacia ese destino por la avenida de Palmas Altas.
- El flujo de los 767 vehículos que se dirigen de la Glorieta Norte a la Glorieta Sur lo componen: vehículos procedentes de la avenida de la Raza con destino la SE-30 dirección Córdoba, la A-4 o la N-IV; la avenida de Dinamarca hacia los mismos destinos además del Campus Palmas Altas; y los vehículos procedentes de la SE-30 dirección al Campus. Los vehículos que proceden de la Raza con dirección al Campus emplearían la avenida de Palmas Altas como ruta.

Restricciones en los orígenes	1	$t_{12}+t_{13}+t_{14}+t_{15}+t_{16}=4646$
	2	$t_{21}+t_{24}+t_{25}+t_{26}+t_{27}=355$
	3	$t_{31}+t_{34}+t_{35}+t_{36}+t_{37}=794$
	4	$t_{41}+t_{42}+t_{43}+t_{45}+t_{46}+t_{47}=654$
	5	$t_{51}+t_{52}+t_{53}+t_{54}+t_{56}+t_{57}=4825$
	6	$t_{61}+t_{62}+t_{63}+t_{64}+t_{65}+t_{67}=2522$
Restricciones en los destinos	7	$t_{21}+t_{31}+t_{41}+t_{51}+t_{61}=5067$
	8	$t_{12}+t_{42}+t_{52}+t_{62}=200$
	9	$t_{13}+t_{43}+t_{53}+t_{63}=780$
	10	$t_{14}+t_{24}+t_{34}+t_{54}+t_{64}=744$
	11	$t_{15}+t_{25}+t_{35}+t_{45}+t_{65}=4295$
	12	$t_{16}+t_{26}+t_{36}+t_{46}+t_{56}=2343$
	13	$t_{27}+t_{37}+t_{47}+t_{57}+t_{67}=368$
Restricciones en los viajes interiores de las observaciones de los aforos	14	$t_{25}+t_{35}+t_{45}=792$
	15	$t_{12}+t_{13}+t_{14}+t_{62}+t_{63}+t_{64}=1216$
	16	$t_{52}+t_{53}+t_{54}=250$
	17	$t_{31}+t_{36}+t_{37}+t_{41}+t_{46}+t_{47}=698$
	18	$t_{24}+t_{25}+t_{54}=519$
	19	$t_{12}+t_{31}+t_{36}+t_{37}+t_{41}+t_{42}+t_{46}+t_{47}=767$

Tabla 19 Restricciones adoptadas en la nueva aplicación del método de Furness

### 7.1.3 Matriz Origen/Destino escenario actual

La matriz obtenida tras aplicar las distintas restricciones e hipótesis establecidas en el punto anterior es la mostrada a continuación:

ORIGENES\DESTINOS	SE30 Cordoba	Loyola+Abengoa	Av de la Raza	Av. Dinamarca	SE30 Huelva	A4 Cadiz	Av. Jerez	TOTAL ENTRADAS
SE30 Cordoba	0	58	410	305	2629	1244	0	4646
Loyola+Abengoa	0	0	0	89	266	0	0	355
Av de la Raza	254	0	0	80	309	133	18	794
Av. Dinamarca	184	11	78	0	272	96	13	654
SE30 Huelva	3454	40	90	119	0	870	251	4825
A4 Cadiz	1175	91	202	150	819	0	85	2522
Av. Jerez	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL SALIDAS	5067	200	780	744	4295	2343	368	13797

Tabla 20 Matriz de viajes definitiva utilizada en la situación actual

Esta matriz es la que se empleará en el escenario actual para representar la demanda del tráfico existente en la actualidad en la zona de estudio.

#### 7.1.4 Matriz Origen/Destino con el centro comercial

En el escenario futuro, además de contar con la matriz de viajes existentes de la situación actual, será preciso realizar una distribución de los viajes generados y atraídos por el centro comercial.

Las intensidades de los vehículos generados y atraídos por el centro comercial se calcularon en capítulos previos. Se incluirá un nuevo centroide que recoja estas intensidades como origen y destino. Sin embargo, se desconoce la distribución de estos nuevos viajes con respecto al resto de centroides, por lo que será preciso establecer un modelo que los distribuya entre el resto de los centroides.

Para ello, se ha optado por repartir los viajes del centro comercial distribuyéndolos de forma ponderada entre los distintos centroides en función de sus viajes generados y atraídos. De esta forma se obtienen dos nuevos vectores de generación y atracción de los viajes del centro comercial

Los viajes que tienen como origen el centro comercial, es decir, los que entran al modelo desde el centro comercial, suponen una totalidad de 840 vehículos.

Origen/Destinos	SE30 Cordoba	Loyola + Abengoa	Av de la Raza	Av. Dinamarca	SE30 Huelva	A4 Cadiz	Av. Jerez	TOTAL
CC Palmas Altas	317	13	49	47	269	147	0	840

Los viajes que tienen como destino el centro comercial, es decir, los que salen del modelo al llegar al centro comercial, son un total de 1278.

Destino/Origenes	SE30 Cordoba	Loyola + Abengoa	Av de la Raza	Av. Dinamarca	SE30 Huelva	A4 Cadiz	Av. Jerez	TOTAL
CC Palmas Altas	430	33	74	61	447	234	0	1278

Una vez obtenida la distribución de los viajes generados y atraídos por el centro comercial, el siguiente paso es la obtención de la matriz Origen/Destino final que se empleará en los distintos escenarios futuros que se plantean, incluyendo al centro comercial.

Esta matriz se ha obtenido añadiendo los vectores de los viajes generados y atraídos por el centro comercial, a la matriz de viajes de la situación actual. De esta forma se obtiene la siguiente matriz

ORIGENES\DESTINOS	SE30 Cordoba	Loyola + Abengoa	Av de la Raza	Av. Dinamarca	SE30 Huelva	A4 Cadiz	Av. Jerez	CC Palmas Altas	TOTAL ENTRADAS
SE30 Cordoba	0	58	410	305	2629	1244	0	430	5077
Loyola+Abengoa	0	0	0	89	266	0	0	33	388
Av de la Raza	254	0	0	80	309	133	18	74	867
Av. Dinamarca	184	11	78	0	272	96	13	61	715
SE30 Huelva	3454	40	90	119	0	870	251	447	5272
A4 Cadiz	1175	91	202	150	819	0	85	234	2756
Av. Jerez	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CC Palmas Altas	317	13	49	47	269	147	0	0	840
TOTAL SALIDAS	5384	212	829	790	4564	2490	368	1278	15915

Tabla 21 Matriz de viajes en la situación futura con el centro comercial



# 8 MODELADO EN TRANSMODELER

---

El software de microsimulación empleado para el desarrollo de trabajo es TransMódeler, una aplicación que permite simular el comportamiento de los vehículos en modelos.

TransModeler aplica una serie de modelos matemáticos del comportamiento de los conductores y de la teoría de flujos para simular fenómenos del tráfico. Sus modelos hacen uso de una amplia y variada cantidad de datos de entrada sobre el sistema de transporte, son capaces de generar un amplio número de estadísticas y resultados, y dependen de un diverso conjunto de parámetros.

Para facilitar el desarrollo y la gestión de los datos requeridos por los modelos de simulación del tráfico, TransModeler organiza todos los elementos en un proyecto de simulación. Estos son una combinación de datos de entrada, los datos de salida que permiten evaluar los resultados de la simulación, y los parámetros que definen completamente el estudio de simulación y lo calibran para parecerse a las observaciones del mundo real.

En este capítulo se hará una descripción del proceso de modelado seguido para la construcción de los distintos escenarios, de los problemas detectados durante este proceso, y de la calibración realizada para acabar obteniendo el modelo del Escenario Base que refleje el comportamiento del área de estudio en la situación actual

## 8.1 Modelado

A continuación, se describirá el proceso de modelado seguido hasta obtener los distintos escenarios de simulación que se analizarán posteriormente.

El modelado de los escenarios de simulación ha sido un proceso iterativo basado en un sistema de prueba y error. El objetivo del proceso de modelado ha sido lograr un escenario base que represente el comportamiento de tráfico que se da en la realidad, tratando de conseguir que proporcionara como resultados una configuración del tráfico similar a la observada en los mapas de tráfico típico de Google Maps.

A lo largo de este proceso, se han ido detectando errores en el modelo, o comportamientos realizados por los vehículos alejados totalmente de la realidad, por lo que ha sido preciso ir realizando simulaciones conforme se iba avanzando en el modelo para detectar estos problemas y poder corregirlos, realizando de esta manera un calibrado del modelo.

Dentro de los distintos cambios realizados se han incluido modificaciones por fallos en la geometría, el empleo de elementos como los conectores de TransModeler para conseguir ciertos comportamientos, cambios en la configuración de los parámetros del modelo, o incluso adecuación de la matriz de viajes.

Se describe en los siguientes puntos de forma resumida el proceso que se ha ido realizando durante el modelado hasta llegar a la configuración del escenario base.

### 8.1.1 Creación del mapa base

Para la creación del mapa base del que partir realizando modificaciones para constituir la geometría de todos los escenarios que se analizarán, se ha empleado la ortofoto de máxima actualidad del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Dicha ortofoto ha sido la base de modelado de todos los viarios de la zona de estudio. Se encuentra en ETRS89 UTM huso 30.

Para cargarla en TransModeler se ha realizado previamente un recorte por medio de sistemas GIS para dejar

únicamente la zona analizada. Por medio de GIS se convirtió también su formato de .ecw a .jpg para que pudiera ser abierta en TransModeler.

Con el fin de tener una referencia adecuada para el posterior modelado manual de todas las carreteras, se ha realizado dentro del programa la georreferenciación de la ortofoto definiendo la longitud y la latitud de varios puntos. De esta forma, las medidas y la localización de la ortofoto se encuentran en sus magnitudes reales.

Como complemento a la información gráfica de la ortofoto se ha empleado la cartografía de la zona de estudio obtenida de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, que se ha empleado para la obtención de medidas de elementos del viario, para asegurar su correcto modelado posteriormente.

### 8.1.2 Creación del archivo de simulación

La base de un modelo de simulación, más allá del mapa base de referencia, se encuentra en el archivo de simulación.

Con el objetivo de ir analizando los cambios realizados durante todo el proceso de elaboración del modelo definitivo, durante todo el trabajo se han ido generando diferentes archivos de simulación cada vez que se fueron introduciendo cambios sustanciales en el modelo. De esta forma se han podido ir evidenciando los problemas y defectos que han ido apareciendo en el modelo y realizar un proceso de depuración de este.

De manera definitiva, se ha trabajado con 5 archivos de simulación, uno para cada uno de los escenarios contemplados (dos de ellos destinados a los escenarios con diferentes propuestas de mejora)

### 8.1.3 Creación de la red viaria

El elemento básico del modelo lo constituye la geometría de este, que representa la red viaria de la zona de estudio.

El proceso de desarrollo de la red viaria se ha desarrollado de forma iterativa, desarrollando una geometría básica y simulando un escenario con ella en cada iteración. Mediante este proceso, se han ido identificando diferentes problemas y comportamientos inadecuados en el tráfico, cuyo estudio y tratamiento ha permitido obtener la red viaria definitiva empleada en los distintos escenarios.

#### 8.1.3.1 Tipo de vía

El software permite diferenciar las distintas vías que componen el sistema viario de la zona de estudio en función de su tipología. De esta forma, se podrán variar varias características de comportamiento de las vías dependiendo de si estas son autopistas, vías urbanas, zonas residenciales, accesos...

Dentro de las características que se pueden modificar con las distintas tipologías de las carreteras se encuentra un parámetro que es fundamental de cara a la simulación como es la velocidad límite. Cada tipología de carretera lleva asociada una velocidad límite, de forma que asignando distintas categorías a los viarios de la zona de estudio se ha configurado los límites de velocidad de cada una de las carreteras presentes.

Otra característica que se puede modificar en función de la tipología de vía es el comportamiento de usuario en cada una de las tipologías. Uno de los parámetros que permite modificar Transmodeler son las distribuciones de velocidades deseadas para cada tipología de usuarios. Como regla general no se han modificado los parámetros básicos de TransModeler, aunque se ha observado que las distribuciones de velocidades deseadas generales de los usuarios tienden a que exista una amplia mayoría de usuarios que excedan en cierta cantidad el límite de velocidad de la vía.

El comportamiento descrito en el párrafo anterior responde adecuadamente a lo que ocurre en la realidad en carreteras amplias y con límite de velocidad elevado como suelen ser las autovías. Sin embargo, la zona de estudio presenta vías donde el comportamiento de los usuarios suele respetar estrictamente los límites de velocidad.

Una de estas vías es el puente del V Centenario, donde a pesar de contar con dos carriles por sentido y un carril reversible para aumentar la capacidad puntualmente de uno de los dos sentidos, la velocidad límite está en 60 km/h y prácticamente todos los vehículos circulan a esa velocidad debido a la presencia en la vía de radares para

controlar la velocidad.

Para representar este comportamiento se ha definido una nueva distribución de velocidades deseada distinta a la de los usuarios generales, que se activará en las tipologías de vía adecuadas donde esté presente este comportamiento, como es el puente del V Centenario y las principales vías urbanas.

Las diferentes tipologías que se han adoptado, así como sus características se describen a continuación

- Acces Road 40 km/h: Se ha empleado en los ramales de acceso a las carreteras principales
- Freeway 120 km/h: Se usa únicamente en los tramos más alejados de la A-4
- Freeway – 100km/h: Se limita la velocidad máxima a 100, en los tramos cercanos al nudo de la SE-30 de la A-4, y en la parte este de la SE-30, donde se observan velocidades altas
- Local Street – 50 km/h: Se emplea esta categoría en todas las vías del interior de la ciudad
- Mayor Arterial – 80 km/h: Esta categoría se utiliza en el tramo derecho de la SE-30 y algunos ramales de mayor velocidad.
- Minor Arterial – 60: Se limita la velocidad a 60 km/h en el tramo del puente del V Centenario

También se ha empleado la tipología de vía ya existente en TransModeler de “Roundabout” en aquellos tramos en los que existe una rotonda, que presenta características de comportamiento distintas a las del resto de vías

### 8.1.3.2 Creación o eliminación de vías

La creación del sistema viario en TransModeler se ha realizado por medio del paquete de herramientas Road Editor. Como base para el diseño de todas las carreteras se ha empleado la ortofotografía cargada en el mapa base, complementada con la información obtenida de la cartografía descargada.

Para de creación de cualquier vía en TransModeler, es preciso en primer lugar proporcionar ciertas características principales de cada carretera al programa. Las principales propiedades con las que se ha ido caracterizando cada carretera han sido: el tipo de carretera y los tipos de usuarios que discurren por dicha vía (para definir su velocidad límite), si la carretera es de doble sentido o de un único sentido, el número de carriles para cada sentido y la anchura del carril. Una vez definidas estas variables, se pasa en el programa a definir la geometría de cada uno de los viarios, de acorde a lo observado en la ortofoto.

#### 8.1.3.2.1 Añadir o eliminar carriles

TransModeler cuenta con herramientas que permiten añadir o eliminar carriles de un viario una vez que se ha definido la geometría de este.

Una vez constituida la geometría del escenario básico, estas herramientas han resultado de gran utilidad en los distintos escenarios futuros para implementar las diferentes modificaciones contempladas en cada caso, que en su mayoría han consistido en incrementar el número de carriles existentes en algunos puntos críticos del sistema.

#### 8.1.3.2.2 Carriles de aceleración o deceleración

Existen varias intersecciones en la zona de estudio que consisten en carriles de aceleración o desaceleración, en los que un flujo de vehículos se incorpora o sale de otro flujo principal, al ser necesarios unos metros de adaptación por condiciones de geometría o grandes diferencias de velocidades.

El diseño de los carriles de aceleración y deceleración se ha realizado conforme a lo mostrado en la siguiente imagen para que su funcionamiento sea lo más parecido posible a la realidad, en función del funcionamiento de estos. Algunos actúan como un carril adicional que termina abruptamente para forzar a los vehículos a que se incorporen al flujo principal empleando el intermitente y cediendo el paso a los vehículos de la carretera principal como en un tramo de trenzado, mientras que otros que presentan una incorporación más fluida utilizan conectores en todos los carriles para realizar el movimiento.

### 8.1.3.3 Nodos y “Lane Connector”

En cualquier intersección o nodo existente dentro del modelo, TransModeler emplea la figura de los Lane Connector para definir los posibles movimientos o cambios de carril de los vehículos de un link a otro. Mediante

estos elementos puede también configurarse la prioridad de cada movimiento con respecto al resto. Además de en intersecciones se emplean en aquellos puntos donde se establezca un aumento o reducción del número de carriles de la sección.

En las reducciones del número de carriles de una vía, los vehículos cuentan con la necesidad de realizar un cambio de carril

El empleo de Lane Connector no siempre representa adecuadamente la realidad, porque TransModeler toma cada nodo existente como una autentica intersección, donde cada uno de los movimientos definidos por los Lane Connector cuenta con unas condiciones de prioridad que todos los vehículos deben respetar.

Debido a esta característica, en varios nodos de la red se han eliminado Lane Connectors que provocaban comportamientos inadecuados en ciertos puntos, o se han añadido algunos auxiliares en ciertos puntos para favorecer los cambios de carril para crear comportamientos más parecidos a la realidad.

Entre algunos de estos Lane Connectors añadidos se encuentran varios en el puente del V Centenario, que permiten el cambio de carril desde el carril reversible al carril central de cada sentido, ya que en las primeras simulaciones se observaba que los vehículos apuraban el carril reversible hasta el final cuando en la realidad el carril se desaprovecha en gran parte al ir los vehículos adaptándose a la reducción de carriles en cuanto a comienza a indicar la señalización la finalización del carril varios metros antes.

Otros Lane Connectors se ha incluido en las distintas rotondas del sistema que permite el cambio directo del carril central al carril exterior. Este añadido se realizó debido a que se detectó en varias de las simulaciones realizadas, que muchos vehículos, sobre todo los vehículos pesados por su mayor tamaño, se quedaban atrapados en la rotonda dando vueltas al no serles posible realizar el cambio de carril al carril exterior debido a la saturación de la glorieta

#### 8.1.3.4 Centroides

Uno de los aspectos más importantes para definir el modelo es el de establecer los centroides externos que delimitarán la zona de estudio, y que serán los puntos que marcarán los orígenes y destinos de todos los viajes de la simulación.

Se han colocado en la avenida de la Raza, la avenida de Dinamarca, la autovía A-4, la avenida de Palmas Altas, la autovía A-4, la SE-30 antes del nudo con la N-IV, en el ramal de salida de la SE-30 a la N-IV y la SE-30 después del puente del V Centenario.

Para modelar el centro comercial se ha empleado un único centroide, conectado por medio de conectores a cada una de las entradas y salidas del mismo.

Todos los centroides considerados en el modelo son externos excepto el centroide del centro comercial que es interno, al estar ubicado dentro de la zona delimitada por la red.

#### 8.1.3.5 Elevación

TransModeler permite también modificar las elevaciones de cada uno de los puntos de las carreteras existentes. Estas herramientas de modificación de la elevación han sido de vital importancia en el desarrollo del modelo debido a la gran cantidad de pasos elevados existentes en el nudo de la SE-30 con la A-4, así como para establecer la elevación del puente del V Centenario.

Por un lado, la definición de los pasos elevados es importante dentro del desarrollo del modelo para evitar que se produzcan cruces inexistentes en carreteras que se cruzan a distinta altura en el modelo.

La definición de la elevación del puente del V Centenario es necesaria también, debido a que la pendiente existente influye en la velocidad de los vehículos durante la simulación del modelo

#### 8.1.3.6 Sensores

Para poder comprobar que los datos de demanda introducidos se reproducen satisfactoriamente en el modelo, además de que las velocidades de los vehículos son similares a las de la realidad, se han introducido sensores en los de la geometría donde se pudieron obtener datos en los aforos.

La inclusión de estos sensores permite obtener unos resultados rápidos con los que comprobar que se cumplen las mediciones tomadas en los distintos aforos y se reproducen de forma adecuada. Los sensores ocupan todo el ancho del carril registrando todos los vehículos que pasan por ellos, así como la velocidad a la que van

Los sensores colocados en el modelo en todos los escenarios contemplados se encuentran en las localizaciones de la siguiente imagen

Además de proporcionar información acerca del número total de vehículos que discurren por cada carril permiten:

- Recoger de forma instantánea la identidad del vehículo, su tipología, su velocidad y su par origen-destino
- Recoger de forma periódica la identidad, tipología y velocidad de los vehículos dentro del área de los sensores
- Tomar datos de colas

### 8.1.4 Composición final del modelo

Una vez definidos todos los aspectos de la geometría de la simulación, la red viaria del modelo de la zona de estudio se compone de los siguientes elementos:

- Centroides: 12
- Conectores de centroides: 20
- Links: 135
- Segmentos: 141
- Carriles: 299
- Conectores de carriles: 321
- Nodos: 110

## 8.2 Calibración del modelo

Una vez definida una geometría básica del modelo, el proceso hasta acabar obteniendo la geometría definitiva ha requerido un proceso iterativo de comprobación y calibrado.

El objetivo planteado para la calibración ha sido asegurar que el modelo definitivo representa adecuadamente el comportamiento de tráfico del escenario actual, tomando como referencia el estado de tráfico típico proporcionado por los mapas de tráfico de Google para la hora de estudio.

### 8.2.1 Problemas de comportamiento detectados

A lo largo del proceso de modelado se han detectado numerosos problemas de comportamiento, cada uno de ellos con diversas causas que van desde un incorrecto modelado en un primer lugar de la geometría, a un mal diseño de la matriz de viajes, o incluso a problemas de comportamiento de TransModeler.

Entre los problemas de comportamiento que se han ido detectando a lo largo del proceso pueden comentarse los siguientes:

Uno de los primeros problemas detectados se localizó en la incorporación de la A-4 a la SE-30, donde se presentaban importantes conflictos en el trenzado que tenían lugar incluso antes de que llegará la cola producida en el V Centenario.

Se provocaban numerosos conflictos en el trenzado de los vehículos, que acababan provocando colas en la A-4 que acababan bloqueando totalmente la autovía.

El problema principal de esta incorporación estuvo en que fueron modelados todos los carriles del tramo de

trenzado en conjunto, y TransModeler detectaba como como camino más corto para los vehículos que vienen de la SE-30 y se dirigen a la Glorieta Norte, aunque en la realidad dicho recorrido no está permitido al existir línea continua.

Debido a ello, el acceso a la Glorieta Norte desde la SE-30 se vaciaba, mientras que en el trenzado de la incorporación se producía un cruce entre los vehículos que se incorporan a la SE-30 y los vehículos que aprovechaban dicho tramo para dirigirse a la Glorieta Norte. Ambos flujos superaban la capacidad del trenzado, lo que acababa provocando el colapso de la A-4.

Se intentó corregir este comportamiento mediante el uso de línea continua, pero los vehículos la obviaban y seguían tomando dicho camino, y no el que realmente deberían utilizar. Ante ello se dispuso una barrera para impedir el acceso de los vehículos por dicho tramo, pero TransModeler seguía asignando esa ruta a los vehículos, lo que acababa provocando que los vehículos no pudieran alcanzar su destino.

Como consecuencia, para evitar que TransModeler detectara esta ruta como la ruta mínima a asignar a los viajes, hubo que realizar una separación de los carriles, evitando con la geometría que se pudiera tomar esta ruta.

Otro problema de comportamiento se detectó en la SE-30 desde la Glorieta Norte, en las primeras simulaciones la incorporación presentaba un comportamiento más favorable que el que presenta la realidad. La causa principal se encontraba en que se había infravalorado el número de viajes que se dirigen hacia el puente del V Centenario, lo que se corrigió modificando la matriz. A pesar de ello, otra de las causas está en que se había modelado la incorporación estableciendo un carril de incorporación sustancialmente más largo que la longitud que realmente emplean los vehículos para realizar la maniobra de incorporación.

El cambio de la longitud del carril de incorporación permitió lograr un comportamiento mucho más parecido a la realidad, en el que se presenta congestión en dicha incorporación. El cambio de longitud del carril de incorporación permitió identificar además los problemas que presenta TransModeler a la hora de simular los movimientos de cambio de carril. En este tipo de situaciones los vehículos parecen identificar el hueco al que deben acceder y no modifican su decisión, implicando con ello cuando hay situación de congestión en la vía principal que el carril de incorporación no se aproveche totalmente. De esta forma se da el caso de que aparezcan vehículos parados en el carril de incorporación, que acaban provocando colas en dicho carril. Este problema se ha observado también en los tramos de trenzado.

Con respecto al uso de carriles, en el carril que se acaba perdiendo en el puente del V Centenario también se detectaron problemas de comportamiento. En este caso, al tener que representar con dos conectores la unión del carril izquierdo y el carril central, con el carril izquierdo del tramo del estrechamiento, muchos vehículos identificaban la existencia de camino hasta el límite de carril, apurando al máximo éste hasta el final. Este comportamiento no se da en la realidad, en el que los vehículos van pasándose al carril central desde que comienza a anunciarse

Otros problemas de comportamiento de TransModeler se han detectado sobre todo en las glorietas. Estas normalmente suelen ser los puntos más problemáticos de la red, y en el caso de la zona de estudio la Glorieta Norte y la Glorieta Sur son los puntos más críticos del sistema viario de la zona, ya que cuando estas colapsan provocan el colapso del resto del viario. Por ello, su comportamiento debe reflejar lo más fielmente posible el comportamiento de la realidad. A pesar de ello, se ha detectado que TransModeler no representa adecuadamente el comportamiento de las glorietas al haber observado algunos fallos en las trayectorias de los vehículos.

Por un lado, las glorietas se componen de varios nodos, que constituyen auténticas intersecciones con varios conectores que permiten la llegada y salida de varios flujos de cada nodo. Por cada nodo únicamente puede atravesar un vehículo a la vez, por lo que cuando llega más de un coche al mismo nodo, se producen paradas de los vehículos que ralentizan el comportamiento. Esto se hace evidente en las salidas desde el segundo carril de la glorieta al carril izquierdo de la salida, en las que se ha observado que muchos vehículos se ralentizan cuando prevén que otro vehículo va a salir del carril exterior de la glorieta al carril derecho. Aunque esto implica que no se consiga del todo el comportamiento real, tampoco tiene gran influencia en la simulación y puede compensarse con algunas salidas desde los carriles interiores más agresivas que realizan los conductores en la realidad, que provocan paradas en los carriles exteriores.

Del hecho de que las glorietas estén compuestas por nodos sucesivos surge otro problema detectado, que si tiene implicaciones más graves en las simulaciones. En el caso de los vehículos pesados, debido a su mayor longitud, cuando la glorieta no es de dimensiones excesivamente grandes y la distancia entre nodos es pequeña, surgen

problemas para cambiar de carril en la glorieta cuando esta se encuentra llena. Ello provoca que muchos de estos vehículos no puedan cambiarse de carril antes de llegar su salida, quedando obligados a permanecer en el carril interior de la glorieta dando vueltas a la rotonda. Los vehículos continúan accediendo al carril interior a pesar de haber varios vehículos dando vueltas, hasta alcanzar la capacidad del carril interior, momento en el que se limita mucho la capacidad de la rotonda. El principal problema de este comportamiento es que el colapso del carril interior tenía lugar en muchas ocasiones en las que no se había alcanzado la capacidad de la glorieta, lo que acababa llevando a que la glorieta se sature mucho antes de lo que debería con respecto al comportamiento actual de la zona de estudio

## 8.2.2 Comprobación del Network

Además de la observación del comportamiento de los modelos, también fueron detectados errores en el modelo mediante la herramienta de TransModeler Check Network.

Esta herramienta permite localizar errores en la geometría del tipo: segmentos cortos, errores en la forma del segmento, falta de lane connectors en algunos puntos, puntos de confluencia de flujos potencialmente conflictivos...

## 8.2.3 Calibración de la geometría

Uno de los elementos modificados en la calibración de la geometría ha sido el tamaño de los nodos e intersecciones en las vías. Estos puntos se comportan en todos los casos como auténticas intersecciones, estableciendo prioridades en todos los movimientos permitidos. TransModeler no permite que ningún vehículo pueda detenerse en estos puntos, lo que significa un espacio que no puede ser aprovechado por los vehículos para realizar movimientos como el cambio de carril. Además, cuando dos movimientos se cruzan en estos nodos, solo uno de los vehículos puede discurrir por el nodo en cada instante, por lo que cuando un vehículo de un movimiento cruza el nodo provoca retenciones a la entrada del nodo en los vehículos del otro movimiento que en muchos casos son irreales. Acortar por tanto estos nodos favorece un comportamiento más parecido a la realidad, por lo que se ha intentado reducir al mínimo estos puntos.

Siguiendo con los nodos, otro aspecto relevante dentro de ellos son los lane connector que indican los movimientos que son permitidos en cada uno de ellos. Durante la elaboración del modelo, en sus primeras fases, se detectaron comportamientos del modelo que en nada se parecían a la realidad influenciados en gran medida por estos lane connectors. Las principales calibraciones sobre la geometría realizadas con respecto a estos elementos son las citadas a continuación:

- Se ha empleado un lane connector en la subida del puente del V Centenario para facilitar el cambio de carril de los vehículos del carril de la izquierda al carril central en cuanto es señalizado que el carril reversible se encuentra dispuesto en el sentido contrario.

Los vehículos en la realidad se intentan cambiar del carril desde que es señalizada su pérdida, mientras que en la simulación los vehículos trataban de apurar el carril de la izquierda hasta el final, lo que mejoraba bastante la capacidad de la zona de una forma artificial y no realista

El uso de este lane connector permite que la ruta de cada vehículo contemple el cambio de carril al comienzo del puente para considerarla como mínima. Consigue que se despeje en gran medida el carril izquierdo y que solo unos cuantos vehículos permanezcan utilizándolo

- También se ha añadido un lane connector en las rotondas en una salida de cada glorieta que permite el cambio de carril del carril interior al exterior.

Esta medida fue adoptada tras observar en muchas de las simulaciones que algunos vehículos quedaban atrapados dentro de la rotonda dando vueltas alrededor de ella al no contar con espacio suficiente para realizar el cambio de carril. Este problema se ha dado sobre todo en vehículos pesados debido a su longitud.

Este problema tiene lugar en primer lugar por el hecho de que las rotondas del modelo se encuentran muy cargadas, y al hecho de que se componen de varios nodos enlazados, con los problemas que estos presentan comentados previamente.

Al disponer de un único conector en una de las salidas que permite el cambio del carril interior al exterior, los vehículos pueden realizar el cambio de carril para tomar la salida que más les convenga evitando que den más de una vuelta a la glorieta

- Se ha separado el carril de entrada a la Glorieta Norte del resto de carriles en el tramo de trenzado existente en la incorporación a la SE-30 desde la A-4.

El fin de esta modificación fue evitar que el programa detectara la existencia de camino entre la SE-30 y la Glorieta Norte por este tramo, ya que la ruta por el sería menor, y los vehículos que la seguirían no accederían a la rotonda por donde les corresponde. Esto llevaría hasta el límite de su capacidad el trenzado, cuando en la realidad esta alternativa no existe al presentar línea continua que impide ese movimiento.

Al separar el carril del resto, TransModeler ya no identifica la existencia de camino, solucionando el problema detectado

- Por otro lado, en las incorporaciones se ha eliminado el lane connector del carril del flujo secundario. Esto se debe a que aparecían dos comportamientos irreales cuando los vehículos de los dos flujos llegan al nodo donde estaban presentes los dos lane connector.

Por un lado, debido a que por el nodo solo puede circular un vehículo a la vez, tal y como se ha comentado previamente, sobre el flujo principal aparecían a veces pequeñas retenciones que no representaban la realidad. A efectos prácticos los vehículos de la vía principal cedían el paso a los que se incorporaban, ralentizando en muchos casos su velocidad.

Por otra parte, cuando se alcanzaban situaciones de congestión en el nodo, los vehículos que realizan la incorporación al flujo principal se veían muy favorecidos. Al alcanzar el nodo, los vehículos entraban al flujo principal alternativamente con los vehículos de la vía con prioridad, lo que no representa el hecho de que cuenten con una señal de ceda el paso y que evitaba que se formaran colas en las incorporaciones.

## 8.2.4 Ajuste de parámetros

### 8.2.4.1 Parámetros generales

Son aquellos parámetros que gobiernan las tareas básicas del modelo, como la carga de vehículos en el sistema o los aspectos más simples del modelo microscópico de comportamiento de los conductores. Entre estos parámetros podemos encontrar:

#### 8.2.4.1.1 Mecánicas del modelo

Estos parámetros incluyen aquellos relacionados con la mecánica general y la operatividad de los modelos

##### 8.2.4.1.1.1 *Parámetros de inicialización*

Al comienzo de la simulación, el sistema pasará de un estado vacío a un estado cargado en función de la configuración del estado inicial.

El estado inicial debe reflejar el estado de la red al comienzo de la simulación. Si se desconoce la información del estado inicial, y comenzar la simulación desde un estado vacío no es deseable, Transmodeler permite realizar una precarga hasta que el sistema alcanza cierto estado inicial que satisface las condiciones impuestas. Ese estado inicial es salvado en un archivo que es cargado al comienzo de la siguiente simulación.

Para generar el estado inicial por medio de la precarga, Transmodeler utiliza varios criterios de aceptación basados en el número de vehículos en el sistema. El sistema está lo suficientemente cargado cuando el porcentaje de la diferencia de vehículos del sistema entre el estado actual y los intervalos anteriores se encuentra dentro de unos umbrales. Se han tomado los umbrales de precarga predeterminados de TransModeler

##### 8.2.4.1.1.2 *Feedback*

Para generar estimaciones de los tiempos de viajes congestionados en un proyecto, se pueden realizar varias simulaciones con retroalimentación. De esta forma, los tiempos de viaje de cada simulación son promediados con los de entrada, que se proporcionan como tiempos de viaje para la siguiente simulación.

#### 8.2.4.1.1.3 Geometría

Los parámetros incluidos en esta categoría controlan el ancho y la apariencia de los carriles en la visualización del modelo. Cuenta con un tercer parámetro utilizado para controlar la posición lateral de un vehículo cuando para de un carril conectado a otros dos.

El ancho de carril se ha ido especificando carril por carril a lo largo de todo el modelo, para ajustarlo de forma más precisa a la realidad.

El parámetro “Taper Length” permite controlar la longitud de carril donde se establece un incremento del ancho de forma progresiva para suavizar las transiciones cuando dos carriles convergen en uno solo. Es un parámetro estético, que no afecta a la capacidad ni al comportamiento del conductor

Mediante el parámetro “Merging and Waving Area Anticipation” puede controlarse la longitud máxima a partir de la cual los vehículos adoptarán un comportamiento anticipatorio ante un trenzado que requiera cambios de carril, de forma que los vehículos puedan prever esta situación realizando los cambios de carril pertinentes y ajustando de forma adecuada su velocidad. Dada las características de la zona, con algunas salidas y entradas al inicio del puente del V Centenario a lo largo de la SE-30, con amplias distancias entre salidas y tramos en las que la velocidad puede ser elevada, se ha optado por darle a este parámetro un valor de 1000 metros.

Otro de los parámetros permite prevenir que vehículos largos realicen giros en U, especificando la longitud máxima de vehículos que pueden realizar estos giros.

#### 8.2.4.1.1.4 Definiciones de cola y parada

TransModeler mide las cosas y los tiempos de retraso de cada vehículo durante la simulación. Para ello emplea tres parámetros que determinan cuando un vehículo está parado o en una cola

Mediante el rango de velocidad de parada el programa determina a partir de que velocidades el vehículo se encuentra y deja de estar parado

El hueco de cola es el máximo espacio entre vehículos sucesivos para que se consideren que están en cola.

Por último, otro parámetro indica la mínima longitud en número de vehículos que deben ser necesarios para formar una cola

#### 8.2.4.1.1.5 Carga de vehículos

Cuando los viajes de los vehículos son cargados desde una matriz que define de que nodo a que nodo discurren los vehículos, los vehículos siempre entran desde el inicio del conector vinculado al nodo de origen. TransModeler determina en primer lugar si es posible realizar la entrada, y a continuación determina a que velocidad debería entrar cada vehículo. Si cualquier vehículo no pudiera entrar en su hora de salida, éste es colocado en una cola fuera de la red hasta que sea posible realizar la entrada.

La velocidad inicial y la posición son determinadas en función del tamaño de paso de la simulación, de la velocidad deseada y de las condiciones de tráfico en el segmento. Debe estar disponible una mínima cantidad de espacio a la entrada del segmento para que el vehículo pueda entrar. Si no hay vehículos en frente, un vehículo entra a su velocidad deseada.

Hay tres parámetros que controlan la carga de vehículos además de los parámetros que controlan la velocidad inicial. El “Connected Lane Observance Rate” controla la proporción de vehículos que solo entran por carriles conectados con sus itinerarios. El “Maximum Dequeue Depth” determina el máximo número de vehículos que pueden fallar en la carga de un elemento en el que existan colas en un solo paso de tiempo. El parámetro “Initial Headway” muestra el mínimo adelanto aceptable que debe tener un vehículo en frente de otro que vaya a ser cargado

#### 8.2.4.1.2 Parámetros microscópicos

Los parámetros microscópicos incluyen parámetros básicos de los modelos de comportamiento de los conductores

##### 8.2.4.1.2.1 Tamaño de paso

El tamaño de paso controla con qué frecuencia la simulación actualiza el estado del vehículo dado por su régimen de comportamiento (aceleración, deceleración, cambio de carril, parada...)

#### 8.2.4.1.2.2 *Huecos entre vehículos parados*

Cuando un vehículo queda parado en una cola, el espacio entre vehículos tiene una repercusión importante en la longitud de la cola y en el tiempo que esta tarda en disiparse. No todos los conductores dejan la misma distancia con respecto al vehículo de enfrente, y cuando el vehículo de enfrente es un vehículo pesado, esta distancia suele ser mayor.

Este conjunto de parámetros define la media y la desviación estándar de las longitudes de los huecos entre vehículos parados en función del tipo de vehículo de enfrente

#### 8.2.4.1.3 Velocidad deseada

El modelo de aceleración de los conductores se usa para simular los comportamientos de aceleración y deceleración de los conductores en respuesta a varios estímulos. En ausencia de estos, el vehículo circula a su velocidad deseada, que es la velocidad a la que circula cuando viaja en condiciones de flujo bajo.

El valor de la velocidad deseada no es constante, varía en función de las condiciones locales, que permite asignar tipos de comportamiento de los usuarios.

Se ha modificado el comportamiento de un grupo de usuarios, para reflejar el hecho de que en el puente del V Centenario la mayoría de usuarios no sobrepasa los 60 km/h debido a la existencia de radares de control de velocidad.

#### 8.2.4.2 Flota de vehículos

TransModeler también permite modificar las características de la flota de vehículos, desde parámetros como el peso, la longitud o la tipología de los vehículos, a la composición del tráfico.

En este caso se ha modificado la composición del tráfico incrementando considerablemente el número de vehículos pesados, con el objetivo de representar el elevado número de camiones que suele discurrir por la zona de estudio.

#### 8.2.4.3 Elección de ruta

En esta categoría de parámetros se encuentran localizados todos aquellos parámetros que influyen en el comportamiento de los vehículos a la hora de decidir que ruta toman para llegar a su destino.

Dentro de este grupo de parámetros se ha modificado el porcentaje de usuarios “conmmuters”, usuarios habituados a circular por la zona de estudio, que cuentan con un mayor conocimiento de la zona y suelen valorar más su tiempo de viaje. En este caso se incrementa el número de “conmmuters” ya que se considera que durante la hora punta de mediodía, la mayoría de viajes que se producen son viajes de vuelta al hogar.

#### 8.2.4.4 Comportamiento del conductor

Con estos parámetros se gobiernan las acciones de los conductores a una escala inferior que la elección de ruta, ya que con ellos se establece el comportamiento en glorietas, en los cambios de carril, en los adelantamientos...

Se han dejado los parámetros de comportamiento del conductor que emplea TransModeler por defecto

# 9 MICROSIMULACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

---

Tras haber analizado en todos los capítulos previos todo el proceso seguido para la elaboración del modelo, en este capítulo se presenta el estudio de las microsimulaciones realizado en todos los escenarios contemplados. Constituye el núcleo central de este Trabajo de Fin de Máster, ya que el análisis de todas las simulaciones realizadas permitirá extraer las distintas conclusiones acerca del comportamiento del tráfico en el área de estudio, y acerca de la influencia de la implantación del centro comercial en el mismo

## 9.1 Configuración de simulación

El paso previo antes del inicio de la simulación es la configuración de los ajustes básicos de la misma. Dentro de las posibilidades que proporciona TransModeler, se han establecido las siguientes opciones:

- La simulación tendrá una duración de una hora, que corresponderá con el periodo de hora punta entre las 14:00 y las 15:00
- Se realizará una precarga de 10 minutos en el modelo para llenar la red de vehículos antes del comienzo de la simulación.
- En función del escenario, se establecerá como demanda del modelo la matriz de viajes de la situación actual o la matriz que añade los viajes atraídos y generados por el centro comercial
- Las simulaciones llevarán asociadas el mismo archivo de parámetros en todos los escenarios, que incluyen las siguientes modificaciones con respecto a los parámetros por defecto de TransModeler.
  - Se ha cambiado la distribución modal por defecto de TransModeler, aumentando el número de vehículos pesados existente en la zona a un 15%
  - Se ha incrementado el número de usuarios “commuter” a un 90%, ya que se considera que a esa hora del viernes la mayoría de usuarios son trabajadores realizando el viaje de vuelta al hogar y tienen conocimiento de la zona
  - La velocidad libre y la capacidad será la asociada a cada tipo de carretera y usuario, habiendo cambiado la distribución de velocidades de los usuarios en el puente del V Centenario y las calles urbanas para evitar que se produzcan incrementos de velocidad por encima del límite de velocidad
- Se han establecido las unidades del sistema internacional, ya que por defecto TransModeler utiliza el sistema anglosajón de unidades.
- Los Outputs que se extraerán de cada simulación son:
  - Trip Statistics:
  - Flow and Travel Time
  - Delay
  - Point Sensor Data

- En cuanto a los métodos de selección de ruta se empleará el método “Stochastic Shortest Path”. En este método los usuarios buscan realizar la ruta más corta, dependiendo esta de la percepción de cada usuario

## 9.2 Configuración de los parámetros

Las modificaciones realizadas sobre la configuración de los parámetros ha sido la siguiente:

- Desired Speed User 1: Se ha reducido a 0 los porcentajes correspondientes a usuarios que sobrepasan el límite de velocidad, distribuyendo estos porcentajes entre el resto de usuarios. Esta categoría se ha empleado en el puente del V Centenario.
- Speed Lane Widt Factor: Se ha ajustado al tamaño de carril presente en la zona de estudio para que no se reduzca la velocidad en carriles de más de 3 metros.
- Composición del tráfico: Se ha incrementado el tráfico de vehículos pesados a un 14.46 %, además de asignar un porcentaje de motocicletas del 3,97%
- Tipo de usuarios: Se ha incrementado el número de usuarios informados a un 90%

## 9.3 Escenarios de simulación

A continuación, se analizan los distintos escenarios contemplados de los que se ha realizado una microsimulación.

En primer lugar, se desarrolla un escenario base, en el que se introducirá la matriz que incluye únicamente los datos actuales sin tener en cuenta el centro comercial. Este escenario servirá para comprobar que el modelo se ha diseñado correctamente y que representa de forma adecuada la realidad, siendo la base comparativa con la que se evaluará el impacto del centro de comercial en el resto de los escenarios. A partir de este escenario se puede calibrar la realidad al ser el único escenario del que se dispone de datos fiables. Con la confianza de que el escenario calibrado reproduce adecuadamente la realidad, se espera que tras introducir los cambios para configurar los escenarios futuros, el modelo refleje el comportamiento futuro.

El resto situaciones que se plantean analizan la implantación del centro comercial, simulando en cada caso con diferentes medidas para la mejora del tráfico. De esta forma se comprobará el impacto que supondría la implantación del centro comercial en un escenario actual sin ninguna medida adoptada, como se comportará el tráfico en el escenario futuro con el centro comercial con todas las medidas de tráfico que lleva asociadas vinculadas al mismo, así como posibles escenarios que mejoren la fluidez del tráfico con otras medidas que podrían ser llevadas a cabo

### 9.3.1 Escenario Base

El Escenario Base parte de la geometría inicial cuyo modelado se describe en el capítulo anterior. El objetivo de este escenario de simulación es el de representar de la forma más fidedigna posible el estado actual de la zona de estudio.

Para ello, se constituye el escenario partiendo de la geometría existente de la zona de estudio, cargando el modelo con la matriz de viajes del estado actual sin considerar los viajes que serán provocados por la construcción del centro comercial.

A partir de los resultados de este escenario, que mostrará cómo se comporta el sistema en la actualidad, se podrá realizar una comparativa con el resto de los escenarios para analizar la influencia de los viajes generados y atraídos por el centro comercial a la zona de estudio.

Los resultados de esta simulación deben ser lo más parecidos a la realidad posible, para lo cual se ha tomado como referencia la información cualitativa de los mapas de tráfico típico de Google Maps. De esta forma, la zona de estudio deberá presentar ya en el escenario actual, importantes problemas de congestión y largas colas como consecuencia del cuello de botella que supone el carril reversible de la SE-30, de la situación al límite de la capacidad de varias de las incorporaciones a la SE-30 y de los problemas derivados de la congestión de las

## Glorietas Norte y Sur

### 9.3.1.1 Configuración del escenario

El escenario está configurado empleando la geometría definitiva descrita en el capítulo anterior de modelado. Esta geometría representa el sistema viario de la zona de estudio en su situación actual.

En cuanto a la matriz empleada, se utiliza en este caso la matriz de viajes de la situación actual. En este escenario solo se tiene en cuenta el tráfico actual, no se consideran los viajes del centro comercial

### 9.3.1.2 Análisis de funcionamiento del escenario



Ilustración 9-1 Mapa de velocidades del escenario base

El comportamiento que presenta el escenario actual durante la simulación es por lo general muy similar al comportamiento del tráfico real en la zona de estudio. Tal y como se mostrará posteriormente, los valores de las velocidades de los vehículos en cada una de las vías de la red reproducen perfectamente los valores del tráfico típico de la zona de estudios, tal y como se desprende comparando con la información cualitativa proporcionada por los mapas de tráfico típico de Google Maps.

Como se contempla en estos mapas de tráfico típico, y de la observación de la zona de estudio cualquier día en hora punta, esta zona es uno de los puntos más sensibles de la red de Sevilla y cualquier alteración o percance en la circulación tiene efectos muy negativos sobre el tráfico. Esto se debe a que el sistema viario de la zona de estudio, aunque durante la mayor parte del tiempo funciona, se encuentra al límite de su capacidad y es muy sensible a cualquier modificación en el tráfico.

Este comportamiento se ha reproducido de manera bastante fiel en la simulación del escenario básico, ya que aunque presenta un comportamiento poco variable en general, y la mayor parte de las simulaciones cuentan con un comportamiento parecido, la componente aleatoria de entrada de los vehículos al sistema provoca en ciertas ocasiones cambios significativos en los tamaños de las colas que se forman.

El elemento principal del sistema que condiciona prácticamente todo el comportamiento de la simulación es el estrechamiento por la pérdida de un carril en la SE-30 en el puente del V Centenario. Este estrechamiento consecuencia de la disposición del carril reversible del puente en el sentido contrario constituye un cuello de botella en la red que provoca que el tráfico, aunque discorra de forma más o menos fluida, se vaya acumulando formando una cola en la SE-30 que llega a alcanzar prácticamente el nudo con la N-IV.

Esta cola genera el resto de los problemas de la zona de estudio cuando alcanza la incorporación a la SE-30 desde la Glorieta Norte. Cuando la cola alcanza este punto, el carril de incorporación de los vehículos es bastante corto y los vehículos no pueden incorporarse correctamente a la SE-30, por lo que van quedando acumulados en dicho carril.

El carril de incorporación llega a saturarse, llegando a introducirse la cola en la Glorieta Norte, lo que limita bastante su capacidad. En algunos casos concretos, la rotonda llega a colapsar.

Los problemas en esta rotonda son los que acaban provocando las colas en la avenida de la Raza y en la avenida de Dinamarca. Esto se debe a la gran cantidad de vehículos que llegan desde la SE-30 y la A-4 a la glorieta, que al acceder a la misma bloquean las entradas desde ambas avenidas.

La cola en la avenida de la Raza es muy sensible a los cambios aleatorios producidos en las entradas de los vehículos, variando de forma significativa el tamaño de la cola en las distintas simulaciones realizadas. Esto es indicativo de que la Glorieta Norte está al límite de su capacidad, al producirse esta cola por el gran número de vehículos que discurren por la misma, que impiden acceder a los vehículos desde la Raza. La cola normalmente llega a un cuarto de la longitud total de la Raza, aunque llega a alcanzar en algunas ocasiones la glorieta de la Raza.

En cuanto a la avenida de Dinamarca, en el escenario base no llega a reproducirse del todo la saturación existente en la realidad, aunque si se generan pequeñas colas. Esto puede deberse a que se haya adoptado un número algo bajo en la matriz de entradas desde la SE-30 o la A-4, ya que en el resto de los escenarios, con el incremento de entradas que suponen los vehículos que quieren acceder al centro comercial si se reproducen las colas existentes en la actualidad.

Volviendo a la cola principal producida por el estrechamiento en el puente del V Centenario, a lo largo del transcurso de la simulación esta se sigue prolongando a lo largo de la SE-30. Otro punto conflictivo aparece cuando la cola alcanza la incorporación de los vehículos que proceden de la A-4, que consiste en un tramo de trenzado con 4 carriles. En dicho tramo, los vehículos que se incorporan proceden de un acceso donde la velocidad está limitada a 40 km/h, mientras que los vehículos en la SE-30 discurren a gran velocidad. Cuando la cola de la SE-30 alcanza este punto y los vehículos de la A-4 no pueden incorporarse de forma adecuada, estos se van almacenando en el carril del acceso, llegando a extenderse esta cola a la A-4 en el carril izquierdo a lo largo de longitudes bastante considerables.

En resumen, el escenario base consigue representar de forma aceptable el comportamiento del tráfico en la situación actual que tiene lugar en el área de estudio, permitiendo su uso como base comparativa para comparar sus resultados con el del resto de escenarios que se mostrarán a continuación

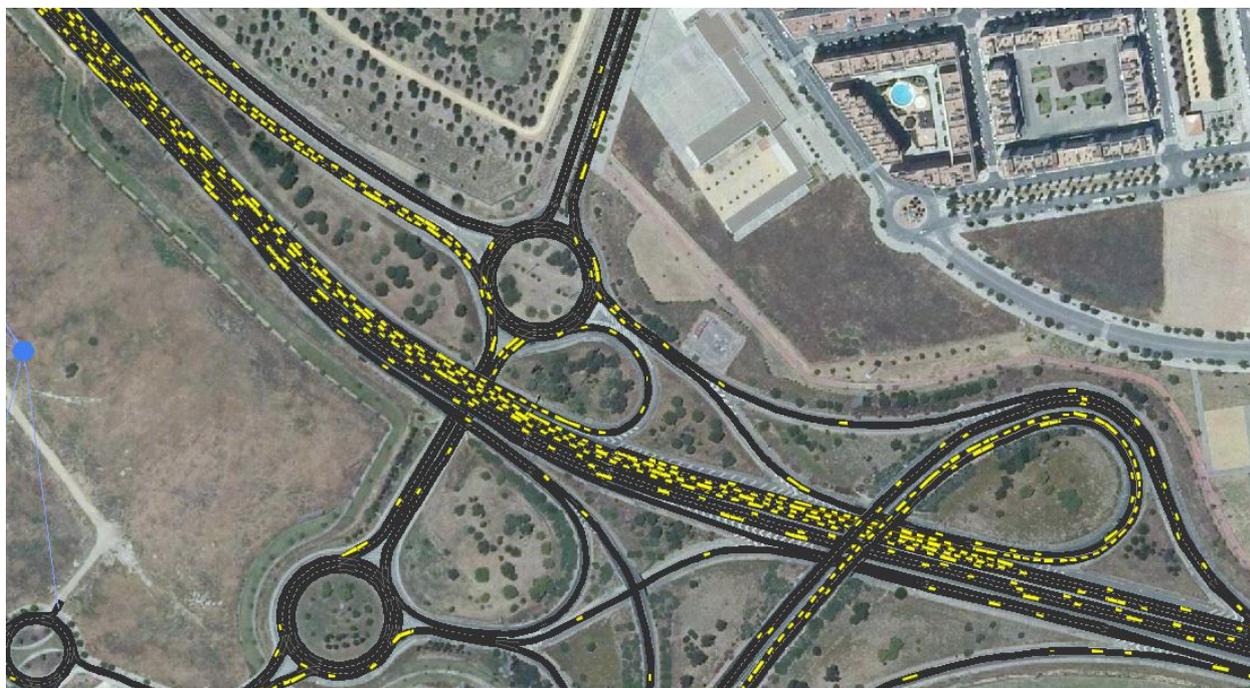


Ilustración 9-2 Formación de cola en la SE-30 en el escenario base

### 9.3.1.3 Resultados de la simulación

Interval Ending	Number of Trips	Trip Length (km)	VKT (km)	VHT (hrs)	Avg Speed (km/hr)
15:00:00	12.457	3,5	43.074,3	990,9	43,5
Completed Trips	12.457	3,5	43.074,3	990,9	43,5
Incomplete Trips	1.283	1,7	2.169,0	104,2	20,8
Queued Trips	5	n/a	n/a	0,0	n/a
Loaded Trips	834	3,7	3.061,7	56,2	54,4
<b>Entire Period</b>	<b>14.579</b>	<b>2,9</b>	<b>48.305,0</b>	<b>1.151,4</b>	<b>42,0</b>

Interval Ending	Delay (hrs)	Avg Delay (sec/km)	Stopped Time (hrs)	Avg Stopped Time (sec/km)	Number of Stops (hundreds)	Avg # Stops (stops/km)
15:00:00	463,7	38,1	91,7	6,9	283,3	0,6
Completed Trips	463,7	38,1	91,7	6,9	283,0	0,6
Incomplete Trips	77,9	n/a	44,9	n/a	88,0	n/a
Queued Trips*	0,0	0,0	n/a	n/a	n/a	n/a
Loaded Trips	18,3	21,8	0,6	0,8	3,0	0,1
<b>Entire Period</b>	<b>559,9</b>	<b>44,1</b>	<b>137,3</b>	<b>11,6</b>	<b>375,0</b>	<b>0,9</b>

Tabla 22 Resultados numéricos del escenario base

### 9.3.2 Escenario Intermedio

El Escenario Intermedio que se plantea a continuación emplea la misma geometría que el escenario base y que representa la configuración actual del sistema viario. Se cambia con respecto al anterior escenario la matriz de viajes, que incluirá los viajes generados y atraídos por el centro comercial.

Este escenario se trata por tanto de un escenario ficticio que representaría el comportamiento del tráfico en la zona de estudio implantando el centro comercial directamente, sin adoptar ninguna medida de mejora sobre la red, que tiene por objetivo mostrar las graves consecuencias que tendría su construcción si no se hubieran tomado medidas directas sobre el tráfico. Numerosos grupos sociales y entidades se hicieron eco de la necesidad de tomar medidas para hacer viable la posibilidad de desarrollar un centro comercial de tal envergadura en la zona, y con este escenario se pretende mostrar el importante impacto que hubiera tenido la actuación si no se hubiesen propuesto medidas alternativas para el tráfico

#### 9.3.2.1 Configuración del escenario

La geometría del escenario intermedio es la misma que en el escenario base, representa el sistema viario en su situación actual, incluyendo en la zona de implantación del centro comercial los diferentes accesos contemplados en el PGOU. Todos estos accesos se han conectado por medio de conectores a un único centroide con el que se representa el centro comercial.

La matriz empleada en este escenario añade a la matriz de viajes del escenario actual los viajes generados y atraídos por el centro comercial. Esta será la matriz que se empleará en el resto de los escenarios donde el centro comercial está presente

### 9.3.2.2 Análisis de funcionamiento del escenario



Ilustración 9-3 Mapa de velocidades del escenario intermedio

Tras realizar la simulación del escenario intermedio se ha podido comprobar que la implantación del centro comercial sin llevar a cabo ninguna medida adicional sobre el sistema viario tendría importantes impactos que supondrían graves problemas para el tráfico de la zona de estudio.

Nada más iniciar la simulación se observa que la avenida de la Raza se llena muy rápido, sobrepasando finalmente la glorieta de la Raza y llegando al colapso con la mayoría de los vehículos parados en ella. Este rápido crecimiento de la cola viene motivado por dos razones directamente ligadas al centro comercial:

- En primer lugar, se incrementa el número de vehículos que accede a la Glorieta Norte desde la SE-30 y desde la A-4, ya que los vehículos que deseen acceder al centro comercial procedentes de estas vías necesitan tomar dicha ruta. Ello pone en evidencia el problema de capacidad de la glorieta comentado en el escenario básico, ya que al discurrir por ella un elevado número de vehículos, el resto de los accesos se ven limitados, sobre todo el de la avenida de la Raza por el segundo motivo del colapso de dicha vía que se comenta a continuación.
- El otro problema que lleva al colapso de la avenida de la Raza tiene su origen en la salida de los vehículos del centro comercial a la avenida de Palmas Altas. Todas las salidas del centro comercial estarían en dicha avenida, lo que supone un problema importante ya que dicha avenida encaminaría a todos los vehículos que salen del centro comercial a la Glorieta de la Raza, donde deberían tomar obligatoriamente la avenida de la Raza para poder tomar cualquier ruta que les permita salir de la zona de estudio. Esto se debe a que la actual configuración de la avenida de Palmas Altas penaliza mucho tomar otro camino alternativo al no permitir el acceso directo a la Glorieta Sur. La única salida viable de forma rápida sería la de los vehículos que salen dirección el norte de la Raza, ruta que queda también inhabilitada cuando la cola colapsa la glorieta de la Raza.

El hecho de que la avenida de la Raza colapse dado el gran número de vehículos que sale del centro comercial implica que la mayor parte de estos quedan reclusos en el interior del centro comercial sin poder salir, o almacenados en la cola que se prolonga por la avenida de Palmas Altas desde la Glorieta de la Raza. La salida de los vehículos desde el centro comercial queda por tanto impedida en este escenario.

El aumento del número de vehículos accediendo a la Glorieta Norte, parte de la causa del colapso de la avenida de la Raza, es también el causante de que se produzca cola en la entrada a la glorieta desde la avenida de Dinamarca. Esta cola, que existe ya en la actualidad, supone un incremento de la congestión con respecto al escenario base.

El acceso al centro comercial se realiza, al igual que la salida, por la avenida de Palmas Altas. En este caso, todos los vehículos que acceden al centro comercial lo realizan atravesando tanto la Glorieta Norte como la Glorieta Sur, permitiendo el acceso durante el comienzo de la simulación sin problemas.

En cuanto al resto de elementos del sistema, los grandes colectores que son la SE-30 y la A-4 parecen experimentar una mejora en su comportamiento derivada de los problemas de la salida de los vehículos del centro comercial y el colapso de la avenida de la Raza.

En primer lugar, la cola provocada por el estrechamiento del puente del V Centenario parece que se descarga, debido sobre todo a que hay un gran número de vehículos atrapados en la avenida de la Raza y en la SE-30 que no llegan a acceder a la SE-30.

Debido a esto, la incorporación desde la Glorieta Norte se descarga mucho, y esta queda principalmente ocupada por los vehículos procedentes de la A-4 y la SE-30, que en su mayoría se dirigen hacia el centro comercial. La glorieta parece que no llega a colapsar en la gran mayoría de las simulaciones, debido al hecho de que los vehículos en cola en las avenidas de la Raza y de Dinamarca no llegan a entrar a la rotonda, ocupada por el gran número de vehículos que entran desde las arterias principales que se dirigen hacia la Glorieta Sur para entrar al centro comercial.

Por otro lado, la cola de la A-4 en el carril izquierdo no se llega a formar prácticamente salvo en minutos finales de alguna simulación donde la cola del puente del V Centenario llegar a prolongarse hasta dicha incorporación. La causa está en el menor número de vehículos que se incorporan a la SE-30 al estar la avenida de la Raza bloqueada, que provoca que la cola de la SE-30 tarde más en extenderse.

Si se forma cierta cola en este caso en el carril central de la A-4. El aumento de vehículos que acceden a la Glorieta Norte como consecuencia del tráfico del centro comercial provoca que, en el trenzado de acceso a la rotonda, donde confluyen los vehículos procedentes tanto de la SE-30 como de la A-4, se alcance el límite de su capacidad.

Se puede resumir, por tanto, que este escenario intermedio, aunque mejora en el funcionamiento de la SE-30 y la autovía A-4, lo hace como consecuencia del colapso de la avenida de la Raza por la salida de los vehículos del centro comercial. Con la simulación realizada se evidencia la total necesidad de tomar medidas para permitir la salida de los vehículos del centro comercial, sin que se produzcan impactos negativos en el resto de la red.

### 9.3.2.3 Resultados de la simulación

Interval Ending	Number of Trips	Trip Length (km)	VKT (km)	VHT (hrs)	Avg Speed (km/hr)
15:00:00	12.426	3,4	42.795,4	1.342,0	31,9
Completed Trips	12.426	3,4	42.795,4	1.342,0	31,9
Incomplete Trips	1.768	1,4	2.525,6	338,9	7,5
Queued Trips	1.725	n/a	n/a	477,8	n/a
Loaded Trips	913	3,6	3.284,1	82,3	39,9
<b>Entire Period</b>	<b>16.832</b>	<b>2,8</b>	<b>48.605,1</b>	<b>2.240,9</b>	<b>27,6</b>

Interval Ending	Delay (hrs)	Avg Delay (sec/km)	Stopped Time (hrs)	Avg Stopped Time (sec/km)	Number of Stops (hundreds)	Avg # Stops (stops/km)
15:00:00	813,5	83,5	151,0	16,2	295,7	0,9
Completed Trips	813,5	83,5	151,0	16,2	296,0	0,9
Incomplete Trips	303,0	n/a	210,9	n/a	94,0	n/a
Queued Trips*	477,7	0,0	n/a	n/a	n/a	n/a
Loaded Trips	40,9	51,8	20,8	27,8	11,0	0,4
<b>Entire Period</b>	<b>1.635,1</b>	<b>280,3</b>	<b>382,7</b>	<b>96,5</b>	<b>401,0</b>	<b>1,2</b>

Tabla 23 Resultados numéricos del escenario intermedio

### 9.3.3 Escenario Futuro

El Escenario Futuro se compone de la geometría de la zona de estudio en la situación futura tras el desarrollo del centro comercial y aquellas medidas específicas sobre el tráfico que serán adoptadas por el promotor para que los accesos al centro comercial tengan el mínimo impacto posible sobre el tráfico del entorno. La matriz que se emplea en el contiene los viajes generados y atraídos por el centro comercial.

El objetivo de este escenario es el de comprobar cómo afectará al tráfico la implantación del centro comercial en la situación futura, pudiendo ver el impacto que este generará sobre el tráfico, así como analizar la efectividad de las distintas propuestas de mejora del tráfico que llevará a cabo el promotor

#### 9.3.3.1 Configuración del escenario

La geometría de este escenario ha sido modificada con respecto a la geometría de los escenarios anteriores para incluir las medidas que se llevarán a cabo con la construcción del centro comercial para mejorar las condiciones de tráfico en la zona tras la implantación de este.

Tal y como se mostrará en la simulación del escenario futuro, la gran mayoría de las medidas sobre el tráfico propuestas por el promotor buscan solucionar parte de los problemas evidenciados en el escenario intermedio.

Las modificaciones que se han realizado son las siguientes:

- Se le ha añadido un tercer carril a la glorieta de la Raza, en previsión al uso que tendrá en la situación futura como consecuencia de que gran parte de las salidas del centro comercial están canalizadas por la avenida de Palmas Altas, que viene a verter a dicha rotonda.
- Se ha creado un carril deflector en la Glorieta Norte del acceso de la SE-30, para permitir el giro directo sin necesidad de entrar en la rotonda a los vehículos que procedan de la SE-30 desde el este, o los vehículos procedentes de la A-4, cuyo destino sea el barrio de los Bermejales
- Se ha añadido un carril en la salida de la Glorieta Sur del acceso de la SE-30, en la salida hacia la A-4 y SE-30, para contar con un carril hacia cada salida y permitir el trenzado de vehículos
- Se ha creado un acceso directo al centro comercial desde la SE-30, para los vehículos que vienen del puente del V Centenario. Dicho acceso parte del ramal de salida de la SE-30 y cruza de forma subterránea bajo la Glorieta Sur.
- Se han colocado los accesos de entrada y salida a la avenida de la Raza en la zona Norte de la parcela. Dichos accesos son en el mismo nivel en el sentido del tráfico hacia la Glorieta Norte, mientras que en el sentido hacia la avenida de la Raza son subterráneos.

Los nuevos accesos al centro comercial se han vinculado directamente por medio de conectores al centroide que representa el centro comercial, de forma que los vehículos optan por su acceso óptimo en función de la ruta que sigan.

La matriz de viajes de este escenario es la misma que la del escenario intermedio, e incluye los viajes atraídos y generados por el centro comercial.

### 9.3.3.2 Análisis de funcionamiento del escenario

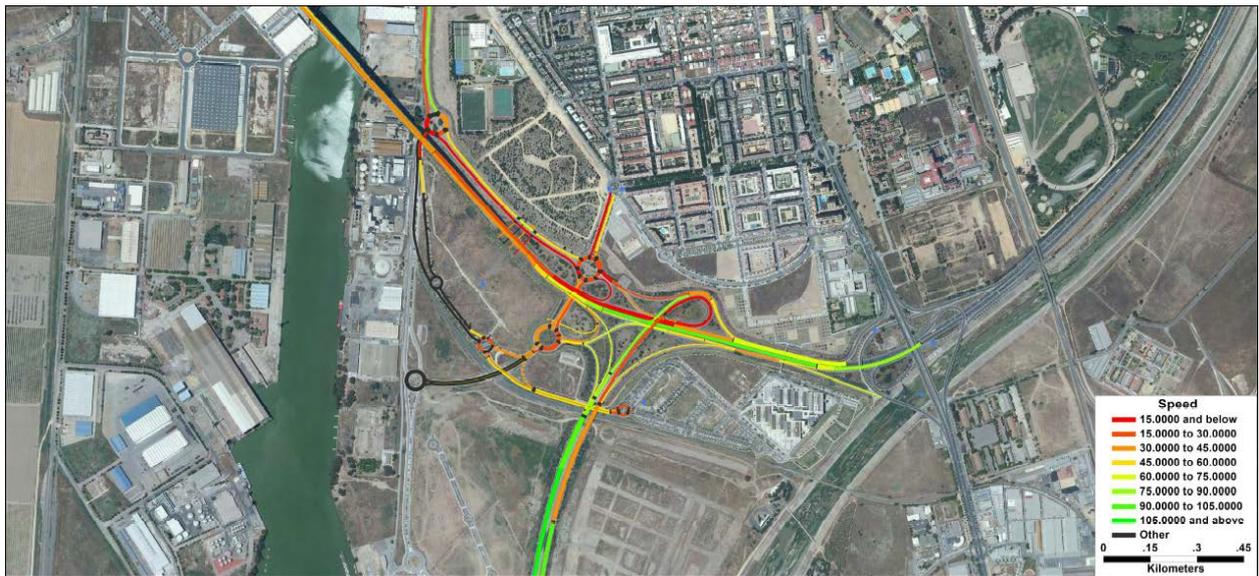


Ilustración 9-4 Mapa de velocidades del escenario futuro

Las medidas sobre el tráfico contempladas por el promotor tienen como objetivo minimizar el impacto sobre el tráfico de la zona de estudio. La gran mayoría de las medidas propuestas consiguen corregir gran parte de los problemas observados en el escenario intermedio para conseguir un comportamiento lo más parecido posible al del escenario base teniendo en cuenta el incremento de vehículos producido por la apertura del centro comercial en la zona de estudio.

El problema principal evidenciado en el escenario intermedio consistía en el colapso de la avenida de la Raza por la salida de todos los vehículos del centro comercial a la avenida de Palmas Altas. Entre las medidas adoptadas se han habilitado dos entradas y dos salidas directas a la avenida de la Raza.

Gracias a la entrada a nivel al centro comercial, los vehículos procedentes de la Raza pueden acceder desde la misma avenida sin tener que cruzar por toda la zona de las glorietas.

En cuanto a la entrada subterránea habilitada en la Raza para los vehículos que proceden de la Glorieta Norte, esta evita que los vehículos procedentes de la SE-30 desde Córdoba y la A-4 puedan acceder directamente sin cruzar totalmente la glorieta y sin tener que dirigirse hacia la Glorieta Sur. Con ello se reduce el número de vehículos que cruza en la rotonda norte por la entrada de la Raza, lo que permite que los vehículos procedentes de esta avenida puedan acceder a la glorieta y se reduzca en gran medida las colas que se producían en el escenario previo. Los vehículos de la avenida de Dinamarca siguen viéndose perjudicados, pero esta situación está presente también en la realidad. Los vehículos procedentes de los Bermejales también accederán por la entrada subterránea de la Raza.

Además de estas entradas se proyecta también realizar una entrada directa subterránea que parta del ramal de salida de la SE-30 para que los vehículos procedentes del puente del V Centenario puedan acceder de forma inmediata al centro comercial sin tener que pasar por las glorietas del enlace. De esta forma se consigue descargar el tráfico de las glorietas de un importante flujo de vehículos.

En cuanto a las salidas habilitadas en la Raza se han detectado problemas de distinto carácter en cada una de ellas.

En primer lugar, la salida subterránea de la Raza apenas cuenta con usuarios que la utilicen. El modelo se ha planteado uniendo todas las entradas y salidas del centro comercial a un único centroide de modo que cada vehículo elegirá la salida más adecuada en función de la ruta mínima que emplee. Los únicos vehículos a los que favorece dicha salida son aquellos cuya ruta de salida del centro comercial tenga como destino la avenida de la Raza. Estos vehículos no emplean esta salida por disponer de otra justo antes de la Glorieta de la Raza, que utilizan ya que minimiza los tiempos de ruta hacia su destino. En la realidad del escenario futuro habrá vehículos que, si puedan emplear esta salida por cercanía con respecto al aparcamiento, empleo de sistemas de guiado para la salida de los vehículos por los puntos más convenientes según las condiciones del tráfico... De todas formas,

el uso o no de esta salida en principio no repercute en el modelo, al estar localizada en una zona periférica y verter en las inmediaciones también de la salida que emplean los vehículos en las simulaciones realizadas.

En cuanto a la salida a nivel de la avenida de la Raza, ésta presenta graves problemas para la evacuación de vehículos del centro comercial. Aunque no se llega a los límites vistos en la situación intermedia, el elevado número de vehículos que circula por la Glorieta Norte provoca colas de vehículos en la avenida de la Raza. Esta cola, que ya está presente en el escenario base, se ve incrementada por los vehículos que salen del centro comercial por la salida a nivel. Estos vehículos son todos aquellos que se dirigen a cualquier destino salvo la Raza, ya que para todos los destinos la ruta mínima obliga a pasar a los vehículos por las glorietas del acceso de la SE-30 y la salida a nivel de la Raza es la más cercana. Conforme avanzan los minutos de simulación, la cola de la Raza se va incrementando, llegando un momento en el que alcanza la salida a nivel del centro comercial. A partir de este momento, la intersección de salida del centro comercial ve mermada en gran medida su capacidad. Como consecuencia de ello, un gran número de vehículos quedan atrapados sin salir del centro comercial. Este hecho provoca que el comportamiento global del modelo se asemeje a la situación actual vista en el escenario base. Esto es razonable, debido a que el incremento de vehículos producido por las salidas del centro comercial está limitado al no poder salir del mismo. Las entradas como se ha comentado sí funcionan adecuadamente.

Uno de los problemas detectados en el escenario intermedio era la formación de cola en el carril central de la A-4 como consecuencia de la confluencia de una gran cantidad de vehículos procedentes de la A-4 y la SE-30 en el acceso a la Glorieta Norte. Este problema ha sido solventado mediante la medida de crear un carril deflector para los vehículos que acceden en dicho acceso a los Bermejales. Con este carril se aumenta la capacidad del acceso, por un lado, y por otro se consigue descargar en parte la Glorieta Norte al derivar parte de los vehículos por el carril deflector.

Otra medida adoptada es la de crear un carril adicional en la salida de la Glorieta Sur hacia la SE-30 en sentido Córdoba y la A-4. Dicho carril permite establecer un carril para cada destino, y mejora su funcionamiento al aumentar la capacidad, ya que aumenta el tráfico por la vía al ser utilizada por gran parte de los vehículos que salen del centro comercial.

En cuanto al desdoble previsto de la avenida de Palmas Altas, en la configuración analizada apenas supone una mejora, ya que apenas circula tráfico por dicha avenida. Esta medida tendrá sentido en futuras previsiones que se traduzcan en un incremento de tráfico en la avenida.

En resumen, el escenario futuro se comporta de forma muy similar al escenario base que representa la situación actual. La entrada de los vehículos se produce de forma adecuada por medio de las medidas adoptadas sin presentar ningún tipo de problema. La configuración de entradas adoptada optimiza la entrada de los vehículos al centro comercial desde la SE-30 en ambos sentidos, de donde provienen el mayor número de vehículos. Sin embargo, las salidas del centro comercial tal y como están diseñadas provocan que los vehículos queden almacenados en el interior del centro comercial o en la avenida de Palmas Altas cuando la cola de la avenida de la Raza alcanza la glorieta. Este impedimento en la salida de los vehículos provoca que el resto de la zona de estudio no reciba el efecto del incremento de viajes que produciría la salida de vehículos del centro comercial y hace que las simulaciones reproduzcan como resultado un comportamiento muy similar al que se tiene en la actualidad visto en el escenario base. Con las medidas tomadas por el promotor, es cierto que el impacto producido por el centro comercial sería escaso al tener un comportamiento muy parecido, sin embargo, sería a costa de impedir la salida de los vehículos del centro comercial.

El almacenamiento de los vehículos en el centro comercial tendría como posible consecuencia a nivel de tráfico en la zona de estudio el hecho de que la hora punta pudiera prolongarse un mayor tiempo, consiguiendo que la zona presentara durante más tiempo que la hora punta la situación de colapso que ya suele tener durante esta. A nivel del propio centro comercial, el impedimento de las salidas de los vehículos es una deficiencia grave de cara al usuario. Los clientes del centro comercial una vez experimentaran colas de horas para poder salir del centro comercial durante la hora punta del medio día acabarían evitando dichas horas para salir. Ante esa tesitura, o los clientes prolongarían su estancia en el centro comercial hasta pasada la hora punta, o tomarían la solución más drástica de evitar acudir al centro comercial en horario de mañana si tienen previsión de salir a medio día.

### 9.3.3.3 Resultados de la simulación

Interval Ending	Number of Trips	Trip Length (km)	VKT (km)	VHT (hrs)	Avg Speed (km/hr)
15:00:00	12.862	3,4	43.165,0	1.383,5	31,2
Completed Trips	12.862	3,4	43.165,0	1.383,5	31,2
Incomplete Trips	1.660	1,5	2.449,0	189,1	12,9
Queued Trips	1.336	n/a	n/a	312,2	n/a
Loaded Trips	965	3,6	3.450,1	71,1	48,5
<b>Entire Period</b>	<b>16.823</b>	<b>2,8</b>	<b>49.064,0</b>	<b>1.955,9</b>	<b>25,1</b>

Interval Ending	Delay (hrs)	Avg Delay (sec/km)	Stopped Time (hrs)	Avg Stopped Time (sec/km)	Number of Stops (hundreds)	Avg # Stops (stops/km)
15:00:00	851,6	85,7	151,0	15,6	371,2	1,0
Completed Trips	851,6	85,7	151,0	15,6	371,0	1,0
Incomplete Trips	158,6	n/a	67,3	n/a	114,0	n/a
Queued Trips*	312,1	0,0	n/a	n/a	n/a	n/a
Loaded Trips	27,9	33,0	3,7	6,0	9,0	0,4
<b>Entire Period</b>	<b>1.350,2</b>	<b>171,2</b>	<b>221,9</b>	<b>27,2</b>	<b>494,0</b>	<b>1,3</b>

Tabla 24 Resultados numéricos del escenario futuro

### 9.3.4 Escenario Solución propuesta

En este escenario la geometría se ha modificado con respecto al escenario futuro para contemplar algunas medidas razonables que podrían adoptarse en el área de estudio para intentar mejorar las condiciones de tráfico con respecto a las condiciones futuras.

Con esta simulación se pretende plantear un conjunto de medidas que podrían ser ejecutadas en la zona de estudio, sin excesivo coste y con viabilidad técnica, para asegurar la salida de vehículos del centro comercial y que el impacto del centro comercial sobre el tráfico del entorno del centro comercial sea el mínimo posible para crear las menores afecciones en una zona que se encuentra ya de por sí al borde del colapso.

Una de las medidas estudiadas consiste en el cambio de sentido del carril reversible del puente del V Centenario, por lo que se analizará el conjunto de medidas propuestas en el caso de que el carril reversible funcione en sentido Huelva y en el caso de mantenerlo en sentido Córdoba. Esta medida lleva a resultados radicalmente diferentes, por lo que se analizará considerando las simulaciones por separado.

En este escenario se empleará la misma matriz de viajes que en los dos escenarios anteriores

#### 9.3.4.1 Configuración del escenario

La geometría de este escenario parte de la geometría del escenario futuro con las medidas expuestas en el punto anterior. Sobre esta base, se han planteado una serie de medidas en vista a los problemas detectados en las simulaciones previas que buscan mejorar el funcionamiento del sistema viario de la zona de estudio.

El conjunto de medidas que se han planteado para mejorar el comportamiento del tráfico son las siguientes:

- Creación de un carril de incorporación en la salida del centro comercial de la avenida de la Raza en sentido hacia la Glorieta Norte.

Esta medida viene motivada por los problemas evidenciados en el Escenario Futuro para la salida de vehículos del centro comercial. Debido a la cantidad de vehículos que emplean la Glorieta Norte, que es uno de los puntos más cargados del área de estudio, a lo largo de la avenida de la Raza se forman colas que pueden llegar a alcanzar en ciertas ocasiones la glorieta de la Raza. Cuando esta cola formada a la entrada de la Glorieta Norte alcanza la salida de vehículos en el Escenario Futuro, los vehículos que toman la salida de la avenida de la Raza quedan atrapados, bloqueando por tanto los viajes que toman esta salida con destino la SE-30 en ambos sentidos, la A-4 y los Bermejales.

Para evitar que la cola bloquee la salida del centro comercial se ha creado un nuevo carril que se prolonga desde la salida hacia la Glorieta Norte, de forma que los vehículos encuentran este carril libre y pueden salir del centro comercial sin problemas.

Esta medida es técnicamente viable, ya que la avenida de la Raza cuenta con grandes arcones en dicho tramo que podrían aprovecharse para el desarrollo de un tercer carril para la incorporación de los vehículos desde la salida del centro comercial.

- Creación de un carril deflector en la Glorieta Norte para permitir los giros a la derecha desde la avenida de la Raza hacia la Glorieta Sur.

Se trata de una medida cuya función viene a complementar la medida anterior ya que este carril deflector es una prolongación del carril de incorporación de salida del centro comercial.

El carril permite descargar en cierta medida la Glorieta Norte, que ya se encuentra cerca del colapso en el Escenario Actual, al permitir girar a la derecha a aquellos vehículos que se dirijan hacia la Glorieta Sur evitando que entren en la glorieta y mejorando su funcionamiento.

Para su desarrollo habría que destinar una pequeña parte de la superficie de la parcela del centro comercial, por lo que no supondría una gran inversión.

- Creación de una salida del centro comercial directa al viario entre las Glorietas Norte y Sur.

La creación de esta salida cumple con dos objetivos. Por un lado, facilita el acceso directo a los vehículos que vayan a tomar la Glorieta Sur, es decir, aquellos que se dirijan hacia la SE-30 en sentido este o hacia la A-4. Con esto, se cumple también con el objetivo de descargar de tráfico la Glorieta Norte, al evitar que estos flujos tengan que tomarla, liberándola de un importante número de vehículos.

Aunque esta salida no está contemplada en las actuaciones del promotor, en el PGOU se observa que se creará un viario perimetral alrededor del centro comercial para permitir la salida de los vehículos localizados en el aparcamiento en superficie. Un acceso podría realizarse de forma sencilla conectando a dicho viario perimetral

- Prolongación del carril de incorporación a la SE-30 desde la Glorieta Norte.

Uno de los puntos principales que genera el colapso de todo el sistema cuando llega al límite de su capacidad es la Glorieta Norte. El colapso de esta glorieta se ha comprobado que se provoca en los escenarios anteriores cuando la cola del puente del V Centenario alcanza el carril de aceleración y los vehículos no cuentan con espacio suficiente para incorporarse. Cuando esto ocurre se forma una cola en el carril de incorporación que acaba llegando hasta la Glorieta Norte y que provoca que esta colapse.

Dado que en la actualidad dicho carril es insuficiente, la prolongación de este carril facilitaría la incorporación de los vehículos a la SE-30 al contar con más espacio para ello, lo que mejoraría la capacidad de la incorporación para tratar de evitar el colapso de la glorieta.

En la actualidad, una vez que finaliza el carril de incorporación, la SE-30 cuenta con un pequeño tramo antes del puente del V Centenario donde el arcén cuenta con anchura suficiente para plantear este incremento de longitud del carril.

- Cambio de sentido del carril reversible del puente del V Centenario para disponer tres carriles en el sentido hacia Huelva.

Aunque la Glorieta Norte supone el punto más crítico para el colapso del tráfico en toda la zona de estudio, esta llega al límite de su capacidad cuando la cola del puente del V Centenario alcanza la incorporación a la SE-30 desde la glorieta. El problema de tráfico de la zona proviene por tanto del cuello de botella que supone el puente al pasar de tres carriles la SE-30 a dos.

El cambio de sentido del carril reversible en principio solucionaría el problema al quitar ese cuello de botella, pero trasladaría el problema fuera de la zona de estudio a los vehículos que vienen en el otro sentido al reducirles el número de carriles en el puente.

De hecho, el flujo de vehículos que bajan el puente en sentido Córdoba es superior al que lo haría en sentido Huelva en el escenario futuro. A pesar de ello, es evidente que ambos flujos son de gran

envergadura. La congestión que genera el cuello de botella provoca problemas importantes cuando la cola alcanza alguna incorporación. Cuando no interfiere con ninguna incorporación el tráfico es lento, pero no se producen paradas. La incorporación de la SE-30 desde la Glorieta Norte, por la que discurre gran parte del tráfico procedente del centro comercial, se encuentra a mitad de distancia que la incorporación al otro lado del río del cuello de botella que les correspondería. Por tanto, a priori el cuello de botella es más desfavorable cuando el carril reversible deja solo dos carriles en sentido hacia Huelva.

Como el volumen de tráfico en sentido Huelva se incrementará con el desarrollo del centro comercial, una de las opciones que se deberá estudiar es la de modificar el sentido del carril reversible durante la hora punta.

Ante ello, se realizará un estudio del funcionamiento de esta medida a escala únicamente de la zona de estudio, para observar el comportamiento que tendría en el tráfico en el entorno del centro comercial, sin entrar a valorar sus consecuencias a escala metropolitana, que deberían analizarse en estudios futuros para observar las posibles afecciones de esta medida.

Con todo ello, se han realizado dos escenarios con todas las medidas propuestas en los puntos anteriores, variando el sentido del carril reversible en cada caso para analizar su funcionamiento

En cuanto a la matriz de viajes empleada, al igual que en el resto de los escenarios que representan una situación futura, en este se emplea la matriz que contiene los viajes atraídos y generados por el centro comercial.

#### 9.3.4.2 Análisis de funcionamiento del escenario

A continuación, se realizará un análisis del comportamiento de los escenarios con las medidas propuestas diferenciando en este caso las simulaciones realizadas en función de la configuración del sentido del carril reversible adoptadas, ya que cada caso presenta un comportamiento radicalmente distinto

##### 9.3.4.2.1 Carril reversible abierto en sentido Córdoba

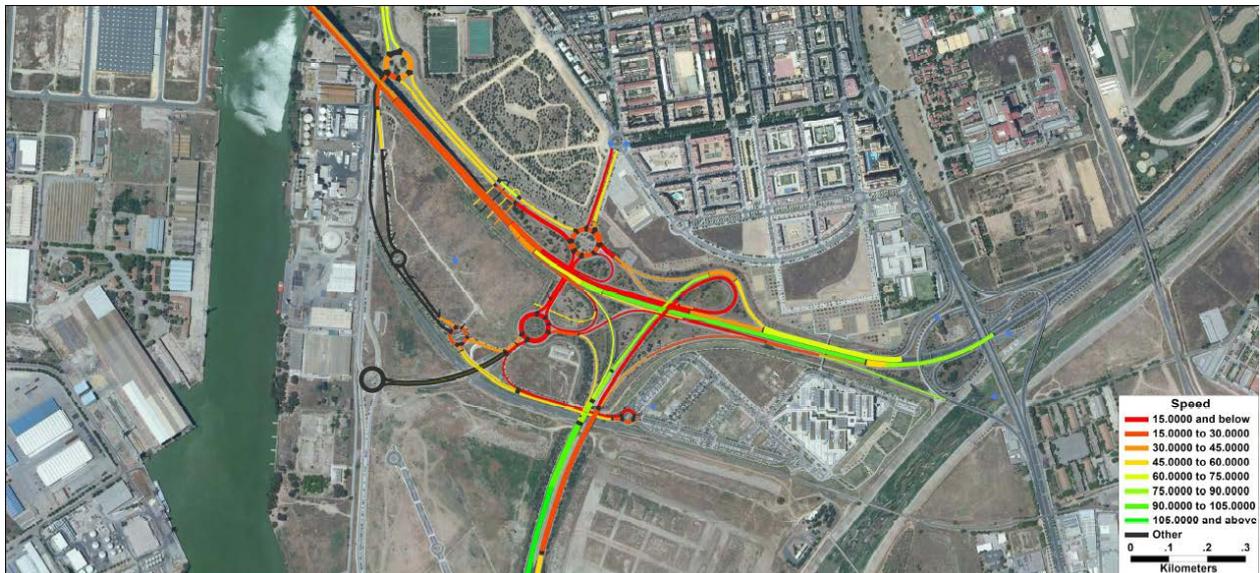


Ilustración 9-5 Mapa de velocidades del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Córdoba

Tras haber analizado el comportamiento del escenario futuro con las medidas sobre el tráfico que se llevarán a cabo junto a la construcción del centro comercial, se ha observado que, aunque el comportamiento en las vías principales del escenario futuro presenta pocas diferencias respecto al escenario base, esto es consecuencia directa de encontrarse impedida la correcta salida de los vehículos del centro comercial.

Como consecuencia de ello, en un primer lugar las medidas adoptadas para mejorar el escenario futuro han ido encaminadas a permitir una correcta salida de los vehículos del centro comercial. Permitiendo una completa evacuación del centro comercial se podrá evaluar el impacto real que tendría la implantación del centro comercial si todos los vehículos que fueran a acceder o a salir del mismo pudieran realizar estos trayectos adecuadamente.

La primera medida que se ha planteado ha sido la creación de un carril de incorporación en la salida a nivel de la avenida de la Raza acompañada de un carril deflector en la Glorieta Norte. Esta medida ha supuesto una gran mejora para la salida de los vehículos tal y como se ha podido comprobar en la simulación, ya que los vehículos realizan su salida correctamente del centro comercial y se evita la formación de cualquier tipo de cola en la avenida de la Raza. De esta forma, todos los vehículos procedentes de la Raza pueden acceder sin problemas a la Glorieta Norte.

Esta primera medida se ha complementado con la creación de una nueva salida entre las Glorietas Norte y Sur. Con esta salida se ha descargado bastante de tráfico la Glorieta Norte, ya que, por medio de ella, todos los vehículos que se dirigen hacia la SE-30 en sentido Córdoba, hacia la autovía A-4 o hacia el campus Palmas Altas acceden directamente a la Glorieta Sur evitando pasar por la Norte.

La última medida complementaria adoptada ha sido la prolongación del carril de incorporación a la SE-30 de los vehículos procedentes de la Glorieta Norte. Este carril es bastante corto y los vehículos no pueden realizar la incorporación correctamente, por lo que acaban quedando acumulados en el carril de incorporación. Con esta medida en principio se busca incrementar la capacidad y lograr algo de margen para que la cola del carril de incorporación tarde más en llegar a la glorieta.

En principio estas medidas consiguen que los vehículos almacenados en el centro comercial logren salir del mismo y puedan incorporarse al viario de la zona de estudio. Esto se observa en las simulaciones del escenario, donde los vehículos salen fluidamente del centro comercial. El hecho de conseguir que los vehículos salgan del centro comercial tiene sin embargo consecuencias nefastas para el tráfico del resto del área de estudio, algo que cuenta con bastante lógica al estar cargando al sistema viario con un volumen notablemente mayor.

Durante los primeros minutos de la simulación el tráfico es bastante fluido y los vehículos pueden entrar y salir ya en el estado base se encuentra al borde de su capacidad. Ir del centro comercial sin ningún tipo de problema. Los problemas empiezan a aparecer conforme van pasando los minutos y avanza la simulación, estando el momento crítico en el mismo instante que en el resto de los escenarios, en el momento en el que la cola formada en la SE-30 por el estrechamiento en el puente del V Centenario alcanza la incorporación desde la Glorieta Norte.

Dado que se ha logrado la salida de los vehículos del centro comercial, estos ya no quedan retenidos, lo que junto a las medidas tomadas para mejorar el tráfico en la Glorieta Norte con los carriles deflectores y las salidas alternativas, hacen que el número de vehículos que se incorporan a la SE-30 hacia el puente del V Centenario sea mucho mayor. Esto provoca, y puede apreciarse en la simulación, que la cola provocada por la reducción del número de carriles vaya creciendo y alargándose por la SE-30 a un ritmo mayor que en el resto de los escenarios simulados previamente.

Esta cola provoca a su vez el colapso de la incorporación desde la Glorieta Norte, incluso habiendo aumentado su capacidad al alargar el carril de incorporación. Cuando la cola del carril de incorporación alcanza la Glorieta Norte, esta colapsa, creándose colas en el resto de los ramales de entrada, siendo especialmente crítico el ramal localizado entre las Glorietas Norte y Sur.

A la vez que se producen los problemas del párrafo anterior, dado que ahora salen todos los vehículos del centro comercial, además de colapsar antes la incorporación de la SE-30 de la Glorieta Norte, se produce también el colapso del trenzado de los vehículos que se incorporan a la SE-30 en sentido Córdoba desde la Glorieta Sur y la A-4, con los vehículos que trenzan hacia la N-IV. Se observa que con el incremento del tráfico producido este carril de trenzado colapsa, produciéndose colas en el ramal de la A-4 que se prolongan hasta el carril derecho de la autovía, así como en el ramal que va hacia la Glorieta Sur.

Cuando la cola producida por el colapso de la Glorieta Norte alcanza la Glorieta Sur, y la cola producida por el colapso del trenzado de acceso a la SE-30 en sentido Córdoba alcanza también la Glorieta Sur, esta acaba colapsando también, provocando el colapso total del tráfico de la zona de estudio. De esta forma quedan bloqueados todos los accesos a ambas glorietas produciéndose colas en todos ellos, que provocan que las salidas del centro comercial queden bloqueadas.

De esta forma se hace visible el hecho de que la implantación del centro comercial en la zona de estudio provocaría el colapso de ésta si los vehículos accedieran y salieran del mismo en condiciones adecuadas, ya que hay varios elementos del sistema viario al límite de su capacidad en el escenario base que llegarían al límite con el incremento en el número de vehículos producido. Son especialmente críticas las dos glorietas del acceso a la

SE-30, ya que cuando estas colapsan colapsa el resto de las vías colindantes a la misma.

Con este escenario, por tanto, se hace evidente que el diseño de accesos y salidas adoptados por el centro comercial en el escenario futuro tiene como objetivo contener la salida de vehículos y favorecer las entradas, para que el impacto producido por el centro comercial sea mínimo y se asemeje a la situación actual (aunque esta ya se encuentre al borde del colapso). Se está por tanto en la tesitura de bloquear la salida de vehículos del centro comercial, conteniéndolos para mantener una situación de tráfico parecida a la actual, o permitir dicha salida y acabar provocando el colapso de todo el sistema por el incremento de vehículos circulando por toda la red. Ante ello, será preciso establecer alguna medida adicional que consiga evitar el colapso de la zona de estudio y permita la salida y entrada de vehículos del centro comercial. Esto se analiza en el siguiente punto.

#### 9.3.4.2.2 Carril reversible abierto en sentido Huelva



Ilustración 9-6 Mapa de velocidades del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Huelva

Analizado en el punto anterior el comportamiento de las simulaciones del modelo del escenario con las diversas propuestas de mejora, que consiguen asegurar la salida de los vehículos del centro comercial, se observó que el incremento del número de vehículos en la zona de estudio acaba provocando el colapso del tráfico. Es preciso por ello analizar un nuevo escenario con alguna propuesta que solucione este problema.

El origen del colapso de la zona de estudio, y de todos los problemas que surgen respecto al tráfico en ella, es la reducción del número de carriles en la SE-30 con el carril reversible del puente del V Centenario. La configuración del carril reversible en la hora punta del mediodía deja el sentido hacia Huelva con tan solo dos carriles, lo que supone un cuello de botella que provoca colas en la SE-30.

Como se ha visto en el punto previo, el incremento del número de vehículos que accede a la SE-30 tras asegurar la salida de vehículos del centro comercial provoca que la formación de esta cola se produzca de forma mucho más rápida, apareciendo el problema principal cuando alcanza la incorporación de la Glorieta Norte, que acaba llevando al colapso de esta y de todo el sistema.

La solución al problema debería estar por tanto en evitar dicho cuello de botella. Dado que aumentar el número de carriles no es una solución técnica viable, la mejora que se propone junto a las descritas en el punto previo, es la de cambiar la configuración del carril reversible en la hora punta del mediodía del viernes, para disponer de tres carriles en el sentido hacia Huelva.

Esta medida lleva el objetivo de alcanzar una solución viable a la implantación del centro comercial, y se centra únicamente en el área de estudio. Una modificación de tal calibre sobre la red deberá llevar un estudio a nivel del área metropolitana para ver cómo afecta dicho cambio al funcionamiento de la SE-30, pues es obvio que el cambio del estrechamiento al otro sentido provocaría demoras al otro lado del puente.

Aunque son más los vehículos que llegan al puente desde Huelva que los que lo toman en esa dirección, la medida puede suponer una solución razonable que podría ser viable adoptar. Por un lado, aunque el estrechamiento provoca demoras en el tráfico y colas, el flujo de vehículos es continuo y los vehículos no dejan

de estar parados. Por otro lado, los problemas más importantes se ha visto que se han generado en el resto de escenario cuando la cola de vehículos producida por el estrechamiento alcanza alguna incorporación y limita la capacidad de esta al dificultar el acceso de los vehículos. Teniendo en cuenta esto, y que en la orilla oeste del río hay menos intersecciones, se encuentran mucho más alejadas y son de menor entidad que el nudo de la SE-30 con la A-4, es razonable plantear como posible solución el cambio de sentido del carril reversible.

Cuando se adopta esta medida, se observa que el comportamiento de toda el área de estudio es razonablemente adecuado en todas las simulaciones, mejorando el comportamiento de la situación actual visto en el escenario base.

Durante los primeros minutos de simulación todo el sistema viario funciona correctamente de forma aparente. Tan solo se forma cola en el acceso a la Glorieta Norte por la avenida de Dinamarca, cola existente en la actualidad, por el elevado número de vehículos que cruzan la rotonda accediendo desde la SE-30 y la A-4.

En este escenario la cola del V Centenario que colapsaba los accesos desde las glorietas no se llega a formar, dado el aumento de capacidad que supone el haber cambiado el sentido del carril reversible, además de haber eliminado el cuello de botella. Si aparecerán retenciones en el otro sentido en la orilla contraria del río, al haber establecido allí el cuello de botella, pero cuyo análisis escapa de este estudio, ya que debería analizarse a nivel del área metropolitana al completo.

En este caso si aparece, al igual que en el caso anterior, el colapso en el tramo de trenzado de acceso a la SE-30 en sentido Córdoba y la N-IV. El número de vehículos que llega desde la SE-30, la Glorieta Sur y la A-4 es bastante elevado, ya que un gran número de vehículos que salen del centro comercial toman esta ruta, haciendo que el tramo de trenzado llegue al límite de su capacidad, cuando esto ocurre se forman colas en el ramal de la A-4, que se prolongan en el carril derecho de la autovía. También causa colas en la incorporación desde la Glorieta Sur, aunque en este caso no llega a alcanzar la rotonda, por lo que se evita su colapso.

Por otra parte, la congestión que se produce al otro lado del puente como consecuencia del cambio del sentido del carril reversible si provoca que queden vehículos almacenados antes del cuello de botella y que por tanto no estén entrando todos los vehículos que deberían al área de estudio, por lo que este efecto ayuda a que se descongestione gran parte del sistema viario.

Con este escenario se muestra, que adoptando la medida del cambio del carril reversible junto al resto de medidas propuestas que permiten la salida de los vehículos de la zona de estudio, se logra un escenario viable en el que se consigue disminuir al mínimo el impacto del centro comercial y lograr el funcionamiento de la zona de estudio. Quedaría por tanto analizar en estudios posteriores, a nivel del área metropolitana, la viabilidad de la medida del cambio de sentido del carril, con el fin de comprobar que no surjan problemas de mayor entidad en algún otro punto de la SE-30 y evaluar entonces que sentido es el óptimo tras la apertura del centro comercial.

### 9.3.4.3 Resultados de la simulación

Al igual que en el apartado anterior, a continuación, se mostrarán los resultados obtenidos de las simulaciones, diferenciando los resultados para cada escenario en función del sentido del carril reversible.

#### 9.3.4.3.1 Carril reversible abierto en sentido Córdoba

Interval Ending	Number of Trips	Trip Length (km)	VKT (km)	VHT (hrs)	Avg Speed (km/hr)
15:00:00	12.717	3,3	41.512,4	1.541,1	26,9
Completed Trips	12.717	3,3	41.512,4	1.541,1	26,9
Incomplete Trips	1.881	1,4	2.709,3	281,9	9,6
Queued Trips	1.442	n/a	n/a	120,5	n/a
Loaded Trips	860	3,6	3.065,8	57,9	53,0
<b>Entire Period</b>	<b>16.900</b>	<b>2,8</b>	<b>47.287,5</b>	<b>2.001,3</b>	<b>23,6</b>

Interval Ending	Delay (hrs)	Avg Delay (sec/km)	Stopped Time (hrs)	Avg Stopped Time (sec/km)	Number of Stops (hundreds)	Avg # Stops (stops/km)
15:00:00	1.029,7	101,8	249,9	23,7	549,1	1,5
Completed Trips	1.029,7	101,8	249,9	23,7	549,0	1,5
Incomplete Trips	247,2	n/a	102,7	n/a	137,0	n/a
Queued Trips*	120,4	0,0	n/a	n/a	n/a	n/a
Loaded Trips	19,6	24,2	0,7	1,1	4,0	0,2
<b>Entire Period</b>	<b>1.416,9</b>	<b>166,5</b>	<b>353,4</b>	<b>44,6</b>	<b>689,0</b>	<b>1,8</b>

Tabla 25 Resultados numéricos del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Córdoba

#### 9.3.4.3.2 Carril reversible abierto en sentido Huelva

Interval Ending	Number of Trips	Trip Length (km)	VKT (km)	VHT (hrs)	Avg Speed (km/hr)
15:00:00	12.975	3,3	42.835,5	1.523,3	28,1
Completed Trips	12.975	3,3	42.835,5	1.523,3	28,1
Incomplete Trips	1.171	1,6	1.835,4	182,7	10,0
Queued Trips	1.825	n/a	n/a	216,6	n/a
Loaded Trips	975	3,6	3.518,0	72,2	48,7
<b>Entire Period</b>	<b>16.946</b>	<b>2,8</b>	<b>48.189,0</b>	<b>1.994,8</b>	<b>27,1</b>

Interval Ending	Delay (hrs)	Avg Delay (sec/km)	Stopped Time (hrs)	Avg Stopped Time (sec/km)	Number of Stops (hundreds)	Avg # Stops (stops/km)
15:00:00	994,2	92,0	61,5	7,8	218,7	0,7
Completed Trips	994,2	92,0	61,5	7,8	219,0	0,7
Incomplete Trips	159,9	n/a	7,5	n/a	22,0	n/a
Queued Trips*	216,5	0,0	n/a	n/a	n/a	n/a
Loaded Trips	28,3	30,2	1,0	1,3	6,0	0,2
<b>Entire Period</b>	<b>1.399,0</b>	<b>168,1</b>	<b>70,0</b>	<b>8,8</b>	<b>246,0</b>	<b>0,7</b>

Tabla 26 Resultados numéricos del escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Huelva

## 9.4 Comparativa de resultados

En este apartado se va a realizar una comparativa de los resultados numéricos obtenidos en los distintos escenarios, para el periodo completo de simulación. Con este análisis se pretende comprobar cómo afectan las distintas medidas propuestas en cada escenario a las estadísticas de los viajes más relevantes de cada escenario simulado, con el objetivo de evaluar la efectividad de las mismas con respecto a los valores del escenario base calibrado.

### 9.4.1 Estadísticas generales de los viajes

En la tabla que se incluye a continuación se muestran las estadísticas de los viajes totales para cada uno de los escenarios de simulación:

	Escenario Base	Escenario Intermedio	Escenario Futuro	Sol. Sentido Córdoba	Sol. Sentido Huelva
<b>N° Trips</b>	14.579	16.832	16.823	16.900	16.946
<b>Trip Length</b>	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8
<b>VKT (km)</b>	48.305	48.605,9	49.064	47.287,5	48.189
<b>VHT (h)</b>	1.151,4	2.240,9	1.955,9	2.001,3	1.994,8
<b>Avg Speed (km/h)</b>	42	27,6	25,1	23,6	27,1
<b>Delay (h)</b>	559,9	1.635,1	1.350,2	1.416,9	1.399
<b>Avg Delay (s/km)</b>	44,1	280,3	171,2	166,5	168,1
<b>Stopped Time (h)</b>	137,3	382,7	221,9	353,4	70
<b>Avg Stop. T. (s/km)</b>	11,6	96,5	27,2	44,6	8,8
<b>N° Stops (cientos)</b>	375	401	494	689	246
<b>Avg N° Stops (/km)</b>	0,9	1,2	1,3	1,8	0,7
<b>Completed Trips</b>	85,45 %	73,82 %	76,46 %	75,25 %	76,57 %
<b>Incomplete Trips</b>	8,80 %	10,50 %	9,87 %	11,13 %	6,91 %
<b>Queued Trips</b>	0,03 %	10,25%	7,94 %	8,53 %	10,77 %
<b>Loaded Trips</b>	5,72 %	5,42 %	5,74 %	5,09 %	5,75 %

Tabla 27 Estadísticas de los viajes de todos los escenarios de simulación

En primer lugar, se debe indicar que la mayor parte de las estadísticas de viajes vendrán condicionadas por el número de viajes presentes en cada escenario. Esto favorece al escenario base con respecto al resto de escenarios, ya que está cargado con un menor número de viajes, aproximadamente unos 14.600 frente a los 16.900 presentes en los escenarios futuros. Al presentar un número inferior de viajes su comportamiento será a priori favorable, ya que el escenario actual se encuentra al límite de su capacidad, y las modificaciones introducidas en el tráfico por el incremento en el número de viajes acaba favoreciendo que se den condiciones de inestabilidad en el tráfico.

En cuanto a la longitud de los viajes, estas son similares en todos los escenarios, reduciéndose ligeramente a 2,8 kilómetros en los escenarios futuros al introducirse el centro comercial, cuyo centroide se localiza en un punto interior del sistema viario.

De la misma manera, el parámetro VKT, que mide los kilómetros recorridos por todos los vehículos de cada simulación presenta también un valor del mismo orden de magnitud en todos los escenarios. Debería ser inferior en el escenario base al contar con un menor número de viajes que el resto, pero puede explicarse el hecho de que presente valores parecidos por el mayor porcentaje de viajes completos que se producen en la situación actual con respecto a las situaciones futuras. La diferencia se hace especialmente notoria para el VHT, que mide los tiempos de viaje de todos los vehículos del escenario, cuyo valor en las situaciones futuras planteadas es de aproximadamente el doble con respecto al escenario base.

En cuanto a la velocidad media de los vehículos, esta desciende en los escenarios futuros, pasando de 42 km/h

a unos 25km/h de media, lo que es indicativo de que, de forma general, se produce una mayor situación de congestión. Esto se confirma observando los valores de las demoras totales de todos los vehículos, cuyo valor se duplica en este caso en los escenarios futuros, ya que se pasa de unas 700 horas, a unas 1.400 horas de media. Entrando a valorar la demora media por vehículo en los trayectos se observa que el incremento en las situaciones futuras es aún más acusado, ya que se incrementa de 44 segundos a una media de 170 segundos, siendo especialmente desfavorable en el escenario intermedio en el que este valor alcanza los 280 segundos, lo que evidencia el colapso que provoca este escenario.

En cuanto a los tiempos y números de parada de los vehículos, tanto el total como la media para cada vehículo, se observan importantes diferencias entre todos los escenarios, siendo indicativo de la magnitud de las colas que se producen en cada uno de los escenarios. En este caso se observa, que el escenario solución con el carril reversible abierto en sentido Huelva se consiguen mejorar los resultados con respecto al escenario base.

Por último, se observa la composición de los viajes en cada escenario, mostrando el porcentaje de viajes completos, el porcentaje de incompletos que no consiguen llegar al destino, aquellos viajes que se quedan en cola sin llegar a salir del centroide, y el porcentaje de viajes que comienzan la simulación cargados durante la precarga. Se puede ver que el escenario base presenta un mayor número de viajes completos con respecto a los escenarios futuros, en los que el porcentaje de vehículos en cola es significativamente superior.

Dado que todas las estadísticas se han obtenido teniendo en cuenta todos los tipos de viajes existentes en las simulaciones, el hecho de que se produzcan retenciones puntuales cerca de los centroides que incremente el número de vehículos en cola para entrar al modelo o el número de viajes incompletos provoca que se introduzcan distorsiones que no permiten evaluar de forma representativa el comportamiento global de los escenarios con estos parámetros. Las retenciones puntuales en alguna vía concreta del escenario, lo que ocurre en los escenarios futuros por ejemplo en la avenida de Dinamarca, provoca que los resultados de estas estadísticas empeoren globalmente, aunque como se ha observado en los análisis de funcionamiento de cada escenario puedan darse comportamientos más favorables

Por ello, para que los resultados sean más representativos del comportamiento observado durante las simulaciones, se analizan a continuación estas mismas estadísticas sobre los viajes, para el caso solo de los viajes completos:

	<b>Escenario Base</b>	<b>Escenario Intermedio</b>	<b>Escenario Futuro</b>	<b>Sol. Sentido Córdoba</b>	<b>Sol. Sentido Huelva</b>
<b>Nº Trips</b>	12.457	12.426	12.862	12.717	12.975
<b>Trip Lengt</b>	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3
<b>VKT (km)</b>	43.074,3	42.795,4	43.165	41.512,4	42.835,5
<b>VHT (h)</b>	990,9	1.342	1.383,5	1.541,1	1.523,3
<b>Avg Speed (km/h)</b>	43,5	31,9	31,2	26,9	28,1
<b>Delay (h)</b>	463,7	813,5	851,6	1.029,7	994,2
<b>Avg Delay (s/km)</b>	38,1	83,5	85,7	101,8	92
<b>Stopped Time (h)</b>	91,7	151	151	249,9	61,5
<b>Avg Stop. T. (s/km)</b>	6,9	16,2	15,6	23,7	7,8
<b>Nº Stops (cientos)</b>	283,3	296	371	549	219
<b>Avg Nº Stops (/km)</b>	0,6	0,9	1	1,5	0,7

Tabla 28 Estadísticas de los viajes completos de todos los escenarios de simulación

Como se observa en la tabla, el número de viajes completos en todos los escenarios en todos los escenarios presenta un mismo orden de magnitud a pesar de que en los escenarios futuros se produce un incremento del número de viajes totales debido al centro comercial. El número de viajes completos es de unos 12.700.

Este hecho, dada la situación de inestabilidad que presenta ya el escenario base estando al límite de su capacidad, parece indicar que el número de viajes completos resultante en todos los escenarios es el máximo que permite absorber el sistema. Por tanto, al incrementar el número de viajes de la zona con la apertura del centro comercial, se acaba alcanzando la capacidad, provocando la aparición de retenciones y colas en diversos puntos atendiendo a la configuración de cada escenario.

Como se alcanza la capacidad con el incremento del número de viajes, las estadísticas de los viajes completos también se ven empeoradas en los escenarios futuros con respecto al escenario base, dado que se forman colas, que además de dejar vehículos almacenados en la simulación, acaban perjudicando a los vehículos que completan sus viajes.

A pesar de ello, estas estadísticas globales del sistema no reflejan adecuadamente la conveniencia de cada escenario, pues como se ha indicado en el análisis de los mismos previamente, existen escenarios que presentan comportamientos parecidos o incluso aparentemente mejores que el escenario base. Los parámetros globales están condicionados por la aparición de retenciones en zonas locales de la simulación, que pueden acabar distorsionando los resultados. Por tanto, para evaluar realmente qué escenario presenta unas condiciones más favorables con respecto a otro, es preciso acudir a otros resultados que permitan evaluar en cada punto de la red las diferentes estadísticas.

Para evaluar por tanto las diferencias entre escenarios se considera más adecuado realizar una comparativa empleando mapas que reflejen estas estadísticas para cada escenario. Los resultados que se han considerado más interesantes para comparar los distintos escenarios son la velocidad de los vehículos, el flujo de tráfico, y la demora media de cada vehículo.

Esta comparativa se va a realizar únicamente con el escenario base, que refleja el comportamiento actual del tráfico, el escenario futuro, que refleja a priori el funcionamiento que tendrá el tráfico en el futuro tras la apertura del centro comercial, y el escenario solución con el carril reversible en sentido Huelva, ya que a priori es el que muestra una solución viable. El escenario intermedio no se considerará al ser un escenario irreal que muestra los efectos que tendría implantar el centro comercial en el viario actual, mientras que en el escenario solución con el carril reversible en sentido Córdoba, se ha observado que al permitir la salida de los vehículos del centro comercial, colapsan las glorietas y con ello todo el sistema.

Se realiza a continuación una comparativa entre los resultados de los tres escenarios considerados. Los planos se encuentran también disponibles en el anejo número 1

#### 9.4.2 Mapas de flujo en los segmentos

En este apartado se realiza una comparativa de los mapas de flujo de los escenarios. Los mapas de flujo dan una muestra del número de vehículos que atraviesa cada segmento de la zona de estudio, por lo que permiten identificar aquellas zonas donde el volumen de vehículos es más importante.

El flujo de un segmento no es indicativo de que un segmento se encuentre saturado, ya que puede presentarse el mismo valor de flujo a un lado o al otro del máximo de la gráfica de capacidad

Se observa que el flujo en los tres escenarios es similar aparentemente, sin grandes diferencias aparentes entre los distintos escenarios, al ser el volumen de tráfico total en los tres escenarios similar (algo menor en el escenario base al no contar con el centro comercial). La proporción de los flujos se mantiene ya que a pesar de haberse incrementado el número de viajes en los escenarios futuros por la apertura del centro comercial

Analizando las imágenes, estas muestras de forma evidente que los mayores flujos de tráfico de la zona de estudio se localizan en la SE-30, siendo también de cierta entidad los flujos de vehículos de la A-4. En el resto de viarios de la zona de estudio el tráfico es mucho menor.

Los mapas de flujo en los segmentos de los escenarios se muestran a continuación:



Ilustración 9-7 Mapa de flujo del Escenario Base

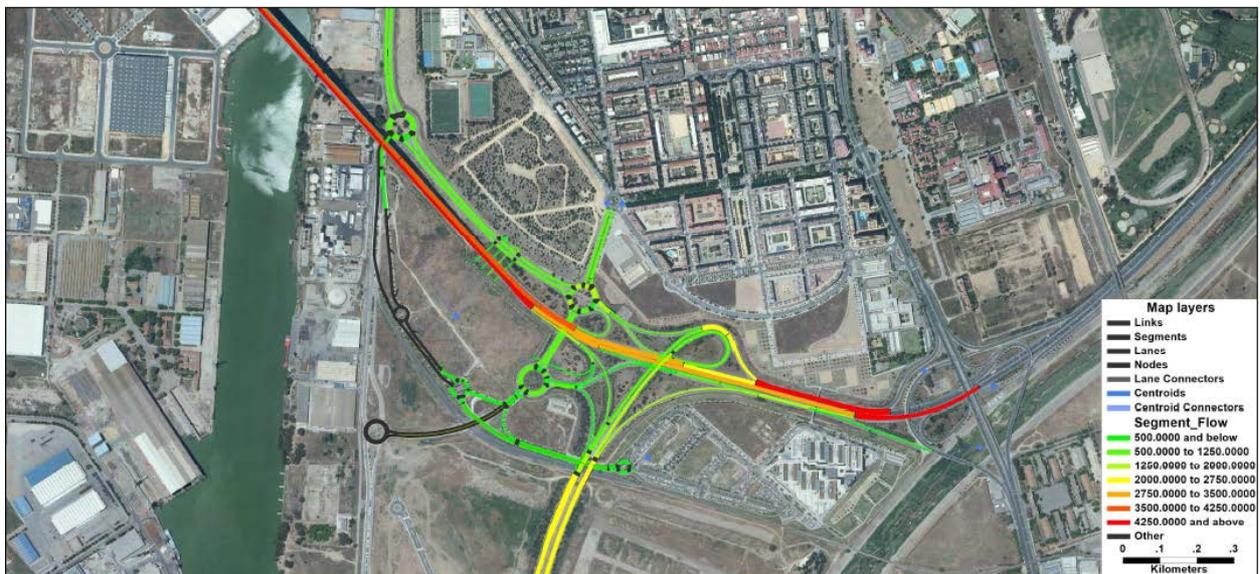


Ilustración 9-8 Mapa de flujo del Escenario Futuro



Ilustración 9-9 Mapa de Flujo del Escenario Solución con el carril reversible en sentido Huelva

### 9.4.3 Mapas de velocidades en los segmentos

La comparación de los mapas de velocidades en los segmentos entre escenarios si proporciona información más relevante respecto a la conveniencia de un escenario u otro según su comportamiento.

En primer lugar, estos mapas son los que pueden compararse directamente con la información cualitativa proporcionada por los mapas de tráfico típico de Google Maps. La información de estos mapas es muy valiosa, y ha sido la fuente principal en base a la que se ha podido calibrar adecuadamente el modelo. Los datos que proporciona el mapa de tráfico típico de Google Maps consisten en una representación gráfica de la velocidad del tráfico en un instante.

El tráfico típico de la zona de estudio durante la hora punta del medio día de 14:00 a 15:00 presenta el siguiente aspecto:

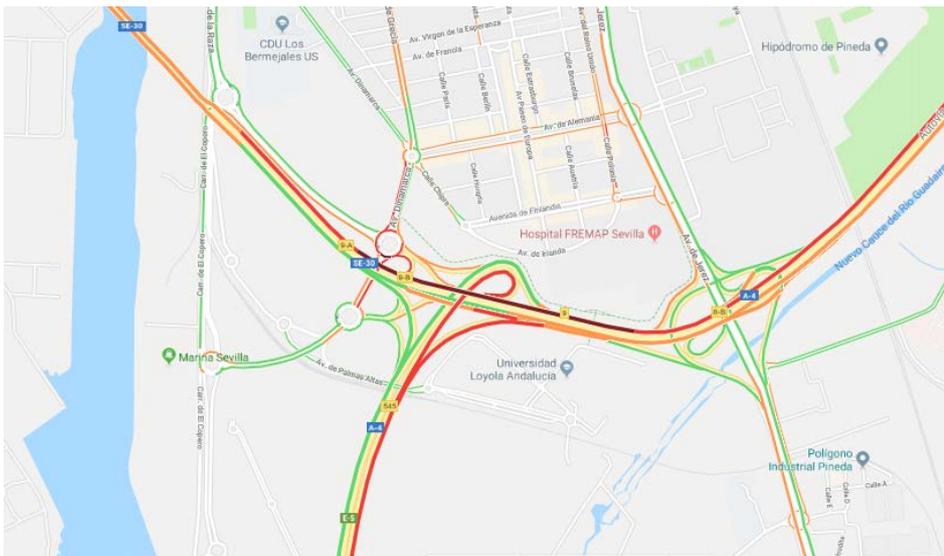


Ilustración 9-10 Mapa de la velocidad del tráfico típico de Google Maps de la zona de estudio

Tal y como se puede comprobar en el mapa de velocidades del Escenario Base, gracias a la calibración el modelo ha podido reproducir adecuadamente la información obtenida de Google Maps. Se puede ver que el punto más crítico en cuanto a velocidad del sistema se encuentra en las dos incorporaciones a la SE-30 que hay antes del puente del V Centenario. Esto da muestras de su saturación, ya que la velocidad es baja en este tramo a pesar de tratarse de una vía de alta capacidad.

En cuanto al Escenario Futuro, comparando sus resultados de velocidad con respecto a los del Escenario Base puede concluirse que el comportamiento de ambos escenarios es muy similar, sobre todo en las vías de alta capacidad (SE-30 y A-4) en las que ambos escenarios presentan prácticamente los mismos resultados. Podría concluirse con ello que la apertura del centro comercial no afectaría a priori a la SE-30, que es el elemento más importante de la red viaria. Sin embargo, la situación en el viario interior de menor capacidad, los resultados se muestran diferentes sobre todo en la avenida de la Raza, donde se produce un descenso importante de la velocidad provocado por las colas a la salida del centro comercial. Como se ha comentado previamente, el escenario futuro presenta resultados similares al escenario base a costa de que la salida de vehículos del centro comercial queda bloqueada.

Por otro lado, el escenario solución con el carril reversible en sentido Huelva presenta, en principio, unos resultados mejores en cuanto a velocidad, ya que prácticamente se incrementa en todo el sistema viario, y sobre todo en el punto crítico de las incorporaciones de la SE-30, y en la avenida de la Raza. Se consigue que mejore el funcionamiento a este lado del puente del V Centenario, pero esto puede ser a costa de empeorar la situación de forma importante al otro lado del río. Las estadísticas globales del sistema ya dan muestra de ello, al presentar un número de vehículos que no llegan a salir del centroide similar al resto de escenarios futuros, a pesar de la mejora observada en el escenario, que corresponderían con los vehículos que entran al escenario desde el Puente del V Centenario. Por ello, este escenario, que a priori presenta mejores resultados, estaría condicionado a un estudio a una escala mayor que permita evaluar la viabilidad de la medida del cambio de sentido del carril reversible. A escala local constituye una solución razonable a los problemas de tráfico de la zona.



Ilustración 9-11 Mapa de velocidades del Escenario Base

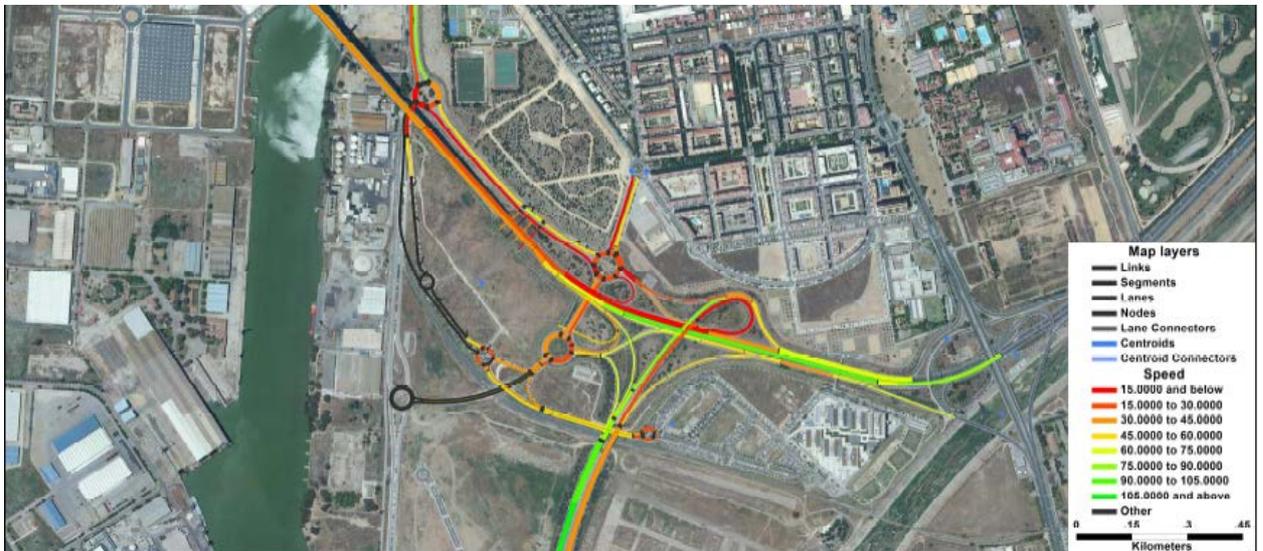


Ilustración 9-12 Mapa de velocidades del Escenario Futuro



Ilustración 9-13 Mapa de velocidades del Escenario Solución con el carril reversible en sentido Huelva

#### 9.4.4 Mapas de demoras medias en los segmentos

Otra estadística interesante para comparar el comportamiento de los escenarios es la demora media en los segmentos. Este valor representa el retraso promedio que supone para cada vehículo circular por cada segmento. El mayor valor de este resultado es indicativo de la aparición de colas en los segmentos donde se presenten estos valores.

Para comparar los escenarios, hay que tener en cuenta en este caso, que aunque presenten valores parecidos, cada escenario presenta una escala diferente, lo que da muestras a priori de que escenario es más desfavorable con respecto a las demoras.

El Escenario Base es el que presenta menores valores en la escala, siendo el rango de las demoras de 10 a 85 segundos. A priori este resultado es razonable, ya que en el discurre un menor número de vehículos. En cuanto al Escenario Futuro, es el que presenta mayor rango de demora, y mayores valores mínimos, estando las demoras en un rango de 20 a 120 segundos. Por otro lado, el Escenario Solución con el carril reversible en sentido Huelva presenta un rango de demoras 15 a 90 segundos, por lo que a pesar de contar con un mayor número de vehículos, se reduce el rango hasta un valor similar al del escenario base.

En cuanto a la localización de los puntos donde se presentan unas mayores demoras, en el Escenario Base el punto más crítico se encuentra localizado en la avenida de la Raza, donde se producen demoras importantes en el acceso a la Glorieta Norte. Esto es debido al gran número de vehículos que discurre por la rotonda en dirección a la Glorieta Sur, que bloquea en parte el acceso desde la Raza a la Rotonda.

Otros puntos donde se presentan demoras considerables están en el puente del V Centenario en sentido Huelva, como consecuencia del estrechamiento de la SE-30 por la pérdida del carril, y en las incorporaciones desde la Glorieta Norte y desde la A-4. La incorporación desde la A-4 es especialmente conflictiva, y las demoras se trasladan al propio acceso de la autovía debido a las largas colas que se producen en este punto.

En el Escenario Futuro las demoras son ya de una magnitud mayor a las del escenario base tal y como se ha comentado. Aparte de esto, además de en los puntos comentados en el escenario base, aparecen otros puntos donde las demoras son significativas.

En primer lugar, las demoras de la avenida de la Raza se ven incrementadas por la presencia de la salida del centro comercial. Es en la propia salida del establecimiento donde se observan las demoras mayores, ya que como se ha comentado en el trabajo, estas quedan bloqueadas por la cola que aparece en la avenida de la Raza, y los vehículos quedan encerrados sin poder salir adecuadamente. Esto se observa además de en la avenida de la Raza, en la salida del centro comercial a la carretera de El Coper, ya que la cola producida en la avenida alcanza la Glorieta de la Raza.

Otro punto donde se produce un incremento de demora es en la bajada del puente del V Centenario en sentido Córdoba. Las demoras en este caso se incrementan por el aumento del número de vehículos que busca tomar la primera salida de la SE-30, en la que se ha implementado una entrada directa al centro comercial. Como consecuencia de esto, hay un mayor número de vehículos que busca colocarse lo antes posible en el carril derecho, generando conflictos entre vehículos y aumentando con ello la demora.

Por último, el Escenario Solución aparentemente muestra una mejora general con respecto al resto de escenarios, ya que los puntos indicados en los escenarios anteriores donde se producían las mayores demoras, dejan de serlo en este escenario. Por otro lado, las mayores demoras se observan en este caso en la avenida de Dinamarca, al existir un gran flujo de vehículos atravesando la Glorieta Norte, y en el puente del V Centenario en el sentido hacia Córdoba, como consecuencia en este caso de haber cambiado el carril reversible y contar en este caso con un carril menos para un volumen importante de vehículos.



Ilustración 9-14 Mapa de demoras medias del Escenario Base



Ilustración 9-15 Mapas de demoras medias del Escenario Futuro



Ilustración 9-16 Mapa de Demoras Medias del Escenario Futuro



# 10 CONCLUSIONES

---

## 10.1 Desarrollo del trabajo

El desarrollo del presente Trabajo de Fin de Máster ha permitido evaluar el impacto que puede llegar a producir la construcción del centro comercial de Palmas Altas. Tal y como se ha detallado, se trata de un centro comercial de gran envergadura, cuyas dimensiones lo convertirán en uno de los centros comerciales más grandes de España, lo que atraerá a priori a un gran número de clientes.

Siendo el tamaño de un centro comercial una magnitud indicativa de la demanda, el principal problema del Centro Comercial de Palmas Altas es su emplazamiento en las inmediaciones del enlace de la SE-30 con la A-4. Ya en el análisis de la localización se detecta que dicho punto es uno de los más conflictivos de toda el área metropolitana de Sevilla. Los niveles de congestión del tráfico presentes en la zona son los más elevados de toda la SE-30, siendo frecuente la aparición de retenciones en la zona durante la hora punta.

Los problemas de congestión en la zona tienen todos origen, de forma directa, en el estrechamiento que supone la pérdida de un carril de la SE-30 en el tramo del puente del V Centenario. En dicho tramo, se pasa de 3 carriles por sentido, a 2 carriles y un carril reversible cuya configuración varía en función de las necesidades existentes a lo largo del día. Esto supone un auténtico cuello de botella, que provoca colas a lo largo de la SE-30 que influyen directamente en la mayor parte de problemas que se detectan.

Mediante la herramienta de microsimulación TransModeler se ha conseguido establecer un modelo que representa de manera fidedigna el comportamiento actual del tráfico, y que reproduce aproximadamente todos los problemas que hay presentes en dicha zona.

Los datos de partida utilizados para el desarrollo del modelo no han sido los más precisos, ya que no se contaba con los recursos y el tiempo para realizar una campaña de aforos como la que requeriría un estudio profesional de la envergadura necesaria para caracterizar el tráfico en una zona tan compleja. A pesar de ello, el análisis de los datos existentes, así como la realización de conteos puntuales, han permitido obtener la información cuantitativa necesaria para el desarrollo del modelo.

La obtención de un modelo que reprodujera de forma aceptable la realidad a pesar de la poca representatividad de los datos de los que se partía fue posible gracias al proceso de calibrado. En cuanto a información cualitativa, se ha contado con datos de gran valor. Los mapas de Google Maps de tráfico típico proporcionan para cualquier hora del día y de la semana, una representación gráfica del estado del tráfico basada en la información recopilada diariamente de los tiempos de viaje en los desplazamientos de la población. La representatividad de estos datos está garantizada, por lo que proceso de calibrado realizado ha ido encaminado a conseguir que el modelo realizado acabara representando el comportamiento proporcionado por estos mapas.

Este proceso ha requerido el ajuste de las intensidades iniciales y su distribución entre los orígenes y destinos del modelo, así como correcciones de la geometría ante comportamientos erráticos que se fueron detectando. El desarrollo del modelo del escenario base ha sido por tanto un proceso iterativo basado en una metodología consistente en la prueba sucesiva de las modificaciones que se han ido realizando con el objetivo de acabar alcanzando el estado de tráfico existente en los mapas de tráfico típico.

Al conseguir esto mediante el proceso de calibrado, se ha logrado un escenario base cuyo comportamiento reproduce de forma aceptable la realidad, y que sirve de referencia para el desarrollo del resto de escenarios. Con la confianza de que el escenario calibrado reproduce adecuadamente la realidad, se espera que, tras introducir los cambios para configurar los escenarios futuros, el modelo refleje el comportamiento futuro.

El desarrollo de los escenarios futuros ha requerido además de la obtención de un modelo base calibrado, de una estimación de los futuros viajes que serán atraídos por el centro comercial. Para ello se ha hecho uso de tres metodologías basadas en los usos de suelo, que han reflejado a pesar de sus respectivas particularidades unos resultados similares, y que ponen en evidencia el importante incremento en la carga del tráfico que supondrá la apertura del centro comercial.

## 10.2 Escenarios de microsimulación

A partir de los datos estimados de los viajes que atraerá el centro comercial, y tomando de referencia modelo del escenario base calibrado, se han desarrollado también los distintos escenarios futuros que para representar las posibles situaciones que se han planteado en este trabajo. Partiendo del escenario base, se han ido introduciendo modificaciones progresivamente para acabar implementando:

- Un escenario intermedio, con el centro comercial implantado en el sistema viario actual sin modificar, buscando con él representar el impacto que tendría la apertura si no se tomaran medidas adicionales para acondicionar sobre el tráfico para acondicionarlo a la nueva demanda
- El escenario futuro, con las medidas propuestas por el promotor para mitigar los problemas de tráfico que causaría el centro comercial, cuyos resultados proporcionan una visión del comportamiento que podrá experimentar el tráfico en el futuro tras la apertura
- Dos posibles escenarios solución, en los que se han desarrollado posibles medidas viables técnicamente para mejorar el comportamiento observado en el escenario futuro, en vistas de obtener un escenario adecuado con un comportamiento aceptable teniendo en cuenta el reto que supone la congestión presente en la zona y la magnitud de la demanda del nuevo centro comercial.

De las simulaciones realizadas con los modelos definitivos de cada uno de los escenarios planteados, se han podido extraer las siguientes conclusiones:

- Con el escenario base se ha conseguido representar un escenario que representa de forma adecuada la realidad. En él se pueden observar las distintas colas y retenciones identificadas en los mapas de tráfico típico de Google Maps, logrando un escenario con la confianza suficiente como para tomarlo de base para el desarrollo de los escenarios con el centro comercial.

Además, se ha logrado identificar en él un comportamiento del tráfico inestable, una conducta presente en la realidad, que provoca que cualquier mínima alteración en la circulación acabe desembocando en colapsos de elementos parciales del sistema. Este hecho se debe a que el sistema viario se encuentra ya en la actualidad al borde del colapso, y la entrada de vehículos en el modelo se realiza de manera estocástica, lo que provoca que dependiendo de la simulación puedan darse situaciones que favorezcan la congestión.

- El escenario intermedio plantea en principio una situación irreal, ya que a construcción del centro comercial trae consigo una serie de medidas que afectan al sistema viario con las que se busca minimizar el impacto sobre el tráfico. Estas medidas se evalúan posteriormente en el escenario futuro.

Sin embargo, los resultados que proporciona son de bastante interés desde el punto de vista académico, ya que permite certificar el grave impacto que tendría la apertura por sí sola del centro comercial. También permite confirmar que el estado actual se encuentra al borde de su capacidad, ya que el incremento de la demanda acaba con la situación de inestabilidad presente en el escenario base. En este escenario, la situación de colapso se alcanza en todas las simulaciones, y en tiempos muy cortos de simulación.

Por otro lado, permite identificar cuáles son los puntos más conflictivos de la zona de estudio, así como para reconocer que las mejoras adoptadas por el promotor han ido encaminadas a resolver los problemas que se detectan en él. Estos problemas se localizan sobre todo en las entradas y salidas del centro comercial, que quedan bloqueadas. El bloqueo de las entradas y salidas tiene una consecuencia paradójica en el resto del escenario, ya que mejora el comportamiento de la SE-30 al recibir menos incorporaciones desde la Glorieta Norte.

- En cuanto al escenario futuro, este da una imagen que como será el comportamiento del tráfico una vez se haya construido el centro comercial. Por lo general, en las simulaciones se ha apreciado un comportamiento bastante similar al del escenario base, con los mismos problemas identificados en la situación actual incluyendo su inestabilidad por estar al límite de la capacidad

El conjunto de medidas adoptadas por el promotor logra solventar gran parte de los problemas observados en el escenario intermedio, y minimiza el impacto producido por el centro comercial al lograr un escenario bastante similar al actual. Sin embargo, esto se logra mediante el hecho de que los vehículos que deberían salir del centro comercial quedan bloqueados por las colas que se producen en las salidas y no llegan a cargar el resto del sistema.

Se observa que las entradas al centro comercial se realizan sin problemas durante toda la simulación, ya que las medidas implementadas solventan los problemas respecto a los accesos al centro comercial observados en el escenario intermedio. Sin embargo, las salidas quedan bloqueadas por las distintas colas que ya hay presentes en la situación actual, siendo la más crítica la salida a nivel de la Avenida de la Raza.

La disminución de las afecciones provocadas por el centro comercial está por tanto condicionada por el hecho de que la salida de los vehículos estará impedida, lo que supondrá importantes colas y retenciones a los usuarios que quieran salir del centro comercial. La retención de los vehículos en el interior del centro comercial podría provocar que las condiciones de congestión que se producen en la zona durante la hora punta se prolongasen durante más tiempo.

A la larga, si se obvia la retención a la salida del centro comercial, el escenario podría ser viable al considerar que comportamiento del resto de la zona de estudio podría ser similar al del escenario actual. Ante las retenciones en las salidas durante la hora punta, y dado que los viajes que generan por el centro comercial tienen como motivo principal el ocio, los clientes podrían acabar condicionando su conducta en cuanto a las salidas del centro comercial, permaneciendo en el mismo evitando la salida durante la hora punta, o renunciando a acudir al centro comercial durante la mañana del viernes.

- Los escenarios solución se han planteado a partir del escenario futuro, incluyendo una serie de nuevas medidas que permitan solventar los problemas restantes que quedan en el escenario futuro, estando enfocadas principalmente a permitir la salida de vehículos del centro comercial de una forma razonable.

En el primero de los escenarios solución, manteniendo el carril reversible en sentido Córdoba, se ha adoptado un conjunto de medidas que permiten la evacuación del centro comercial evitando cualquier tipo de retención durante los primeros minutos de simulación. Con ello se logra que todos los vehículos que salen del centro comercial accedan al área de estudio, cargando el resto del escenario. Tal y como se vio en el escenario base y en el escenario futuro, la zona de estudio se encuentra al límite de su capacidad, no siendo capaz de recibir los nuevos viajes añadidos por el centro comercial. Conforme se va desarrollando la simulación, los arcos de la red se van cargando de manera más rápida, produciéndose las colas en los viarios antes, y llegando al colapso de las glorietas de acceso de la SE-30 y con ello el de toda el área de estudio.

Para que la red pueda asumir toda esta nueva carga de vehículos, una vez que se ha garantizado su correcta salida del centro comercial, se propone como medida técnicamente viable el cambio de sentido del carril reversible durante la hora punta de medio día y disponerlo en sentido Huelva. Esta medida elimina el cuello de botella del puente del V Centenario, responsable de todos los problemas de la zona, gracias al aumento de capacidad que supone. De esta forma, aunque se traslada el problema al otro sentido y su impacto sale de los límites de este estudio, se obtiene una solución viable técnicamente, en la que se llega a mejorar incluso el comportamiento con respecto al escenario base a pesar del incremento de la demanda producido por la apertura del centro comercial.

### 10.3 Líneas futuras

Una vez analizados los resultados del trabajo realizado, existen varias vías por donde se podría ampliar la labor realizada en este estudio.

En primer lugar, otro estudio podría valerse de los modelos realizados en este trabajo para conseguir unos resultados que eliminen el carácter aleatorio de las simulaciones. Los resultados ofrecidos por TransModeler son resultado de una simulación con una semilla aleatoria, lo que provoca cierta variabilidad en las respuestas, que en algunos casos pueden llegar a ser muy diferentes. Lo más correcto estaría en poder llegar a ofrecer resultados que fueran promedio de una cantidad razonable de simulaciones, para así despojar al modelo de dicha aleatoriedad y poder ofrecer algo representativo del escenario más probable o escenario medio

Cambiando de tema, una de las conclusiones a las que se ha llegado con el desarrollo de los modelos, es que, a nivel de escala microscópica, una solución viable técnicamente que en principio mejoraría el comportamiento de la zona de estudio, y que daría viabilidad a la salida de vehículos del centro comercial, es el cambio de sentido del carril reversible del Puente del V Centenario.

Una medida de tal magnitud tendría repercusiones no solo en las inmediaciones del puente, al haber trasladado al otro lado del río el cuello de botella. Dicho cambio afecta a la totalidad de la SE-30, una de las vías más importantes del área metropolitana de Sevilla, por lo que, para poder validar la viabilidad de dicha medida, sería necesario realizar un análisis macroscópico de la repercusión y el impacto que podría tener dicha actuación.

Por otro lado, sería de interés también comprobar la validez del funcionamiento de TransModeler en su vertiente de predecir escenarios futuros. Por un lado, la validez del escenario base se garantizó mediante el calibrado del modelo, gracias a la existencia de datos con los que comparar los resultados del modelo con la situación actual. Durante el proceso de calibrado, se hace evidente que TransModeler presenta ciertos errores de comportamiento durante la simulación, y que los modelos son muy sensibles ante pequeñas variaciones.

Resultaría por tanto de interés, realizar una completa campaña de aforos una vez haya tenido lugar la apertura del centro comercial, con el fin de caracterizar correctamente el tráfico en el escenario futuro. De esta forma podría realizarse un calibrado del modelo del escenario futuro, con el fin de que el modelo se comporte como realmente lo realice la realidad en el futuro. Con ello, se podría realizar una comparación con los resultados obtenidos de la predicción original, permitiendo comprobar la validez del modelo predictivo, los datos empleados, así como la fiabilidad de TransModeler a la hora de simular escenarios futuros.

Un punto adicional a tener en cuenta en posibles estudios posteriores tiene su origen en una noticia surgida durante los últimos días de elaboración del presente TFM, donde ha salido a la luz que se construirán 2.870 viviendas destinadas a albergar unas 9.000 personas en la zona sur de Palmas Altas. La construcción de estas viviendas afectará sin duda a la movilidad de la zona, que como se ha visto estará ya bastante cargada con la actuación del centro comercial. Habría que realizar nuevas simulaciones ampliando el área de estudio para tener en cuenta estas medidas, así como adoptar nuevas medidas sobre el viario para que tenga capacidad de albergar los nuevos tráfico. En este nuevo escenario que se plantea, adoptar medidas sobre el transporte público se hace necesario, y infraestructuras como la línea 3 del metro deberían suponer una prioridad.

Otra línea de investigación podría centrarse en el estudio de nuevas medidas viables técnicamente que no se han contemplado en este trabajo, y que podrían ser de interés en otros escenarios solución. Como se ha comprobado en el presente estudio, las glorietas de acceso a la SE-30 son los puntos más sensibles del sistema. Uno de los posibles escenarios no analizados podría construirse mediante la semaforización de estas glorietas, ya que con esta medida se buscaría evitar el colapso de las rotondas que deriva en el colapso del resto de la red viaria.

# ANEXO I: PLANOS

---

## Listado de planos

1. Plano de tráfico
2. Plano de flujos del escenario base
3. Plano de flujos del escenario intermedio
4. Plano de flujos del escenario futuro
5. Plano de flujos del escenario solución con el carril reversible en sentido Córdoba
6. Plano de flujos del escenario solución con el carril reversible en sentido Huelva
7. Plano de velocidades del escenario base
8. Plano de velocidades del escenario intermedio
9. Plano de velocidades del escenario futuro
10. Plano de velocidades del escenario solución con el carril reversible en sentido Córdoba
11. Plano de velocidades del escenario solución con el carril reversible en sentido Huelva
12. Plano de demoras medias del escenario base
13. Plano de demoras medias del escenario intermedio
14. Plano de demoras medias del escenario futuro
15. Plano de demoras medias del escenario solución con el carril reversible en sentido Córdoba
16. Plano de demoras medias del escenario solución con el carril reversible en sentido Huelva



# BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] E. Sánchez García-Miña, Evaluación mediante simulación microscópica de los efectos de una actuación sobre el viario de la zona del Centro de Sevilla, Sevilla, 2017.
- [2] J. C. Sánchez Bellas, Diseño de un área intermodal en el entorno del Parque de los Príncipes, Sevilla, 2015.
- [3] A. García Sánchez, Microsimulación de tráfico en zona urbana, Sevilla, 2017.
- [4] Ecologistas en acción. , Alegaciones al proyecto "Centro Comercial y de Ocio Palmas Altas", Sevilla, 2017.
- [5] Gerencia de Urbanismo. Ayuntamiento de Sevilla, *Plan General de Ordenación Urbana*, Sevilla, 2006.
- [6] LAR España, *Modificación de estudio de detalle. Parcela ZEN1 del SUNP-GU-1 "Palmas Altas"*, Sevilla, 2016.
- [7] Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía, *Plan de Transporte Metropolitano del Área de Sevilla: Plan de Movilidad Sostenible*, Sevilla, 2006.
- [8] EPYPSA, *Estudio pormenorizado del impacto sobre el tráfico de la gran superficie comercial*, Córdoba, 2005.
- [9] C. López García de Leániz y A. Míguez Iglesias, *Variables explicativas de la movilidad en los centros comerciales*, Madrid, 2012.
- [10] C. López García de Leániz, «La experiencia española en el estudio de los polos generadores de viajes,» de *Congreso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte*, Joinville, 2012.
- [11] Institute of Transportation Engineers, Trip Generation Manual.
- [12] Caliper Corporation, «TransModeler 4.0 TransModeler User's Guide».



