

# **OBTENCIÓN DE MATRICES ORIGEN DESTINO PARA MODELOS MESOSCÓPICOS A PARTIR DE DATOS GPS**

**Carlos Sagiés García**

Técnico, Subdirección de Tecnologías de la Información. INECO, España

**María Calatrava Nicolás**

Técnico, Subdirección de Economía, Planificación y Medio Ambiente. INECO,  
España

**Laura Milena Riveros González**

Experto, Subdirección de Economía, Planificación y Medio Ambiente. INECO, España

## **RESUMEN**

El objetivo del presente artículo es exponer la metodología seguida para obtener matrices Origen/Destino a partir de datos masivos geolocalizados (trazas GPS). Se trata de una metodología que actúa de manera complementaria con los procedimientos tradicionales de aforo. Las principales ventajas derivadas de esta metodología radican en una reducción de tiempos y de costes en los proyectos, además de aportar mayor fiabilidad en los resultados de los modelos al tratarse de matrices muestra obtenidas a partir de valores reales.

Existen distintas variaciones de la metodología, pudiendo ésta adaptarse a proyectos tanto de micromodelación como de macromodelación, convirtiéndola en una metodología muy flexible.

Esta metodología ya ha sido probada en distintos proyectos, obteniendo resultados satisfactorios, aunque también es cierto, que se encontraron ciertas debilidades en los procesos. Estas debilidades se han subsanado mediante la aplicación de algoritmos de Inteligencia Artificial (IA).

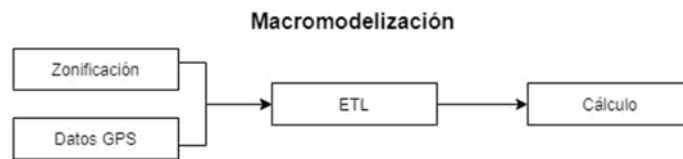
El presente artículo detalla los diferentes procedimientos de obtención de matrices, así como un análisis de sus debilidades y mejoras desarrolladas. Finalmente, una comparativa con los modelos tradicionales de obtención de matrices y los resultados obtenidos en los proyectos en los que se implantó esta metodología.

## **1. PROCEDIMIENTOS**

Como se ha mencionado previamente, existen ciertas diferencias a la hora de aplicar la metodología a un proyecto de macrosimulación o a uno de microsimulación. A continuación, se exponen mabas metodologías, así como sus diferencias y las debilidades.

### 1.1 Macromodelización

El proceso de macromodelización responde al siguiente esquema:



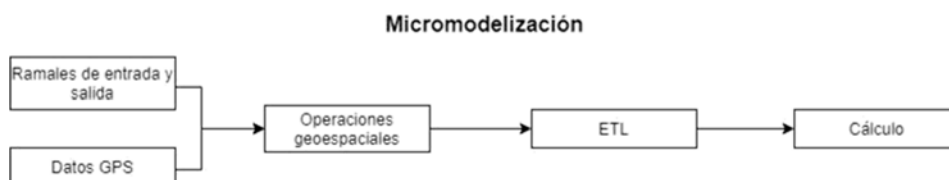
**Figura 1. Esquema del proceso aplicado a macromodelización. Fuente: Elaboración propia**

A continuación, se detalla cada uno de los componentes del proceso:

- Zonificación  
Se definen cada una de las áreas que servirán para establecer los posibles orígenes y destinos de los viajes. Aquellos viajes que comiencen o acaben fuera de las áreas establecidas, son agrupados en un área ficticia, denominada “Zona exterior”
- Datos GPS  
Cada registro representa la posición de un vehículo en un instante determinado.
- ETL (Extract Transform Load)  
En este proceso se transforman los datos existentes, se generan nuevas variables y se eliminan aquellos registros que no son necesarios para el proceso “Cálculo”. Con este proceso se reduce el tiempo de cálculo.
- Cálculo  
Una vez que se han realizado los pasos anteriores, se extraen los orígenes y destinos de cada uno de los trayectos. El resultado final es un archivo formato csv con la matriz OD deseada.

### 1.2 Micromodelización

El proceso de microsimulación responde al siguiente esquema:



**Figura 2. Esquema del proceso aplicado a microsimulación. Fuente: Elaboración propia.**

Se observa cómo, las principales diferencias entre metodologías radican en los datos de entrada y en las operaciones geoespaciales.

A continuación, se detalla cada uno de los componentes del proceso:

- **Ramales de entrada y salida**  
Se definen cada uno de los ramales que intersectan con el contorno del área de estudio.
- **Datos GPS**  
Cada registro representa la posición de un vehículo en un instante determinado.
- **Operaciones geoespaciales**  
El objetivo de este paso es doble: disminuir la cantidad de registros que no se encuentran en nuestra área de estudio y eliminar posibles *outliers* o registros fuera de rango.
- **ETL**  
En este proceso se transforman los datos existentes y se generan nuevas variables necesarias para procesos posteriores. Este proceso es fundamental para reducir tiempo de cálculo.
- **Cálculo**  
Una vez que se han realizado los pasos anteriores, queda un conjunto de datos tratados de los cuales se extrae el ramal de entrada y salida de la zona de estudio de cada uno de los viajes. El resultado final es un archivo csv con la matriz deseada.

### 1.3 Debilidades encontradas

Como cualquier metodología, presenta una serie de ventajas, pero al mismo tiempo una serie de debilidades. Es importante realizar un análisis de estas a fin de conocer las flaquezas del proceso y poder implementar poco a poco medidas que permitan corregirlas.

A continuación, se enumeran las debilidades encontradas principalmente en la metodología de micromodelización. Cuando se aplica la metodología en los casos de micromodelización, existen una serie de inconvenientes que no ocurren en los casos de macromodelización. Esto se debe a que el detalle que se busca en este tipo de proyectos es mucho mayor.

Los dos principales inconvenientes son:

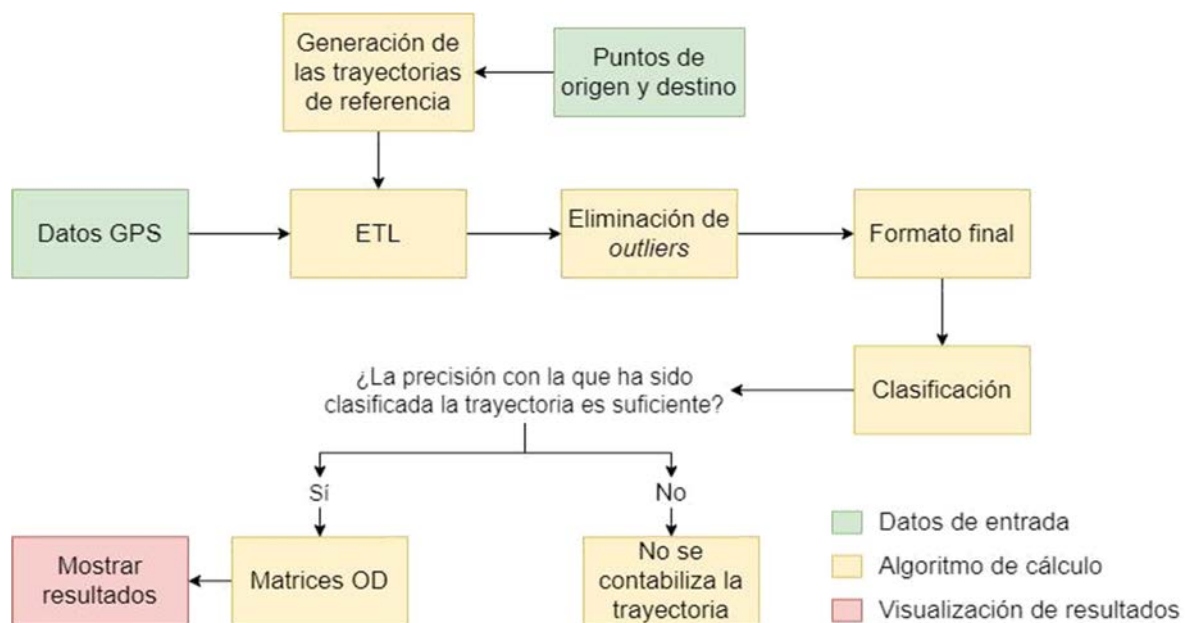
- **Tiempo elevado a la hora de preparar los datos de entrada.**  
La preparación de los datos de entrada es una tarea de carácter manual. Además, al tratarse de una tarea de esta naturaleza, hay que tener en cuenta la posibilidad de introducir errores de carácter humano.
- **Tiempo elevado en el proceso “Cálculo”**  
Se trata del proceso que más tiempo y recursos de la máquina consume.

### 1.4 Mejoras implementadas

A continuación, se describe una herramienta desarrollada que emplea una metodología mejorada que subsana los principales inconvenientes mencionados anteriormente.

Esta nueva metodología emplea algoritmos que provienen de distintos campos de la Inteligencia Artificial (IA), como son algoritmos de *machine learning* y algoritmos de búsqueda.

El esquema de esta nueva metodología es el siguiente:



**Figura 3. Metodología de mejoras implementadas. Fuente: Elaboración propia.**

Los procesos de la metodología actualizada son los siguientes:

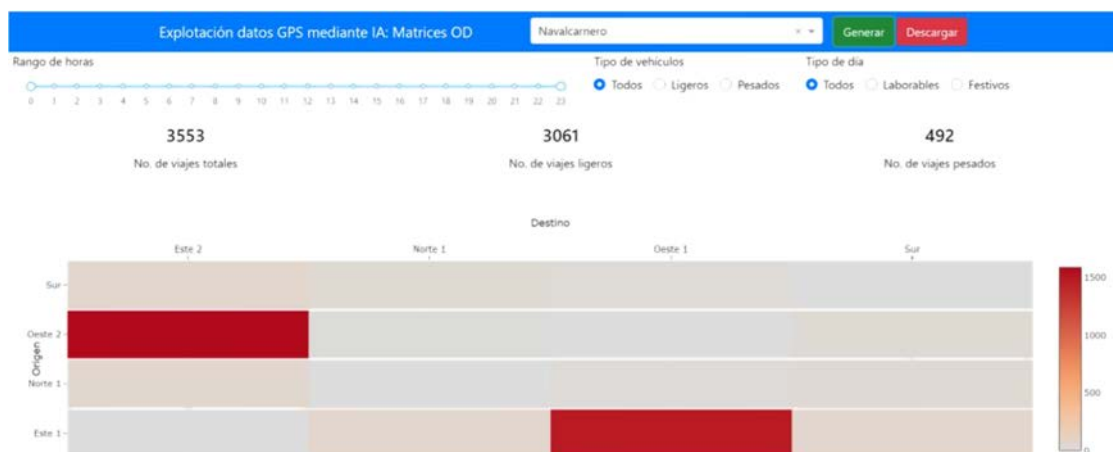
- Datos de entrada.
  - o Datos GPS. Igual que en los casos anteriores, cada registro representa la posición de un vehículo en un instante determinado.
  - o Puntos de origen y destino. Puntos en las calles que representan los orígenes y destinos de la matriz OD.
- Generación de las trayectorias de referencia. A partir de los puntos de origen y destino se generan todas las posibles rutas entre el cada origen y destino, que servirán para clasificar los viajes.
- ETL. Se transforman al formato deseado las variables existentes y se generan nuevas variables para hacer posible la clasificación de las trayectorias.

- Eliminación de *outliers*.  
Se eliminan las trayectorias que no cumplan con una serie de condiciones mínimas que, en el caso de tenerlas en cuenta, generarían ruido en la clasificación e, incluso, llegar a generar una clasificación errónea.
- Formato final.  
Una vez realizado los pasos anteriores, se preparan los datos para que puedan ser ingeridos por parte de los algoritmos de *machine learning*.
- Clasificación.  
Mediante algoritmos de *machine learning* se identifican las carreteras por las que entra y sale cada vehículo de la zona de estudio.
- Matrices OD.  
Se genera la matriz OD deseada.

Gracias a esta nueva metodología, no solo las debilidades de la metodología anterior son subsanadas, sino que además se obtienen nuevas mejoras:

- Los tiempos de preparación de los datos de entrada y de cálculo se han reducido. La preparación de los datos es sumamente menor empleando la nueva herramienta, siendo 15 veces menor en las pruebas realizadas. A su vez, el tiempo de cálculo se han reducido de manera destacable, siendo ahora aproximadamente 60 veces más rápido que la metodología anterior.
- Se convierte en un proceso automático.  
Se han automatizado todos los pasos que antes eran manuales (la única tarea manual es generar los puntos de origen y destino).
- Se ha creado una interfaz de usuario.

Ahora existe una interfaz gráfica que le permite al usuario no solo explotar los datos de manera sencilla, sino que además puede realizar un análisis exploratorio de los resultados obtenidos.



**Figura 4. Interfaz de usuario desarrollada. Fuente: Elaboración propia.**

Finalmente, la distribución de los vehículos obtenida mediante la nueva herramienta, como ocurría con la herramienta anterior, es similar a la distribución obtenida mediante aforamientos físicos (porcentaje de vehículos totales capturados por movimiento).

## **2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA METODOLOGÍA CON RESPECTO A LAS METODOLOGÍAS TRADICIONALES**

Actualmente se dispone de una amplia gama de metodologías para la detección de tráfico, desde la más tradicional, como es el caso del aforo manual, hasta las más actuales, como es el de lectores de matrículas o sistemas de detección por bluetooth.

La nueva metodología puede considerarse que comparte el mismo principio que los sistemas de detección por bluetooth, dando por hecho que hoy en día todo el mundo viaja con un móvil encima y que de la información que este generase puede obtener un beneficio, concretamente la información es el posicionamiento del aparato.

La diferencia es que los sistemas de bluetooth usan la detección de móviles que pasan por una sección en la que se colocan los detectores y esta nueva metodología es mucho más flexible y fiable.

Esta nueva metodología permite solventar los principales problemas de los métodos tradicionales disponibles, al ser una metodología basada puramente en la compra de datos de posicionamiento y su procesamiento. A continuación, se detallan las ventajas de la metodología:

- No son necesarios trabajos de instalación ni mantenimiento in situ en la zona de estudio, eliminando todos los problemas relacionados con: corte de vías por obras para su instalación o reparación, dependencia de las inclemencias meteorológicas o la no detección de vehículos a baja velocidad.
- Los resultados no se ven afectados por condiciones meteorológicas adversas.
- Proceso muy económico, puesto que no existen instalaciones al uso para la obtención de los datos, sino que el coste dependerá del volumen de datos que se quieran comprar y del ingeniero de datos que los procese bajo esta metodología.
- Reducción de tiempos, esta metodología permite obtener información de una zonificación mucho más amplia de la que permitirían el procesamiento por separado de cada una de las zonas como se realizaría de forma tradicional.
- Flexibilidad, al disponer de los datos en bruto el procesamiento de los datos se pueden orientar de diferentes enfoques de un mismo proyecto, permitiendo obtener matrices distintas si se desean cambiar la zonificación cambiando el proceso de tratamiento de los datos. Con las metodologías tradicionales requeriría la realización de nuevos aforos con el incremento del coste con cargo a proyecto que supondría.

- Mayor alcance temporal, permite tratar datos en bruto de varios días por lo que permite realizar por lo que permite un análisis del comportamiento del tráfico en la zona de estudio que no se encuentre limitada a horas como ocurre con las metodologías tradicionales.

Por contraposición se pueden mencionar las siguientes desventajas detectadas:

- Limitación de precisión en el posicionamiento, para casos microscópicos algunos datos pueden presentar desviaciones de posicionamiento. Esta desviación no depende tanto del dato sino del móvil que se encuentra emitiendo la señal.
- Como consecuencia del punto anterior, no es posible llevar a cabo una segregación de tráfico por carriles.
- Ratios de ocupación de vehículos, el proceso tiene en cuenta el posicionamiento de los móviles y GPS, pero no es capaz de detectar si esos móviles o GPS van en el mismo vehículo y por lo tanto el viaje sería solo uno.
- Representatividad de la muestra, al estar tratando con los datos de posicionamiento la representatividad dependerá en mayor o menor medida de las compañías que hayan cedido esos datos. En un supuesto idílico, si solo existiera una compañía la muestra obtenida con esta metodología sería prácticamente toda la población. Este es el principal motivo por el que estas matrices se usan como apoyo en los estudios de tráfico, pero no son, ni se pretende que sean, la matriz de origen y destino definitiva. Siendo necesario complementar esta metodología con otras tradicionales.
- Preprocesamiento, es necesaria una tarea de limpieza de los datos en bruto para incrementar la fiabilidad que se realiza de forma manual, por lo tanto, se encuentra sujeta a un porcentaje de error en el tratamiento de los datos.

### 3. APLICACIONES

#### 3.1 Calibración de matrices

El principal objetivo de eso de la metodología es una mejora de la calidad de resultados en los trabajos de calibración de los modelos de tráfico. Llegado este punto es necesaria la diferenciación de la metodología a nivel macroscópico y microscópico.

- Nivel Macroscópico

Tradicionalmente la obtención se matrices obtenían a partir de métodos tradicionales de recogida de datos como las encuestas domiciliarias o de intercepción, y en función de la población se podía obtener una primera matriz para iniciar el proceso de calibrado manual.

- Nivel Microscópico

Tradicionalmente la obtención de matrices se realiza a través de un ajuste (dinámico o estático) entre una matriz de ceros y unos y un plan de aforos de la red del modelo. La matriz resultante del ajuste es el punto de partida para el inicio de la calibración manual.

En ambos casos el proceso de calibración manual es muy sensible a los datos de entrada, resultados de encuestas para macro y de los aforos para micro. La calidad de estos condiciona en gran medida el tiempo que posteriormente se invierte en la calibración manual del modelo para el cumplimiento de los estándares de calidad del modelo.

El uso de las matrices estimadas a partir del posicionamiento GPS añade un grado de robustez a todos estos procesos.

A nivel macroscópico permite corregir los sesgos que derivan de las encuestas. Puesto que el posicionamiento es un dato real que queda registrado, y no depende del sesgo generado por el comportamiento real del usuario versus comportamiento que el usuario afirma tener.

A nivel microscópico permite obtener una matriz resultante del ajuste más cercana al comportamiento real en la red, eliminando los errores derivados de un uso de matriz ficticia de ceros y unos que requiere un amplio conocimiento de la red y puede generar grandes inconsistencias que dan lugar a procesos de calibración manual muy tediosos.

En cualquier caso, es importante remarcar que no se trata de emplear directamente la matriz de posicionamiento GPS como la matriz a partir de la cual iniciar el proceso de calibrado manual. Si no como un elemento complementario a las metodologías tradicionales repercutiendo en un incremento de la fiabilidad de los resultados y una reducción de tiempos de calibrado manual.

### 3.2 Comprobación del tamaño de la muestra

Una vez estimada, calibrada y validada la matriz a partir de la matriz de datos de posicionamiento GPS y las metodologías tradicionales, se realiza una última comprobación que consiste en estimar si la muestra es estadísticamente válida sobre el universo.

Esta comprobación se realiza debido a que la matriz que se usa como complemento a los procedimientos tradicionales en el proceso de calibración es una matriz que representa una muestra de la población, dado que los datos derivan de las compañías y usuarios que hayan compartido esa información.

Para ello, se utiliza lo indicado en la Nota de Servicio 5/2014, obre la obtención del tamaño de la muestra, por medio de la siguiente expresión:

$$T_{ij} = \alpha \pi(G_{rij}^g) \pi(A_{sij}^a) c_{ij}^k \quad (1)$$



$$m = \frac{k^2 N p (1 - p)}{e^2 (N - 1) + k^2 p (1 - p)} \quad (1)$$

Donde:

m: Tamaño estimado para la muestra lauestra.

n: N: Tamaño del universo

e: Error muestral deseado, en tanto por uno. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de la población.

p: Proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que  $p=0,5$  que es la opción más segura.

k: Constante que depende del nivel de confianza que asignemos.

Valor de k	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2.24	2.58
Nivel de confianza (%)	75	80	85	90	95	97.5	99

**Tabla 1. Valor de k en función del nivel de confianza. Fuente: Nota de Servicio 5/2014.**

El procedimiento se basa en obtener el error muestral y el nivel de confianza, en función del universo y la muestra de partida, para cada tipología de vehículo (ligeros y pesados). Siendo la muestra representativa si la suma de los vehículos es superior a la obtenida teóricamente a partir de esta fórmula.

### 3.3. Costes

#### 3.3.1. Tiempos

Los tiempos de espera en un proyecto para poder llevar a cabo los aforos y el pretratamiento y limpieza de los datos depende de muchos factores: del periodo de contratación de los trabajos, del número de puntos a aforar, la complejidad de los enlaces a aforar, el número de días aforados, etc. Y en ocasiones, tras la realización de los trabajos, en el caso de que se detecten errores de medida por fallos en los equipos de medida o que el día seleccionado a priori no sea representativo y por condicionantes del proyecto finalmente se decida que debe realizarse otro día, requiere iniciar todos los trabajos desde cero.

Toda esta problemática queda reducida a los tiempos de contratación de los datos en bruto y su tratamiento a partir de esta nueva metodología.

Si bien es cierto, dependiendo de la zonificación del modelo los tiempos pueden variar en la fase de tratamiento de los datos, una vez tratados los tiempos de cálculo son prácticamente independientes de la zonificación seleccionada.

Añadiendo la ventaja de que esta metodología permite tener a disposición del modelizador valores de comportamiento del tráfico para días medio de un mes en cualquier punto de la zonificación del proyecto. Esto resultaría imposible de llevar a cabo con las metodologías tradicionales, por ejemplo, tener controlados cada uno de los accesos y salidas de la vía de análisis de un proyecto concreto durante 24 horas, durante 1 mes o más tiempo.

Incluso proporcionando la flexibilidad de poder seleccionar otros días para el análisis del tráfico, en el caso de que se detecte cualquier anomalía en los datos del día seleccionado a priori. Esto supone que no sería necesario tener que repetir los trabajos, solo se repetiría el proceso de cálculo modificando las condiciones de salida de los datos.

### **3.3.2 Económicos**

El coste derivado de un plan de aforos va a depender en gran medida del número de aforos, la complejidad de estos, la tecnología de los medios materiales y el número de horas/días que se decidan aforar.

Mientras que, para esta nueva metodología el coste deriva principalmente de la zonificación y de la cantidad de días.

Es importante tener en cuenta, como ya se ha mencionado, que la metodología no es sustitutiva de los aforos. Por lo que, el ahorro económico deriva de la posibilidad de reducir el número de aforos realizados a través de metodologías tradicionales, realizando solo en aquellos puntos que sean de mayor interés.

## **4. CASOS DE USO**

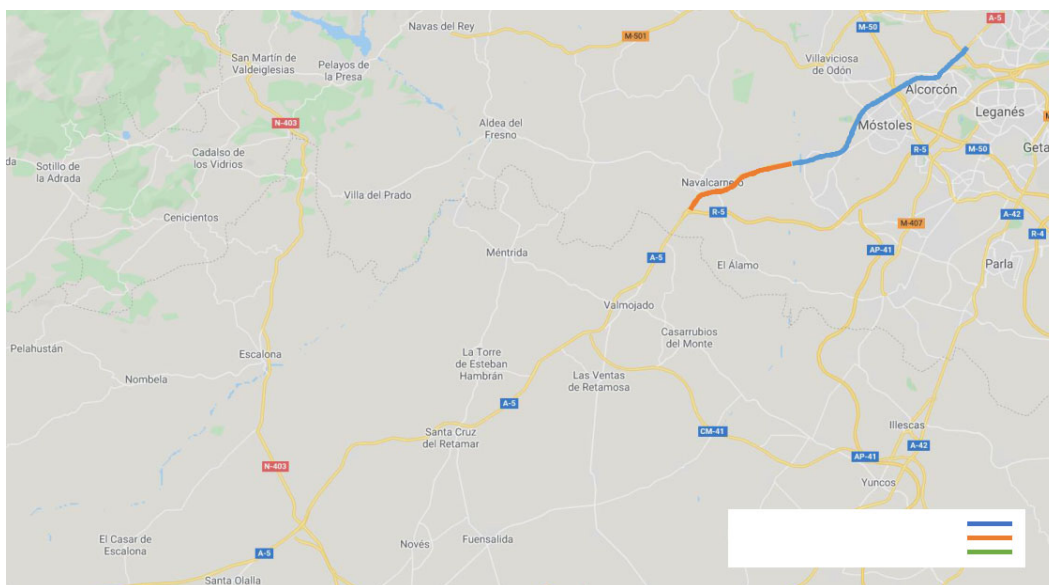
### **4.1. Anteproyecto de Adecuación, Reforma y Conservación del Corredor Oeste de la autovía A-5**

El presente apartado desarrolla los trabajos realizados en el Anteproyecto de adecuación, reforma y conservación del corredor oeste de la autovía A-5 comenzando en el p.k. 10 y finalizando en el p.k. 74, correspondiendo con el ámbito territorial de las provincias de Madrid y Toledo.

En el ámbito de este proyecto se llevaron a cabo de forma complementaria tres modelos de microsimulación para analizar el comportamiento del viario de estudio mediante la representación explícita e individual de los vehículos en la simulación, contemplándose todos los efectos dinámicos derivados de los mismos (aceleraciones, pendientes, velocidades, etc.).

El software de microsimulación permite el análisis detallado de todos los vehículos del modelo y sus interacciones en cualquier elemento existente en la zona de estudio, así como su influjo en los elementos existentes en el entorno, tales como rotondas, intersecciones, ramales, etc. correspondientes a los siguientes tramos:

- Tramo 1: Discurre desde la M-40 hasta la M-143, pk 0+000 – 25+500. En dicho modelo se incluye enlaces como: el acceso al centro comercial Tres Aguas y Alcorcón, el enlace que da acceso a Móstoles por el sur, zona de Parque Coimbra y los accesos al centro comercial Xanadú.
- Tramo 2: Zona de Navalcarnero, discurre desde el pk 27+000 hasta el pk 35+000. En él se incluyen los distintos accesos a Navalcarnero.
- Tramo 3: Discurre íntegramente por la provincia de Toledo, empezando en el pk 35+000 y finalizando en el 75+900. En él se incluyen los enlaces restantes hasta Toledo.



**Figura 5. Ámbito de aplicación del estudio. Fuente: Elaboración propia.**

A fin de comprobar la idoneidad del tamaño de la muestra de los datos de la matriz obtenida de posicionamientos GPS, se calculó el tamaño de la muestra con la fórmula que se indica en la Nota de Servicio 5/2014.

Para su aplicación se tomó como tamaño del universo el número total vehículos ligeros y pesados de la matriz final calibrada del modelo, de esta forma se puede obtener un valor del tamaño de muestra hipotético para un nivel de confianza del 99% y una porción de individuos que poseen en el universo la característica de estudio del 0.5.

Las ecuaciones de estimación de tamaño muestral tienen unos valores mínimos recomendado por la Nota de Servicio 5/2014, el error muestral debe de estar por debajo del 10%. Las pruebas realizadas con este valor proporcionan tamaños muestrales muy inferiores al tamaño de las matrices de los datos GPS.

Por lo tanto, el análisis se centra en la estimación del error muestral que se comete al usar esas matrices GPS. Para ello se llevó a cabo un proceso iterativo del error muestral que

finaliza una vez que el tamaño estimado de la muestra es mayor que el tamaño de la muestra de partida (las matrices de los datos GPS).

A continuación, se muestran los resultados del análisis llevado a cabo para cada tramo y la estimación del error de muestreo que se alcanzado por el uso de esta metodología.

#### TRAMO 1

		LIG	PES
m	tamaño estimado de la muestra	22.623	210
N	tamaño del universo	47.387	2.359
e	error muestral deseado	< 0,01	0,09
p	proporción de individuos que poseen en el universo la característica de estudio	0,50	0,50
k	constante que depende del nivel de confianza que asignemos (99%)	2,58	2,58
m	tamaño de la muestra de partida	22.135	204

#### TRAMO 2

		LIG	PES
m	tamaño estimado de la muestra	3.274	57
N	tamaño del universo	7.589	365
e	error muestral deseado	0,017	0,10
p	proporción de individuos que poseen en el universo la característica de estudio	0,50	0,50
k	constante que depende del nivel de confianza que asignemos (99%)	2,58	1,65
m	tamaño de la muestra de partida	3.205	41

#### TRAMO 3

		LIG	PES
m	tamaño estimado de la muestra	3.398	153
N	tamaño del universo	6.286	455
e	error muestral deseado	0,02	0,09
p	proporción de individuos que poseen en el universo la característica de estudio	0,50	0,50
k	constante que depende del nivel de confianza que asignemos (99%)	2,58	2,58
m	tamaño de la muestra de partida	3.367	148

**Tabla 2. Análisis del error muestral alcanzado con la implantación de las metodologías de matrices a partir de datos GPS. Fuente: Elaboración propia.**

Se observa cómo, en cualquiera de los tres tramos analizados el error muestral se encuentra por debajo del 10% tanto para ligeros como para pesados, siendo esta diferencia mucho mayor para el caso de los vehículos ligeros con errores inferiores al 2%. Para los vehículos pesados se observa como el ajuste del error es menor, pero en todo caso permite el cumplimiento de las especificaciones de la Nota de Servicio 5/2014.

#### 4.2 Proyecto de Trazado en la Autovía A-68

El presente apartado desarrolla los trabajos realizados en el Proyecto de Trazado. Autovía A-68. Tramo: Enlace Autovía A-68 / Autopista AP-15 - Calahorra. El estudio comprende el tramo de la N-232 localizado en la parte más oriental de La Rioja, desde pasado el enlace con la AP-15 (límite con la Comunidad Foral de Navarra), hasta la entrada del núcleo de Calahorra. Concretamente, entre el p.K 331,7 y el p.K 356.

Para este proyecto se realizó una microsimulación de todo el tramo, un total de 25 kilómetros de autovía con 24 centroides tal y como muestra la siguiente imagen.



**Figura 6. Ámbito de aplicación del estudio. Fuente: Elaboración propia**

Para la calibración del modelo se emplearon datos del Mapa de Tráfico de 5 estaciones de aforo y los datos obtenidos de la aplicación de la metodología de posicionamiento GPS.

A fin de comprobar la idoneidad del tamaño de la muestra de los datos de la matriz obtenida de posicionamiento GPS, se calculó el tamaño de la muestra con la fórmula que se indica en la Nota de Servicio 5/2014.

Para su aplicación se tomó como tamaño del universo el número total vehículos ligeros y pesados de la matriz final calibrada del modelo, de esta forma se puede obtener un valor del tamaño de muestra hipotético para un nivel de confianza del 99% y una porción de individuos que poseen en el universo la característica de estudio del 0.5.

Las ecuaciones de estimación de tamaño muestral tienen unos valores mínimos recomendados por la Nota de Servicio 5/2014, el error muestral debe de estar por debajo del 10%. Las pruebas realizadas con este valor proporcionan tamaños muestrales muy inferiores al tamaño de las matrices de los datos GPS.

Por lo tanto, el análisis se centra en la estimación del error muestral que se comete al usar esas matrices GPS.

Para ello se llevó a cabo un proceso iterativo del error muestral que finaliza una vez que el tamaño estimado de la muestra es mayor que el tamaño de la muestra de partida (las matrices de los datos GPS).

A continuación, se muestran los resultados del análisis llevado a cabo para cada tramo y la estimación del error de muestreo que se alcanzado por el uso de esta metodología.

		LIG	PES
m	tamaño estimado de la muestra	2.911	538
N	tamaño del universo	4.132	1.114
e	error muestral deseado	0,013	0,04
p	proporción de individuos que poseen en el universo la característica de estudio	0,50	0,50
k	constante que depende del nivel de confianza que asignemos (99%)	2,58	2,58
m	tamaño de la muestra de partida	2.871	463

**Tabla 3. Análisis del error muestral alcanzado con la implantación de las metodologías de matrices a partir de datos GPS**

Se observa cómo, tanto para vehículos ligeros como para pesados el error muestral queda por debajo del 10% y siendo mucho menor el error en el caso de los vehículos ligeros con un 1,3% y un 4% para el caso de vehículos pesados.

## 5. CONCLUSIONES

Esta metodología permite alcanzar unos niveles de calidad en los proyectos de modelización superiores a los obtenidos en proyectos en los que solo se usan las metodologías tradicionales de aforo.

Además de alcanzar unos niveles de error muestral inferiores a los recomendados por la Nota de Servicio 5/2014 empleando el máximo nivel de confianza muestral (99%). Siendo este error menor en el caso de los vehículos ligeros con valores del 1% - 2%

Para vehículos pesados se alcanzan valores superiores, pero siempre inferiores a la recomendación de la Nota de Servicio 5/2014.

La mayor calidad de los datos de partida se traduce en unos mejores resultados del modelo y por lo tanto una mayor fiabilidad de estos, así como una reducción del tiempo necesario para una calibración adecuada del modelo.

En cuanto a los costes del proyecto, esta metodología permite una reducción directa de los mismos. Por un lado, con la reducción del tiempo de calibración del modelo como se ha mencionado anteriormente, y por otro, permite disminuir la contratación de campañas de campo.

En base a los dos proyectos expuestos queda demostrado que la muestra de los datos obtenidos a partir de la matriz de posicionamientos GPS es lo suficientemente representativa para usarla como elemento de apoyo y complementario a las metodologías tradicionales. Aumentando la fiabilidad del modelo, reduciendo los tiempo y costes en campañas de campo y calibrado del modelo.

## REFERENCIAS

OEP, 2013. Especialidad: Gestión Técnica del tráfico. Estudios del tráfico y análisis de la demanda, aforos en redes urbanas y en redes interurbanas. Sistema de recogida de datos en tiempo presente. Variables de tráfico, meteorológicas y ambientales. Detectores, descripción, tipos y tecnologías. sistema de introducción y actualización de sucesos y previsiones. (2011).

INECO (2019). Anteproyecto de adecuación, reforma y conservación de la autovía A-5, del suroeste. Tramo del p.k. 10+000 al p.k. 64+000.

INECO (2019). Proyecto de trazado. Autovía A-68. Tramo: Enlace autovía A-68 / Autopista AP-15 Calahorra.